



مسائل محلولة في الكترونيات القدرة الكهربائية(1)

مسائل في أنظمة التبديل من التيار المتناوب إلى

التيار المستمر وقيادة المحركات

لطلاب (هندسة نظم القدرة الكهربائية والطاقة المتجددة)

سنة رابعة طاقة كهربائية



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

مسائل محلولة في الكترونيات القدرة الكهربائية (1) مسائل في أنظمة التبديل
من التيار المتناوب إلى التيار المستمر وقيادة المحركات

الدكتور هاشم ورقوزق
أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

1437-1436 هـ

2016-2015 م

جامعة دمشق

Damascus University

محتوى الكتاب

- أولاً :دائرة ثنائي (ديود) مع حمل RC أو RL (مسائل محلولة)
- 1-1: حالة ديود وحمل مكون من مقاومة ومكثف -R,C . ص 13
- 2-1 : حالة ديود وحمل مكون من حثية ومقاومة R و L . ص 14
- 2 - دائرة ثنائي مع أحمال . LC و RLC وأن التوتر الاسمي للمكثف . ص 18
- 3 - حالة دائرة ديود وحمل من RLC . ص 23
- 4 - الثنائيات ،الديودات الحرة. ص 29
- 4-1: آلية عمل الديود الحر . ص 29
- 4-2 : استعادة القدرة المختزنة للمنبع باستخدام ديود ص 33
- 5 - المقومات غير المقادة . ص 40
- 5-1: مقوم وحيد الطور نصف موجة وحمل أومي . ص 40
- 5-2: مقوم وحيد الطور نصف موجة وحمل تحريضي . ص 45
- 5-3: مقوم وحيد الطور نصف موجة محمل بمدخرة. ص 47
- 6- ممانعة الحمل وفترة التطابق. ص 58
- 7- عمل عنصر تقويم مقاد مع وجود قوة محرك كهربائية في الحمل . ص 70
- 8- مقوم مضاعف التردد (ذي نقطة وسط) مع حمل تحريضي R+L . ص 73
- 9- أنظمة العمل عند تيار حمل مستمر و متقطع . ص 75
- 9-1: حالة التشغيل بتيار متقطع. ص 75
- 9-2 : حالة التشغيل بالتيار المستمر غير المتقطع. ص 76
- 10 - معالجة موجة التوتر والتيار في محركات التيار المستمر. ص 78
- ثانياً : مجموعات التقويم التفرعية البسيطة (20 مسألة محلولة) ص 83
- زمن الوصل . ص 85
- زمن الفصل . ص 88

- حساب العلاقة النازمة لهبوط التوتر الناتج عن التطابق .ص92
- حساب زمن التطابق أو فترة التطابق ص 95
- مسائل متفرقة ومنوعة على مختلف مجموعات التقويم. ص95- 128
- مضاعف التردد.ص129
- إيجاد سلسلة فوربيه لتوتر خرج مقوم ذي موجة كاملة مع نقطة وسط .ص136
- إيجاد عامل استطاعة الدخل لمقوم موجة كاملة .ص137
- ثالثاً :مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة (53 مسألة محلولة):
- 1- مقدمة حول آلية الإزاحة بالطور في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة والمضاعفة ص 147
- 1-1 حالة ربط ثانوي المحول بشكل نجمي .ص152
- 2-1 حالة ربط ثانوي المحول بشكل مثلثي (تسلسلي)مع مسائل محلولة .ص150
- 3-1 طريقة رسم التوتر العكسي على عناصر التقويم .ص160
- 52 مسألة محلولة على مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة تعالج حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم والتوتر العكسي والتيارات وطبيعة الأحمال عند جسور مقادة ونصف مقادة وغير مقادة، والعمل عند مختلف زوايا الإزاحة بالطور. ص160-298
- مثال رقم 53 دراسة نظرية لخواص وميزات أنظمة التقويم عند الأحمال الأومية. ص 299-314
- رابعاً : مجموعات التقويم التسلسلية :

- 13 مسألة محلولة تعالج مجموعات التقويم ذات الملفات التسلسلية وذلك عند عدد أطوار فردي (3) أطوار أو عدد أطوار زوجي (6) أطوار ،مع وضع مجموعات تقويم غير مقادة ونصف مقادة ومقادة والعمل عند مختلف زوايا الإزاحة بالطور. ص 315-356

خامساً : ربط مجموعات التقويم على التفرع وعلى التسلسل :

- سبعة مسائل محلولة تعالج مفهوم الربط على التوازي وعلى التسلسل لمجموعات التقويم. ص 357-381

- سادساً :المجموعات المضاعفة ذات الاتجاه المزدوج للتيار Dual Converters:

ضمن (11) مسألة محلولة ، يعالج هذا الفصل معرج التيار وعملية التبديل عن طريق الحمل -استخدام مبدلات مضاعفة بجسور ثيرستورية أحادية الطور ،تعمل عند زوايا إزاحة بالطور متعددة .كما تم استخدام جسور تفرعية بسيطة ،يطلب حساب توتر الحمل وتوتر كل جسر وتوتر ملف الطور والتيارات المارة في الجسور والتيار الدائر والتيار الحمل .آلية العمل في الأرباع الأربعة من ،بجسور تعمل عند تيار دائر ،وبدون تيار دائر . ص 383-424

سابعاً :قيادة محركات التيار المستمر :

- عمل جسور التقويم كعاكس ص427.وقيادة محرك التيار عند تيار دائر ص 438 . ضمن (20) مسألة محلولة تم معالجة عمل محركات التيار المستمر ذات التحريض المستقل وتطبيقات الكترونيات القدرة الكهربائية فيها .ص439-496

- ثامناً : مسائل عامة :
- عمل الجسور المضاعفة والمحرك التزامني . ص 499
- قيادة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف . ص 504
- نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر عالي التوتر . ص 510
- نظام نقل تيار مستمر عالي التوتر خفيف . ص 517
- المراجع العلمية ص 522
- المدقق العلمي واللغوي ص 524

مقدمة Introduction:

منذ عام 1976 ولغاية العام 2015 عملنا على تدريس علم الكترونييات القدرة الكهربائية لطلبة قسم هندسة الطاقة الكهربائية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة دمشق .ووضعنا خلال هذه الفترة من الزمن عدة كتب نظرية ومخبرية أطلقنا عليها اسم الكترونييات القدرة (1) و(2) .تعرضنا فيها لبنية الثيرستور وخواصه وبدعنا بعملية التقويم وتحليل عمل أنظمة التقويم لمختلف التركيبات والجسور الثيرستورية .وأشرنا للتطبيقات العملية لأنظمة التقويم وبيننا كيف تعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار ويمكن بواسطتها قيادة محركات التوتر المستمر ونقل الطاقة الكهربائية بالتوتر المستمر .

بعد ظهور الترانزستور كقاطع ساكن وتطوير الخطة الدراسية في الكلية عملنا على تدريس أنظمة الحجز القسرية والدوائر المستخدمة ،ثم تحليل عمل المقطعات بكافة أشكالها والممرجات والمدرجات ومبدلات التردد.

بعد أربعون عاماً من تدريس هذا المقرر ،وجدنا أنه من الضروري وضع كتاب شامل وحديث لمسائل محلولة في الكترونييات القدرة الكهربائية بكافة فروعها من أجل توسيع أفق طالب المرحلة الجامعية الأولى وتوجيهه وتشجيع طالب الدراسات العليا للتمكن من الخوض في المسائل الصعبة في هذا المجال . كما حاولنا تقديم معلومات إضافية عن المنهاج المقرر حتى يتمكن الطالب من الحصول على الثقة بالنفس وتمكنه من معالجة أية مشكلة هندسية في هذا المجال. وهذا يفرض مسألة اختيار المسائل ونوعيتها ،وطريقة حلها وتسلسل الأفكار الواجب عرضها ومحاولة إعادة صياغة الفكرة العلمية بأساليب متنوعة ويقال مختلف حتى لا يعتمد الطالب على الحفظ

ولهذه الغاية ونظراً لكبر حجم المعلومات التي تم وضعها ،اضطررنا إلى وضع كتابين للمسائل المحلولة ،الأول " مسائل محلولة في أنظمة التبديل من التيار المتناوب إلى التيار المستمر والتحكم بالمحركات " يدرس في الفصل الأول، والثاني " مسائل محلولة في أنظمة المقطعات والمبرجات والمدرجات يدرس في الفصل الثاني. العلاقات الرياضية والقوانين الواردة في الكتب الموضوعية ورد أغلبها بشكل مفصل في الكتب النظرية للإلكترونيات القدرة الكهربائية التي ندرسها ولم نتعرض لاستخراج كل القوانين بشكل نظري ،بل عمدنا إلى شرحها من خلال مسائل تطبيقية مباشرة وكما تم أحياناً التوسع بالشرح وفي التفاصيل نظراً لأهمية العلاقة ومفهومها الفيزيائي .ايضاً في بعض المسائل عمدنا إلى اعتماد رموز أخرى حتى يعتاد الطالب على تفهم المبدأ وليس حفظ العلاقة .تم حل جميع المسائل حلاً كاملاً مع رسم أمواج التوتر في الدخل والخرج ومتابعة التيارات والتوترات العكسية ، وتم رسم معظم النتائج على الحاسب .في ترتيب المسائل لم نراعي البدء بمسائل سهلة والانتقال لمسائل أكثر صعوبة ،بل تعمدنا طرح المسائل بشكل عشوائي ،ضمن الجزء الواحد حتى لا يتهرب الطالب من مراجعة جميع المسائل وقراءة حلها .

مسائل الكتاب هذه تمثل المفاهيم الأساسية لعلم الإلكترونيات القدرة الكهربائية وبدراسة هذه المسائل يتمكن الطالب أو المهندس من فهم كافة التطبيقات الهندسية لهذا العلم .حيث تم البدء بطرح الدارات الكهربائية المكونة من نصف ناقل وحيد وصولاً لأكثر التطبيقات الهندسية دقة وحداثة .وعليه نكون قد غطينا جسور التقويم المقادة والنصف مقادة التفرعية البسيطة والمضاعفة والتسلسلية .كما وضعنا العديد من المسائل في ربط المجموعات على التفرع وعلى التسلسل وصولاً للمجموعات ذات الاتجاه المزدوج للتيار وتطبيقاتها على المحركات التسلسلية وخطوط النقل بالتيار المستمر عالي التوتر ،والقيادة الذاتية للمحركات التزامنية .في الكتاب الثاني بدءنا بالتبديل والحجز القسري ثم عرضنا مسائل شاملة على المقطعات الثيرستورية والترانزستورية .وبعدها وضعنا

مسائل على معرجات التوتر والتيار وتطبيقاتها ثم وضعنا مسائل على منظمات التوتر المتناوب أو المدرجات ومبدلات التردد الثيرستورية.

بعد انتشار وتطور علوم الطاقات المتجددة كان لا بد من توسيع مدارك الطلاب في علم الكترونييات القدرة الكهربائية ،نظراً لكون مختلف مجالات الطاقة المتجددة (الشمسية والريحية وخلايا الوقود ،وتخزين القدرة) تعتمد على علم الكترونييات القدرة الكهربائية وأصبح من الضروري تفهم مرحلة الربط بين هذه المصادر (المنابع) المتنوعة والشبكة العامة أو المستمر المباشر .كما أن تطبيقات الجر الكهربائي وتنظيم السرعة سواء للمحركات الصناعية أو المولدات الريحية يتطلب التحكم بتوتر وتردد العمل لهذه الآلات ،وعليه فإن حل مسائل على هذه التطبيقات كان ضرورياً لتحقيق التكامل بين الكترونييات القدرة الكهربائية وكافة التقنيات الصناعية المتداولة عالمياً.

قسم كل كتاب إلى فصول متعددة ،في كل فصل تم حل ما أمكن من المسائل بحيث يستوفي الموضوع حقه دون تكرار وإطالة .في الكتاب الاول " مسائل محلولة في أنظمة التبديل من التيار المتناوب إلى التيار المستمر والتحكم بالمحركات " تم معالجة مسائل التبديل من التوتر المتناوب إلى التوتر المستمر .وفي الكتاب الثاني " مسائل محلولة في أنظمة المقطعات والمعرجات والمدرجات " تم معالجة أنظمة التبديل من المستمر إلى المستمر ،ومن المستمر إلى المتناوب ،وكذلك من المتناوب إلى المتناوب سواء عند نفس التردد أو عند تردد أقل .

المؤلف

الفصل الأول

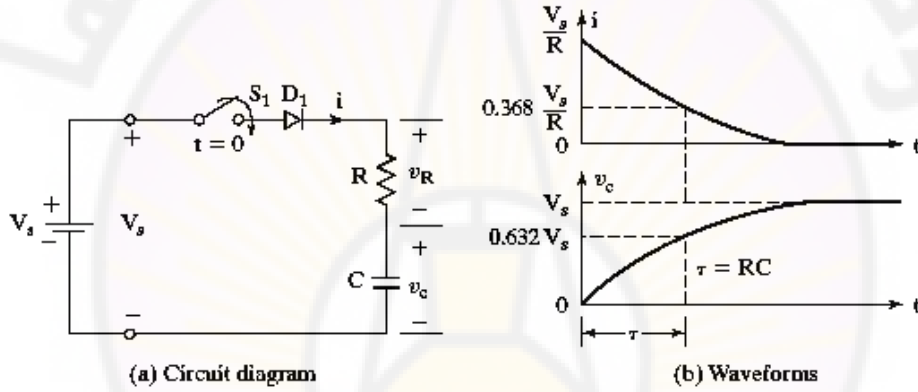
أولاً : مقدمة عامة لدارات الثنائي

وتشغيله عند مختلف الحالات

1- دارة ثنائي (ديود) مع حمل RC أو RL : Diodes with RC & RL loads

1-1: حالة ثنائي (ديود) وحمل مكون من مقاومة ومكثف R و C:

الشكل (1) يمثل دارة منبع تيار مستمر V_S وديود محمل بمقاومة R ومكثف C. باعتبار الديود مثالي، لدى إغلاق القاطع S_1 عند زمن $t=0$ ، تيار الشحن i سوف يمر عبر الدارة وبوضع معادلات الدارة نجد:



الشكل (ب-1-1) توتر وتيار المكثف الشكل (أ-1-1) مخطط الدارة لحظة التوصيل

$$V_S = V_R + V_C = V_R + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + V_C(t=0) \dots \dots (1)$$

$$V_R = R \cdot i$$

باستخدام تحويل لابلاس يمكن كتابة المعادلة أعلاه بالشكل:

$$\frac{V_S}{S} = RI(S) + \frac{1}{CS} I(S) \dots \dots (2)$$

بحل هذه المعادلة من أجل $I(S)$:

$$I(S) = \frac{V_s}{R(S + \alpha)} \dots\dots\dots(3)$$

$\alpha = \frac{1}{RC}$. باستخدام التحويل العكسي للابلاس, نجد كتابع للزمن أن:

$$i(t) = \frac{V_s}{R} e^{-\alpha t} \dots\dots\dots(4)$$

وأن التوتر عبر المكثف يعطى بالعلاقة:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = V_s (1 - e^{-\alpha t}) \dots\dots\dots(5)$$

في هذه الحالة المستقرة عند $t = \infty$:

$$I_s = i = 0$$

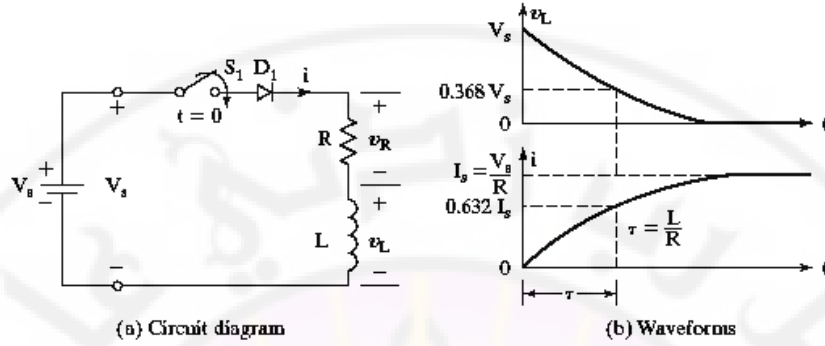
$$V_C = U_C = \frac{V_s}{R} \dots\dots\dots(6)$$

2-1: حالة ثنائي (ديود) وحمل مكون من حثية ومقاومة R و L:

في هذه الحالة لدى إغلاق القاطع S عند الزمن $t=0$ سوف يبدأ التيار i بالمرور والتزايد حسب العلاقة:

$$V_s = V_L + V_R + E = L \frac{di}{dt} + Ri + E \dots\dots\dots(7)$$

- عند الشروط الأولية قبل إغلاق القاطع، لدينا $i(t=0) = I_1$ وبالتحويل إلى مستوى لابلاس نجد:



الشكل (ب-1-2) توتر الملف وتياره الشكل (أ-1-2) مخطط الدارة

$$\frac{V_s}{S} = LSI(S) - LI_1 + RI(S) + \frac{E}{S} \dots \dots \dots (8)$$

بحل المعادلة على مستوى لابلاس لدينا:

$$\begin{aligned} I(S) &= \frac{V_s - E}{LS(S + \beta)} + \frac{I_1}{S + \beta} \\ &= \frac{V_s - E}{R} \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S + \beta} \right) + \frac{I_1}{S + \beta} \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

حيث: $\beta = \frac{R}{L}$ ، وبأخذ التحويل العكسي للابلاس نجد:

$$i(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-\beta t}) + I_1 e^{-\beta t} \dots \dots \dots (10)$$

إذا لم يكن لدينا تيار أولي في الملف ($I_1=0$) نجد:

$$i(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-\beta t}) \dots \dots \dots (11)$$

عند $t = \infty$:

$$I_s = i(t = \infty) = \frac{V_s}{R}$$

كما أن التوتر عبر الملف V_L سوف يعطى بالعلاقة:

$$V_{L(t)} = L \frac{di}{dt} = V_s e^{-\frac{R}{L}t} \dots\dots\dots(12)$$

مثال (1):

دائرة مكونة من ثنائي (ديود) ومقاومة ومكثف، مبينة بالشكل (1-3-1) حيث $C=0.1\mu F$, $R=44\Omega$.

للمكثف توتر أولي $V_{C0} = V_C(t=0) = 220 V$

إذا تم إغلاق القاطع S1 عند الزمن $t=0$ ، بين لنا:

a. تيار الديود الأعظمي (Peak diode current).

b. القدرة المبددة في المقاومة R.

c. توتر المكثف بعد $t=2\mu S$.

الحل:

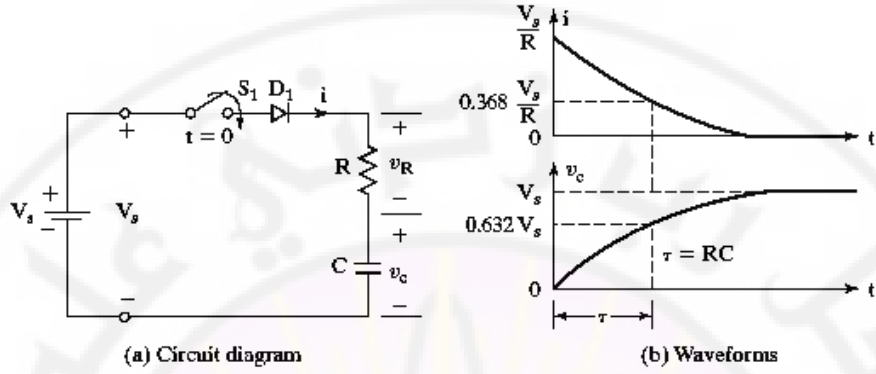
a. باستخدام العلاقة (4) أعلاه، واعتبار $V_s = V_{C0}$ فإن القيمة العظمى للتيار المار بالدائرة I_p سيكون مساوياً:

$$I_p = \frac{V_{C0}}{R} = \frac{220}{44} = 5A.$$

b. القدرة المبددة في المقاومة R تعطى بالشكل:

$$W = \frac{1}{2} C V_{C0}^2 = \frac{1}{2} \times 0.1(10^{-6}) \times (220)^2 = 0.00242 J$$

$$W = 2.42 mJ$$



الشكل (ب-3-1) توتر شحن المكثف والتيار المار بالدائرة الشكل (آ-3-1) مخطط الدارة

c. توتر المكثف بعد الزمن t يمكن حسابه من العلاقة:

$$V_C(t = 2\mu S) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$\alpha = \frac{1}{RC} \text{ ثابت الزمن للدائرة.}$$

$$RC = 44 \times 0.1\mu = 4.4\mu Sec$$

$$t = 2\mu Sec$$

وعليه :

$$V_C = 220 \times e^{-2/4.4} = 139.64 Volts.$$

2- دارة ثنائي مع أحمال LC أو RLC: Diode with LC and RLC loads

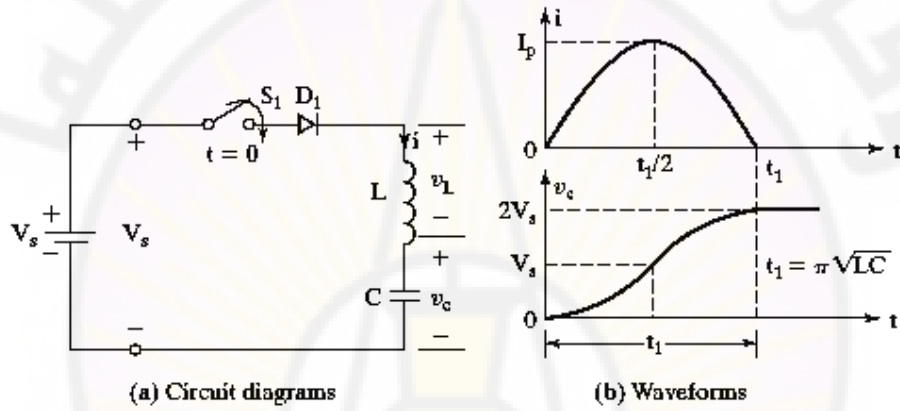
1-2 حالة ثنائي (ديود) وحمل مكون من حثية ومكثف LC:

الشكل (آ-4-1) يمثل دارة منبع تيار مستمر وديود محمل بملف ومكثف، لدى إغلاق القاطع S1 عند الزمن $t=0$ سيمر تيار شحن في الدارة يعطى بالعلاقة:

$$V_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i dt + V_C(t=0) \dots \dots \dots (13)$$

عند الشروط الأولية $V_C(t=0) = 0$ $i(t=0) = 0$ يمكن كتابة المعادلة حسب تحويل لابلاس بالشكل:

$$\frac{V_s}{S} = LS.I(S) + \frac{1}{CS} I(S) \dots \dots \dots (14)$$



الشكل (ب-4-1) تيار وتوتر المكثف الشكل (أ-4-1) مخطط الدارة لحظة التوصيل

بحل المعادلة عند مستوى لابلاس:

$$I(S) = \frac{V_s}{L(S^2 + \omega_m^2)} \dots \dots \dots (15)$$

حيث: $\omega_m = 1/\sqrt{LC}$ والتحويل العكسي للابلاس يعطي التيار المار بالشكل:

$$i(t) = V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \sin(\omega_m t) \dots \dots \dots (16)$$

$$= I_p \sin \omega_m t$$

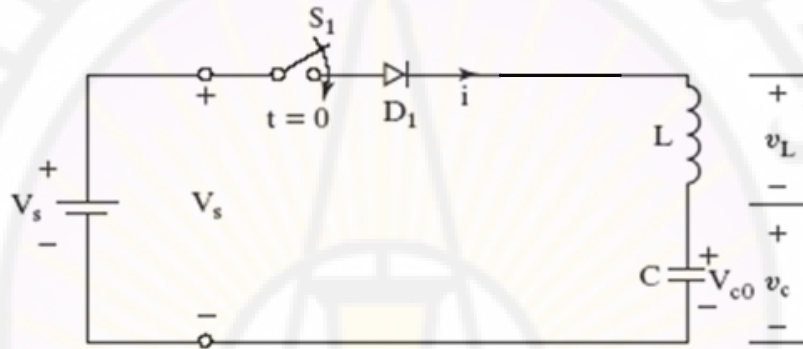
وعليه فإن توتر المكثف كتابع للزمن سيكون:

$$V_C(t) = \frac{1}{C_0} \int_0^t i(t) dt = V_s [1 - \cos(\omega_m t)] \dots \dots \dots (17)$$

2-2: دائرة LC واعتبار أن تيار الملف I_m ، وأن التوتر الأولي للمكثف V_0 :

يمكن كتابة معادلة الدارة المبينة بالشكل (1-5) أدناه على الشكل التالي:

$$V_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + V_C(t=0)$$



الشكل (1-5) الدارة المكافئة لحظة البدء

عند الشروط الأولية هذه :

$$i(t=0) = I_m ; \quad V_C(t=0) = V_0$$

وهنا $V_0 = -2V_s$.

وتحويل لابلاس يصبح:

$$\frac{V_s}{S} = LS.I(S) - L.I_m + \frac{1}{CS} + \frac{V_0}{S}$$

وبحل المعادلة بدلالة $I(S)$ نجد:

$$I(S) = \frac{V_s - V_0}{L(S^2 - \omega_m^2)} + \frac{SI_m}{S^2 + \omega_m^2} \dots \dots \dots (18)$$

وحيث أن : $\omega_m = 1/\sqrt{LC}$

ومنه فإن تحويل لابلاس العكسي يعطي معادلة التيار بدلالة الزمن وهو:

$$i(t) = (V_s - V_0) \sqrt{\frac{C}{L}} \sin(\omega_m t) + I_m \cos(\omega_m t) \dots \dots \dots (19)$$

وتوتر المكثف يعطى بالشكل:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + V_0$$

$$V_C(t) = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin(\omega_m t) - (V_s - V_0) \cos(\omega_m t) + V_s \dots \dots \dots (20)$$

مثال (2):

دائرة ثنائي (ديود) محمل بملف ومكثف LC كما في الشكل (أ-6-1) أدناه،
بفرض أن للمكثف توتراً أولياً:

$$V_C(t=0) = -V_{C0} = V_0 - 220$$

سعة المكثف $C=20\mu F$ و الحثية $L=80\mu H$ ، لدى إغلاق القاطع S1 عند الزمن
 $t=0$ حدد ما يلي:

- القيمة العظمى لتيار الديود.
- زمن توصيل الديود.
- توتر المكثف النهائي بعد الاستقرار (steady- state).

الحل:

a. باستخدام قانون التوتر لكيرشوف (Kirchhoff's) يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i dt + V_C(t=0) = 0$$

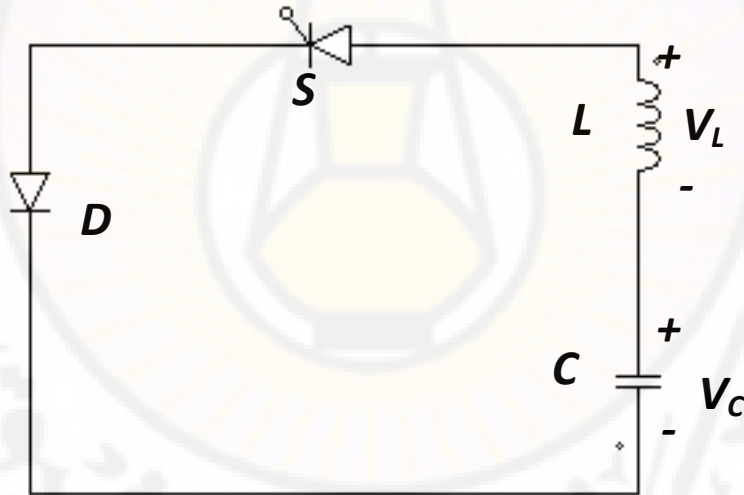
حسب الشروط الأولية: $i(t=0)=0$ و $V_C(t=0)=-V_{C0}$ بحل المعادلة نجد:

$$i(t) = V_{C0} \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_0 t$$

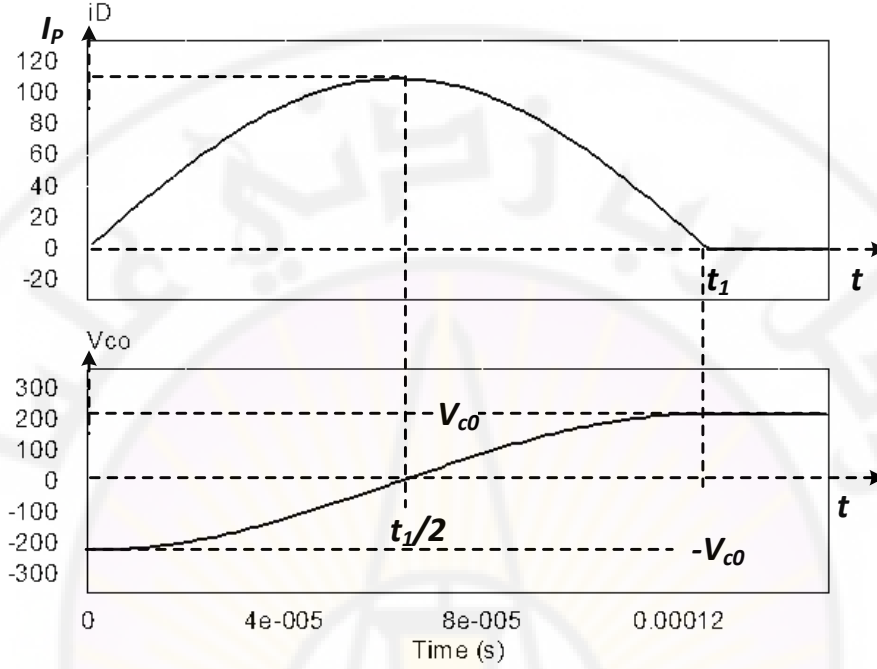
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{10^6}{\sqrt{20 \times 80}} = 25000 \text{ rad / S}$$

- القيمة العظمى لتيار الديود:

$$I_p = V_{C0} \sqrt{\frac{C}{L}} = 220 \sqrt{\frac{20}{80}} = 110 \text{ A}$$



الشكل (أ-6-1) دائرة الاستطاعة لحظة التوصيل



الشكل (ب-6-1) توتر تفريغ المكثف والتيار المار بالثنائي

b. عند الزمن $t = t_1 = \pi\sqrt{LC}$ يصبح تيار الديود مساوياً للصفر وزمن توصيل الديود هو t_1 .

$$t_1 = \pi\sqrt{LC} = \pi\sqrt{80 \times 20} = 125.66 \mu s$$

c. توتر المكثف النهائي يعطى بالعلاقة:

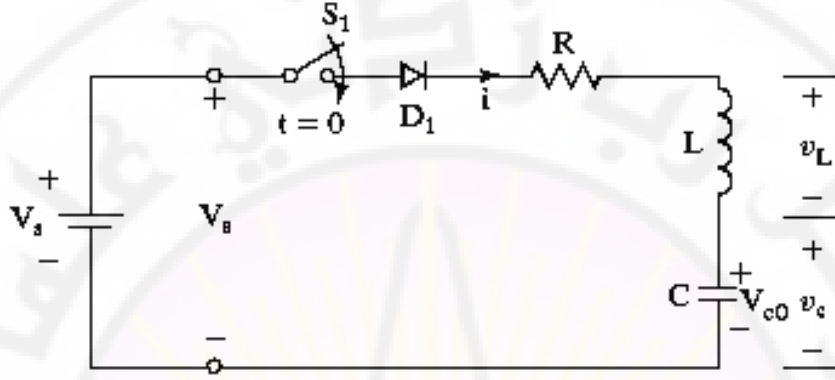
$$V_C(t) = \frac{1}{C_0} \int i_D dt - V_{C0} = -V_{C0} \cos \omega_0 t$$

$$V_C(t_1) = -220 \cos \pi = 220V$$

3- حالة دائرة ثنائي (ديود) محمل بـ RLC:

في الدارة المبينة بالشكل (1-7) يتم إغلاق القاطع S_1 عند الزمن $t=0$ وباستخدام كيرشوف لحساب التيار يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + V_C(t=0) = V_s \dots \dots \dots (21)$$



الشكل (1-7) دائرة محملة بمقاومة وملف ومكثف

الشروط الأولية:

$$V_C(t=0) = V_{C0}$$

بأخذ مشتق العلاقة أعلاه (21) والتقسيم على L يمكن أن نكتب مايلي:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0 \dots \dots \dots (22)$$

في نهاية فترة الإقلاع سوف يشحن المكثف لتوتر المنبع V_s ويصبح التيار $i=0$ والمعادلة المميزة (Characteristic) في مستوى اللاپلاس هي:

$$S^2 + \frac{R}{L} S + \frac{1}{LC} = 0 \dots \dots \dots (23)$$

وجذور هذه المعادلة هي:

$$S_{1,2} = \frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \dots \dots \dots (24)$$

وهنا يمكن أن نعرف عامل التخماد (Damping factor) دائرة من الدرجة الثانية
ب :

$$\alpha = \frac{R}{2L} \dots\dots\dots (25) \text{ (عامل التخماد)}$$

ونعرف تردد الطنين (Resonant frequency):

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (26)$$

بتعويض هذه العوامل بالمعادلة (24) نجد:

$$S_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \dots\dots\dots (27)$$

حل المعادلة بالنسبة للتيار سوف يعتمد على قيم α و ω_0 وتوجد ثلاثة احتمالات:

الحالة الأولى: إذا كان $\alpha = \omega_0$ فالجذور متساوية $S_1 = S_2$ ويقال أن الدارة متخامدة بشكل حرج (Critically damped) والحل يأخذ الشكل العام التالي:

$$i(t) = (A_1 + A_2 t) e^{s_1 t} \dots\dots\dots (28)$$

الحالة الثانية: إذا كان $\alpha > \omega_0$ يقال أن الجذور حقيقية وأن الدارة فوق التخماد (over-damped) والحل يأخذ الشكل العام التالي:

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 t e^{s_2 t} \dots\dots\dots (29)$$

الحالة الثالثة: إذا كان $\alpha < \omega_0$ الجذور عقدية (Complex) والدارة تحت التخماد (Under damped) والجذور هي:

$$S_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_r \dots\dots\dots (30)$$

حيث ω_r يسمى عندئذ تردد الطنين (Ringing frequency) أو تردد الطنين التخمادي

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} \dots\dots\dots (31)$$

والحل العام من الشكل:

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega_r t + A_2 \sin \omega_r t) \dots (32)$$

وهو عبارة عن تيار جيبي متخامد.

الثوابت A_1 و A_2 تحدد من الشروط الأولية للدارة. $\delta = \frac{\alpha}{\omega_0}$ المعروفة بمعدل

التخامد (Damping ratio) تساوي

$$\delta = \frac{R}{2\sqrt{C/L}} \dots (33)$$

دارات الكترونيات القدرة الكهربائية عموماً تحت التخامد، وتيار الدارة قريب من الشكل الجيبي.

مثال (3):

بالعودة للشكل (1-7) لدينا توتر المنبع $V_s = 220V$ الحثية $L = 2mH$ والسعة $C = 0.05\mu F$ المقاومة $R = 160\Omega$. القيمة الأولية لتوتر شحن المكثف معدومة $V_{CO} = 0$ وتيار الدارة معدوم.

إذا تم إغلاق القاطع S عند $t = 0$ حدد ما يلي:

a- العلاقة النازمة للتيار $i(t)$.

b- زمن توصيل الثنائي (الديود).

c- ارسم الشكل العام للتيار $i(t)$.

الحل:

a- من العلاقة (25) $\alpha = \frac{R}{2L}$ لدينا:

$$\alpha = 160 \times \frac{10^3}{2 \times 2} = 40000 \text{ rad / s}$$

و من العلاقة (26) $\omega = 1/\sqrt{LC}$ نجد أن $\omega = 10^5 \text{ rad/s}$

- تردد الطنين من العلاقة (31) يحسب بالشكل:

$$\omega_r = \sqrt{10^{10} - 16 \times 10^8} = 91.652 \text{ rad/s}$$

بما أن $\alpha < \omega_0$ فالدارة تحت التخامد والحل العام يعطى بالشكل حسب العلاقة (32):

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega_r t + A_2 \sin \omega_r t)$$

عند $t=0$, $i(t=0)=0$, $A_1=0$, يصبح شكل المعادلة:

$$i(t) = e^{-\alpha t} A_2 \sin \omega_r t$$

مشتق $i(t)$:

$$\frac{di}{dt} = \omega_r \cos \omega_r t A_2 e^{-\alpha t} - \alpha \sin \omega_r t A_2 e^{-\alpha t}$$

عندما نغلق القاطع يقدم المكثف ممانعة منخفضة والملف يقدم ممانعة مرتفعة.

ومعدل التزايد تحدده الحثية L . لذا عند $t=0$ الدارة $\frac{di}{dt}$ تصبح مساوية $\frac{V_s}{L}$ لذا:

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \omega_r A_2 = \frac{V_s}{L}$$

ويمكن حساب الثابت:

$$A_2 = \frac{V_s}{\omega_r L} = \frac{220 \times 1000}{91.652 \times 2} = 1.2 \text{ A}$$

والتعبير النهائي لمعادلة التيار $i(t)$ تصبح من الشكل:

$$i(t) = 1.2 \sin(91.652t) e^{-40000t}$$

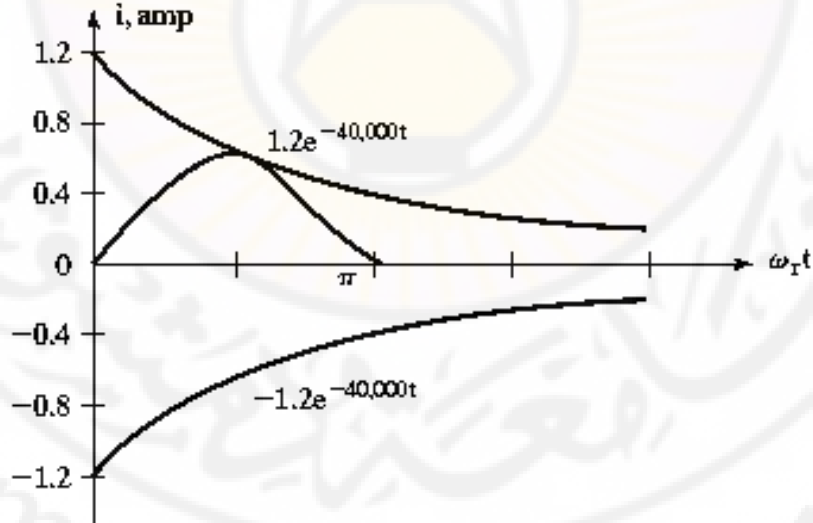
b. زمن توصيل الديود t_1 نحصل عليه عندما يصبح $i=0$ وعليه:

$$\omega_r t_1 = \pi \quad \text{or} \quad t_1 = \frac{\pi}{91.652} = 34.27 \mu\text{s}$$

ملاحظة:

- التيار في الدارة المهتزة LC عند الطنين يصل إلى القيمة العظمى $V_s(\frac{C}{L})$.
وإن الديود الثنائي D_1 في هذه الدارات يوقف إمكانية عكس اتجاه التيار المار لذا فإن الاهتزاز يأخذ فقط نصف دور وسيرتفع توتر المكثف للقيمة $2V_s$.
- التيار في الدارات RLC يتبع عامل التخماد δ الذي يساوي عندئذ
$$\delta = (\frac{R}{2})(\frac{C}{L})$$

- دوائر الكترونيئات القدرة الكهربائية عموماً هي دارات تحت التخماد حيث أن تيار الدارة يصبح ذا شكل قريب من الجيبي.
- C - أشكال التيارات يعبر عنها كما يلي:



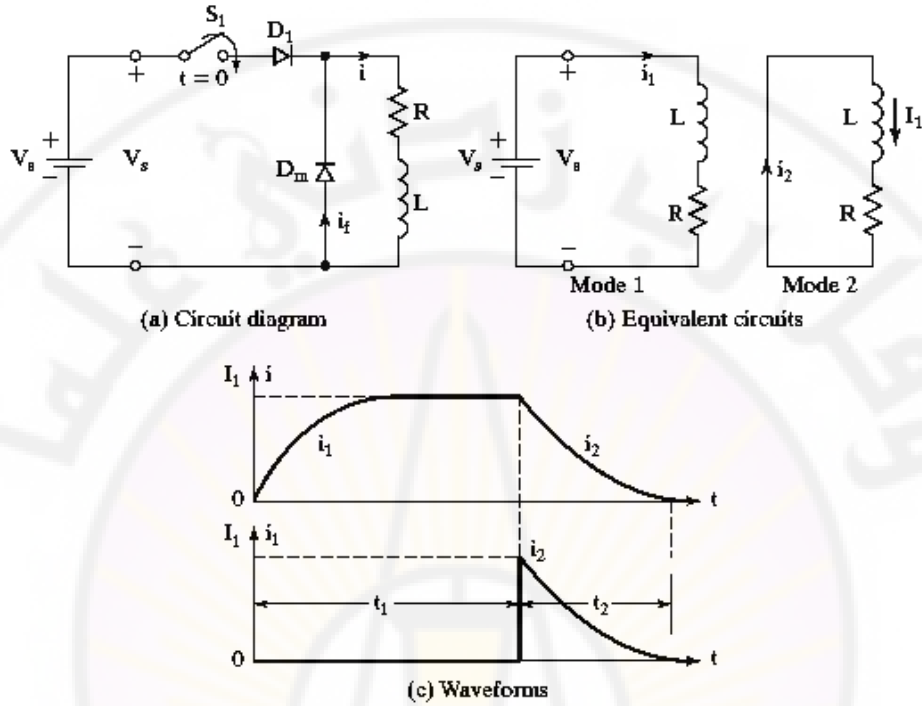
الشكل (1-8) موجة التيار للمثال الثالث.

4- الثنائيات (الديودات) الحرة: Free Wheeling Diodes

1-4: آلية عمل الديود الحر:

في الشكل (1-9-أ) المكون من منبع توتر وحمل تحريضي ذي مقاومة حمل عموماً صغيرة يغذى عن طريق القاطع S_1 والديود D_1 . تم ربط الديود D_m على طرفي الحمل. طريقة ربط هذا الديود تسمى بالديود الحر Freewheeling diodes ذلك لأنه إذا تم إغلاق القاطع S_1 خلال الزمن t_1 ، سيمر التيار في الحمل ولدى فتح القاطع S_1 ، يلزم توفير مسار لتيار الحمل في الأحمال التحريضية وإلا فإن القدرة التحريضية سوف تولد توتراً عالياً قد تبديد كحرارة عبر القاطع نفسه مشكلة شرارة عالية في القاطع.

عمل الدارة يمكن تجزئته إلى مرحلتين. مرحلة أولى (Mode 1) والتي تبدأ عند الزمن $t=0$ لدى إغلاق القاطع، والمرحلة الثانية (Mode 2) والتي تبدأ لدى فتح القاطع S_1 عند $t = t_1$ والشكل (ب-1-9) يوضح كلتا المرحلتين. التيارات المتغيرة i_1 و i_2 تعبر عن القيم اللحظية للمراحل الأولى و الثانية. و الشكل (س-1-9) يرسم شكل التيارات المارة في كلتا المرحلتين.



الشكل a- (1-9-أ) مخطط الدارة، b- الشكل (ب-9-1) الدارة المكافئة، c - الشكل (س-9-1) التيارات المارة

المرحلة الأولى:

خلال هذه المرحلة أو الفترة، يمر التيار i_1 (بالديود) الثنائي طبقاً للعلاقة التالية:

$$i_1(t) = \frac{V_s}{R}(1 - e^{-t.R/L}) \dots \dots \dots (34)$$

لدى انتهاء هذه الفترة وفتح القاطع S_1 عند الزمن $t=t_1$ سيكون التيار معطى بالعلاقة:

$$I_1 = i_1(t=t_1) = \frac{V_s}{R}(1 - e^{-t_1.R/L}) \dots \dots \dots (35)$$

كاف و طويل، سوف يصل التيار إلى حالة الاستقرار t_1 في حال كون الزمن

$$I_s = \frac{V_s}{R} \text{ (34) ويساوي}$$

المرحلة الثانية:

تبدأ هذه الفترة فور فتح القاطع S_1 ، عندها يبدأ التيار بالمرور عبر الديود الحر D_m ومعادلة الحلقة التي يمر بها التيار هي:

$$0 = L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 \text{ (37)}$$

باعتبار الشروط الأولية $i_2(t=0) = I_1$ حل المعادلة التفاضلية (37) أعلاه يعطينا تيار الديود الحر $i_f = i_2$ وهو من الشكل:

$$i_2(t) = I_1 e^{-t.R/L} \text{ (38)}$$

عند الزمن $t = t_2$ يتناقص التيار i_2 ليصل إلى الصفر. وقد لا يصل هذا التيار للصفر غالباً لأن $t_2 < \frac{L}{R}$. كما أن i_1 لا يصل لحالة الاستقرار النهائي.

مثال 4:

لمعرفة القدرة المخزنة في الملف وعمل الديود الحر، وحسب الشكل (أ-10-1) باعتبار أن المقاومة $R=0$ ، وأن توتر المنبع $V_s = 220 \text{ V}$ وأن حثية الحمل $L = 220 \mu\text{H}$ ، بين ما يلي:

a. ارسم شكل موجة تيار الحمل، علماً أن زمن الوصل للقاطع كان $100 \mu\text{s}$ ومن ثم تم فتحه.

b. حدد القدرة النهائية المخزنة في حثية الحمل.

الحل:

a. الشكل (1-10-آ) يوضح مخطط الدارة المستخدمة، الشكل (ب-10-1) يوضح التيار I الذي يبدأ عند الزمن $t=0$ ويرتفع خطياً ويعطى بالعلاقة:

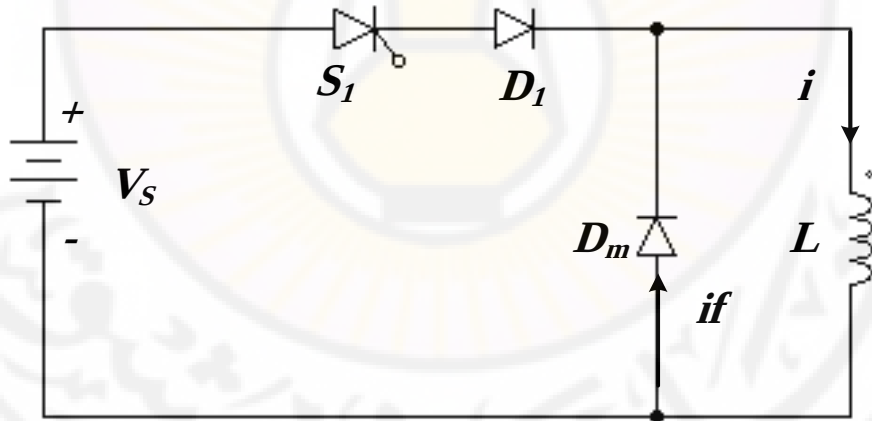
$$i(t) = \frac{V_s}{L} t$$

عند $t = t_1$

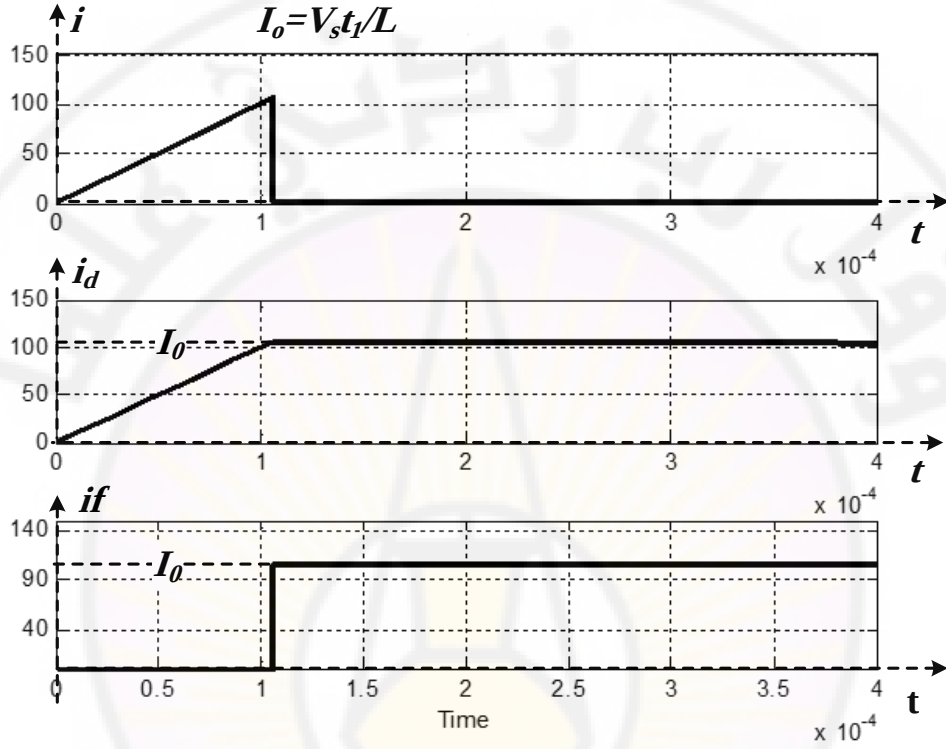
$$I_0 = \frac{V_s t_1}{L} = \frac{220 \times 100 \mu s}{220 \mu H} = 100 A$$

b. لدى فتح القاطع S_1 عند الزمن $t = t_1$ يبدأ تيار الحمل بالمرور عبر الديود الحر مبتدئاً من نفس القيمة I_1 (ونظراً لعدم وجود مقاومة حمل) يمكن رسم تيار الديود الحر وكأنه ثابت ويساوي $100 A$. القدرة المخزنة بالحثية :

$$W = 0.5 L I_0^2 = 1.1 J$$



شكل (1-10-آ) مخطط الدارة المستخدمة



شكل (ب-10-1) التيارات في مختلف عناصر الدارة

2-4: استعادة القدرة المخزنة للمنبع باستخدام ديود:

Recovery of trapped energy with a diode

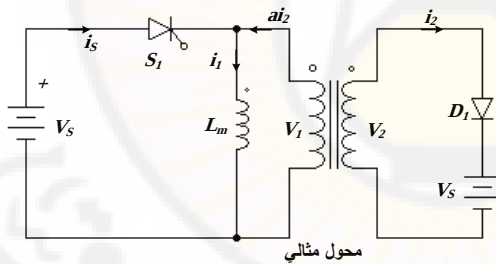
في الدارات المثالية (دون مقاومة) كما في المثال 4 أعلاه، القدرة المخزنة في الملف تبقى محجوزة في الملف ولا تتلاشى نظراً لعدم وجود مقاومة. في الحالات العملية يفضل استرداد هذه القدرة ورفع مردود النظام و ذلك بإعادة حقن هذه القدرة في المنبع.

الاستعادة هذه يمكن تحقيقها بإضافة ملف ثاني ووضع ديود D_1 معه الشكل (1-11-آ). يشكل الملف الأولي L و الملف الإضافي الثاني محول، يجب أن تكون قطبية هذين الملفين متعاكسة، الملف الثانوي الذي يسهل عودة القدرة المخزنة للمنبع عبر الديود D_1 يعرف باسم ملف الحقن العكسي Feedback winding.

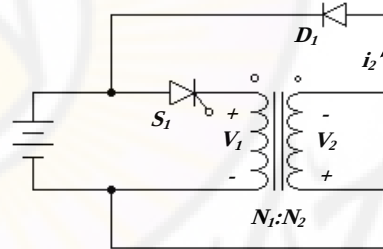
لنفرض لدينا محول ذي ممانعة مغنطة L_m كما في الشكل (ب-1-11) الذي يوضح الدارة المكافئة للمحول.

إذا تم نسب الديود والتوتر الثانوي للمحول الابتدائي، فإن الدارة المكافئة تصبح حسب الشكل (س-1-11). التيارات i_1' و i_2 تخص الابتدائي والثانوي من المحول. نسبة عدد اللفات (Turn ratio) للمحول المثالي هي:

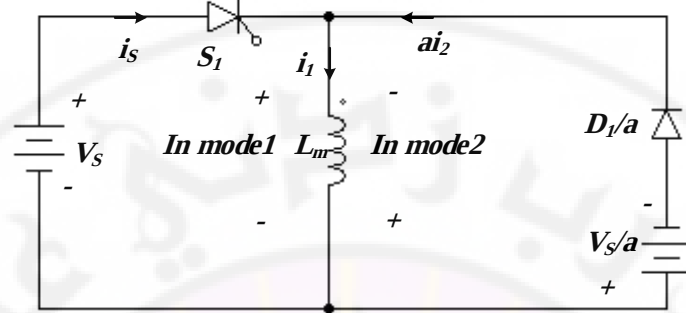
$$a = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots (39)$$



الشكل (ب-1-11) الدارة المكافئ



الشكل (آ-1-11) مخطط الدارة



الشكل (س-11-1) الدارة المكافئة النهائية

هنا أيضاً، عمل الدارة يمكن وصفه بمرحلتين، المرحلة الأولى عند وصل القاطع S و $t=0$. والمرحلة الثانية لدى فتح القاطع عند الزمن t_1 وتركه مفتوحاً لفترة t_2 .
* المرحلة الأولى:

خلال هذه المرحلة S_1 مغلق، D_1 منحاز عكسياً والتيار $i_2=0$ و $a i_2=0$ ،
 $V_s = (V_D - V_s)/a$ ، حسب الشكل (12-a) ومن هنا يمكن حساب قيمة التوتر العكسي على الديود:

$$V_D = V_s (1 + a) \dots \dots \dots (40)$$

- بفرض عدم وجود تيارات أولية في الدارة، تيار الابتدائي مساوٍ لتيار القاطع i_s ويعطى بالشكل:

$$V_s = L_m \frac{di_1}{dt} \dots \dots \dots (41)$$

والذي يعطى من أجل $0 \leq t \leq t_1$

$$i_1(t) = i_s(t) = \frac{V_s}{L_m} t \dots \dots \dots (42)$$

في نهاية هذه الفترة حيث $t = t_1$ يصبح تيار الابتدائي:

$$I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1 \dots \dots \dots (43)$$

*** المرحلة الثانية:**

خلال هذه المرحلة القاطع مفتوح، والتوتر عبر الملف سينعكس، والديود D_1 سينحاز أمامياً وينتقل للتوصيل، ويمر تيار إلى ثانوي المحول والقدرة المخزنة في الملف سوف تعاد للمنبع. بالعودة للدائرة المكافئة يمكن التعبير عن التيار الأولي بالعلاقة:

$$L_m \frac{di_1}{dt} + \frac{V_s}{a} = 0 \dots \dots \dots (44)$$

الشروط الأولية $i_1(t=0) = I_0$ ويمكن حل معادلة التيار بالشكل:
من أجل $0 \leq t \leq t_2$

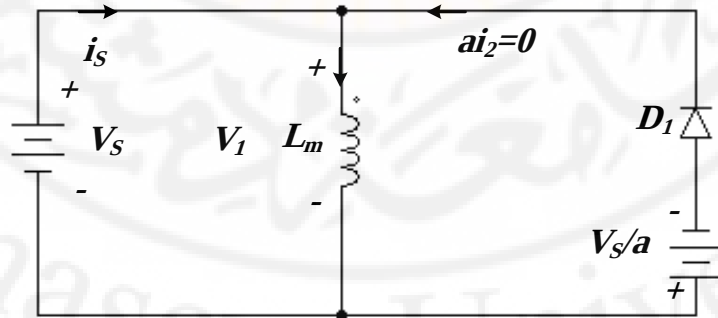
$$i_1(t) = -\frac{V_s}{aL_m}t + I_0 \dots \dots \dots (45)$$

زمن توصيل الديود D_1 يمكن إيجاده من الشرط بأن: $i_1(t=t_2) = 0$
حيث:

$$t_2 = \frac{aL_m I_0}{V_s} = at_1$$

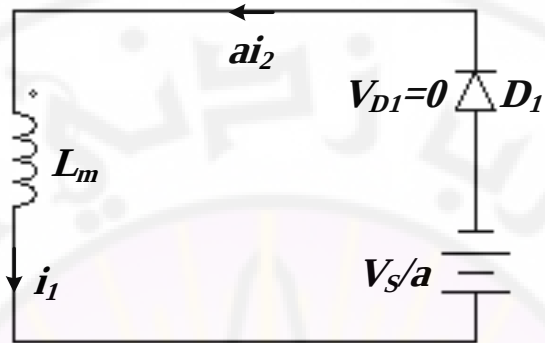
عند نهاية هذه الفترة $t = t_2$ يتم إعادة كامل القدرة المخزنة في الملف L_m للمنبع.

والشكل (1-12-آ) يوضح كافة هذه المراحل حيث $(a = \frac{10}{6})$

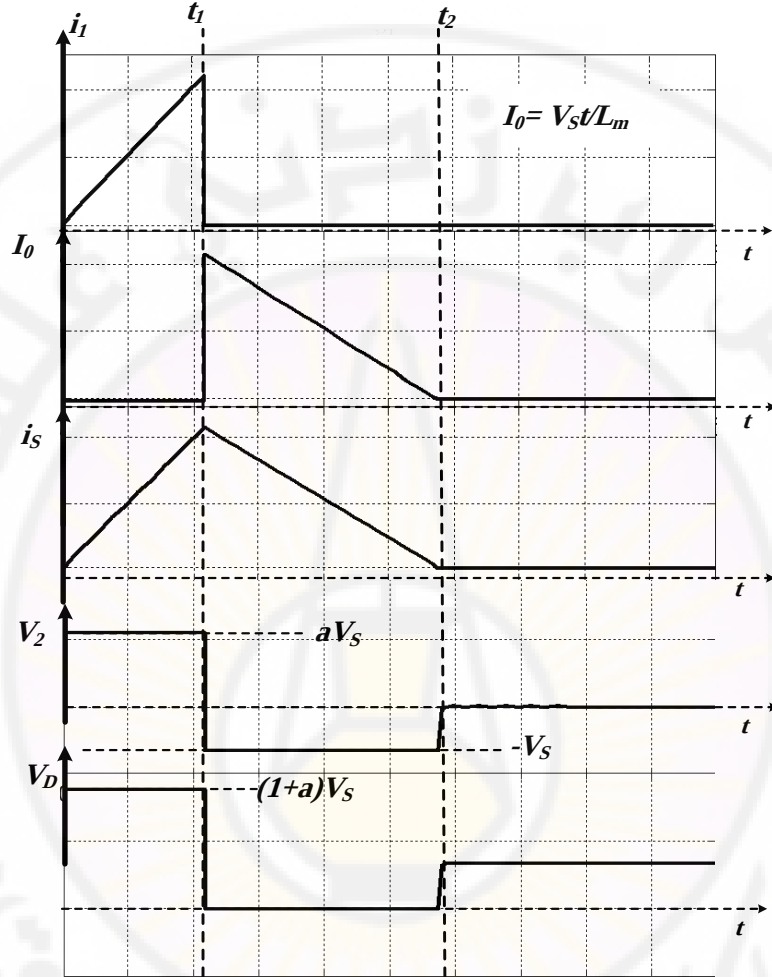


Mode1

الشكل (أ-12-1) المرحلة الأولى من العمل



الشكل (ب-12-1) مرحلة استعادة القدرة



الشكل (س-12) التيارات والتوترات خلال مراحل العمل

مثال 5:

في دارة استعادة القدرة شكل (آ-12-1) السابق إذا كانت ممانعة المغنطة $L_m = 250 \mu H$ و $N_1 = 10$ و $N_2 = 100$ مع إهمال مقاومة و ممانعة التسريب

للمحول. بفرض أن توتر المنبع $V_s = 220 \text{ V}$ ، وعند حالة عدم وجود تيار أولي تم وصل القاطع S_1 لفترة زمنية $t_1 = 50 \mu\text{s}$ ثم تم فتحه المطلوب:

a. حدد التوتر العكسي المتشكل على الديود D_1 .

b. القيمة العظمى لتيار الابتدائي.

c. القيمة العظمى لتيار الثانوي.

d. حدد فترة توصيل الديود D_1 .

e. حدد القدرة المحقونة بالحمل.

الحل:

$$a = \frac{N_2}{N_1} = \frac{100}{10} = 10 \quad \text{نسبة التحويل للمحول:}$$

a. باعتماد العلاقة (40) نجد:

$$V_D = V_s (1 + a) = 220(1 + 10) = 2420 \text{ V}$$

b. باعتماد العلاقة (43) نجد القيمة العظمى لتيار الابتدائي:

$$I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1 = 220 \times \frac{50 \times 10^{-6}}{250 \times 10^{-6}} = 44 \text{ A}$$

c. القيمة العظمى لتيار الثانوي:

$$I_0' = \frac{I_0}{a} = \frac{44}{10} = 4.4 \text{ A}$$

d. زمن توصيل الديود يعطى من العلاقة (46):

$$t_2 = \frac{a L_m I_0}{V_s} t_1 = 250 \times 44 \times \frac{10}{220} = 500 \mu\text{s}$$

e. قدرة المنبع:

$$W = \int_0^{t_1} V i dt = \int_0^{t_1} V_s \frac{V_s}{L_m} t dt = \frac{1}{2} \frac{V_s^2}{L_m} t_1^2$$

باستخدام I_0 من العلاقة $(I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1)$ نجد أن:

$$W = 0.5 L_m \cdot I_0^2 = 0.5 \times 250 \times 10^{-6} \times 44^2 = 0.242 J$$

$$W = 242 mJ \quad \text{القدرة المستردة:}$$

Diode Rectifiers

5- المقومات غير المقادة

1-5: مقوم وحيد الطور نصف موجة و حمل أومي:

Single-Phase Half-Wave Rectifiers with Resistive Load.

لدينا دائرة تقويم مكونة من ديود وحيد ، شكل (أ-13-1) محملة بحمل أومي صرف R . حدد لنا ما يلي:

- المردود.
- عامل الشكل للتوتر Form factor.
- عامل التعرّيج Ripple factor.
- عامل استخدام المحول Transformer utilization factor.
- التوتر العكسي الأعظمي على الديود D_1 . Pic Reverse Voltage.
- معامل الشكل Crest factor لتيار الدخل.
- عامل الاستطاعة في الدخل Power factor.

الحل:

القيمة المتوسطة لتوتر الخرج المستمر V_{dc} هي حسب العلاقة:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt$$

من الشكل (13-a) نلاحظ أن : $V_L(t) = 0$ من أجل $\frac{T}{2} \leq t \leq T$ لذا سيكون

لدينا:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_m \sin \omega t dt = \frac{-V_m}{\pi} \left(\cos \frac{\omega T}{2} - 1 \right)$$

- تردد منبع التغذية $f = \frac{1}{T}$ والسرعة الزاوية $\omega = 2\pi f$ وعليه:

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

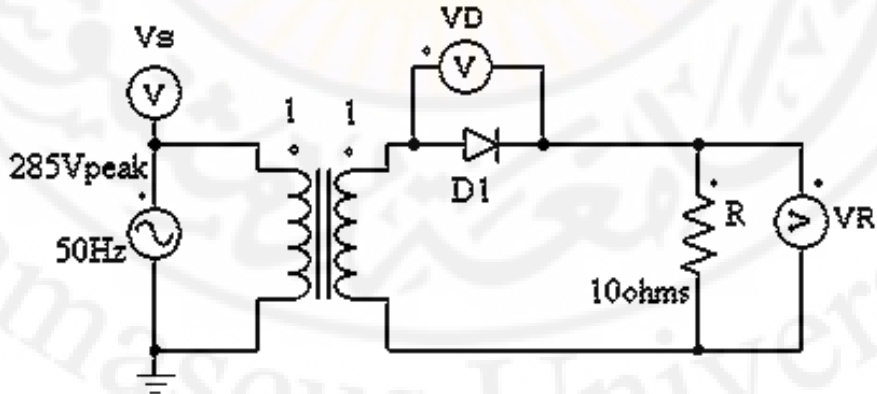
$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = 0.318 \frac{V_m}{R}$$

- القيمة الفعالة للموجة الدورية تعطى بالعلاقة:

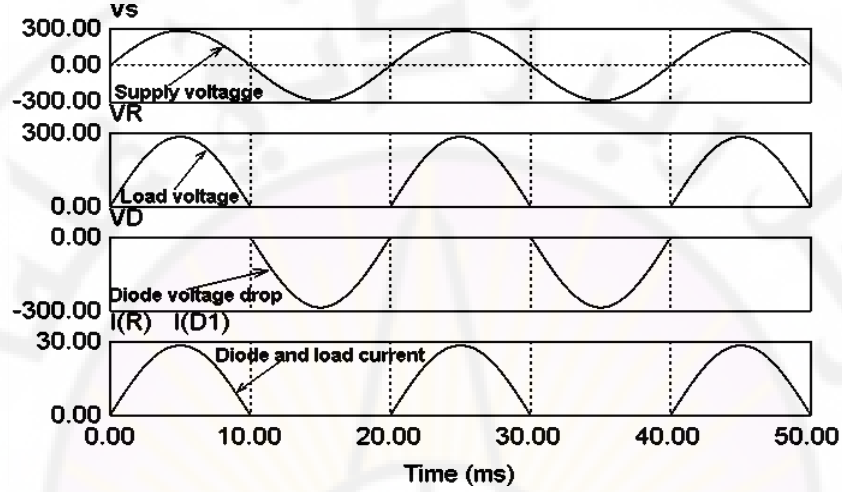
$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V_L^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

من أجل موجة التوتر الجيبية $V_0 = V_m \sin \omega t$ من أجل $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (V_m \sin \omega t)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{2}$$



الشكل (أ-13-1) مخطط الدارة



الشكل (ب-13-1) التوترات والتيارات في مختلف العناصر

عندئذ للحمل الأومي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{2R}$$

- الاستطاعة الناتجة في خرج الديود:

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc}$$

وعليه بالتعويض عن I_{dc} من العلاقة أعلاه:

$$P_{dc} = (0.318V_m)^2 / R$$

- الاستطاعة المتناوبة في الدخل:

$$P_{ac} = V_{rms} \cdot I_{rms} = 0.5V_m \times 0.5 \frac{V_m}{R}$$

a. بناءً عليه يمكن حساب مردود التقويم أو (rectification ratio). والذي يعبر عن فعالية الجسر:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{(0.318V_m)^2 / R}{(0.5V_m)^2 / R} = 40.5\%$$

b. عامل الشكل للتوتر والذي يعبر عن شكل توتر الخرج

$$Form \ Factor = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.5V_m}{0.318V_m} = 157\%$$

c. عامل التعرّيج يعطى بالعلاقة:

$$Ripple \ Factor = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1}$$

$$R.F = \sqrt{(1.57)^2 - 1} = 1.21 \text{ or } 121\%$$

d- توتر ثانوي المحول الفعال يعطى بالعلاقة:

$$V_s = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (V_m \sin \omega t)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$$

وعليه فإن تيار الثانوي الفعال يساوي تيار الحمل:

$$I_s = \frac{0.5V_m}{R}$$

-الاستطاعة الظاهرية (Volt-Ampere) للمحول تساوي:

$$V.A = V_s \cdot I_s = 0.707V_m \times 0.5 \frac{V_m}{R}$$

وبناءً عليه فإن عامل الاستخدام للمحول Transformer utilization factor الذي يعطى بالعلاقة:

$$TUF = \frac{P_{dc}}{V_s \cdot I_s}$$

بالتعويض بالقيم أعلاه:

$$TUF = \frac{(0.318V_m)^2}{R} \bigg/ \frac{(0.705 \times 0.5V_m)^2}{R}$$

$$TUF = 0.286$$

e- التوتر العكسي الأعظمي على الديود = V_m Piv=

f- معامل الشكل للتيار (CF) Crest factor يعطى بالعلاقة:

$$CF = \frac{I_s(peak)}{I_s}$$

$$I_s = \frac{0.5V_m}{R} \quad \text{و} \quad I_s(peak) = \frac{V_m}{R} \quad \text{وعليه:}$$

وعليه فإن عامل الشكل لتيار الدخل سيكون مساوياً:

$$CF = \frac{1}{0.5} = 2$$

g- عامل الاستطاعة في الدخل (PF) Power factor يعطى بالعلاقة:

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \cos \varphi = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi$$

أو حسب العلاقة:

$$PF = \frac{P_{ac}}{V.A} = \frac{(0.5V_m)^2 / R}{(0.707 \times 0.5V_m)^2 / R} = 0.707$$

ملاحظة: إن الثابت $\frac{1}{TUF} = \frac{1}{0.286} = 3.49 \text{ Times}$ هذا يعني أن المحول يجب أن

يكون أكبر بـ 3.496 مرة فيما لو كان يستخدم بشكل عادي لتقديم وتغذية حمل متناوب عادي.

هذا المقوم له عامل تعريج كبير 121% ومردود ضعيف 40.5% كما أن المحول المستخدم عليه أن يتحمل مركبة تيار مستمر، وهذا قد يسبب تشبع المحول والنواة.

2-5: مقوم وحيد الطور نصف موجة وحمل تحريضي:

Half-wave rectifier with inductive RL load

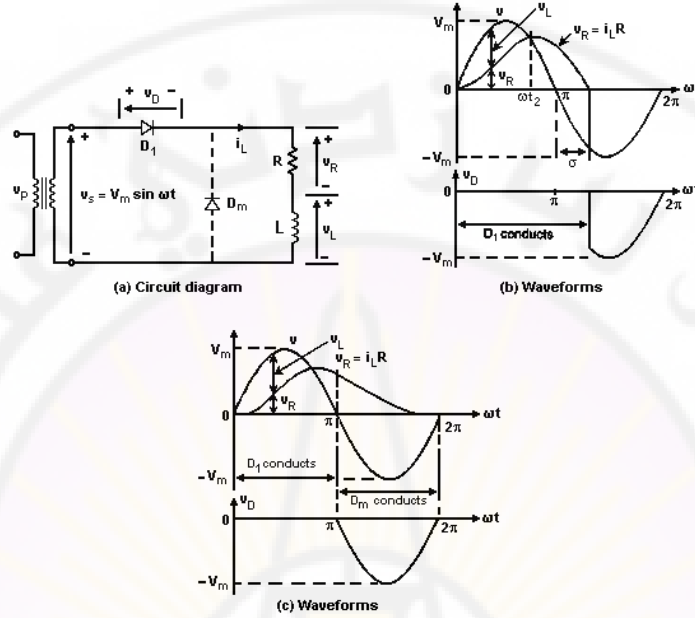
باعتبار الدارة المبينة بالشكل (أ-14-1) حيث أن الحمل عبارة عن مقاومة وملف R, L بسبب وجود الحثية في الحمل، فترة توصيل الديود D_1 سوف تتجاوز فترة نصف الدور وسوف يستمر بالتوصيل حتى ينتهي تيار الديود للقيمة صفر ($\omega t = \pi + \sigma$) الشكل (ب-14-1) يوضح شكل التوتر المقوم وتيار الديود والتوتر العكسي على الديود. هنا لا بد من الإشارة إلى أن القيمة المتوسطة لتوتر الملف V_L سوف تساوي الصفر.

- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{V_m}{2\pi} \int_0^{\pi+\sigma} \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_0^{\pi+\sigma} \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [1 - \cos(\pi + \sigma)] \end{aligned}$$

تيار الحمل المتوسط يعطى بالعلاقة:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R}$$



الشكل (أ-14-1) مخطط الدارة، الشكل (ب-14-1) التوترات والتيارات دون

ديود حر، الشكل (س-14-1) التوترات والتيارات مع ديود حر.

- نلاحظ من علاقة التوتر المتوسط المقوم الناتج أن هذه القيمة يمكن أن تزداد إذا أضفنا ديود D_m حسب الشكل (14-أ)، لأننا لم نظهر عمله في الشكل (14-ب). هذا الديود الحر يبدأ بالعمل فور انعكاس قطبية التوتر المقوم ويحذف مركبة التوتر السالبة. لذا ترتفع القيمة المتوسطة الموجبة للتوتر المقوم. ويتم التبديل بين الديود D_1 و D_m . التيار الذي يستمر بالمرور في الحمل عبر D_m قد ينتهي قبل نهاية الدور خاصة في حالة وجود مقاومة أومية ويعتمد على قيمة الثابت الزمني $\tau = \frac{\omega L}{R}$ للحمل. والشكل (14-ج) يوضح شكل التوترات والتيارات عند عمل الديود الحر D_m .

3-5: مقوم وحيد الطور نصف موجة محمل بمدخرة:

Half-wave Rectifier Loaded by Battery

في حال تطبيق توتر خرج الديود الوحيد على مدخرة كما في الشكل (أ-15-1)، نجد أن الديود لا يمكنه العمل بدءاً من الزمن صفر، يبدأ فقط بالتوصيل عندما يصبح توتر المنبع (الموجة الجيبية) أكبر من توتر المدخرة $V_s > E$ ، ويمكن حساب زاوية بدء التوصيل من العلاقة التالية:

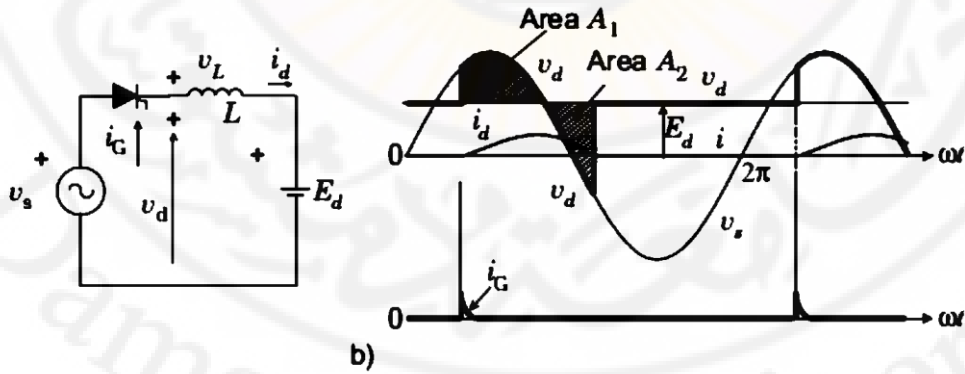
$$\alpha = \sin^{-1} \frac{E}{V_m}$$

$$V_m \sin \alpha = E$$

- عندما يصبح توتر المنبع أصغر من المدخرة يعود ويفصل الديود D_1 وذلك من أجل $V_s > E$ وذلك عند الزمن $\beta = \pi - \alpha$.
- تيار شحن المدخرة يمكن إيجاده من العلاقة:

$$i_0 = \frac{V_s - E}{R} = \frac{V_m \sin \omega t - E}{R}$$

من أجل $\alpha < \omega t < \beta$ ، R: مقاومة الحلقة الداخلية وباقي الحلقة.



الشكل (أ-15-1) مخطط الدارة ، الشكل (ب-15-1) التوترات ومراحل التوصيل

مثال (6) :

- بالعودة للشكل (آ-15-1) بفرض أن توتر المدخلة 12V وذات سعة 100Wh (وات ساعة). تيار الشحن الوسطي $I_{dc}=5A$. توتر ابتدائي محول الشحن 120V عند تردد 60Hz. والمحول ذو نسبة تحويل $n=2:1$. احسب ما يلي:
- زاوية بدء التوصيل للديود D_1 (α) وزاوية الفصل (β)، وزمن التوصيل δ .
 - المقاومة الإضافية R اللازم وضعها لتحديد تيار المدخلة.
 - الاستطاعة الاسمية للمقاومة المضافة.
 - زمن الشحن اللازم h_0 بالساعات.
 - مردود المقوم η .
 - التوتر العكسي الأعظمي للديود.

الحل:

$$V_s = \frac{V_p}{n} = 60V, \quad V_m = \sqrt{2}V_s = 84.85V$$

a. من العلاقة :

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{12}{84.85} = 8.13^\circ$$

أو ما يعادل 0.1419 راديان. وعليه $\beta = 180 - 8.13 = 171.87^\circ$ أي أن الديود سوف يستمر بالتوصيل فترة قدرها:

$$\delta = 171.87 - 8.13 = 163.74^\circ$$

b. القيمة المتوسطة للتيار المستمر:

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{V_m \sin \omega t - E}{R} d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi R} (2V_m \cos \alpha + 2E\alpha - \pi E) \end{aligned}$$

من أجل $(\beta = \pi - \alpha)$.
وعليه:

$$R = \frac{1}{2\pi I_{dc}} (2V_m \cos \alpha + 2E\alpha - \pi E)$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 5} (2 \times 84.85 \times \cos 8.13 + 2 \times 12 \times 0.1419 - \pi \times 12)$$

$$R = 4.26 \Omega$$

c. تيار المدخرة الفعال I_{rms} هو:

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{(V_m \sin \omega t - E)^2}{R^2} d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi R^2} \left[\left(\frac{V_m^2}{2} + E^2 \right) (\pi - 2\alpha) + \frac{V_m^2}{2} \sin 2\alpha - 4V_m E \cos \alpha \right]$$

$$I_{rms}^2 = 67.4$$

$$I_{rms} = 8.2 A$$

استطاعة المقاومة R يمكن عندئذ حسابها:

$$P_R = I^2 \cdot R = (8.2)^2 \times 4.26 = 286.4 \text{ Watt}$$

d. الاستطاعة المقدمة للمدخرة:

$$P_{dc} = E \cdot I_{dc} = 12 \times 5 = 60.4 \text{ Watt}$$

$$h_0 \cdot P_{dc} = 100 (\text{Wh})$$

$$h_0 = \frac{100}{P_{dc}} = \frac{100}{60} = 1.667 h.$$

e. مردود المقوم:

المردود = الاستطاعة المقدمة للمدخرة / كامل الاستطاعة في الدخل

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{dc} + P_R} = \frac{60}{60 + 286.4} = 17.32\%$$

f. التوتر العكسي الأعظمي للديود:

$$\begin{aligned} Piv &= V_m + E \\ &= 84.85 + 12 = 96.85 \text{Volts} \end{aligned}$$

مثال (7):

بالنظر إلى دائرة المقوم ذي الديود الوحيد، المبين في الشكل (1-16) أدناه إذا كان توتر المنبع 240V عند تردد 50Hz. وكون الحمل مكون من مقاومة $R=1\Omega$ وحثية $L=3.18\text{mH}$ ، احسب تيار الديود المناسب لهذا الحمل. افترض أن جميع العناصر في الدارة مثالية.

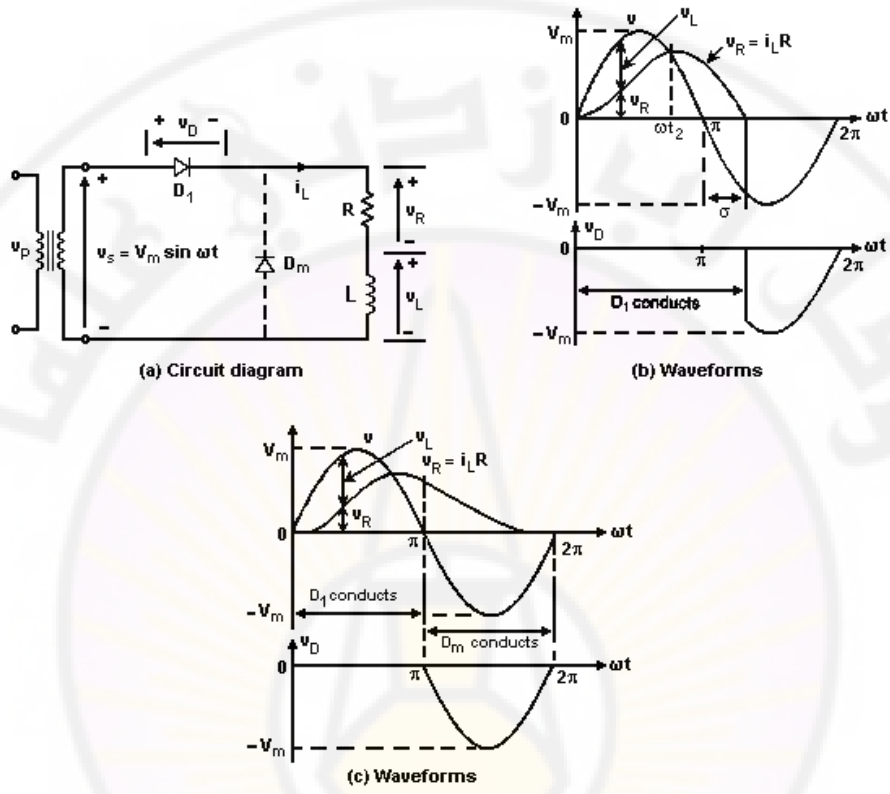
الحل:

معادلة التيار المار تعطى بالعلاقة:

$$i_l = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \theta) + \frac{V_m}{Z} \sin \theta e^{-t/\tau}$$

$$339.4V = V_m = \sqrt{2} \times 240$$

$$Z = (R^2 + \omega^2 L^2)^{\frac{1}{2}} = (1^2 + 314^2 \times 0.00318^2)^{\frac{1}{2}} = 1.41\Omega$$



الشكل (1-16) مقوم وحيد، شكل التوتر المقوم وتيار الحمل والتوتر

العكسي على الديود

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = \tan^{-1} 1 = \frac{\pi}{4}$$

$$\tau = \frac{L}{R} = 3.18 \text{ ms} \quad \text{and} \quad \omega \tau = 1 \text{ rad}$$

بتعويض هذه القيم بالعلاقة الأساسية نجد:

$$i_l = \frac{339.4}{1.41} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{339.4}{1.41} \sin \frac{\pi}{4} e^{-314t}$$

$$i_l = 240 \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) + 169.7 e^{-314t} \text{ A}$$

القيمة عند $i_l=0$ و $\omega t=\beta$ وبالتعويض في علاقة التيار:

$$0 = \sin(\beta - \frac{\pi}{4}) + 0.707 e^{-\beta}$$

حل هذه المعادلة (transcendental) هو عند:

$$\beta = 3.94 \text{ rad}$$

القيمة المتوسطة لتوتر الحمل تعطى بالعلاقة:

$$\begin{aligned} U_{Lav} = U_C &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\beta V_m \sin \omega t . d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos \beta) \\ &= \frac{339.4}{2\pi} (1 - \cos 3.94) = 91.7 \text{ V} \end{aligned}$$

بما أن التوتر المتوسط عبر الحثية يساوي الصفر فإن متوسط تيار الحمل:

$$I_{Lav} = \frac{V_{Lav}}{R} = \frac{91.7}{1} = 91.7 \text{ A}$$

أي أن الديود يجب أن يتحمل تياراً أكبر من تيار الحمل المار والبالغ 91.7 أمبير.

مثال (8):

منبع وحيد الطور متناوب يغذي دائرة ثنائي (ديود)، تم تطبيق حمل مقاومة ومكثف على التوازي على خرجه.

- المنبع 240V، 50Hz. مقاومة المنبع الداخلية $R_S=0.3\Omega$ ، مقاومة الحمل $R=10\Omega$ ، سعة المكثف $C=10000\mu\text{F}$ ، احسب ما يلي:

- a- مقدار تغيرات توتر الخرج (Voltage excursion) ΔV أي الانحراف من القيمة العظمى إلى القيمة الصغرى حول القيمة المتوسطة لتوتر الحمل V_{Lav} .
- b- قيمة التيار الذي سيمر بالديود.

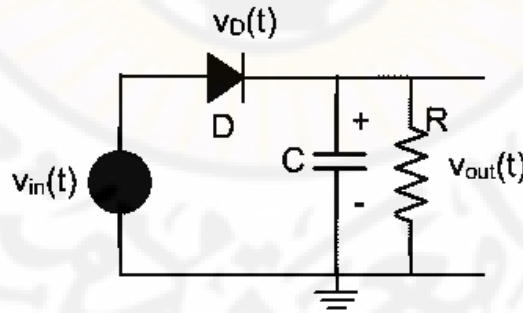
الحل:

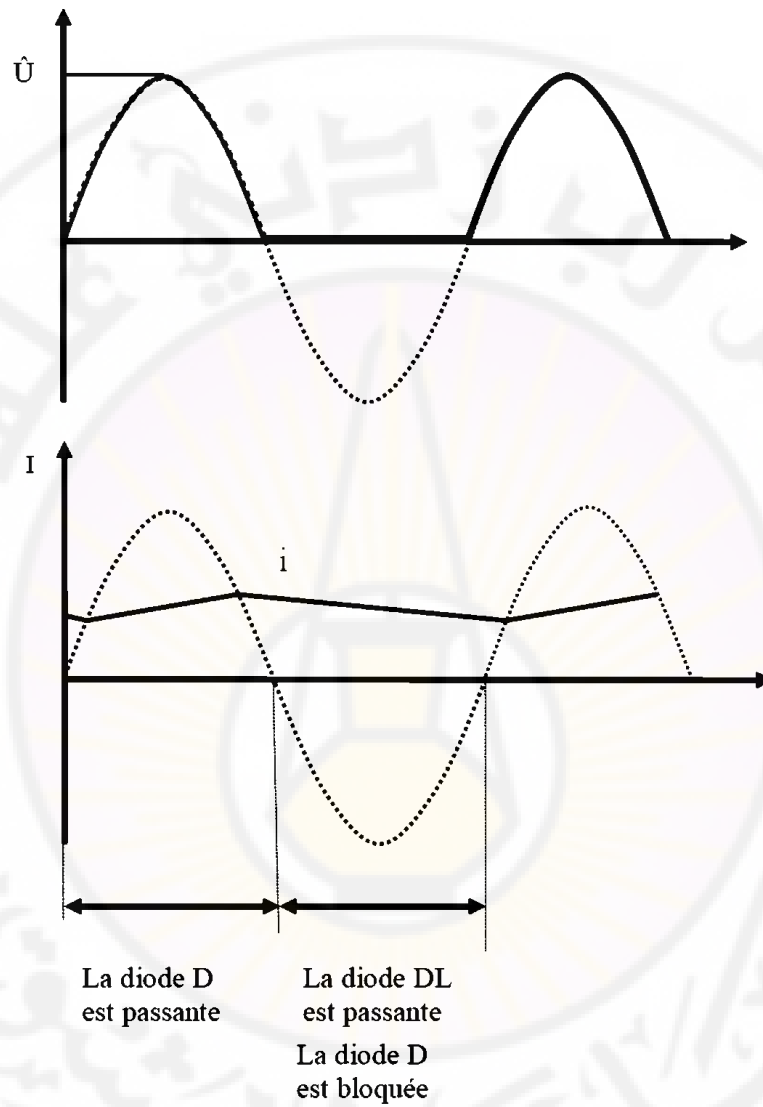
الشكل أدناه (1-17) يوضح شكل موجة الحمل ونرى أنه خلال الفترة γ يتم شحن المكثف C بدءاً من α حتى β . وأن سعة المكثف الكبيرة $C=10000\mu F$ تعطي ثابت زمن كبير ($\tau=RC=0.1s$) وهو أكبر بعشر مرات من زمن نصف الدور للموجة المتناوبة للمنبه

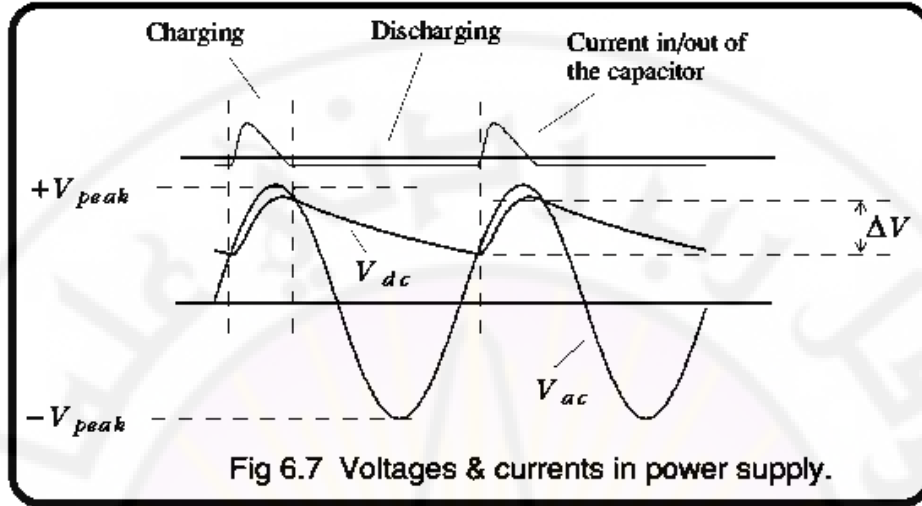
$$\left(\frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = 0.01s\right).$$

وهذا يسمح لنا بالقول أن توتر الحمل U_L ثابت. ويمكن اعتماد العلاقة التالية التي تحدد قيمة الزاوية γ التي يوصل خلالها الديود D . وذلك كتابع لنسبة المقاومات (R_S/R) .

$$\tan \frac{\gamma}{2} = \frac{\gamma}{2} = \frac{R_S}{R}$$







الشكل (1-17) دائرة الاستطاعة وشكل توتر الشحن

من أجل $\frac{R_s}{R} = 0.03$ نجد أن $\gamma = 0.87 \text{ rad}(50^\circ)$.

- ويفرض أن توتر الحمل يمكن اعتباره مستمراً تقريباً وعليه فإن

$$V_L = V_{lav} = V_n \sin \alpha$$

حيث: $\alpha = (\pi - \gamma)/2 = 1.13 \text{ Rad}$ أو ما يعادل (65°) .

لذا فإن:

$$V_L = \sqrt{2} \times 240 \times \sin 1.13 = 307.6 \text{ V}$$

a- في التطبيق العملي، المكثف يتم شحنه خلال الفترة γ ويتم تفريغه خلال باقي

الفترة $(2\pi - \gamma)$. وعليه فإن تزايد وتناقص الشحن سيكون متساوياً.

أي أن:

$$\begin{aligned} C \cdot \Delta V &= \frac{V_{lav}}{R} \times \frac{2\pi - \gamma}{\omega} \\ &= \frac{307.6}{10} \times \frac{2\pi - 0.87}{314} = 0.53 \end{aligned}$$

$$\Delta V = \frac{0.53}{C} = \frac{0.53}{100} = 53V$$

$$C = 0.01F$$

تغير هذا التوتر بمقدار ± 26.5 يعتبر كبيراً وغير مهملاً.

b- خلال الفترة $\alpha \leq \omega t \leq \beta$ التيار i_s المار بالديود والمنبع يعطى بالعلاقة:

$$i_s = \frac{(V_s - V_L)}{R_s} = \frac{(V_m \sin \omega t - V_L)}{R_s}$$

وباعتبار أن:

$$\beta = \alpha + \gamma \Rightarrow \beta = 1.13 + 0.87 = 2.0 \text{ Rad}$$

فإن القيمة المتوسطة للتيار I_{Sav} يمكن حسابها بالشكل:

$$\begin{aligned} I_{Sav} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{V_m \sin \omega t - V_L}{R_s} d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi R_s} [V_m (\cos \alpha - \cos \beta) - V_L (\beta - \alpha)] \end{aligned}$$

بالتعويض نجد:

$$\begin{aligned} I_{Sav} &= \frac{1}{2\pi \times 0.1} [339.4 (\cos 1.13 - \cos 2.0) - 307.6 (2.0 - 0.87)] \\ I_{Sav} &= 30.7 A \end{aligned}$$

وعليه فإن التيار الاسمي للديود يجب أن يكون أكبر من 30 أمبير حتماً.

ملاحظة: إن استخدام المكثف على طرفي المقاومة R في الحمل يعتبر عملية

ترشيح (Filter) للوصول إلى تغيرات صغيرة للتوتر المقوم المطبق على المقاومة

R، وهذا عادةً يستخدم في الدارات ذات الاستطاعة الصغيرة نسبياً.

وإن استخدام المكثف عوضاً عن الملف عادةً للتعيم، يعود لخص المكثف مقارنةً

بالملف.

في دائرة من هذا القبيل، الديود يوصل فقط في الفترة الزمنية من موجة التوتر المتناوب التي تكون فيها أكبر من توتر المكثف الموجود في الحمل. لذا فإن فترة توصيل الديود ستكون محدودة.

كي يكون تيار الحمل I_L (تيار المقاومة) مستمراً، يجب أن يكون الثابت الزمني للحمل RC كبيراً مقارنةً مع الثابت الزمني لنصف دور موجة التوتر المتناوب المغذي للديود.

وإن تيار الحمل I_L له شكل يشابه شكل التوتر V_L ، عند الحمل الأومي طبعاً. هذا وأنه خلال كل دور من موجة التوتر المتناوب V_S ، الشحنة Q المستجرة من قبل المكثف والشحنة المقدمة من قبل المكثف نفسه C يجب أن تكون متساوية. هذا يعني أن:

$$Q \times \omega = \int_{\alpha}^{\beta} (i_S - i_L) d\omega t = \int_{\beta}^{2\pi+\alpha} i_L d\omega t$$

- لدى اعتبار وجود مقاومة داخلية للمنبع R_S ، وكون سعة المكثف لانهائية يمكن اعتبار أن توتر الحمل V_L ثابت. وعليه فإن:

من أجل $\alpha \leq \omega t < \beta$

$$i_S = \frac{V_S - V_L}{R_S}$$

$$i_L = \frac{V_L}{R}, \quad V_L = V_m \sin \alpha$$

$$\alpha = \frac{\pi - \gamma}{2}, \quad \beta = \frac{\pi + \gamma}{2}$$

بتعويض هذه القيم في المعادلة الأساسية نجد:

$$\int_{\alpha}^{\beta} \left[\frac{V_m}{R} \sin \omega t - \frac{V_L}{R_S} - \frac{V_L}{R} \right] d\omega t = \int_{\beta}^{2\pi+\alpha} \frac{V_L}{R} d\omega t$$

بحل هذه العلاقة نجد أن زاوية بدء توصيل الديود γ يمكن حسابها من العلاقة:

$$\tan \frac{\gamma}{2} - \frac{\gamma}{2} = \frac{R_s}{R}$$

6- ممانعة الحمل وفترة التطابق

Source Impedance and Commutation Overlap

في مجموعات التقويم بكافة أنواعها، ديود وحيد، ثيرستور وحيد، جسر تقويم، لدى وجود ممانعة للمنبع (Source inductance) أو ممانعات آخر (Stray inductance) يمكن جمعها على التسلسل، واعتبارها فرضاً L_s (حثية المنبع). هذه الحثية تسبب عادةً انخفاض في القيمة المتوسطة لتوتر الخرج، وكذلك تيار الخرج. لتوضيح هذه الفكرة بالنسبة لديود وحيد سوف ندرس هذه الظاهرة هنا. (ثم لاحقاً سوف نرى تأثير فترة التطابق على الجسور بمختلف أنواعها).

الشكل (أ-18) يوضح دائرة الجسر التي سوف نعتمدها. والشكل (ب-18) يوضح منحنيات التوتر والتيار. الخط المقطع يظهر الأشكال باعتبار ظاهرة التطابق، والخط المستمر يظهر الأشكال باعتبار حثية أو ممانعة المنبع $R_s=0$.
- تم إضافة ديود حر على طرفي الحمل D . وتم اعتبار أن تيار الحمل مستمر $L=\infty$.

- الديود D_s في حال كون L_s مهملة يوصل عندما يكون منحازاً باتجاه أمامي تبعاً لتوتر المنبع V_s . وبما أن تيار الحمل اعتبر أنه مستمر، فإن تيار الديود خلال نصف الدور سيكون موجباً وعلى شكل مستطيل قائم. وهنا يوصل الديود D عند توقف الديود D_s . وتيار الديود في الفترة اللاحقة من الدور $(\pi-2\pi)$ سيكون أيضاً ذا شكل مستطيل.

- لنأخذ حالة كون L_s (Finite) ذا قيمة معينة وحالة تشغيل مستقرة. عند الزمن $\omega t=\pi$ ، هنالك تغيير ديناميكي، لأن توتر المنبع سوف يغير من قطبيته، والديود

D_S سوف يبدأ بالانتقال لحالة الفصل. تيار المنبع i_S الذي كان في تلك اللحظة يساوي $i_S = I_L$ تيار الحمل لا يمكنه الانعدام بشكل آني لوجود قدرة مختزنة في حثية المنبع L_S . وبما أننا نفرض أن الديود D مثالي فإنه إذاً سوف يبدأ بالتوصيل عند الزمن $\omega t = \pi$ ، ويشكل حالة قصر للحمل والمنبع. وعليه فإن توتر المنبع عندئذ يمكن التعبير عنه بالشكل:

$$V_S = L_S \frac{di_S}{dt}$$

$$\int di_S = \int \frac{V_S}{L_S} dt = \int \frac{V_S}{\omega L_S} d\omega t$$

وتبعاً للشروط الأولية $i_S = I_L$ عند $\omega t = \pi$ فإن التيار i_S سوف يتناقص تبعاً للعلاقة:

$$i_S(\omega t) = I_L - \frac{1}{\omega L_S} \int_{\pi}^{\omega t} V_S d\omega t$$

$$= I_L - \frac{V_m}{\omega L_S} (1 + \cos \omega t)$$

$$V_m = \sqrt{2} V_S$$

وهذا صحيح طالما أن i_S موجب. أي خلال $\pi \leq \omega t < \pi + u$.

- بالوقت نفسه تيار الديود الحر i_D سوف يتزايد حسب قانون كيرشوف

$$I_D = I_L - i_S = \frac{V_m}{\omega L_S} (1 + \cos \omega t)$$

التيار i_S سوف ينتهي للصفر، والتيار i_D سوف يرتفع ليصل إلى تيار الحمل I_L . عند الزمن $\omega t = \pi + u$ الزاوية u نطلق عليها زاوية أو فترة التطابق (Commutation Overlap) أو فترة التبديل. لأنه خلال هذه الفترة تم تبديل تيار الحمل من الديود الرئيسي D_S إلى الديود الحر D . وعليه يمكن حساب هذه الفترة بالتعويض بالعلاقة:

$$\cos u = \frac{1 - \omega L_S I}{V_m}$$

- خلال فترة التطابق، كلا الديودين في حالة توصيل، وتوتر المنبع يصبح مطبقاً بشكل كامل على الممانعة L_S ، لذا فإن تيار المنبع عندئذ i_S يمكن حسابه من العلاقة:

$$i_S(\omega t) = \frac{1}{\omega L_S} \int_{2\pi}^{\omega t} V_S d\omega t = \frac{V_m}{\omega L_S} (1 - \cos \omega t)$$

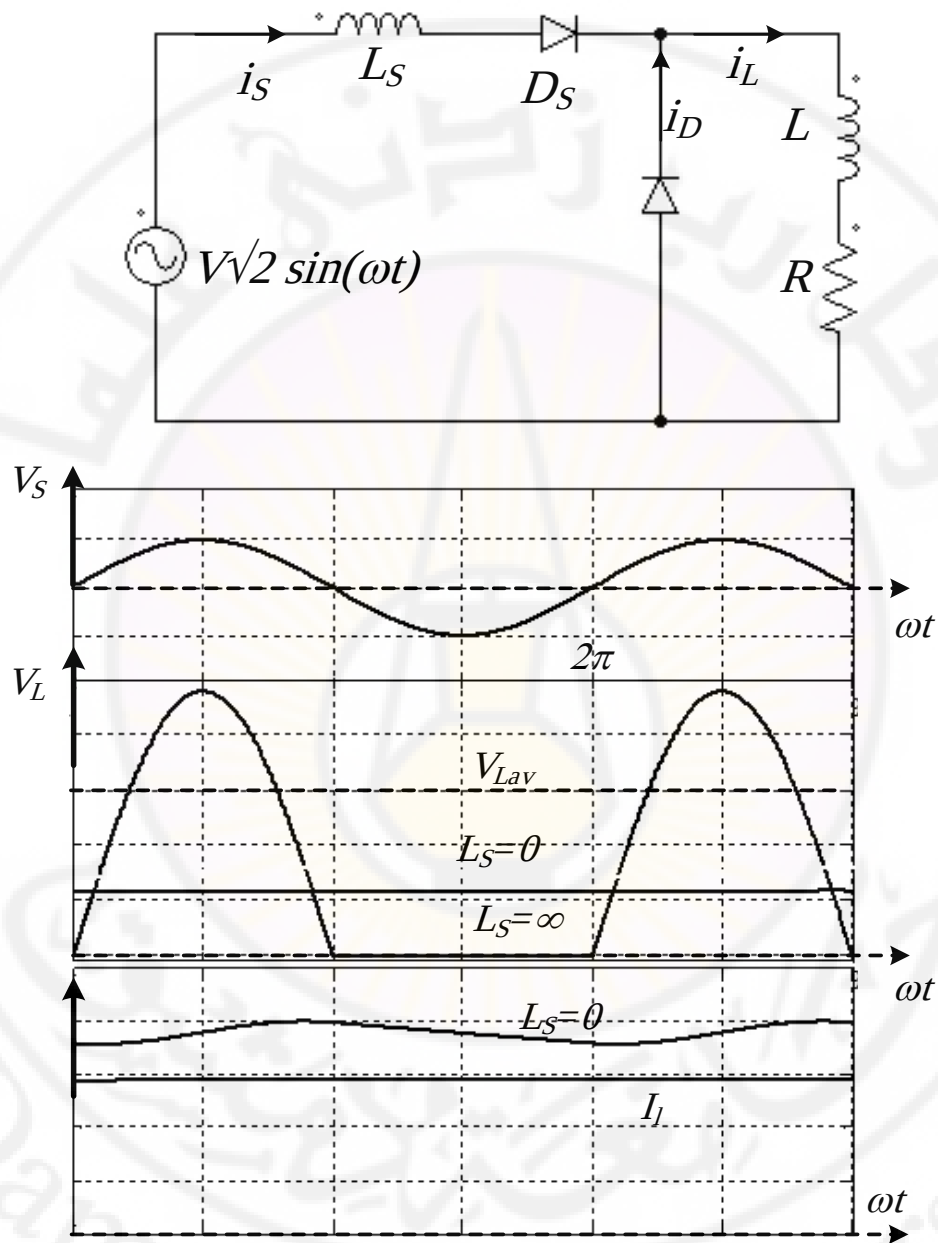
- التيار i_S يصل إلى القيمة I_l عندما: $\cos \omega t = 1 - \frac{\omega L_S I_l}{V_m}$ وهذا يعطي نفس فترة التطابق السابقة u .

هذه الظاهرة تسبب هبوطاً في التوتر المتوسط V_{lav} . وينخفض التوتر المقوم من القيمة $\frac{V_m}{\pi}$ إلى القيمة:

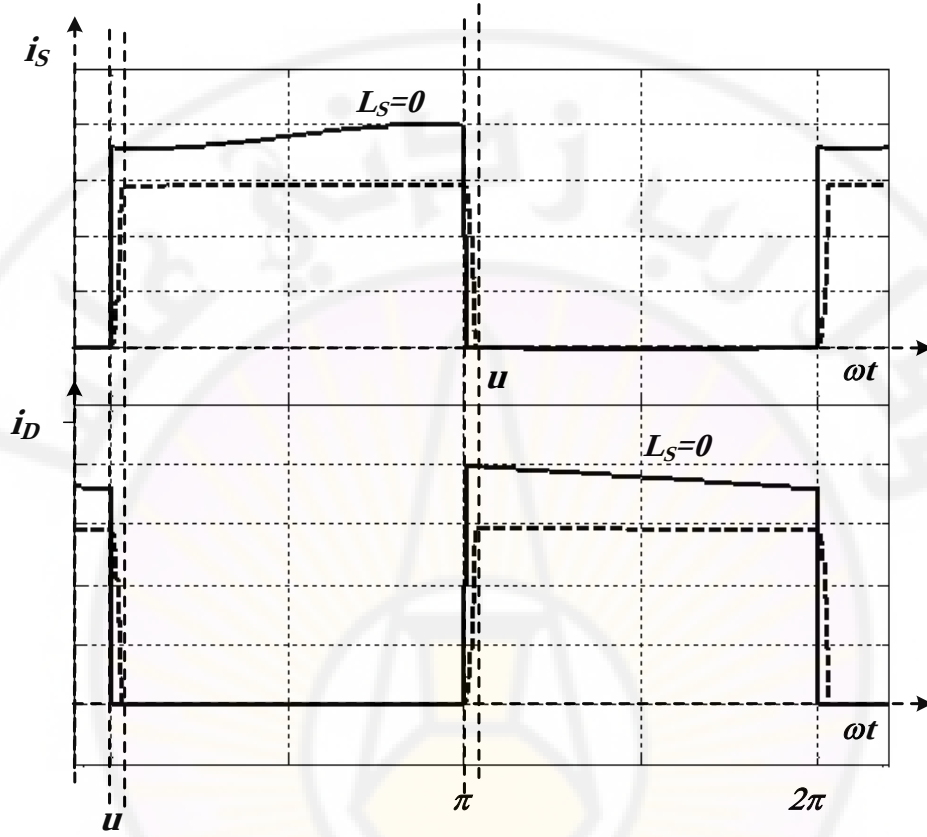
$$V_{lav} = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{\pi} V_S d\omega t = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos u)$$

وإن تيار الحمل I_l يعطى بالعلاقة:

$$I_l = \frac{V_{lav}}{R}$$



شكل (آ-18-1) التوترات والتيارات المارة بوجود التتابع وعدمه



الشكل (ب-18-1) دائرة الجسر المستخدم

مثال (9):

إذا كان توتر المنبع المتناوب $V_s=240V$ ، تردد $60Hz$ ، حثية الشبكة

$L_s=60\mu H$ ، مقاومة الحمل $R=1.0\Omega$ ، حثية الحمل $L \rightarrow \infty$. أوجد:

a- تيار الحمل المتوسط مع وجود التطابق.

b- زاوية التطابق u .

c- تيار الحمل المتوسط باعتبار $L_s=0$.

الحل:

بما أن الحثية L ذات قيمة كبيرة، يمكن اعتبار تيار الحمل ثابت، والتوتر على الحثية يساوي الصفر.

a- مع وجود التطابق تعطى القيمة المتوسطة بالعلاقة:

$$V_{lav} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos u)$$

$$V_{lav} = R.I_l, \quad \cos u = 1 - \omega L_S I_l / V_m$$

وعليه فإن:

$$R.I_l = \frac{V_m}{2\pi} (1 + 1 - \omega L_S I_l / V_m)$$

وعليه:

$$I_l = \frac{2V_m}{2\pi R + \omega L_S} = \frac{2\sqrt{2} \times 240}{2\pi \times 10 + 377 \times 60 \times 10^{-6}} = 107.7 A$$

b- زاوية التطابق تعطى بالعلاقة:

$$u = \cos^{-1} \left(1 - \frac{\omega L_S I_l}{V_m} \right)$$

$$u = \cos^{-1} \left(1 - \frac{377 \times 60 \times 10^{-6} \times 107.6}{339.4} \right) = 0.12 \text{ Rad} (6.9^\circ)$$

c- إذا كانت الحثية للمنبر $L_S = 0$ فإن زاوية التطابق $u = 0$ والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم تعطى عندئذ بالعلاقة:

$$V_{lav} = \frac{V_m}{\pi} = \sqrt{2} \times \frac{240}{\pi} = 108 V$$

لذا فإن تيار الحمل المتوسط هو:

$$I_{lav} = \frac{V_{lav}}{R} = 108A$$

نسبة انخفاض تيار الحمل نتيجة التطابق تصل إلى 0.4% لدى اعتبار وجود ممانعة للمنبع.

مثال (10):

في المقوم الأحادي المقاد حسب الشكل (1-19) حيث أن الحمل R أومي صرف، عند زاوية إزاحة بالطور $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (Delay Angel) بين لنا ماييلي:

- a- مردود عملية التقويم.
- b- عامل الشكل FF.
- c- عامل التعرّيج RF.
- d- العامل TUF.
- e- القيمة العظمى للتوتر العكسي PIV للثايرستور T_1 .

الحل:

الشكل العام للدائرة، والتوترات والتيارات المارة يمكن متابعتها بالشكل (1-19).
- زاوية الإزاحة بالطور $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ، ومن العلاقة النازمة لحساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج:

$$V_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

وعليه بالتعويض:

$$V_{dc} = 0.1592V_m$$

$$I_{dc} = \frac{0.1592V_m}{R}$$

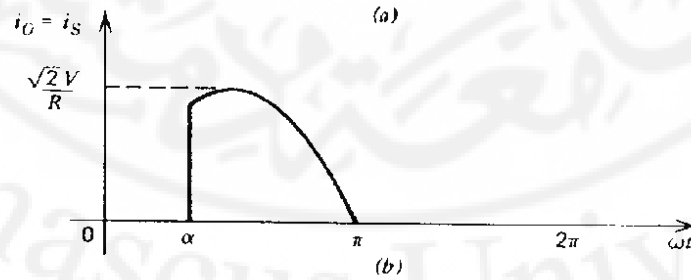
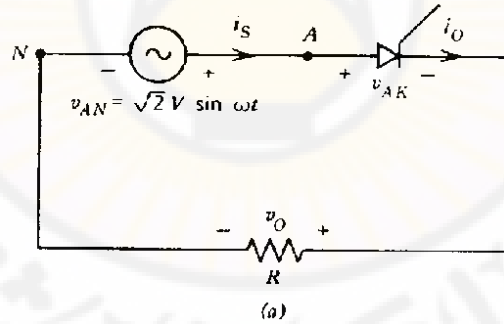
نسبة التوتّر المقوم مع وجود إزاحة بالنسبة للتوتّر دون إزاحة تساوي:

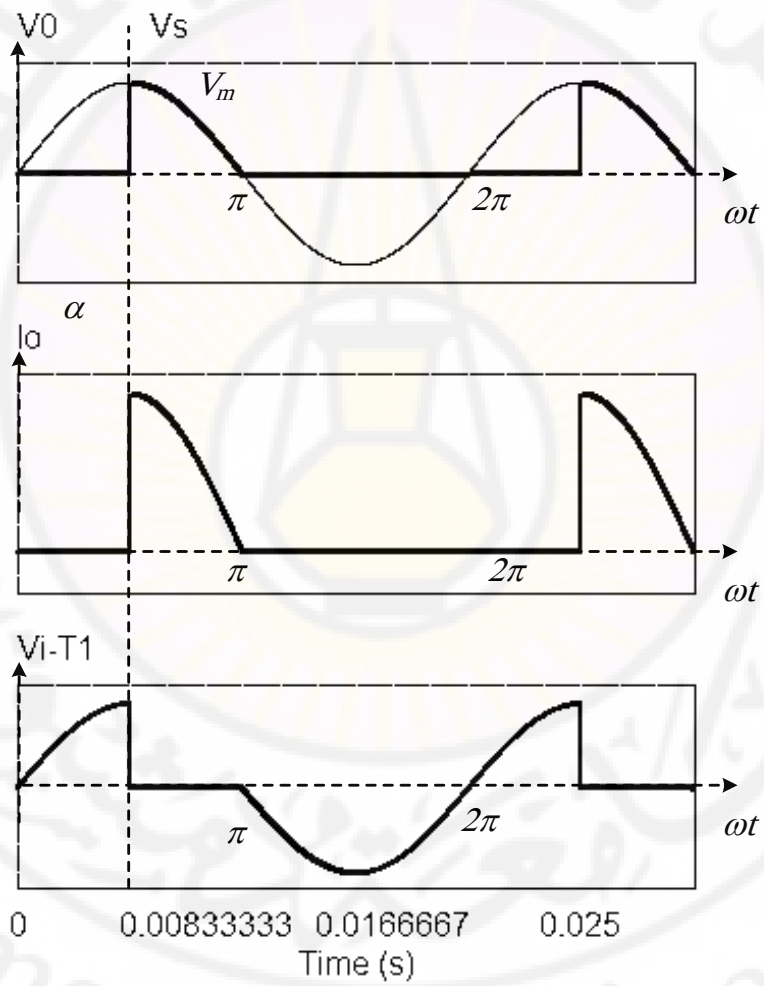
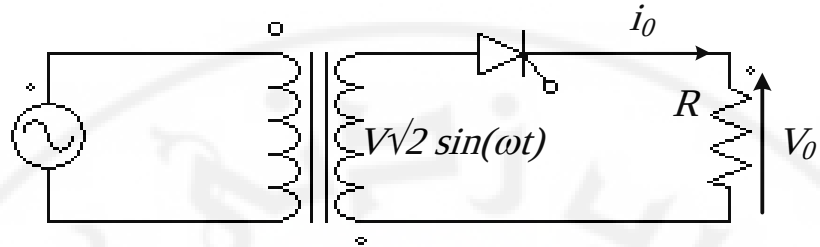
$$V_n = \frac{\frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)}{\frac{V_m}{\pi}} = 0.5(1 + \cos \alpha)$$

- القيمة الفعالة (r.m.s root-mean-square) لتوتّر الخرج يحسب من العلاقة:

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{V_m^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$





شكل (19-1) دائرة مقوم ثيرستوري وحيد - مع حمل أومي ،التيارات والتوترات

- بالتعويض:

$$V_{rms} = 0.3536V_m$$
$$I_{rms} = \frac{0.3536V_m}{R}$$

ونعلم أن:

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc}$$
$$P_{dc} = \frac{(0.1592V_m)^2}{R}$$

و

$$P_{dc} = V_{rms} \cdot I_{rms}$$
$$P_{dc} = \frac{(0.3536V_m)^2}{R}$$

a- مردود المقوم عندئذ:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{(0.1592V_m)^2}{(0.3536V_m)^2}$$
$$\eta = 20.27\%$$

b- العامل FF:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.3536V_m}{0.1592V_m} = 2.221 \quad \text{or} \quad 222.1\%$$

c- العامل RF:

$$RF = \sqrt{(FF^2 - 1)} = (2.221^2 - 1)^{\frac{1}{2}} = 1.983 \quad \text{or} \quad 198.3\%$$

d- القيمة الفعالة لتوتر المحول:

$$V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$$

الاستطاعة الظاهرية في الثانوي:

$$VA = V_S \cdot I_S = 0.707V_m \times 0.3536V_m / R$$

وعليه فإن العامل:

$$TUF = \frac{P_{dc}}{V_S \cdot I_S} = \frac{0.1592^2}{0.707 \times 0.3536} = 0.1014$$

$$\frac{1}{TUF} = 9.86$$

أيضاً : $PF = 0.1014$

e- القيمة العظمى للتوتر العكسي:

$$PIV = V_m$$

- مما سبق نرى أن تغيير α من القيمة صفر إلى π سوف يغير القيمة المتوسطة

لتوتر الخرج من القيمة $\frac{V_m}{\pi}$ دون إزاحة بالطور إلى القيمة صفر.

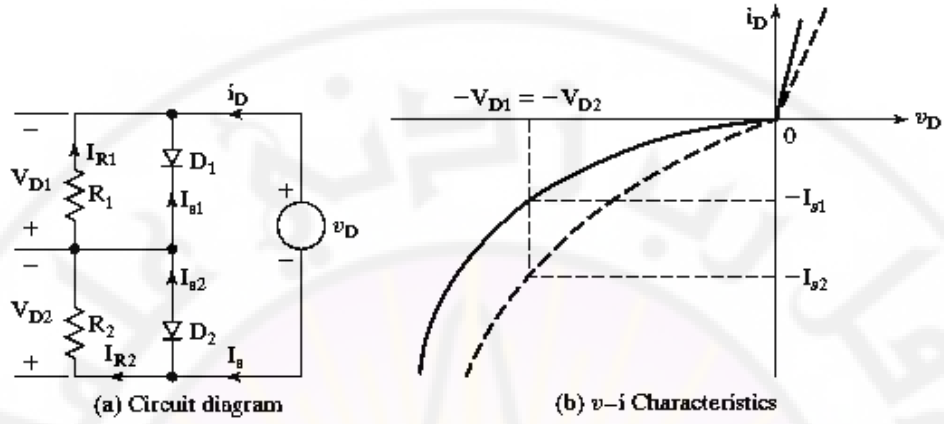
- محول الدخل سوف يمر به تيار مستمر وهذا سوف يسبب تشبعاً لهذا المحول.

مثال (11):

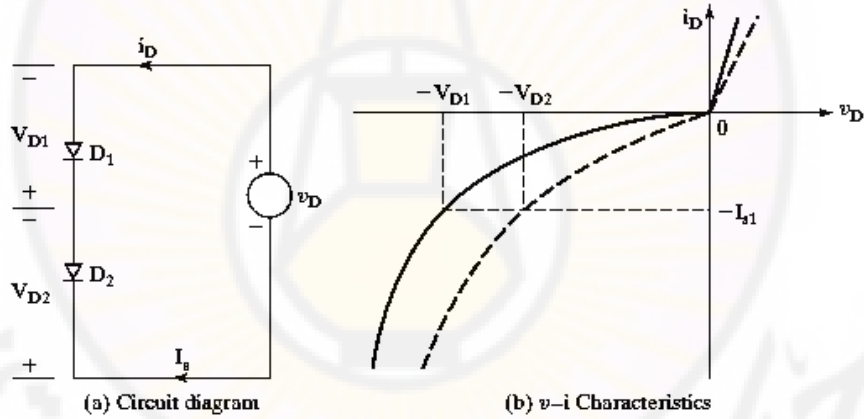
تم ربط ديودين على التسلسل D1&D2 إلى منبع توتر متناوب ،إذا كانت

خواص الديودات كما في الشكلين المرفقين (ا-1-20) و (ب-1-20). اشرح هذه

الظاهرة وبين الفرق بينهما .



الشكل (أ-1-20) وصل عنصرين على التسلسل مع مقاومات تفرعية



(ب-1-20) وصل عنصرين على التسلسل بدون مقاومات تفرعية

الحل :

لدى وصل ديودين على التسلسل ،أو أكثر من ذلك ، ونظراً لوقوعهما تحت توتر المنبع المطبق ، فإنه خلال فترة الحجز العكسي لهذه العناصر سيمر بهما تيار تسريب عكسي واحد ، وإذا كانت الخواص الساكنة لهذه العناصر غير متماثلة فإن التوتر العكسي على كل منهما لا يساوي التوتر العكسي للآخر ، مما قد يؤدي

لنتلف أحدهما في حال عدم تحمله هذا التوتر ،لذا كي يتساوى التوتر العكسي على عناصر التقويم خلال تلك الفترة من الضروري ربط مقاومات تفرعية متساوية القيمة على طرفي كل عنصر ،وبقيم كبيرة حتى لا تتدخل في تحميل المنبع ،وعندئذ سوف لن يمر تيار متساوٍ في العناصر رغم كونهما على التوازي لكن سيقعان تحت توتر عكسي واحد ، والأشكال المبينة أعلاه توضح ذلك .

7- عمل عنصر تقويم مقاد مع وجود قوة محرك كهربائية عكسية في الحمل:
توتر المنبع يعطى بالعلاقة:

$$V = v\sqrt{2}\sin\omega t$$

- لدى تطبيق نبضة القدح الموجبة وكون توتر المصعد موجباً بالنسبة لتوتر المهبط ينتقل الثيرستور للتوصيل وحسب الشكل (21-1) ،والشكل (22-1) ،والفرق بين الشكلين كبر زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الثيرستور ، وقطبية القوة المحركة الكهربائية في الحمل ،كما نلاحظ في الشكل 22 شكل التوتر العكسي على الثيرستور،وهنا يمكن القول أن التيار قادم من الحمل .
لدينا:

$$U = rI + E$$

يستمر الثيرستور بالتوصيل خلال الفترة $\pi - \beta < \omega t < \alpha$ ويشترط أن تكون $\alpha > \beta$ حيث أن $\beta < \frac{\pi}{2}$ وهي الزاوية التي يتقاطع فيها موجة التوتر المتناوب مع القوة المحركة الكهربائية العكسية E أي عند:

$$v\sqrt{2}\sin\beta = E$$

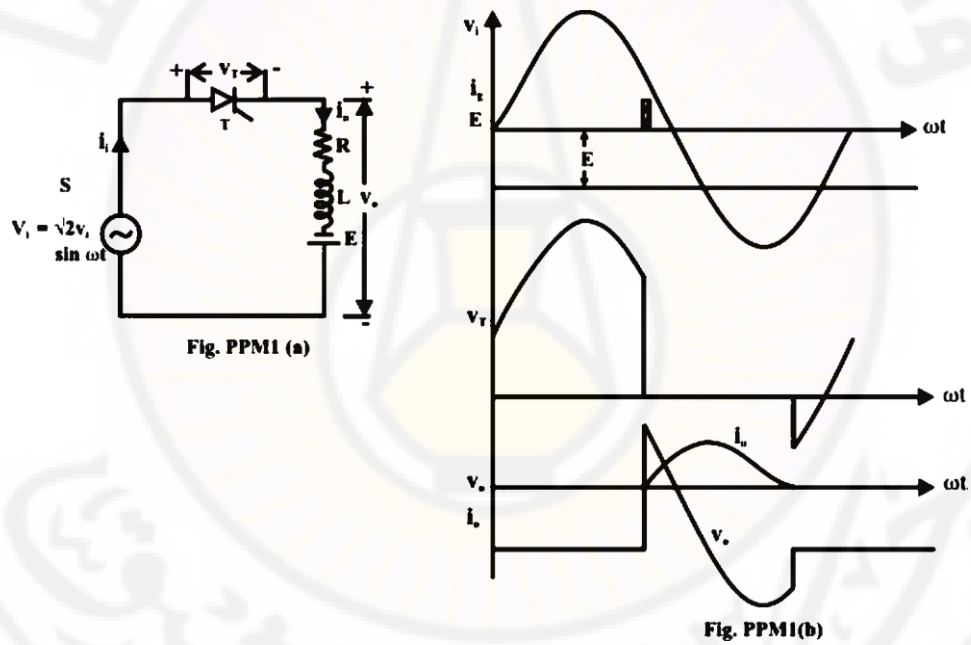
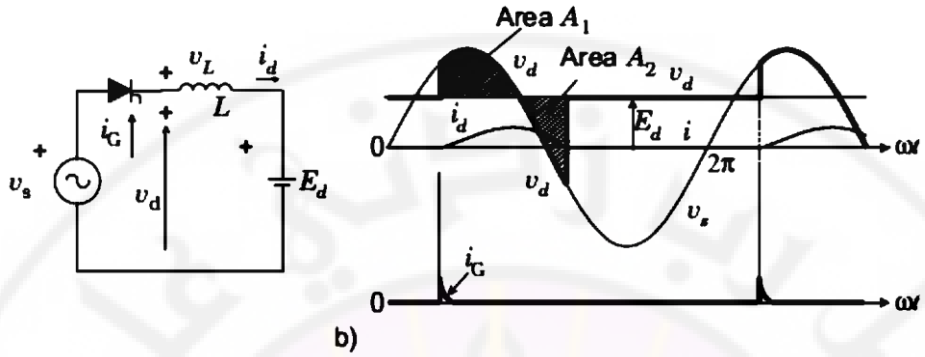
- لدينا جميع القيم اللحظية، لذا يمكن حساب القيمة المتوسطة والفعالة لعملية تبادل الاستطاعة. حيث أن:

$$U_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\beta} v\sqrt{2}\sin\theta d\theta$$

$$I_{av} = \frac{U_{av} - E}{r}$$

$$I_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\beta} \left(\frac{v\sqrt{2}\sin\theta - E}{r} \right)^2 d\theta$$

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U.I d\theta = E.I_{av} + rI_{eff}^2$$



شكل (1-21) مقوم ثيرستوري وحيد ، الشكل (1-22) التوتر والتيار المار في الحمل، والتوتر العكسي

8 - مقوم مضاعف تردد (أحادي الطور ذي نقطة وسط) مع حمل تحريضي (L+R):

إذا تم تطبيق نبضات القذح عند الزاوية $\omega t = \alpha$ ينتقل الثيرستور T_1 للتوصيل ولدى تطبيق نبضات القذح على T_2 عند الزاوية $\pi + \alpha$ ينتقل الثيرستور T_2 للتوصيل، وإذا كان الجسر من الديود فإن الديود يوصل بدءاً من الصفر ولا يقف أو يحجز عند مرور موجة التوتر بالصفر. الشكل (أ-23-1) يبين مكونات دائرة الاستطاعة، والشكل (ب-23-1)

يبين شكل التوتر المقوم والتيار المار في الحمل في حالة التشغيل عند تيار متقطع لديود وحيد حيث يسلك الديود الثاني الظاهرة نفسها.
- انطلاقاً من الزاوية $\omega t = \alpha$ ، وبسبب توفر شروط التوصيل ينتقل الثيرستور T_1 للتوصيل ويكون لدينا:

$$V\sqrt{2}\sin\omega t = R.I + L\frac{dI}{dt}$$

حل هذه المعادلة هو:

$$I = I_1\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi) + Ae^{\frac{t}{\tau}}$$

حيث:

$$I_1 = \frac{V}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}, \quad \tau = \frac{L}{R}, \quad \varphi = \text{Arctg} \frac{L\omega}{R}$$

A: ثابت يمكن تحديده حسب الشروط الأولية والتي هنا تساوي:

$$I(\alpha) = 0, \quad t = 0$$

وعليه:

$$I = I_1\sqrt{2}[\sin(\omega t - \varphi) + \sin(\varphi - \alpha)]e^{\frac{(t-\alpha/\omega)}{\tau}}$$

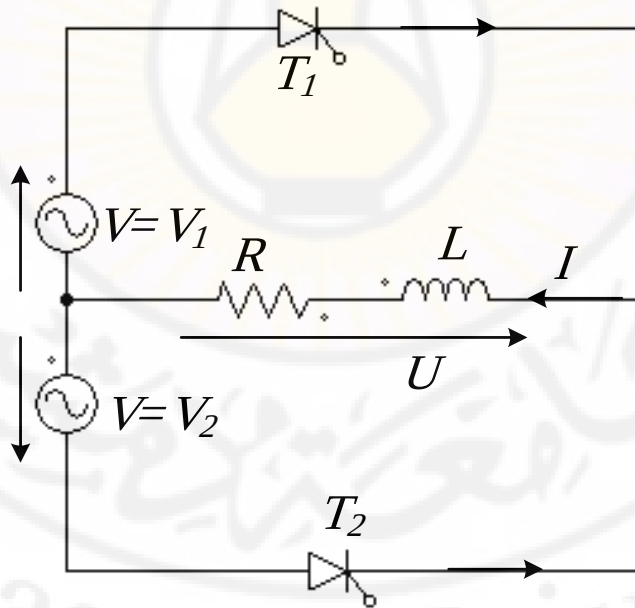
هذه العلاقة صالحة فقط في حال كون الثيرستور T_1 موصل والتيار I موجب وعليه يمكن القول أن :

a- التيار I يكون أعظماً عندما يكون الجداء RI أعظماً (انظر الشكل (2-b)) وعندئذ يكون $L \frac{dI}{dt} = 0$ (حيث أن $L \frac{dI}{dt}$ حسب الشكل هو الفرق بين موجة التوتر اللحظي U_{av} وموجة التوتر التي تمثل هبوط التوتر على المقاومة) وهي هنا نقطة التقاطع (K).

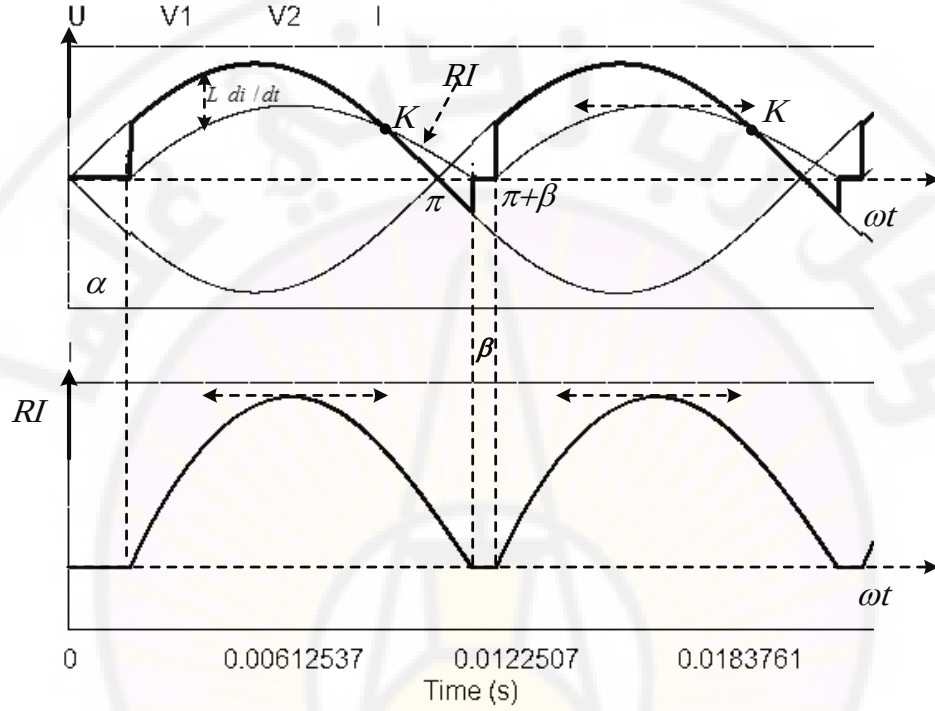
b- التيار $I \neq 0$ عند $\omega t = \pi$ وهذا يوافق قانون لنز.

c- التيار I المعطى بالعلاقة السابقة ينعدم خلال الزمن t_1 . ويمكن حساب ذلك من حساب الزاوية $\beta = \omega t_1$ ويتم ذلك بحل المعادلة التالية:

$$\sin(\omega t - \varphi) + \sin(\varphi - \alpha) e^{\frac{(\beta - \alpha)}{\omega \tau}}$$



شكل (أ-23-1) دائرة الاستطاعة للمقوم



شكل (ب-1-23) التيارات والتوترات لدى عمل الجسر ذي التيار المتقطع

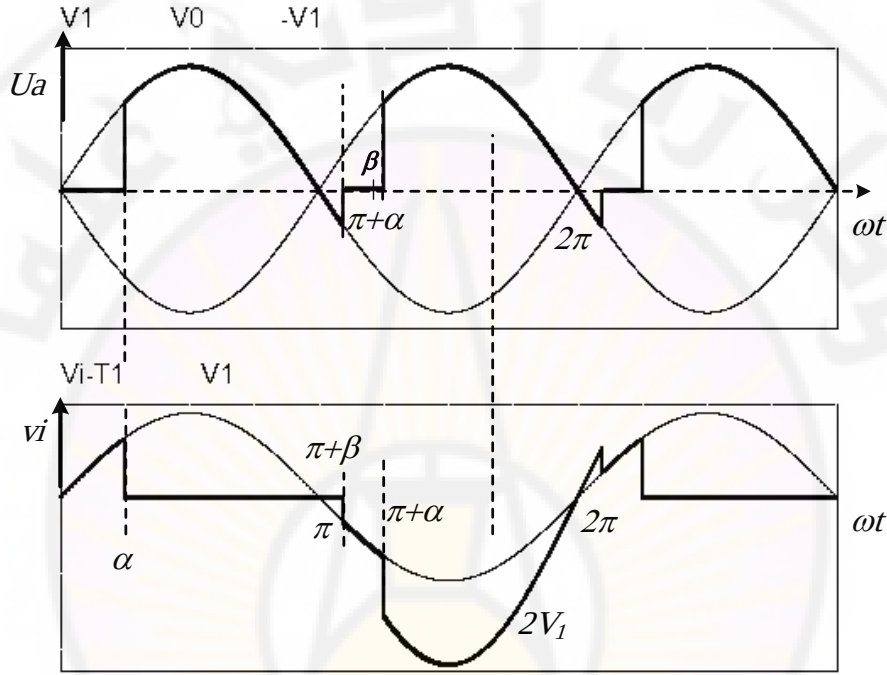
9- أنظمة العمل عند تيار حمل مستمر أو متقطع:

بالعودة لما بيناه أعلاه، يمكن القول أنه توجد حالتان للتشغيل وهما:

1-9 : حالة التشغيل بتيار متقطع: ($\beta < \pi + \alpha$)

هذه الحالة تم توضيحها في الشكل (ب-1-23) أعلاه. التيار I ينعدم قبل إعطاء نبضات القدح للثريستور اللاحق T_2 . أي أن الثريستور T_1 ينتقل للحجز تلقائياً

قبل بدء تشغيل T_2 . والشكل (1-24) يوضح شكل التوتر العكسي المتشكل على الثيرستور T_1 خلال الدور. ونلاحظ وجود فترات لا يمر بها تيار.

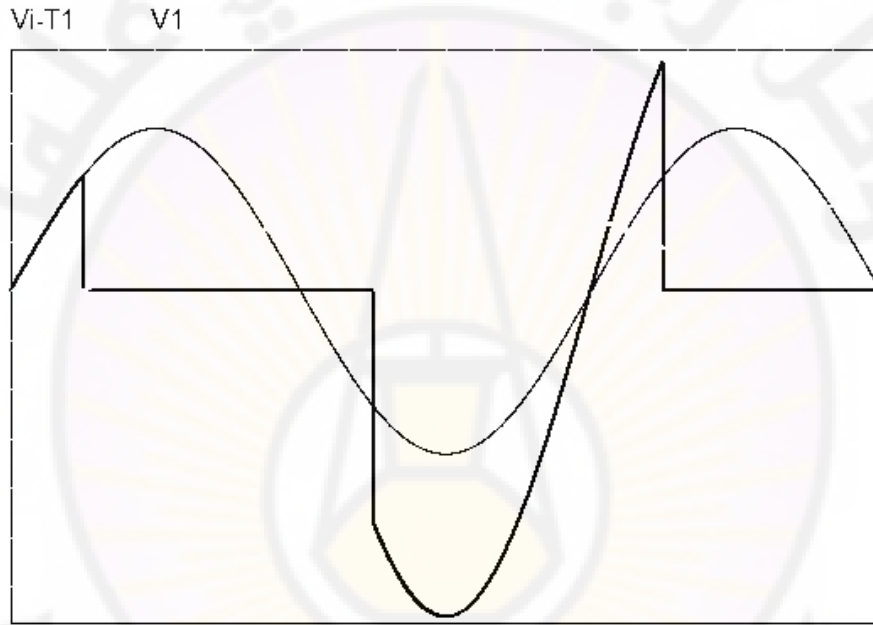


الشكل (1-24) شكل التوتر المقوم والعكسي على الثيرستور T_1

2-9 : حالة التشغيل بالتيار المستمر غير المتقطع: $(\beta > \pi + \alpha)$:

في هذه الحالة يستمر الثيرستور T_1 بالتوصيل حتى يتم قرح الثيرستور T_2 والذي سيحدث عند الزمن أو الزاوية $\omega t = \pi + \alpha$. والشكل (1-25) يبين أن الثيرستور T_2 سوف ينتقل للتوصيل قبل انتهاء التيار القادم من T_1 ، وسوف يعمل الثيرستوران لفترة مشتركة مسببة قصر ملفات الثانوي وظهور فترة تطابق. وعليه فإن العمليات الحسابية اليدوية لتيار الحمل عندئذ تغدو معقدة.

- في حالة التشغيل الدائم، كل ثيرستور يوصل خلال نصف الدور حسب لحظة قدحه. لذا فإن دور التوتر المقوم في هذه الحالة يساوي π . كذلك سيكون دور التيار I وسيكون لدينا $I(0)=I(\pi)$.



الشكل (25-1) استمرار تيار الحمل وتوصيل T_2 قبل وصل T_1

وعند توصيل T_1 لدينا:

$$U = V\sqrt{2}\sin\omega t = RI + L\frac{dI}{dt}$$

وتحسب القيمة المتوسطة بالشكل:

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V\sqrt{2}\sin\theta d\theta = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi} \cos\alpha = R.I_{av} + \frac{L}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \frac{dI}{d\theta} d\theta$$

بأخذ $\theta = \omega t$ والتعويض:

$$\frac{L}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \frac{dI}{d\theta} d\theta = \frac{L}{\pi} [I(\alpha + \pi) - I(\alpha)] = 0$$

أي أن التوتر المتوسط على طرفي الممانعة معدوم في حالة التشغيل الكامل. لذا بالعودة للعلاقة أعلاه نجد:

$$R.I_{av} = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha = U_{av}$$

لذا يمكن حساب التيار حسابياً في حالة التشغيل الدائم دون العودة للحالة العابرة.
- التوتر المقوم U يمكن تمثيله بمقطعين حسب سلسلة فورييه وعليه:

$$U(t) = U_{av} + U_2 \sqrt{2} \sin(2\omega t + \psi_2)$$

دور التوتر U يساوي $\frac{T}{2}$. والمركبة التوافقية الأولى هي ذات نبضات 2ω .

وهذا سوف يمرر تياراً بالشكل:

$$I(t) = I_{av} + I_2 \sqrt{2} \sin(2\omega t + \psi_2 + \phi_2)$$

- إذا ركزنا على المطالات يمكن حسابها من العلاقات:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R}, \quad I_2 = \frac{U_2}{\sqrt{R^2 + (L \times 2\omega)^2}}$$

10- معالجة موجة التوتر والتيار في محركات التيار المستمر:

المعادلات الأساسية لمحركات التيار المستمر تعطى بالشكل:

$$U = E + I_a R_a \quad - \text{التوتر على طرفي المحرك:}$$

$$E = K_1 N \phi \quad - \text{القوة المحركة الكهربائية العكسية:}$$

$$T = K_2 I_a \phi \quad - \text{العزم:}$$

- التدفق: $\phi = K_3 I_f$

- الاستطاعة الكهرومغناطيسية: $TN = EI_a$

I_a تيار المتحرض، I_f تيار التحريض، R_a مقاومة المتحرض، N سرعة الدوران (Rad/s) و K_1 و K_2 ثابت ويمكن أن يكون $K_1=K_2$ لدى أخذ N (Rad/s) الجداء $[K_2\phi=C]$ والذي نطلق عليه ثابت التدفق للآلة (Constant of flux).
- من المعادلات أعلاه يمكن كتابة:

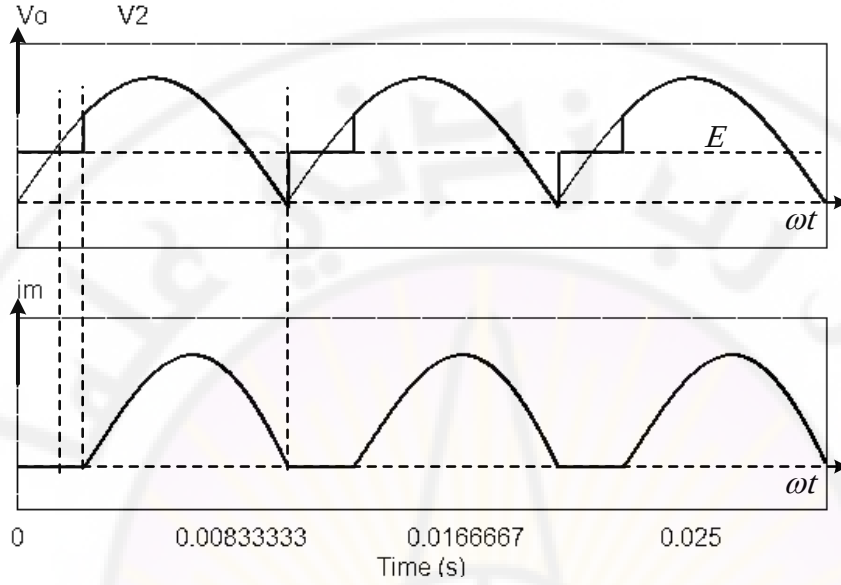
$$\frac{T}{I_a} = \frac{E}{N} \Rightarrow$$

$$T = K_2 I_a \phi = K_2 \phi I_a = C I_a$$

حيث $C = K_2 \phi$ بالتعويض أعلاه عن العزم

$$\frac{C I_a}{I_a} = \frac{E}{N} \Rightarrow N = \frac{E}{C}$$

- لدى حساب القيمة المتوسطة للتوتر على طرفي المحرك مع وجود توتر المنبع (جسر التقويم) والقوة المحركة الكهربائية العكسية تعطى القيمة المتوسطة لتوتر مشابه للشكل المرسوم أدناه بالطريقة التالية:



الشكل (26-1) أثر القوة المحركة الكهربائية على تيار الحمل

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{110}^{180} V \sqrt{2} \sin \theta . d\theta + E \times \pi \frac{60}{180} \right]$$

60° فترة استمرار القوة المحركة الكهربائية العكسية.

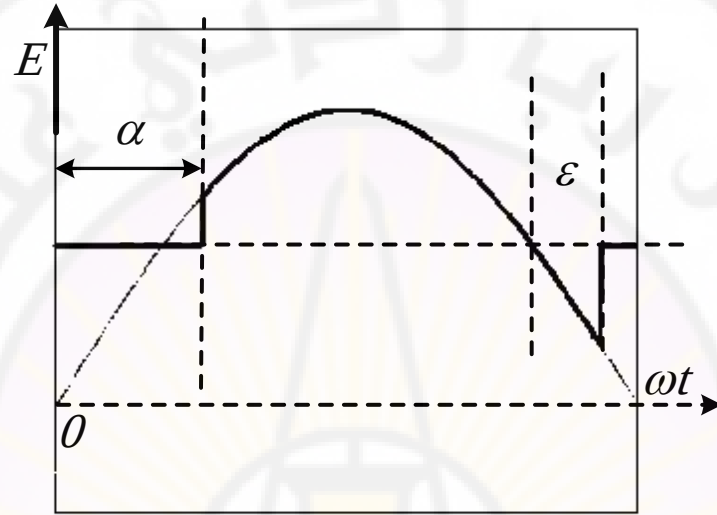
- التيار الكلي القادم من منبع التغذية i_1 يكافئ مجموع مركبة التيار المتناوب في حالة العمل الدائم إضافة إلى المركبة المستمرة في حالة العمل الدائم ومركبة ثالثة متناقصة أسية متوافقة مع شروط العمل الأولية للتيار i_1 عند الزمن $t=0$.

- مركبة التيار المتناوب تعطى بالشكل:

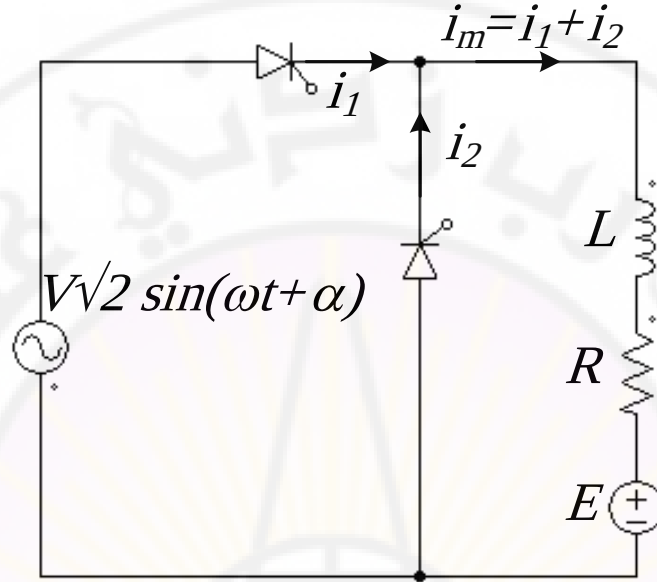
$$\frac{V \sqrt{2}}{Z_{ac}} \sin \left(\omega t + \frac{\alpha}{180} \times \pi - \frac{\varepsilon}{180} \times \pi \right)$$

α : زاوية التأخير بالقدح بدءاً من الصفر $t=0$.

ε : فترة استمرار توصيل الثيرستور بعد تساوي توتر المنبع بالقوة المحركة الكهربائية العكسية أي الزمن اللازم حتى ينطفئ الثيرستور.



الشكل (1-27-أ) تقاطع موجة توتر المنبع مع القوة المحركة الكهربائية العكسية



الشكل (ب-27-1) تمثيل دائرة الاستطاعة والحمل

- التيار المستمر في الحالة الدائمة للعمل يعطى بالعلاقة: $\frac{E.M.F}{R_a}$

- المركبة الآسية $Ae^{-t/\tau}$ تحسب من معادلة التيار الكلي بعد العودة للقيم الأولية

وحساب $\tau = \frac{L}{R}$ وذلك من العلاقة: $i_1 = \frac{V\sqrt{2}}{Z_{ac}}$ نجد أن :

$$i_1 = \frac{V\sqrt{2}}{Z_{ac}} \sin\left(\omega t + \frac{\alpha \times \pi}{180} - \frac{\varepsilon \times \pi}{180}\right) - 25 + Ae^{-t/\tau}$$



الفصل الثاني

ثانياً : مجموعات التقويم التفرعية البسيطة



مثال (1):

عرف زمن الوصل للثيристور T_{on} .

الحل:

لدى تطبيق توتر مصعد موجب على الثيристور، وتطبيق نبضة قرح موجبة على البوابة باستطاعة كافية وزمن استمرار كافٍ، ينتقل الثيристور لحالة الوصل، لكن ليس بشكل لحظي، أي أنه سيأخذ فترة زمنية نطلق عليها زمن الوصل T_{ON} ، وهو مكون من جزأين:

1- زمن التأخير (t_d) Delay Time.

2- زمن الصعود (t_r) Rise Time.

وعليه فإن زمن التوصيل:

$$T_{ON} = t_d + t_r$$

- يعرف زمن التأخير (T_d) بأنه الفترة الزمنية بين لحظة وصول نبضة القرح إلى 50-90 % من مطالها الاسمي، ولحظة هبوط توتر المصعد إلى 90% من التوتر الاسمي أو ارتفاع تيار المصعد إلى 10% من التيار الاسمي، وهذا قد يأخذ فترة زمنية

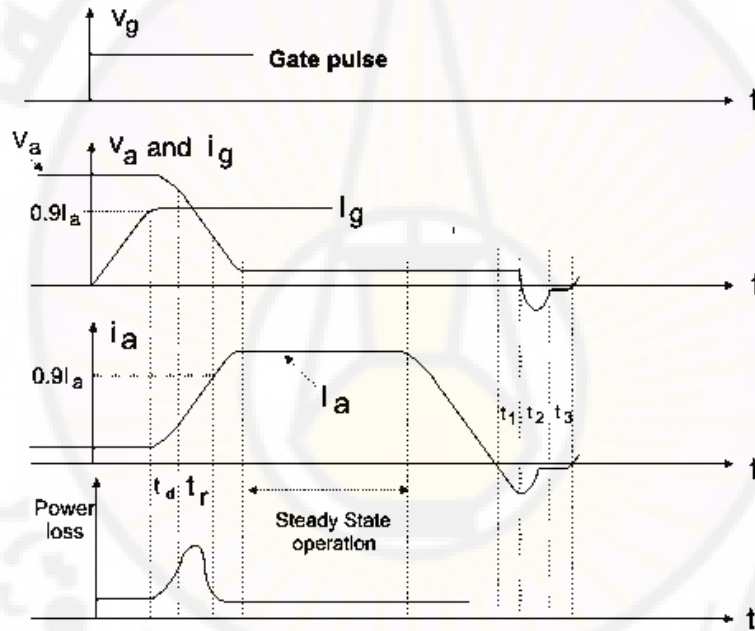
$$(0.5-1) \mu s.$$

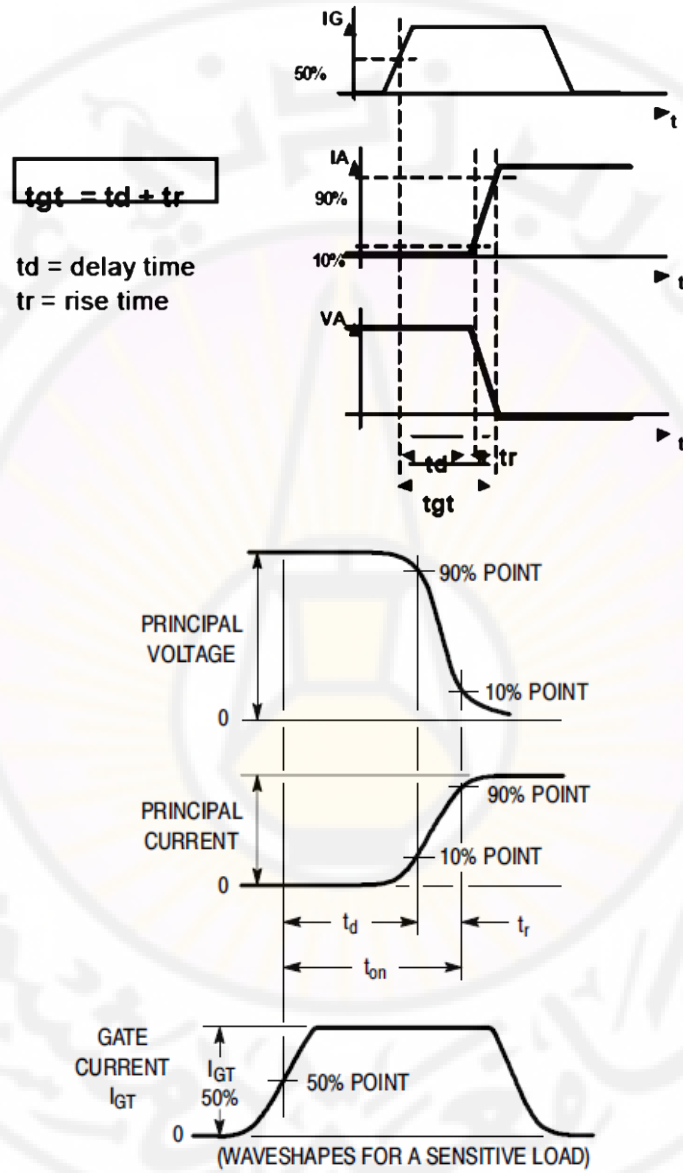
- يعرف زمن الصعود (T_r) بأنه الفترة الزمنية بين لحظة وصول تيار المصعد إلى 10% من تيار المصعد وارتفاع التيار إلى 90% من التيار الاسمي. وهذه الفترة قد تأخذ $(1-2) \mu s$ ، هذا وإن تزايد تيار المصعد $\frac{dI}{dt}$ قد يؤثر على بنية الثيристور، وقد تسبب حدوث بقع ساخنة في طبقات الثيристور (Hot- Spots). وللد من هذه الظاهرة يلزم رفع استطاعة النبضة وذلك لخلق منطقة توصيل أكبر بالقرب من

البوابة ولتغطية كامل سطح البلورات (P-N). كما أن إضافة حثية على التسلسل مع الثيرستور يساعد في تأخير تزايد التيار والحد من معدل التزايد، وبالتالي الحد من الفاقد في بلورات الثيرستور.

الشكل (2-1) أدناه يوضح زمن الصعود وزمن التأخير، وبالتالي زمن الوصل T-

•ON





شكل (2-1) منحنى زمن الوصل للثيристور - تيار المصعد وتوتره

مثال (2): عرف زمن الفصل للثيسترور T_{off} .

الحل:

- ينتقل الثيسترور من حالة الوصل إلى حالة الفصل بطريقتين وهما:

أ- تبديل طبيعي Natural Commutation.

ب- تبديل قسري Forced Commutation.

- يحدث التبديل الطبيعي في مجموعات التقويم كافة، أي في الأنظمة التي تقوم بتحويل التوتر المتناوب إلى التوتر المستمر (AC- DC Converter). كما يحدث التبديل الطبيعي في الجسور الثيسترورية التي تعمل كعاكس وتنقل الطاقة من الحمل إلى المنبع المتناوب، وفي هذه الحالة يتم التبديل بالاعتماد على توترات الأطوار المتناوبة في خط التغذية ، لذا يطلق عليها Line- Commutated Converter أي أن التبديل يتم عن طريق خط التغذية (وهو دائماً توتر متناوب). كما أن التبديل الطبيعي يحدث لدى استخدام الجسور الثيسترورية في قيادة المحركات التزامنية بما يسمى القيادة الذاتية للمحركات التزامنية Self-Control Synchronous Motor.

- يحدث التبديل القسري لدى استخدام الثيسترور في أنظمة التبديل من التوتر المستمر إلى التوتر المتناوب (DC- AC Converter). ولتحقيق عملية التبديل هنا يجب استخدام دارات حجز قسرية (مكثف- ملف- ثيسترور إضافي). وهذا سوف نتعرض له في المقطعات الثيسترورية والمعرجات.

- الشكل أدناه يوضح آلية الفصل للثيسترور وأزمنة الفصل.

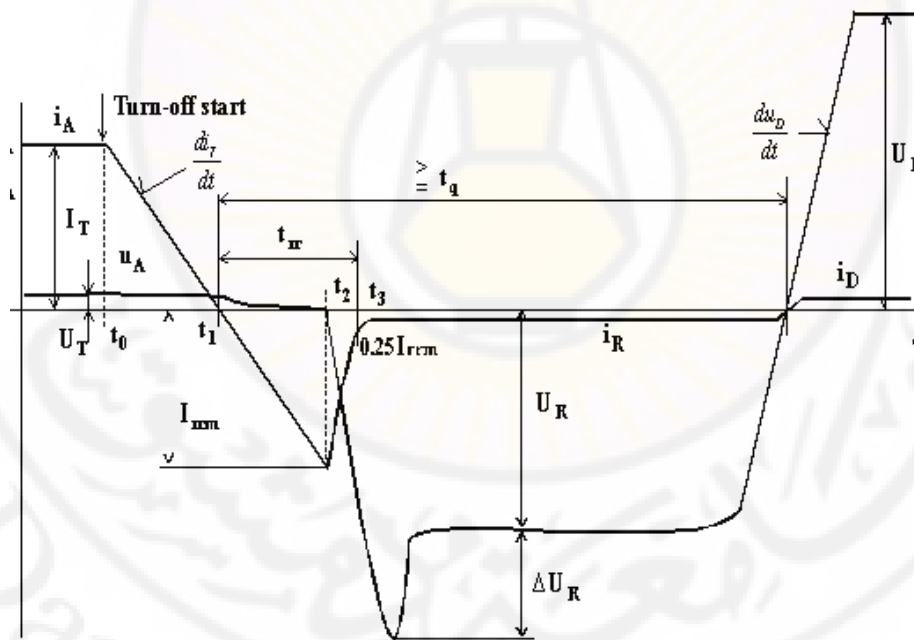
يقسم زمن الفصل إلى زمنين:

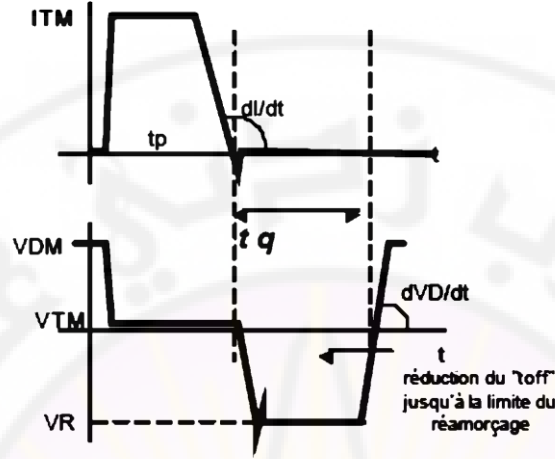
أ- زمن الاستعادة العكسي t_{rr} (Rivers Recovery Time).

ب- زمن الاستعادة العكسي للبوابة t_{gr} (Gate Reverse Recovery Time).

وزمن الفصل هو مجموع هذين الزمنين :

- لدى تطبيق توتر موجب على المهبط أكبر من توتر المصعد (توتر عكسي) سوف يبدأ الثيرستور بالانتقال لحالة التبديل (من حالة الوصل إلى حالة الفصل). عندما كان الثيرستور موصلاً كان التوتر بين المصعد والمهبط موجباً ويساوي (2-1.5) فولت تبعاً لحجم الثيرستور (توتره وتياره)، وكان التيار موجباً ويساوي تيار الحمل، خلال فترة التبديل يبدأ تيار المصعد بالتناقص وصولاً إلى القيمة صفر، لكن لن يتوقف عند الصفر بل سيستمر بتمرير تيار تسريب عكسي (بالميلي أمبير) في هذه الحالة تبدأ بلورات الثيرستور بتشكيل ممانعة للحد من مرور هذا التيار





الشكل (2-2) منحنيات توتر المصعد وتياره خلال زمن الفصل

التسريبي السالب وإن جداء التيار السالب بالممانعة سيشكل توتراً سالباً بين المصعد والمهبط وسوف ينتقل توتر المصعد للجهة السالبة، ويكون التوتر بين المصعد والمهبط سالباً، وهذا سوف يجبر تيار المصعد للعودة للصفر.

الفترة بين لحظة مرور تيار المصعد بالصفر وعودته للصفر يطلق عليها زمن الاستعادة العكسي t_{rr} وتساوي تقريباً (0.5- 1.5) ميكرو ثانية .

الفترة الواقعة بين عودة تيار المصعد للصفر وعودة توتر المصعد للصفر، يطلق عليها زمن الاستعادة العكسي للبوابة وهو زمن أطول بكثير من الزمن السابق وقد يتراوح بين (5- 100) ميكرو ثانية. أو أكثر من ذلك. في هذه الفترة تستعيد البوابة توازنها، وتستعيد البلورات إمكانية الحجز. من الأشكال أعلاه نلاحظ صغر زمن الاستعادة العكسي مقارنة مع زمن الاستعادة للبوابة ويكاد أن يكون مهماً . من الشكل نرى أيضاً، أن التوتر يعود للصفر بميل معين يساوي $\frac{dV}{dt}$ لذا إن تم تطبيق

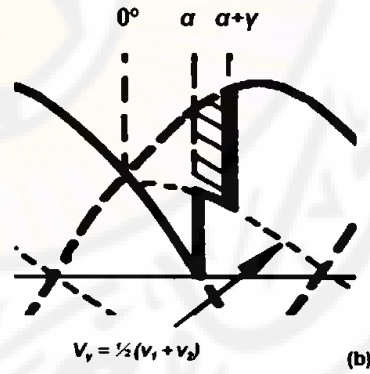
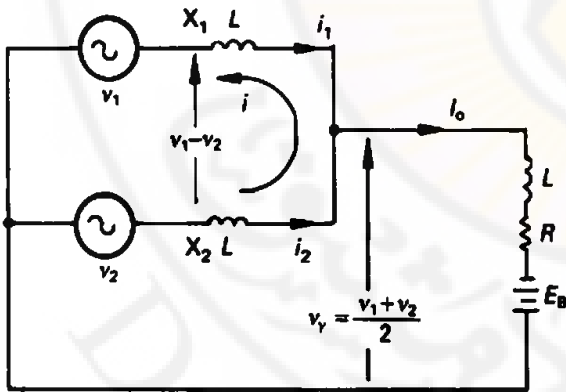
توتر مصعد موجب بقيمة $\frac{dV}{dt}$ أكبر من هذا الميل سوف يعيد الثيرستور للتوصيل دون الحاجة لتطبيق نبضة قدح على البوابة. ويجب دائماً أن يكون معدل تزايد التوتر المطبق أقل من ميل منحنى التوتر المذكور.

مثال (3):

عرف فترة التطابق في حالة العمل الطبيعي (دون تأخير) وفي حالة وجود تأخير في زوايا القدح. واستنتج العلاقات النازمة لهبوط التوتر الناتج عن التطابق وزوايا التطابق. ارسم أمواج التوتر والتيار خلال التطابق. اعتبر أن المجموعة تفرعية بسيطة ثلاثية الطور .

الحل:

الأشكال أدناه توضح فترة التطابق عند $\psi=0^\circ$ وعند $\psi=30^\circ$ لمجموعة تقويم تفرعية ثلاثية الطور بسيطة.



الشكل (آ-3-2) فترة التطابق وعمل عنصرين بآن واحد

بفرض أن أحد عناصر التقويم في حالة توصيل D_1 ، وليكن D_1 ، عند الزمن $T/4 +$ سوف ينتقل الديود D_2 للتوصيل .خلال فترة توصيل العنصر D_1 بمفرده

كان توتر الخرج المقوم يساوي توتر المصعد وهو V_1 ، كما أن توتر الخرج المقوم سيساوي القيمة V_2 ، لدى توصيل D_2 ، بسبب ممانعة الشبكة المغذية لعناصر الجسر لا يستطيع الديود أو الثيرستور الانتقال لحظياً لحالة الفصل ، لذا سوف يستمر العنصر D_1 بالتوصيل مع بدء توصيل العنصر D_2 ، فترة العمل المشترك لكلا العنصرين نطلق عليها فترة التطابق ، تعتمد قيمة هذه الفترة كما سنرى لاحقاً على تيار المصعد ، حثية الشبكة ، تردد العمل ، وتناسب عكساً مع توتر المنبع . التوتر المقوم الناتج عن المقوم خلال التطابق يساوي عادة متوسط توتري الطورين الواقعين تحت التطابق وهنا يساوي : $V_1 + V_2 / 2$. هبوط التوتر الناتج عن التطابق في الشكل أعلاه هو الجزء المظلل ومساحته تعادل هبوط التوتر خلال فترة عمل هذين العنصرين . وحسب طبيعة الجسر المستخدم ، في حالة جسر تقريعي بسيط ثلاثي الطور تضرب هذه المساحة بعدد الأطوار ، لأن التطابق سيتكرر ثلاث مرات . في الجسر التقريعي المضاعف تضرب ب 6 لأن التطابق يحدث في عناصر الجسر ذات الاتجاه الموجب وفي عناصر الجسر ذات الاتجاه السالب .

تتراوح القيم المقبولة لزاوية التطابق في أغلب الجسور بين القيمة الصغيرة 5-15 درجة ويجب أن لا تصل للزاوية 60 درجة إطلاقاً ، عندئذ نقصر المنبع . لكن بالمقابل يجب أن لا تتجاوز الـ 30 درجة في أصعب التطبيقات وأخرجها .

حساب العلاقة النازمة لهبوط التوتر الناتج عن التطابق :

عند اللحظة t_0 حيث التوتر $v_1(t) = v_2(t)$ ، تبدأ ظاهرة التطابق بالظهور ، يكون العنصر الأول موصلًا وعليه الانتقال لحالة الفصل ، وتلك اللحظة هي بدء فترة توصيل العنصر الذي يليه D_2 ، لذا فإن التيار الذي سيبدأ بالمرور فيه i_2 سوف يأخذ بالتزايد بدءاً من الصفر وصولاً للقيمة I_a عند الزمن $t_0 + T$ حيث تنتهي فترة التبديل .

تيار العنصر D_1 سوف ينتقل من القيمة I_d إلى الصفر خلال فترة التبديل .
خلال تلك الفترة التوتر المقوم على الحمل سيساوي حسب العلاقة .

$$u_d = v_1 - l \frac{di_{F1}}{dt} = v_2 - l \frac{di_{F2}}{dt}$$

بما أن تيار الحمل ثابت يمكن كتابة العلاقة :

$$i_{F1} + i_{F2} = I_d = c^{te} \Rightarrow \frac{di_{F1}}{dt} + \frac{di_{F2}}{dt} = 0$$

$$u_d = v_1 - l \frac{di_{F1}}{dt} = v_2 + l \frac{di_{F1}}{dt} \Rightarrow u_d = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

أي ان التوتر المقوم خلال التطابق او فترة التبديل سيكون مساوياً :
 $U_d = 1/2 (V_1 + V_2)$ بدلاً من V_2 . بعد انقضاء فترة التبديل يعود
التوصيل للحالة العادية ويكون لدينا :

$$i_{F1} = 0 \quad i_{F2} = I_d \quad u_d = v_2$$

نترجم فترة التطابق بهبوط توتر لحظي يمكن حسابه حسب العلاقة :

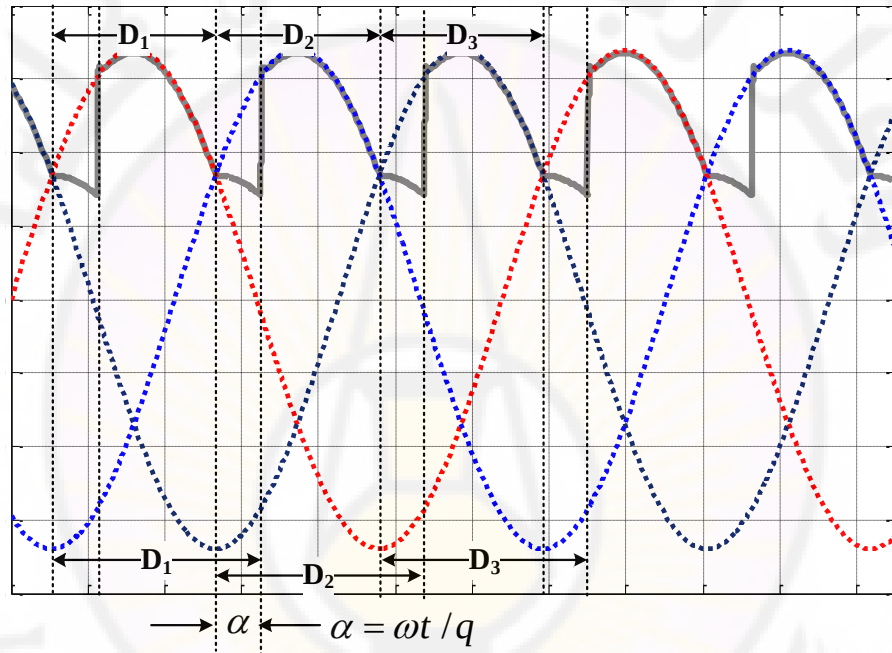
$$\Delta_1 u_d = u_{di} - u_d = v_2 - \frac{1}{2}(v_1 + v_2) = \frac{1}{2}(v_2 - v_1) = l \frac{di_{F2}}{dt}$$

حيث u_{di} توتر الطور غير الواقع تحت التطابق او التبديل . وبإجراء التكامل لفترة
التطابق المحددة بزمان التطابق والتوتر الناتج من الفرق بين توتر الطور فيما لو لم
يكن تطابق والتوتر خلال التطابق نجد :

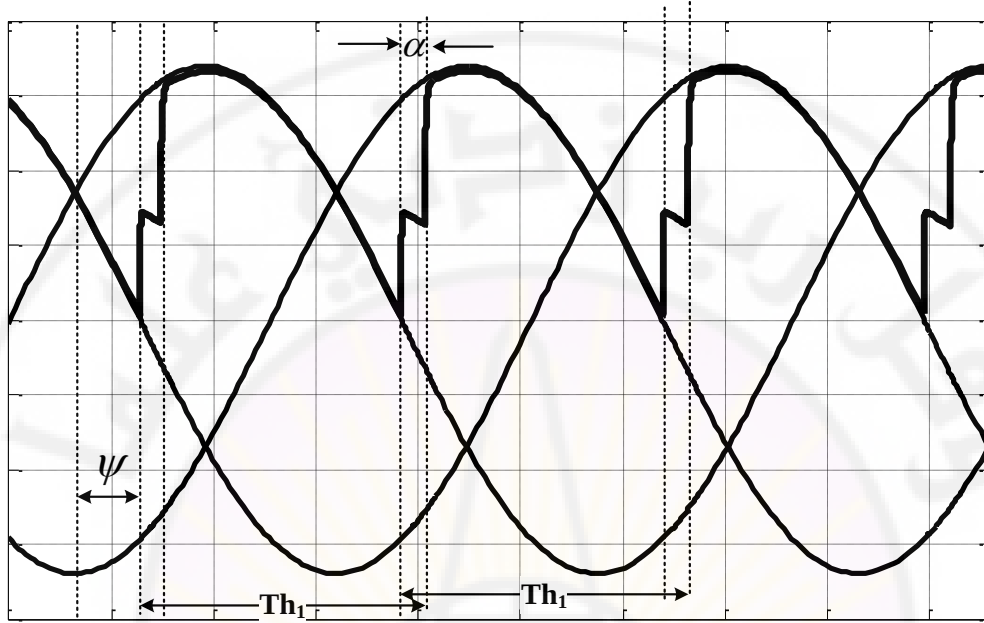
$$\Delta_1 U_{d0} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\tau} \frac{1}{2} (v_2 - v_1) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\tau} l \frac{di_{F2}}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^{I_d} l di_{F2} = \frac{1}{T} \cdot l \cdot I_d$$

$$\Delta_1 U_{d0} = \frac{1}{T} l \cdot I_d = \frac{l \omega}{2\pi} I_d$$

أي أن هبوط التوتر تابع لحثية الشبكة قبل مصعد العنصر ،والى تردد العمل ،وتيار الحمل المار ،وكما يتناسب عكساً مع عدد الأطوار ،لذا فالعلاقة أعلاه يجب ان تضرب بعدد الأطوار 3 أو 6 تبعاً لنوع مجموعة التقويم .



الشكل (ب-3-2) توتر الخرج مع إظهار التطابق عند عدم وجود إزاحة



الشكل (س-3-2) توتر الخرج مع إظهار التطابق عند وجود إزاحة

حساب زمن التطابق أو فترة التطابق :

باعتبار أن U التوتر الفعال المركب المتواجد بين مصعدي عنصرى التقويم الواقعين تحت التطابق، يمكن كتابة العلاقات التالية :

$$u_a = v_1 - l \frac{di_{F1}}{dt} = v_2 - l \frac{di_{F2}}{dt} = v_1 + l \frac{di_{F2}}{dt}$$

$$2l \frac{di_{F2}}{dt} = v_2 - v_1 = u_{21} = U\sqrt{2}\sin(\omega(t - t_0)).$$

حيث أن تيار الطور الثاني يمكن بعد إجراء التكامل ان يعطى بالعلاقة :

$$i_{F2} = -\frac{U\sqrt{2}}{2l\omega} \cos(\omega(t - t_0)) + C^{te}.$$

عند اللحظة $t=t_0$ (بداية التطابق) قيمة التيار المار في العنصر الثاني تساوي

الصفـر $I_{F2}=0$ ، مما يسمح بحساب ثابت التكامل المبين أدناه :

$$C^{te} = \frac{U\sqrt{2}}{2l\omega}.$$

ومنه نستخرج معادلة التيار المار في الطور الثاني

$$i_{F2} = \frac{U\sqrt{2}}{2l\omega} (1 - \cos(\omega(t - t_0))).$$

عند اللحظة $t_0 + T$ نهاية فترة التطابق حيث تيار الطور الثاني يصل للقيمة النهائية لتيار الحمل I_d فإن العلاقة أعلاه تصبح بعد التعويض بالزمن :

$$I_d = \frac{U\sqrt{2}}{2l\omega} (1 - \cos(\omega\tau)).$$

من العلاقة أعلاه نستخرج زمن التبديل المعطى بالعلاقة التالية :

$$\tau = \frac{1}{\omega} \text{ArcCos} \left(1 - \frac{2l\omega}{U\sqrt{2}} I_d \right) = \frac{T}{2\pi} \text{ArcCos} \left(1 - \frac{\sqrt{2}l\omega}{U} I_d \right).$$

من العلاقة أعلاه نلاحظ أن زمن التبديل يتناسب مع زيادة تيار الحمل وقيمة حثية الشبكة ويتناقص كلما ارتفع توتر المنبع .

تناقص تيار العنصر الذي ينتهي للفصل وتزايد تيار العنصر الذي ينتهي للوصل غير خطي ،إنما ذلك لا يؤثر على زمن التطابق أو هبوط التوتر الناتج عن التطابق والمعطى بالعلاقة السابقة . (هذا ويمكن العودة للكتاب النظري لمراجعة العلاقات النازمة للتطابق وزاوية التطابق عند عدم وجود إزاحة بالطور وعند وجود إزاحة بالطور).

مثال (4):

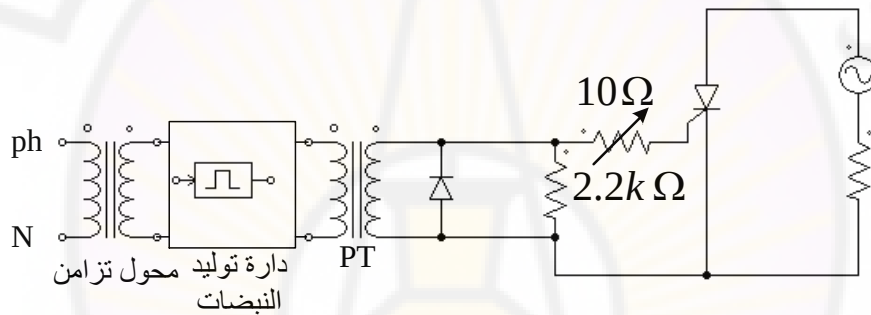
بين مكونات الدارة الالكترونية اللازمة لقدرح الثيرستور، وبين لنا أثر الحمل الأومي والحمل التحريضي على مواصفات وخواص إشارة القدرح.

- وضح بالرسم كيف يمكن تحقيق التزامن بين دوائر توليد النبضات ومحولات الاستطاعة المغذية لجسر تقويم ثلاثي الطور مضاعف PD3.

الحل:

تمتاز نبضة القذح بثلاث صفات وهي:

- 1- زمن صعود النبضة.
- 2- زمن استمرار النبضة.
- 3- ارتفاع (مطال) النبضة.



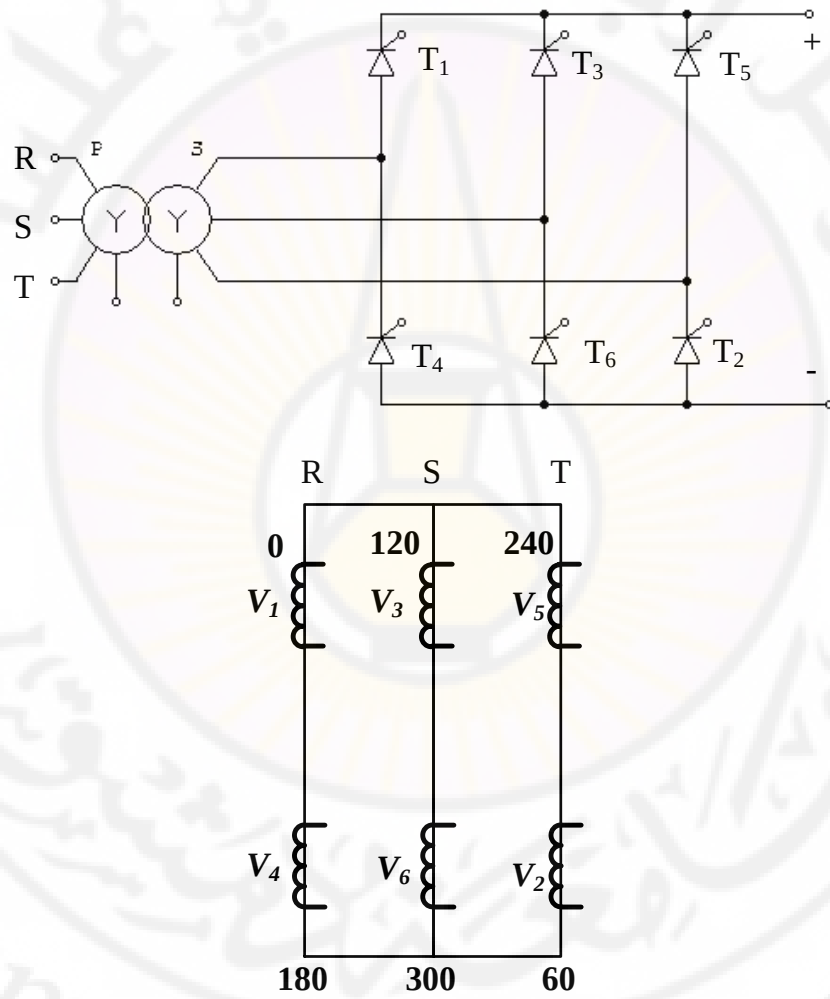
الشكل (2-4) مكونات دائرة توليد النبضات بشكل عام

في حالة الحمل الأومي يكفي تطبيق نبضة قذح ضيقة إبرية ، بينما في حالة الحمل التحريضي يلزمنا تطبيق نبضة قذح عريضة وذات زمن استمرار أكبر من حالة الحمل الأومي ، لذا تستخدم نبضات بعرض 60° درجة وقد يصل إلى 120° إنما نعمل على تهشير هذه النبضة حتى نخفف من المفاهيم في البوابة .

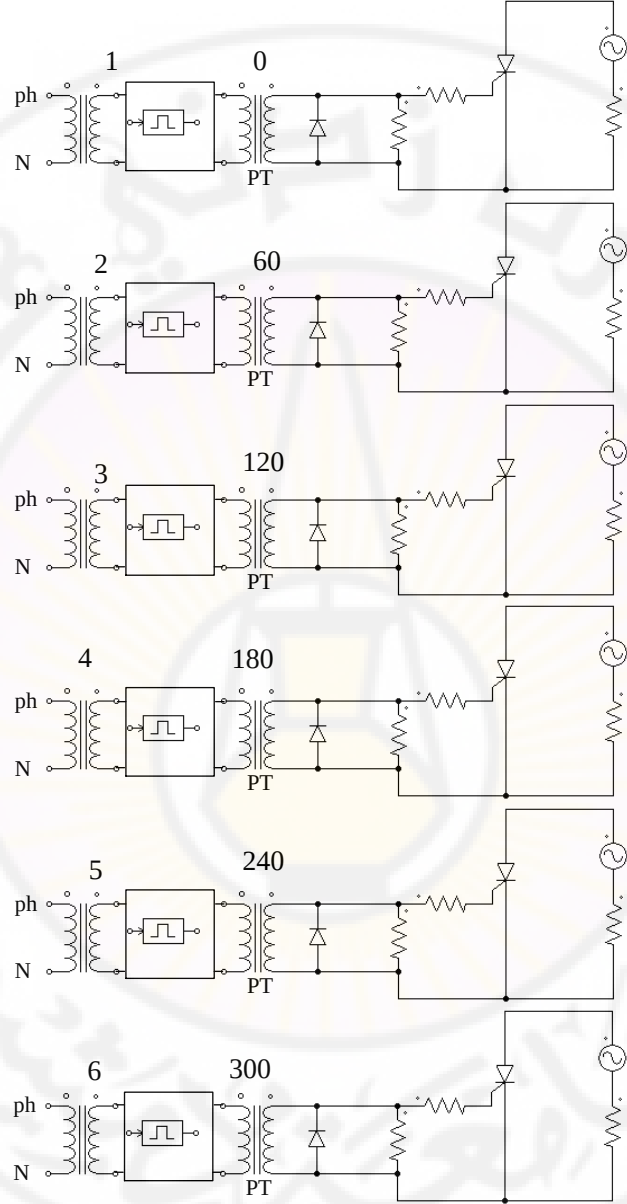
تستخدم دارات الكترونية متعددة لتشكيل نبضة القذح، سوف لن نتعرض لمثل هذه الدوائر، لكن يجب دائماً توفير محول دخل لتزامن نبضة القذح مع توتر المصعد أو المحول الرئيسي المغذي لجسر التقويم. كما يجب عزل النبضة عن دائرة الاستطاعة سواءً بمحول نبضي (Pulse Transformer) أو بدارة عزل الكترونية ضوئية (Photo- Diode).

- لكن استخدام المحول النبضي سوف يسبب ظهور مركبة توتر سالبة في نبضة القذح (لأن النبضات دائماً ذات مركبات توتر موجبة، ولابد حسب قانون لنز من ظهور جزء سالب حتى يصبح الأمبير لفة في المحول مساوياً للصفر) لذا دائماً نستخدم ثنائي أو ديودات سريعة توضع على النقرع في ثانوي المحول النبضي مع مقاومة أومية (2-1.2) كيلو أوم للحد من مرور تيار كبير في ثانوي المحول النبضي. وللحد من تيار البوابة يتم إضافة مقاومة تسلسلية صغيرة (20-5) أوم.

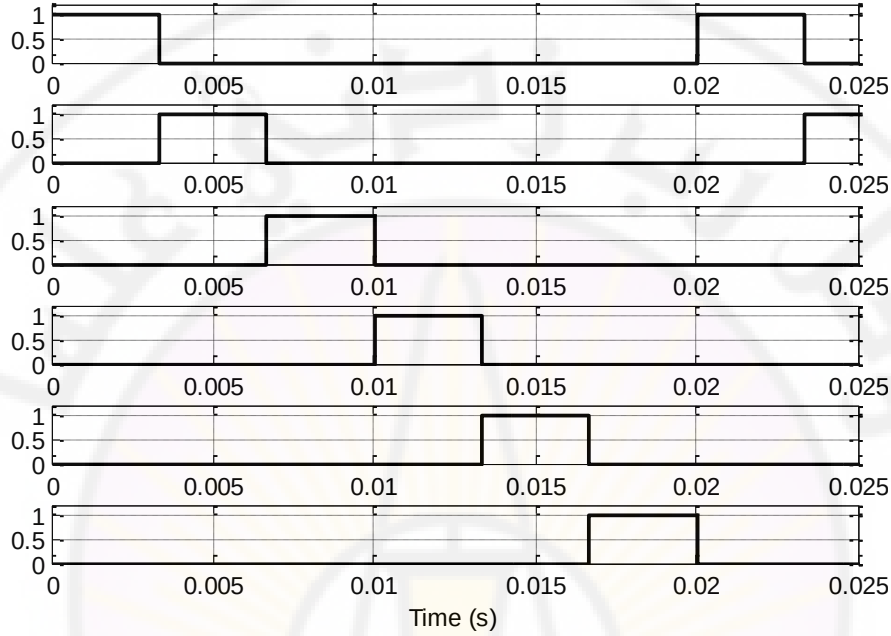
- لتحقيق التزامن بين نبضات القذح والثريستورات المستخدمة، سوف نأخذ مثلاً حالة جسر تقويم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور (PD3). لدينا هنا ست ثريستورات لذا يلزمنا ست نبضات، تتابع القذح لهذا الجسر هو بأن يتم توليد نبضة قذح كل 60 درجة تطبق هذه النبضات على العناصر الثريستورية حسب الأسماء المعطاة لها (1-2-3-4-5-6) أي أن النبضة رقم (1) التي تبدأ عند الصفر يجب أن تطبق على الثريستور الأول، ثم النبضة التي ستنشأ بعد 60 درجة سوف تطبق على الثريستور Th_2 ، وهكذا، الثريستور السادس سوف تطبق عليه نبضة مزاحة عن الأولى بـ 300 درجة. والأشكال توضح ذلك. - كي نسهل توليد نبضات متزامنة مع الأطوار ، يلزمنا استخدام محول تزامن صغير الاستطاعة (استطاعته تقدر بـ 30-50 VA) يربط الملف الابتدائي له بنفس طريقة ربط ابتدائي محول الاستطاعة المستخدم للجسر الرئيسي PD3، ويوضع ملفين على كل ذراع من أذرع المحول الثلاث، في هذه الحالة، فرق الطور بين توتر الطور للملف الأول وتوتر الطور للملف الرابع هو 180 درجة وهكذا. التوترات الناتجة من هذه الملفات الصغيرة التوتر (20-10) فولت تطبق على دائرة توليد النبضات لتوليد النبضات المتزامنة مع هذه التوترات حتى تطبق على بوابات الثريستورات الموافقة لكل طور أو ملف في دائرة الاستطاعة ولكل دائرة على حدا كما في الشكل .



الشكل (آ-5-2) جسر التقويم واختيار الملفات لتحقيق التزامن من محول إضافي



الشكل (ب-5-2) آلية توليد توترات التزامن ($V_1, V_2, V_3, \dots, V_6$) وتتابع القدر لعناصر الجسر الثيرستوري.



الشكل (س-5-2) تتابع نبضات القذح للجسر عند الزاوية 60 درجة تكافئ
3.33 ميلي ثانية

مثال (5):

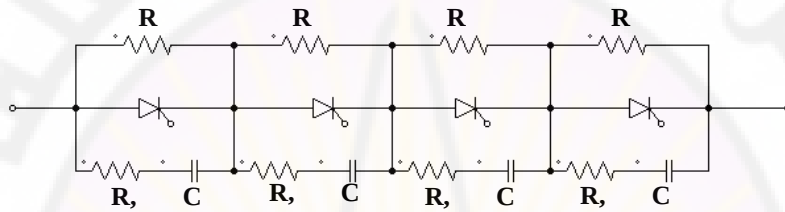
كيف يتم ربط عناصر التقويم الثيرستورية على التسلسل ولماذا؟ بفرض أن توتر
الطور للمحول الثانوي المغذي للجسر الثلاثي الطور المضاعف PD3، 100KV،
ما هو عدد العناصر الواجب ربطها على التسلسل، علماً أن التوتر العكسي الذي
يتحمله الثيرستور الواحد يساوي 2500 فولت.

الحل:

يتم ربط عناصر التقويم على التسلسل عندما يكون توتر الطور في ثانوي المحول
كبير، ولا يمكن استخدام ثيرستور وحيد قادر على تحمل التوتر العكسي المتشكل
على هذا الثيرستور. لذا يتم ربط عدد من الثيرستورات على التسلسل بشكل يكون فيه

مجموع التوترات العكسية للثيристورات الموصلة على التسلسل أكبر من التوتر العكسي الممكن نشوؤه على الذراع الواحد.

- ويتم حماية هذه الثيристورات بمقاومات تفرعية كبيرة القيمة تربط على التفرع مع الثيристورات، كما يتم إضافة عناصر RC على التفرع مع كل ثيستور للحماية من التوترات العابرة Snober. والشكل يبين أحد الفروع.



الشكل (2-6) ربط الثيристورات على التسلسل للحماية من ارتفاع التوتر

R_1 : مقاومة صغيرة بالأوم R : مقاومة كبيرة $K\Omega$.

C : بالميكرو فاراد.

- إذا كان توتر الطور للثانوي كقيمة فعالة 100KV، عندئذ التوتر العكسي الأعظمي الذي سيتشكل على عنصر في مجموعة تقويم تفرعية بسيطة أو مضاعفة يساوي:

$$\begin{aligned} V_{i\max} &= 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} \\ &= 2 \cdot \sqrt{2} \times 100 \times 10^3 \times \cos \frac{180}{2 \times 3} \\ &= \sqrt{2} \times 100 \times 10^3 \sqrt{3} = 244.9KV \end{aligned}$$

- بما أن التوتر العكسي للثيستور الواحد هو 2500 فولت فإن العدد الأصغري للثيستورات المطلوب استخدامها هو:

$$244900 \div 2500 = 97.96 \approx 98$$

أي العدد المقبول (100) عنصر على التسلسل.

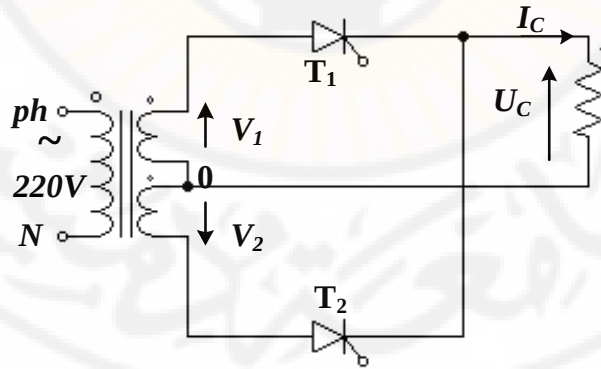
مثال (6):

مجموعة تقويم تفرعية بسيطة $q=2$ (مضاعف تردد) تعمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi=60^\circ$ درجة، بفرض أن الحمل غير تحريضي بشكل كاف. مقاومة الحمل $R=10\Omega$ ، $L=30\mu H$. إذا كان توتر الطور في ثانوي المحول 120 فولت. احسب ما يلي:

- 1- ارسم دائرة الاستطاعة لهذا الجسر.
- 2- احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج، وارسم شكل التوتر المقوم الناتج باعتبار أن تيار الحمل متقطع.
- 3- ارسم شكل التوتر العكسي على أحد الثيرستورات T_1 عند $\psi=60^\circ$ واحسب القيمة العظمى للتوتر العكسي.

الحل:

1 - دائرة الاستطاعة:



الشكل (آ-7-2) دائرة الاستطاعة للجسر، مضاعف التردد، تفرعي بسيط ذي نقطة

وسط

في هذا النوع من الجسور، التي تغذى من منبع أحادي الطور (N + Ph)، نأخذ ملفين في الثانوي، زاوية فرق الصفحة بينهما 180° (V_1 و V_2).
2- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$V_m = 120\sqrt{2}, \quad q = 2$$

$$U_C = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \times 120 \cos \psi$$

$$U_C = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \times 120 \times \frac{1}{2} = 54 \text{Volts}$$

هنا تم إهمال كون الجزء السالب من موجة توتر الخرج لا يستمر لفترة تكافئ الفترة التي تستمر فيها الموجة فيما لو كان الحمل تحريضياً. (ولم نحاول الدخول في عملية التكامل لموجة التوتر وتحديد فترة استمرار موجة توتر الخرج في الجزء السالب).

- تعطى القيمة العظمى للتوتر العكسي بالعلاقة:

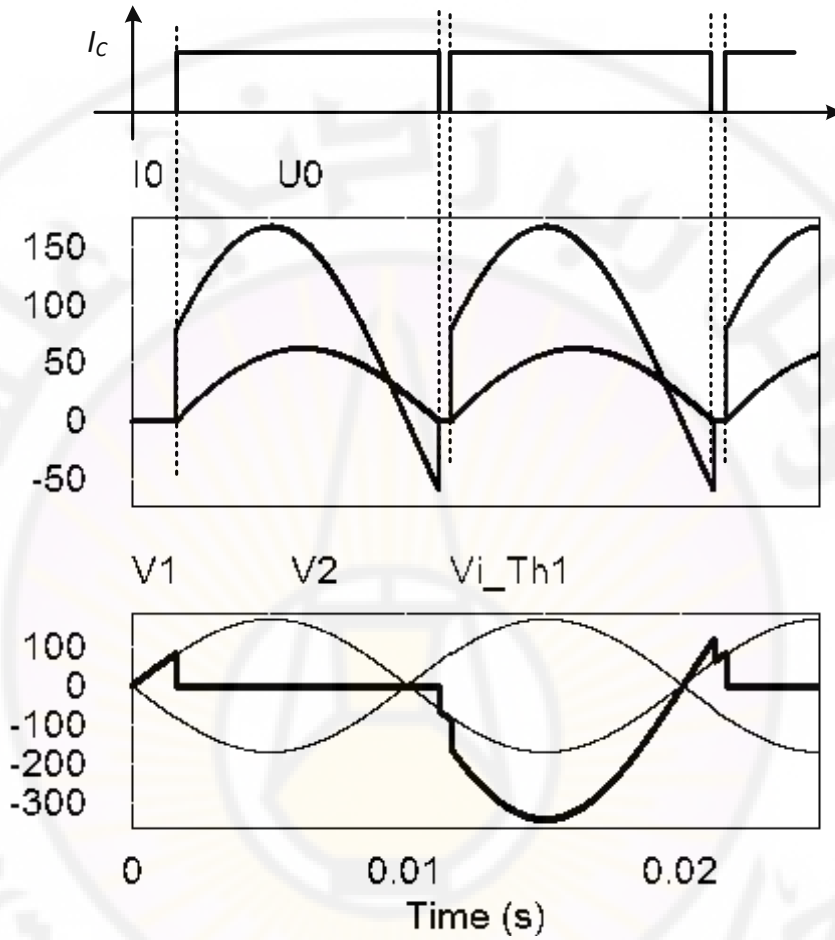
$$V_{i \max} = 2V_m$$

$$V_{i \max} = 2 \times \sqrt{2} \times 120 = 338.94 \text{Volts}.$$

ملاحظة :

بالنظر لطريقة رسم التوتر العكسي لأحد الثيرستورات، نعلم أن التوتر العكسي يساوي توتر المصعد مطروحاً منه توتر المهبط، هنا توتر المصعد يساوي توتر الطور V_1 وتوتر المهبط يساوي توتر الطور الثاني إذا كان الثيرستور الأول في حالة حجز، لذا فالتوتر العكسي على الثيرستور الأول يأخذ القيمة صفر طالما كان موصلاً، وبما أن حثية الحمل غير كافية لاستمرار التيار في الثيرستور الأول حتى يتم قدح

الثيرستور الثاني، فإن التوتر العكسي على الثيرستور الأول سيعود للقيمة التي تساوي الفرق بين توتر المصعد وتوتر المهبط، وهنا نرى كيف اخذ التوتر العكسي قيمة توتر الطور الأول لفترة قصيرة حتى بدأ الثيرستور الثاني بالتوصيل وأصبح التوتر العكسي ذي قيمة أكبر وهو فرق التوتر بين المصعد والمهبط مهما كان عدد الأطوار. لو كان الحمل أومي تتوضح هذه الظاهرة بشكل أكبر لأن التيار سوف يقف عند مرور توتر المصعد بالصفر، وسيكون التوتر العكسي بعدئذ مساوي لتوتر الطور الأول نفسه حتى ينتقل الثيرستور الثاني للتوصيل، وتقفز القيمة للضعف بعدئذ.



الشكل (2-7-أ) التوتر المقوم، تيار الحمل، و شكل (ب-2-7) التوتر العكسي على الثيرستور T_1

مثال (7):

لديك محول أحادي الطور توتر الابتدائي 220 فولت وتوتر كل طور في الثانوي 80 فولت، يوجد ملفان في الثانوي.

بين لنا ما يلي:

1- نسبة التحويل للمحول.

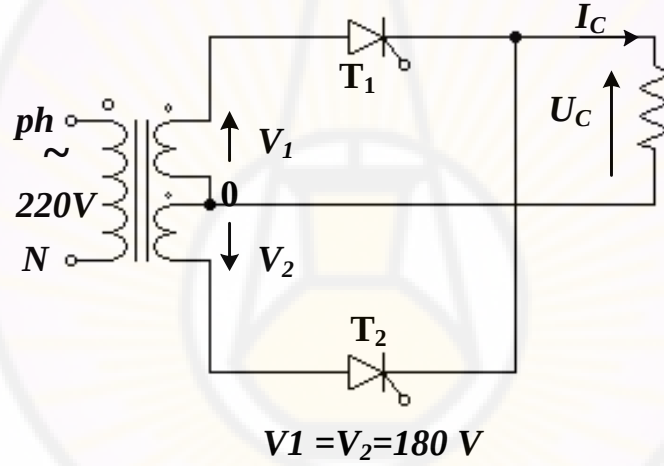
2- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج، إذا ركّبتنا على هذا المحول جسراً أحادي الطور ذا نقطة وسط (مضاعف تردد).

3- ارسم شكل التوتر المقوم الناتج إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور 60 درجة كهربائية. وما هي القيمة المتوسطة للتوتر عندئذ.

4- ما هي قيمة تيار الحمل المار إذا كانت ممانعة الحمل 10 أوم ومقاومته 4 أوم.

5- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي لأحد الثيرستورات المستخدمة.

الحل:



الشكل (آ-8-2) دائرة الاستطاعة لمقوم مضاعف التردد (أحادي الطور ذي نقطة وسط)

1- نسبة التحويل:

$$\frac{220}{80} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = 2.75$$

2- يعطى التوتر المتوسط المقوم لمثل هذه الجسور المضاعفة أحادية الطور ذات نقطة الوسط بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_{C0} = \frac{2}{3.14} \sqrt{2} \times 80 \times \sin \frac{180}{2} = 72.06 \text{Volts.}$$

3- باعتبار زاوية الإزاحة بالطور، التوتر المتوسط يعطى بالعلاقة:

$$U_C = U_{C0} \cdot \cos \psi = 72.06 \times \cos 60$$

$$U_C = 36.03 \text{Volts.}$$

4- قيمة تيار الحمل:

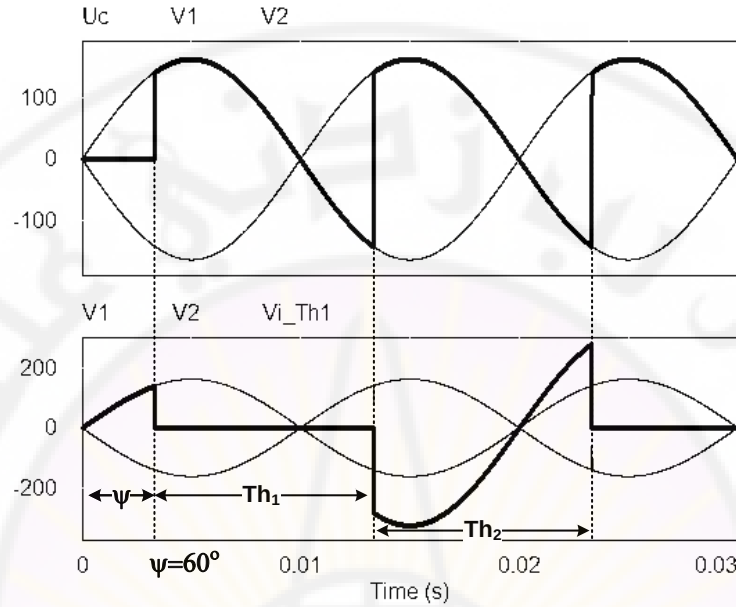
$$I_C = \frac{36.03}{4} = 9 \text{Amp.}$$

5- القيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد عناصر التقويم للجسر أحادي الطور

ذي نقطة وسط يساوي:

$$V_{i\max} = 2V_m$$

$$V_{i\max} = 2 \times \sqrt{2} \times 80 = 226.27 \text{Volts.}$$



الشكل (ب-8-2) شكل التوتر المقوم لمضاعف تردد

مثال (8):

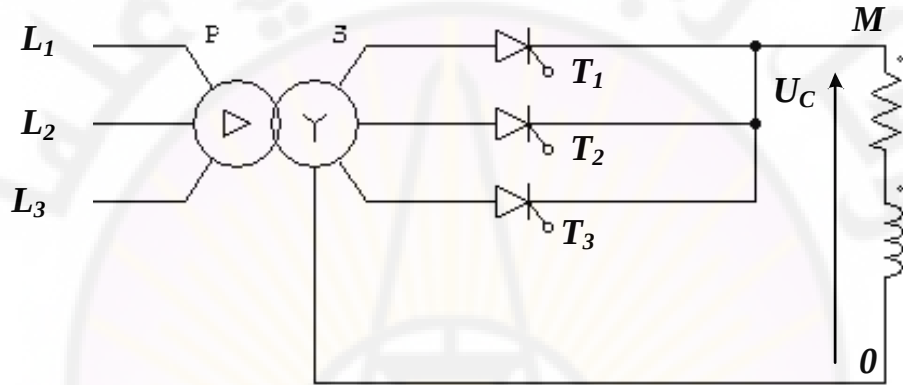
لديك محول ثلاثي الطور توتر الطور في الابتدائي 220 فولت وتوتر كل طور في الثانوي 100 فولت، يوجد ثلاث ملفات في الثانوي.

بين لنا ما يلي:

- 1- نسبة التحويل للمحول.
- 2- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج، إذا ركبنا على هذا المحول جسر تقويم مقاد ثلاثي الطور ذي نقطة وسط P_3 .
- 3- ارسم شكل التوتر المقوم الناتج إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور 30 درجة كهربائية. وما هي القيمة المتوسطة للتوتر عندئذ.

4- قيمة تيار الحمل المار إذا كان الحمل محرك تيار مستمر ممانعته 10 أوم ومقاومته 8 أوم.

5- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي لأحد الثيرستورات المستخدمة، ارسم شكل التوتر العكسي عند الزاوية 30 المقترحة



الشكل (آ-9-2) دائرة الاستطاعة لمقوم جسري تفرعي بسيط ثلاثي الطور

1- نسبة التحويل

$$a = \frac{220}{100} = 2.2$$

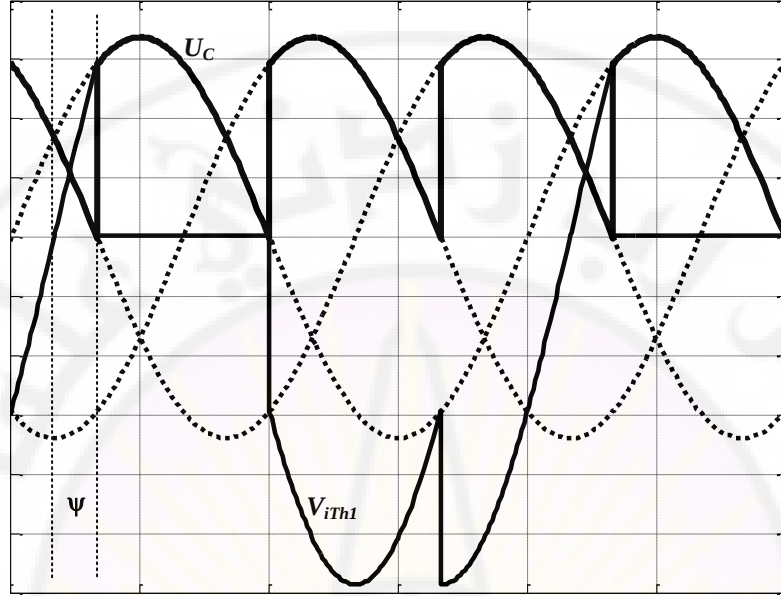
$$-2 \quad U_c = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} = \frac{3}{3.14} \sqrt{2} \times 100 \cdot \sin 60 = 135.116 \text{ Volts}$$

$$- \quad U'_c = 135.116 \times \cos 30 = 135.116 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 117 \text{ Volts}$$

$$-4 \quad i = \frac{117}{8} = 14.626 \text{ Amper}$$

$$-5 \quad V_i = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = 2\sqrt{2} \times 100 \times \cos \frac{180}{6}$$

$$V_i = 2\sqrt{2} \times 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 245 \text{ Volts}$$



الشكل (ب-9-2) التوتر المقوم، وشكل التوتر العكسي على TH1

مثال (9):

حدد القيمة الفعالة للتيار ذي القيمة الثابتة I الذي يمر كل $\frac{1}{q}$ من الدور في عنصر

التقويم .

الحل:

لدى تقسيم الدور إلى q فترة، فإن التيار خلال تلك الفترة من الدور يكون مساوياً I ويساوي الصفر خلال باقي الدور.

- مجموع المربعات للتيار في الفترات التي يمر بها التيار يساوي I^2 .

- مجموع متوسط هذه المربعات $= \frac{I^2}{q}$.

- التيار الفعال $= \left(\frac{I^2}{q} \right)^{\frac{1}{2}}$ وهي القيمة الفعالة للتيار.

مثال (10):

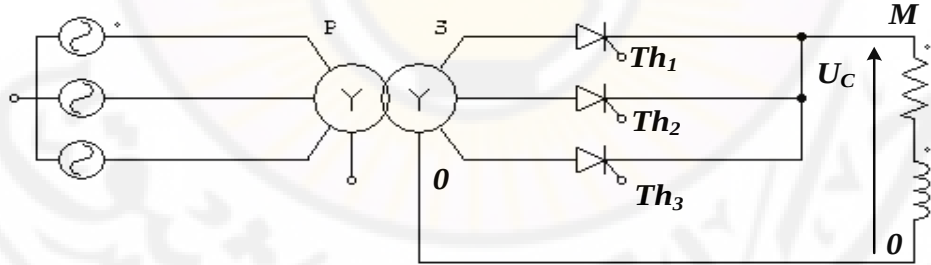
جسر تقويم تفرعي بسيط $q=3$ ، توتر الطور الأعظمي $V_m=180V$. يراد تشغيله عند زاوية إزاحة بالطور $\alpha=75^\circ$. ارسم شكل التوتر المقوم الناتج، وارسم شكل التوتر العكسي على الثيرستور الأول.

ما هي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم عند $\alpha=0$ وعند $\alpha=75^\circ$. وما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي. لدى إضافة ديود حر ما هو شكل التوتر المقوم الناتج.

الحل:

$$U_c = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$= \frac{3}{3.14} \cdot 180 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos 75^\circ$$



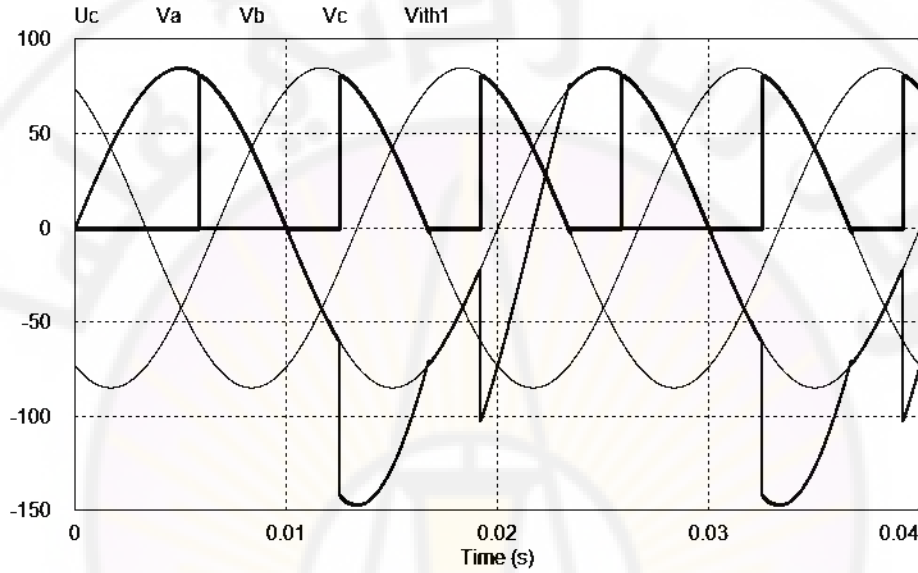
الشكل (آ-11-2) دائرة الاستطاعة للجسر الثلاثي الطور البسيط

$$U_{c0} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} 180 = 149 \text{ volts}$$

$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

$$V_{i\max} = 2 \cdot 180 \cdot \cos \frac{180}{6}$$

$$V_{i\max} = 2.180 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}V_m$$



الشكل (ب-11-2) التوتر المقوم والتوتر العكسي على الثريستور الأول

مثال (11):

مقوم ثلاثي الطور تفرعي بسيط مقاد، غذي من محول ثلاثي الطور. توتر طور الثانوي الفعال 200V. احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عند الزوايا $\psi=0^\circ$ ، $\psi=90^\circ$.

- ما هي القيمة العظمى لتوتر الخرج المستمر وذلك عند تشبع ملف الطور الموصل بين الجسرين.

- ما هي الاستطاعة الظاهرية لملف الطور المستخدم، إذا كان تيار الحمل $I_1=40A$. وماذا تصبح قيمة الاستطاعة إذا كانت العناصر المستخدمة من الديود.

الحل:

تعطى القيمة المتوسطة لتوتر الخرج لهذا الجسر حسب العلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

وتوتر خرج الجسر هو القيمة المتوسطة لكل جسر تفرعي بسيط $q=3$ وعليه

$$U_C = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot V_{eff} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \psi$$

$$U_C = 234V$$

عند $\psi = 0$

$$U_C = 0$$

وعند $\psi = 90^\circ$

- في حال عدم تشبع ملف الطور. يعمل الجسر وكأنه جسر مكون من ست أطوار تفرعي بسيط وشكل الموجة عند أية زاوية إزاحة بالطور ترسم بنفس الطريقة، يبدأ أي

ثيرستور بالعمل عند الزاوية $\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}$ وهنا يبدأ الثيرستور الأول بالعمل عند

$\omega t = 60^\circ$. أي عندما يصبح توتر الطور V_1 أكبر من باقي التوترات. وتصل أعلى قيمة للتوتر المقوم عند زاوية إزاحة تساوي الصفر.

ويمكن حساب القيمة المتوسطة العظمى بالعلاقة:

$$U_{Cav.max} = \frac{6}{2\pi} \int_{60}^{120} \sqrt{2} \times 200 \sin \theta d\theta$$
$$= 270Vols$$

- وبالاتماد على تحليل توتر ملف الطور الوارد في مسألة سابقة ، فإن المساحة تحت المنحني V_R خلال ربع الدور الأول يساوي:

$$\int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{2} \times 200 \sin \omega t \cdot d\omega t = 141.4 \text{ unite's}$$

والمساحة تحت المنحني الجيبي المماثل كانت تساوي : (0.47V).
وعليه فإن توتر ملف الطور يساوي:

$$141.4 = 0.472V$$

$$V = 300Volts$$

- الاستطاعة الظاهرية لملف الطور:

$$300 \times \frac{40}{2} = 6kVA$$

- إذا لم يكن الجسر مقادراً فإن توتر ملف الطور عندئذ سيكون: (80.4V).
واستطاعة ملف الطور الظاهرية تساوي:

$$80.4 \times \left(\frac{40}{2} \right) = 1.61kVA$$

مثال (12):

أوجد العلاقة النازمة للقيمة المتوسطة لتوتر خرج مقوم مقاد ذي عدد أطوار q.

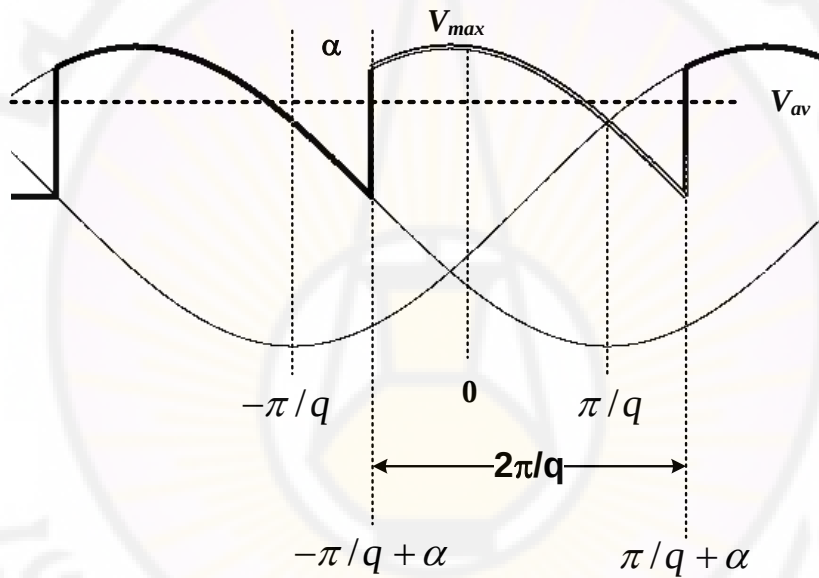
الحل:

حسب الشكل المرفق (12-2) شكل التوتر المقوم العام يمكن أن يرسم وذلك عند q عدد الأطوار ويساوي هنا 3. لذا فإن عدد القمم خلال الدور ثلاث قمم، لأنه تفرعي بسيط. مبدأ الموجة الجيبية اعتبر ماراً من قمة الموجة الجيبية وحسب الشكل نجد:

$$V_{av} = \frac{q}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{4} + \alpha}^{+\frac{\pi}{4} + \alpha} V_{\max} \cos \theta d\theta$$

$$V_{av} = \frac{qV_{\max}}{2\pi} \left[\sin\left(\frac{\pi}{q} + \alpha\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{q} + \alpha\right) \right]$$

$$V_{av} = \frac{qV_{max}}{2\pi} \left[\sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha + \cos \frac{\pi}{q} \sin \alpha - \sin \left(-\frac{\pi}{q} \right) \cos \alpha + \cos \left(-\frac{\pi}{q} \right) \sin \alpha \right]$$



الشكل (2-12) شكل التوتر والعلاقة مع القيمة المتوسطة

$$V_{av} = \frac{qV_{max}}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha$$

وهي العلاقة العامة التي نستخدمها في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة وعندما تصبح المجموعة تفرعية مضاعفة تضرب العلاقة ب (2) .

مثال (13):

محول ثلاثي الطور موصل زكزاك نجمي Zig-zag حسب الشكل (2-13) هذا المحول يغذي مقوم ثلاثي الطور تفرعي بسيط $q=3$. باعتبار أن الحمل تحريضي ويستجر تياراً قدره $30A$ / عند توتر 200 فولت. حدد مواصفات المحول المستخدم بفرض أن توتر التغذية 415 فولت وأن هبوط التوتر على كل عنصر تقويم كان 0.7 فولت.

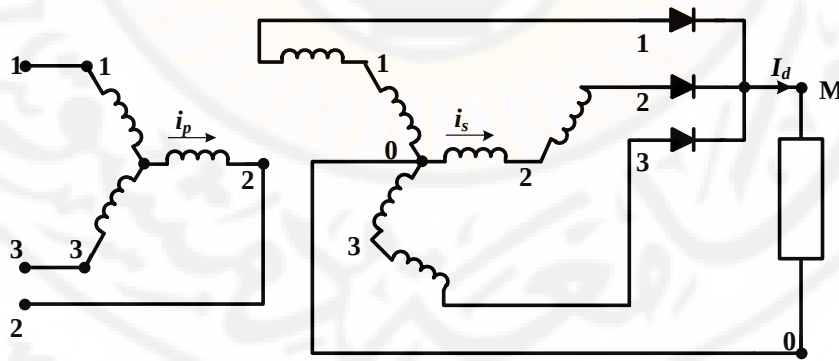
الحل:

يعطى التوتر المقوم الناتج عن جسر تقويم تفرعي بسيط مكون من ثلاثة أطوار بالعلاقة التالية:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

q : عدد الأطوار يساوي 3.

V_m : $\sqrt{2} \cdot V_{eff}$ توتر الطور الأعظمي.



الشكل (2-13-أ) جسر تقويم تفرعي بسيط $q=3$ موصل بشكل zig-zag

بالنطبق:

$$200 = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m - 0.7$$

ومنه

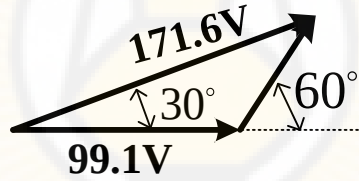
$$V_{eff} = 171.6V$$

هذا التوتر، هو التوتر المحصل لتوترين مجموعين بشكل شعاعي بينهما زاوية إزاحة 60° . وعليه يمكن حساب توتر الطور الواحد

$$V_{pheff} = \frac{171.6}{2\cos 30^\circ} = 99.1Volts \quad \text{بالشكل:}$$

- توتر الطور في ابتدائي المحول الموصل بشكل نجمي:

$$V_{phpr} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6V$$



- تيار كل ملف من ملفات الثانوي يساوي 30A. وهو يمر في هذا الملف لفترة لا تتجاوز $(\frac{T}{3})$ من الدور. وعليه فإن القيمة الفعالة لتيار الثانوي تعطى بالشكل:

$$I_{seff} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = 17.3A$$

- التيار الابتدائي المار نتيجة مرور هذا التيار في الثانوي يساوي:

$$I_{peff} = 30\left(\frac{99.1}{239.6}\right) = 12.4A$$

- تيار الابتدائي الفعال للطور الواحد يمكن استنتاجه من تيارات الأطوار في الثانوي وحسب شكل التيارات المبين يمكن القول أن تيار الابتدائي الفعال يعطى بالشكل:

$$I_{peff} = \left(\frac{12.4^2 + 12.4^2 + 0^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = 10.1A$$

- الاستطاعة في ثانوي المحول:

$$6 \times 99.1 \times 17.3 = 10.3kVA$$

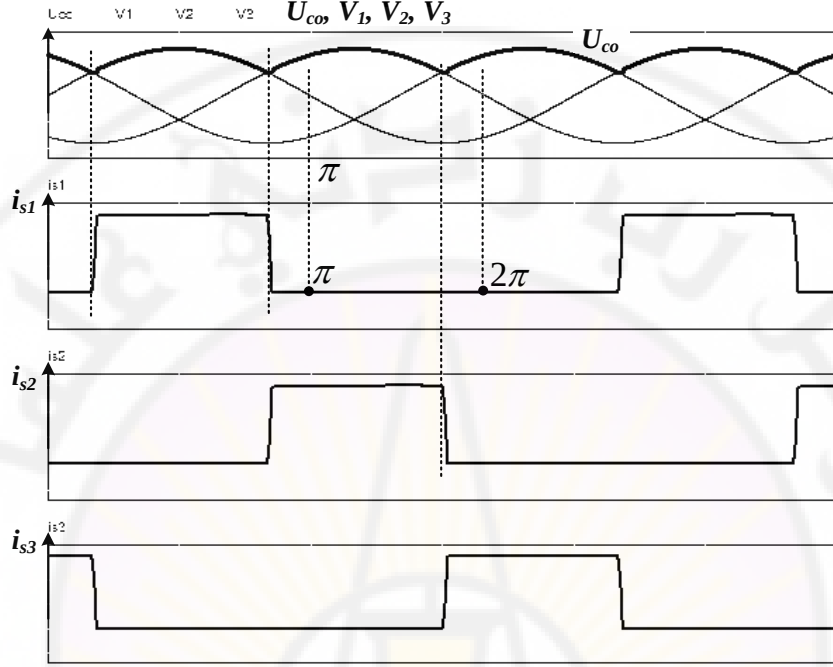
- الاستطاعة في الابتدائي:

$$3 \times 239.6 \times 10.1 = 7.3kVA$$

نلاحظ هنا وكأن استطاعة المحول في الثانوي الظاهرية أكبر من الاستطاعة في الابتدائي نظراً لوجود ست ملفات، ونتيجة الوصل على شكل زكزاك. لكن بالتأكيد لا يمكن استرجار استطاعة من هذا الجسر أكبر من استطاعة المحول المتوفرة في ملفات المحول الابتدائية. ونحن هنا لم ندخل زاوية عامل الاستطاعة في الحساب. خاصةً وأن زاوية تيار الطور في جسور التقويم لا تكون من نفس الطور توتر الطور. وهنا في النظام الثلاثي الطور توجد زاوية إزاحة لا تقل عن $\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}$ والتي

تساوي 30 درجة كهربائية.

أي يجب رفع استطاعة المحول بقسمة الناتج على تجب الزاوية هذه. وسوف نعالج هذه الظاهرة في مسائل أخرى.



الشكل (ب-13-2) توتر الخرج وتيارات الأطوار الثلاث

مثال (14):

لدينا جسر تقويم ثلاثي الطور تقرعي بسيط $q=3$ مقاد. حسب الشكل (أ-14-2) الوارد أدناه. ثم إضافة ديود حر على طرفي خرج الجسر. إذا كان توتر الطور الفعال في الثانوي 100V، مع إهمال هبوط الجهد على عناصر التقويم بين ما يلي:

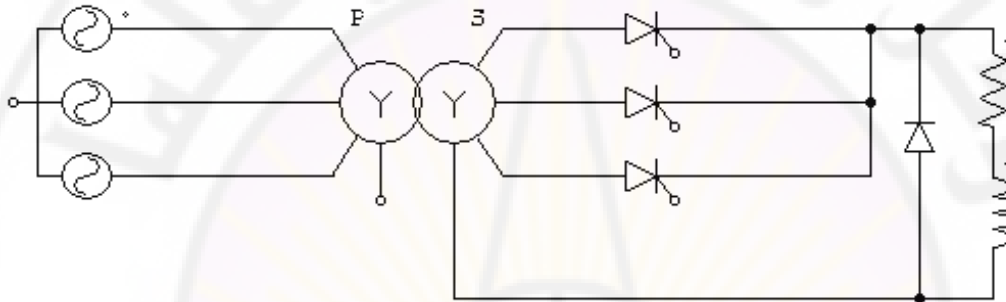
- 1- ارسم شكل التوتر المقوم عند الزاوية $\alpha=30^\circ$ واحسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.
- 2- ارسم تيارات الأطوار في ثانوي المحول.
- 3- ارسم علاقة توتر الخرج مع زويا الإزاحة بالطور مع وجود الديود الحر وبدونه.

الحل:

1- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة تعطى بالعلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$V_m = 100\sqrt{2}, \quad \psi = 30^\circ, \quad q = 3$$



الشكل (أ-14-2) دائرة الاستطاعة للجسر التفرعي البسيط الثلاثي الطور

وعليه:

$$U_C = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \times 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cos 30 =$$

$$U_C = 1.17 V_{eff} \cos 30 = 101.26 \text{ Volts}$$

بدون إزاحة بالطور

$$U_{C0} = 117 \text{ Volts}; \quad \psi = 0$$

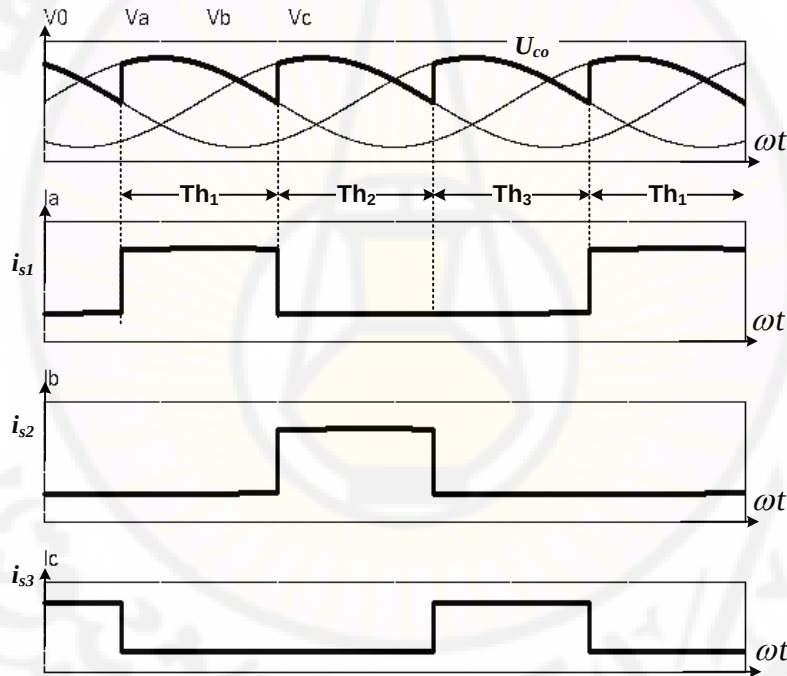
- في هذا النوع من الجسور، القيمة المتوسطة للتوتر المقوم هي نفسها سواء بوجود ديود حر أو بدونه حتى الزاوية 30° ، حيث يبدأ ظهور مركبة توتر سالب في موجة الخرج بعد الزاوية 30° فقط وعندها يبدأ الديود الحر بالعمل، حيث يعمل على حذف هذه المركبة ولا نرى أي توتر سالب بعدئذ في موجة الخرج.

2- شكل التوتر المقوم وتيارات الأطوار مبينة في الشكل أدناه.

3-- يمكن تشكيل الجدول التالي وذلك باعتماد العلاقتين، عند جسر مقاد وعند جسر مقاد وديود حر

$$U_C = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \times 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \psi$$

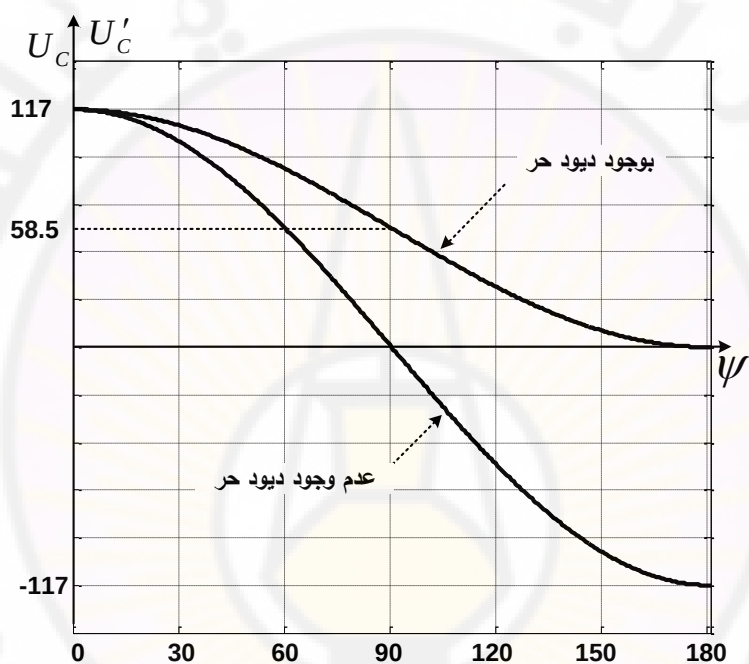
$$U'_C = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \times 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{1 + \cos \psi}{2} \right)$$



الشكل (ب-14-2) التوتر المقوم، تيارات الأطوار الثلاث

الجدول أدناه يعطي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم بحالة جسر نصف مقاد ،وجسر مقاد:

α	0	30	60	90	120	150	180
U_C	117	101.26	58.5	0	-58.5	-101.26	117
U_C'	117	101.26	87.75	58.5	29.25	7.87	0



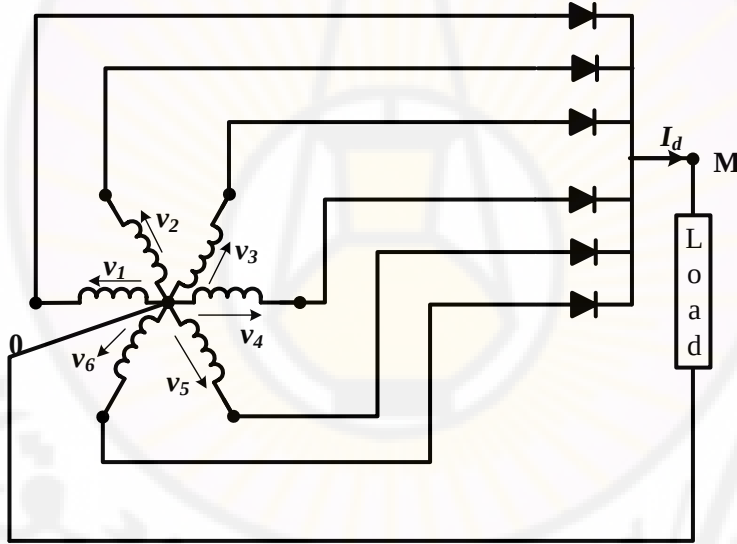
الشكل (س-14-2) علاقة توتر الخرج بزوايا الإزاحة بالطور للجسر المقاد وللجسر نصف المقاد أو غير المقاد

مثال (15):

مقوم سداسي الطور تفرعي بسيط (hexa phase' simple) غير مقاد يغذي حملاً مستمراً 40V، 50A. حدد خواص عناصر التقويم والمحول اللازم وذلك في الحالات التالية:

i- يتم وصل الجسر حسب الشكل (أ-15-2)

- ارسم شكل التوتر المقوم.
- ارسم التوتر العكسي على الديود الأول.
- ii- يتم وصل الجسر حسب الشكل (ب-15-2)
افرض أن تيار الحمل مستمر وأن هبوط التوتر في كل ديود 0.7 فولت. وأن ابتدائي المحول وصل بشكل مثلثي وغذي من شبكة 415 فولت.
- الشكل (ا-15-2) يوضح دائرة الاستطاعة للجسر ،لدينا ستة أطوار وزاوية الإزاحة بالطور بين كل طور وآخر تبلغ 60 درجة كهربائية .



الشكل (ا-15-2) دائرة الاستطاعة للجسر السداسي الطور تفرعي بسيط



الشكل (ب-15-2) طريقة أخرى لربط ملفات المحول الثانوي لتغيير التوتر والزاوية

الحل:

i- الشكل (س- 15-2) يعطي أشكال التوترات المقومة والتوتر العكسي على D_1 .

- يعطى التوتر المقوم بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_{C0} = \frac{6}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

$$40 = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

$$V_m = 24.19V$$

$$V_{eff} = 17.15V$$

- التوتر العكسي لكل ديود:

$$V_i = 2V_m$$

$$V_i = 2 \times 24.19 = 48.38 \approx 50V$$

- التيار الفعال

$$I_s = i_D = \frac{I_l}{\sqrt{q}}$$

$$i_D = \frac{50}{\sqrt{6}} = 20.44A$$

- تيار الملف الثانوي الفعال هو نفس تيار عنصر التقويم

$$I_{seff} = 20.44A$$

- التيار الابتدائي:

$$i_p = 50 \frac{17.15}{415} = 2.066A$$

ومنه فإن التيار الفعال في الابتدائي:

$$I_{peff} = \frac{2.066}{\sqrt{3}} = 1.2A$$

- الاستطاعة الظاهرية في ثانوي المحول:

$$P_{sapp} = 6 \times 17.15 \times 20.44 = 2103.3VA$$

- الاستطاعة الظاهرية في الابتدائي:

$$P_{papp} = 3 \times 415 \times 1.2 = 1494VA$$

ii- عند وصل ملفات الثانوي على شكل زكزاك:

- يمكن حساب توتر الطور الواحد بالعلاقة:

$$\frac{17.15}{2 \times \cos 30} = 9.91Volts$$

- التيار الفعال في الملف النهائي هو نفس التيار السابق لعنصر التقويم 20.44A
بينما التيار في الملف الداخلي من ملفات المحول الثلاث في الثانوي يعطى بالشكل:

$$\frac{50}{\sqrt{3}} = 28.9A$$

- مطال التيار الابتدائي للمحول:

$$50 \frac{9.91}{415} = 1.2A$$

- التيار الابتدائي الفعال:

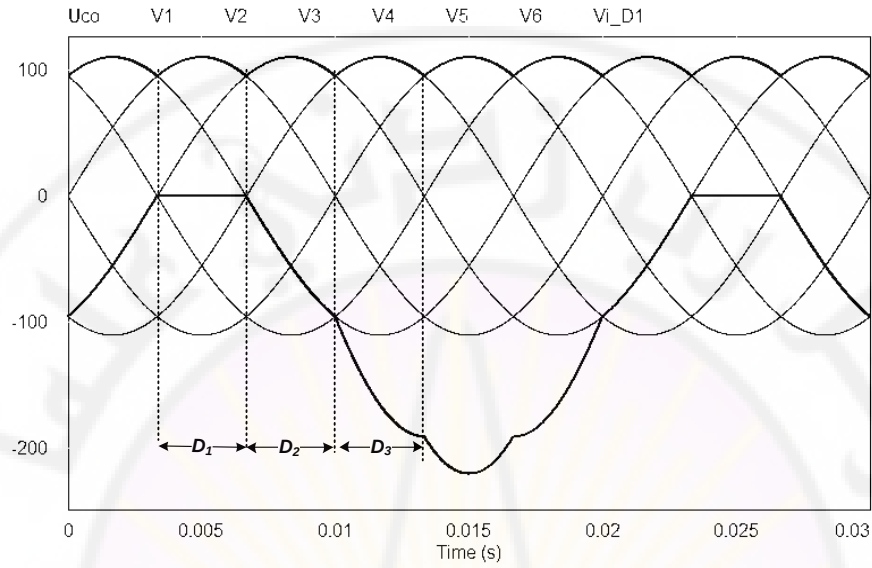
$$\left(\frac{(1.2)^2 + (1.2)^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1.44 + 1.44}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.979A$$

- الاستطاعة الظاهرية في ثانوي المحول:

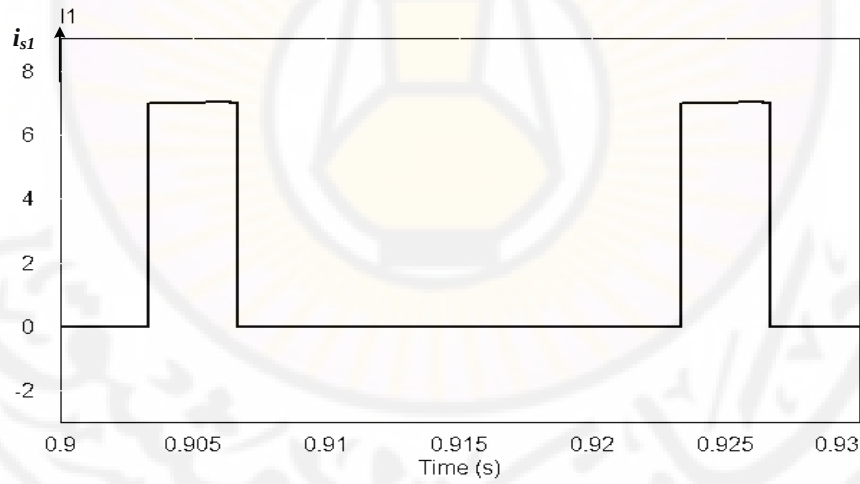
$$P_{Sapp} = 6 \times 9.91 \times 20.4 + 3 \times 17.15 \times 28.9 = \\ = 1213 + 1487 = 2700VA$$

- الاستطاعة الظاهرية في الابتدائي:

$$P_{Papp} = 3 \times 415 \times 0.979 = 1219VA$$



الشكل (س - 15- 2) يعطي أشكال التوترات المقومة والتوتر العكسي على D_1 .



تابع الشكل (س -15- 2) تيار الطور الأول

مثال (16): مقوم موجة كاملة بمحول ذي نقطة وسط. (مضاعف التردد):

Full-wave rectifier with center-tapped transformer

الشكل (16-a) يوضح دائرة مقوم غير مقاد، موجة كاملة ذي محول بنقطة وسط.

إذا كان الحمل المطبق أومياً حدد ما يلي:

a- المردود

b- عامل الشكل للتوتر (off) form factor

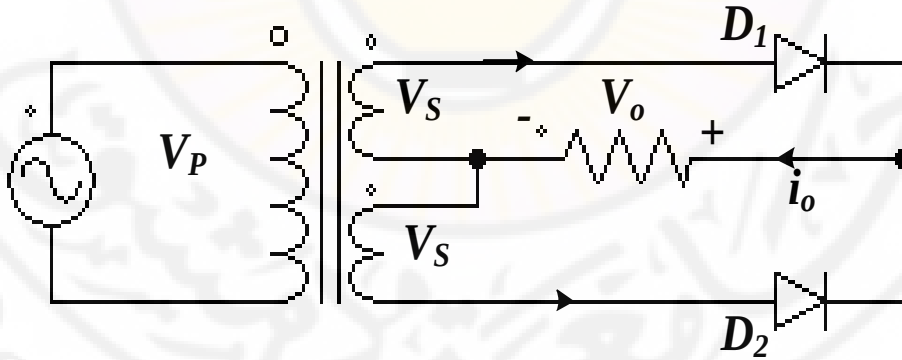
c- عامل التعرّيج (R.P) ripple factor

d- عامل استخدام المحول (PUTF) transformer utilization factor

e- توتر الديود العكسي الأعظمي PIV

f- معامل الشكل للتيار (CF) Crest factor .

g- إذا كان الجسر مقاداً ارسم شكل التوتر المقوم و تيار أحد الثيرستورات والتوتر العكسي على الثيرستور الأول



الشكل (آ-16-2) دائرة الاستطاعة

الحل: - القيمة المتوسطة للتوتر المقوم تعطى بالعلاقة:

$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi}$$

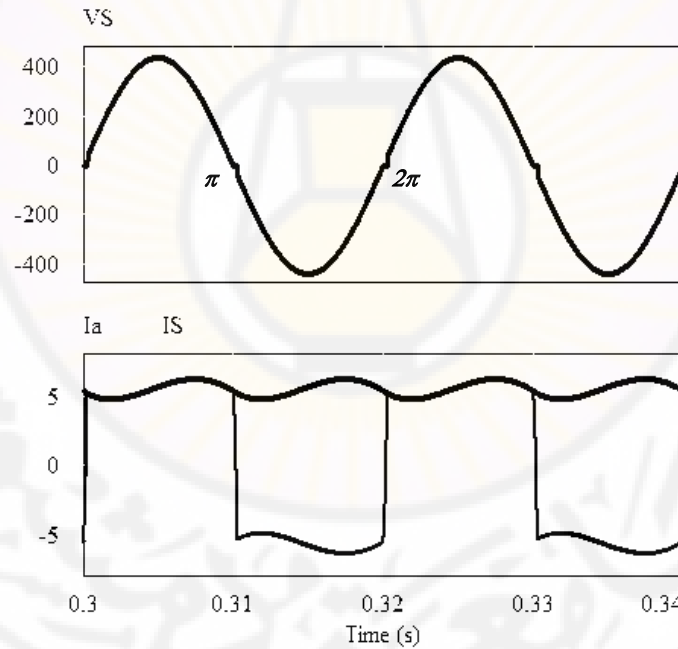
$$V_{dc} = 0.6366V_m$$

$V_m = \sqrt{2}V_s$ التوتر الأعظمي لنصف طور المحول الثانوي.

كما أننا يمكن تطبيق العلاقة العامة

المعروفة في كتابنا النظري:

$$V_{dc} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{0.2}{\pi} \cdot V_m \cdot 1 = \frac{2V_m}{\pi}$$



الشكل (ب-17-2) توتر الدخل، تيار الحمل المستمر، وتيار الدخل المتناوب

- التيار المتوسط المار:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{0.6366V_m}{R}$$

- القيمة الفعالة لتوتر الخرج:

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_m \sin \omega t)^2 dt \right]^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$$

- التيار الفعال:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = 0.707 \frac{V_m}{R}$$

- من العلاقة $P_{dc} = V_{dc} I_{dc}$ نحسب استطاعة الخرج المستمرة:

$$P_{dc} = (0.6366V_m)^2 / R$$

ومن العلاقة $P_{ac} = V_{rms} I_{rms}$ نحسب استطاعة الخرج المتناوبة (الفعالة):

$$P_{ac} = (0.707V_m)^2 / R$$

a- المردود يعطى بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{(0.6366V_m)^2}{(0.707V_m)^2}$$

$$\eta = 81\%$$

b- عامل الشكل للتوتر FF يعطى بالعلاقة:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{0.707V_m}{0.6366V_m} = 1.11$$

c- عامل التعرّيج RF يعطى بالعلاقة:

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{(1.11)^2 - 1} = 48.2\%$$

d- عامل الاستخدام للمحول يعطى بالعلاقة:

$$TUF = \frac{P_{dc}}{V_s I_s}$$

- توتر الثانوي الفعال $V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$

- تيار الثانوي الفعال $I_s = \frac{0.5V_m}{R}$

- الاستطاعة الظاهرية للمحول (VA) تعطى بالعلاقة:

$$VA = 2V_s I_s = 2 \times 0.707V_m \times 0.5V_m / R$$

وعليه فإن

$$TUF = \frac{(0.6366V_m)^2 / R}{(2 \times 0.707V_m \times 0.5V_m)^2 / R} = 57.32\%$$

e- التوتر العكسي الأعظمي على أحد عناصر التقويم هو:

$$PIV = 2V_m$$

f- معامل الشكل للتيار يعطى بالعلاقة:

$$CF = \frac{I_s(peak)}{I_s}$$

$$I_{s(peak)} = \frac{V_m}{R}$$

$$I_s = \frac{0.707V_m}{R}$$

$$CF = \frac{V_m / R}{0.707V_m / R} = \sqrt{2} \text{ لتيار الدخل.}$$

g- عامل الاستطاعة يعطى بالعلاقة:

$$PF = \frac{P_{ac}}{VA} = \frac{(0.707V_m)^2 / R}{(2 \times 0.707 \times 0.5V_m)^2 / R} = 0.707$$

ملاحظة:

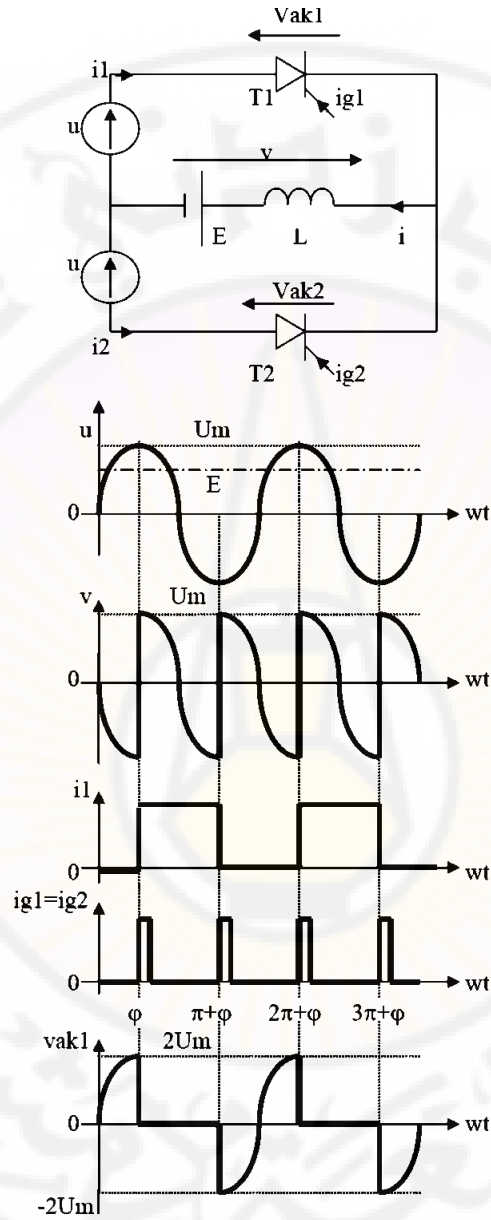
القيمة $\frac{1}{TUF}$ والتي كانت في المثال تساوي $1.75 = \frac{1}{0.5732}$ تعني أن المحول يجب أن يكون أكبر بـ 1.75 مرة فيما لو استخدم بشكل عادي بدون الجسر المقوم. أي حين يعطي توتراً متناوباً جيبيّاً. ونرى أن عامل التعرّيج كان لا يتجاوز $RF=0.482$ ومردود المقوم لا يتجاوز 81% . وهذه النتائج هي أيضاً أفضل من حالة استخدام ديود وحيد.

ج- الشكل أدناه يوضح موجة توتر الدخل، وموجة توتر الخرج باعتبار أن الحمل تحريضي، هذا وقد يكون متعرض محرك تيار مستمر، وكما نرى نبضات القدر المطبقة على كل ثيرستور بوجود إزاحة بالطور تساوي تقريباً 90 درجة كهربائية. نذكر هنا أن الثيرستور الأول يعمل عند الزاوية صفر، وتقاس الإزاحة بالطور بدءاً من صفر الإحداثيات. بينما الثيرستور الثاني الذي يرى توتر الطور الثاني بقيمة موجبة بعد 180 درجة من بدء عمل الثيرستور الأول. لذا سوف تبدأ الإزاحة بالطور لهذا الثيرستور بعد 180 درجة من الثيرستور الأول. بما أن الحمل تحريضي، فإنه لدى مرور موجة توتر الطور الأول بالصفر عند الزاوية 180 لن يتوقف الثيرستور عن التوصيل ويكون التيار المار موجباً، عندما تتعدم القدرة المختزنة بالحمل يتوقف الثيرستور عن التوصيل ويحدث انقطاع في موجة التوتر والتيار. هنا اعتبرنا أن الحمل تحريضي جيد لذا سوف يستمر الثيرستور بالتوصيل حتى يتم قدح الثيرستور الذي يليه، وهكذا نحصل على شكل موجة توتر الخرج المقوم.

- خلال نصف الدور الموجب الأول يمر تيار الحمل في نصف ملفات المحول بين نقطة الوسط ومصعد المقوم الأول، وخلال النصف الثاني من الدور يمر تيار الحمل في النصف الثاني من الملفات، وباتجاه معاكس لتيار المرحلة

الأولى .لذا فإن المحول سيمر به تيار متناوب ،ومجموع الأمبير لفة في الدور الواحد يساوي الصفر .

- خلال رسم التوتر المقوم لم تظهر القوة المحركة الكهربائية الموجودة في الحمل .
- بالنسبة للتوتر العكسي المرسوم على الشكل ،يمكن استنتاجه باعتبار أن التوتر العكسي على الثيرستور الأول يساوي الصفر طالما أنه بحالة توصيل .لدى توقفه عن العمل ،التوتر العكسي عليه يساوي توتر المصعد مطروحاً من توتر المهبط والذي يساوي هنا توتر الطور الثاني .أي أن القيمة العظمى للتوتر العكسي المتشكل على عناصر التقويم تساوي هنا ضعف القيمة العظمى الفعالة لتوتر الطور الواحد .



شكل (ب - 2-17) توتر الخرج و تيار أحد عناصر التقويم والتوتر العكسي على
الثيرستور الأول

مثال (17): إيجاد سلسلة فورييه لتوتر خرج المقوم ذي الموجة الكاملة مع نقطة وسط :

Finding the Fourier series of the output Voltage for a Full-wave Rectifier

يمكن التعبير عن توتر الخرج لجسر التقويم ذي نقطة الوسط حسب سلسلة فورييه بالشكل التالي:

$$V_0(t) = V_{dc} + \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

حيث:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_0(t) d(\omega t) = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V_0 \cos n\omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t \cos n\omega t d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{4V_m}{\pi} \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{-1}{(n-1)(n+1)} \quad \text{for } n = 2, 4, 6, \dots$$

$$a_n = 0 \quad \text{for } n = 1, 3, 5, \dots$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V_0 \sin n\omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \sin n\omega t d(\omega t)$$

وعليه فإن معادلة توتر الخرج النهائية ستكون من الشكل التالي:

$$V_0(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4V_m}{15\pi} \cos 4\omega t - \frac{4V_m}{35\pi} \cos 6\omega t + \dots$$

نلاحظ أن موجة توتر الخرج تحتوي فقط المركبات الزوجية من التوافقيات (even harmonics) وأن المركبة التوافقية الثانية هي المسيطرة وترددها (100 أو 120 هرتز).

مثال (18) : إيجاد عامل استطاعة الدخل لمقوم موجة كاملة :

Finding the power factor of a full-wave rectifier

بفرض أن جسر تقويم أحادي الطور غير مقاد يغذي حملاً ذي تحريضية عالية، محرك تيار مستمر، وأن تيار حمل المحرك I_a مستمر كما في الشكل (ب-18-2). يلزم تحديد ما يلي:

- عامل التوافقيات (HF) Harmonic factor لتيار الدخل.
- عامل استطاعة الدخل (PF) input power factor للمقوم المستخدم.

الحل:

دائماً، محرك التيار المستمر يتمتع بممانعة عالية ويتصرف كمرشح لتيار الحمل ويخفض التوافقيات أو التعرجات في تيار الحمل، ونرى أنه شبه خط مستقيم.

a. منحنيات توتر وتيار الدخل مبينة في الشكل (17-b). موجة التوتر في المحول متناوبة جيبيية، لكن تيار الدخل مكون من قطع مستطيلة الشكل متناوبة. القيمة العظمى للتيار (I_a) تساوي تيار الحمل. ويمكن التعبير عنه حسب تحليل فورييه بالشكل التالي:

$$i_s(t) = I_{dc} + \sum_{n=1,3,..}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

حيث:

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_a d(\omega t) = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) \cdot \cos n\omega t \cdot d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \cdot \cos n\omega t \cdot d(\omega t) = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) \sin(n\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \sin(n\omega t) d(\omega t) = \frac{4I_a}{n\pi}$$

بتعويض هذه القيم في معادلة تيار الدخل نجد:

$$i_s(t) = \frac{4I_a}{\pi} \left(\frac{\sin \omega t}{1} + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots \right)$$

- القيمة الفعالة للمركبة الأساسية لتيار الدخل هي:

$$I_{s1} = \frac{4I_a}{\pi\sqrt{2}} = 0.9I_a$$

- القيمة الفعالة لتيار الدخل كاملاً هو:

$$I_s = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} I_a \left[1 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2 + \left(\frac{1}{9}\right)^2 + \dots \right]^{\frac{1}{2}} = I_a$$

- من العلاقة التي تعرف عامل التوافقيات نجد:

$$HF = \left[\left(\frac{I_s}{I_{s1}} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

بناءً عليه:

$$HF = THD = \left[\left(\frac{1}{0.9} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.4843 \quad \text{or} \quad 48.43\%$$

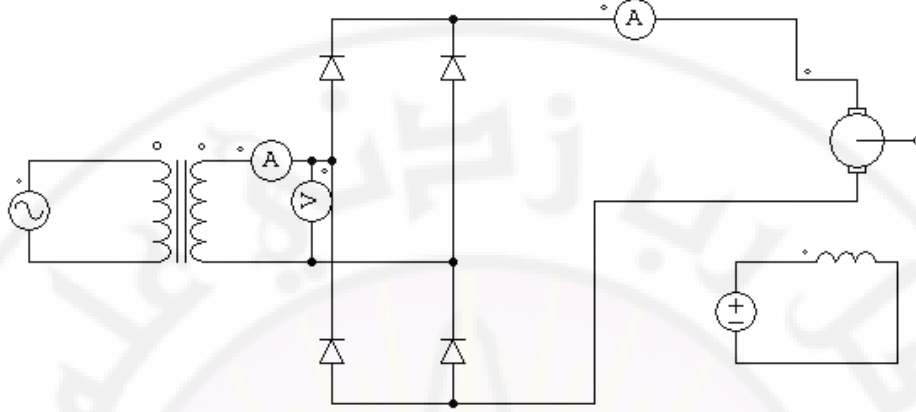
b. زاوية الإزاحة بالطور $\varphi = 0$ أي أن $DF = \cos \varphi = 1$

ومن العلاقة:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \cos \varphi$$

نجد:

$$PF = \frac{0.9}{1} \cos \varphi = 0.9 (\text{Lagging})$$

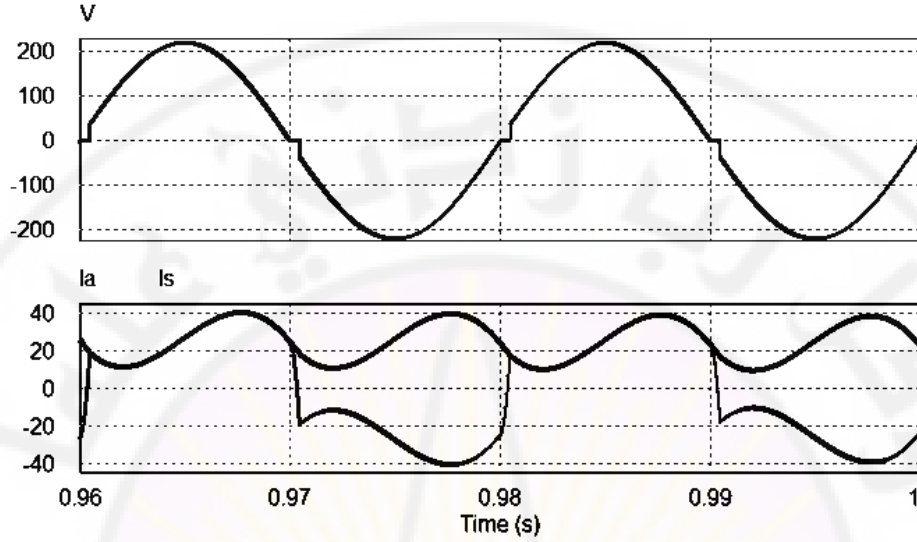


شكل (أ-18-2) مخطط دائرة الاستطاعة

ملاحظة:

تبين لنا وجود مقومين أحادي الطور عموماً، ذي نقطة وسط، ودون نقطة وسط ، أو ما نطلق عليه جسراً أحادي الطور كامل. شكل موجة التوتر تبدو متشابهة لكن في الجسر الأحادي الطور قمة التوتر ضعف قمة التوتر في الجسر ذي نقطة الوسط.

كما أن تيار الثانوي في الجسر ذي نقطة الوسط له فقط مركبات تيار مستمر بينما لا نرى ذلك في الجسر الأحادي الطور. هذا يستدعي رفع الاستطاعة الظاهرية للجسر ذي نقطة الوسط (VA) لذا فاستخداماته دائماً للأحمال الصغيرة أقل من 100 وات. بينما الجسر الأحادي الطور يمكن استخدامه لاستطاعة تصل إلى 100 KW. المركبات التوافقية في توتر خرج الجسر الأحادي الطور لها تردد يساوي $2f$ تردد المنبع.



الشكل (ب-18-2) تيار الحمل المستمر وتيار الثانوي

مثال (19):

سنورد فيما يلي التعريف المباشر للقيم التي ترد في حل المسائل لمجموعة تقوم

تفرعية ثلاثية الطور البسيطة ذات نقطة وسط ، غير مقادة . Three-Phase

Half-Wave Rectifier

-التوتر المتوسط المقوم :

$$V_{dc} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}$$

$$\bullet V_{dc} = \frac{q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} = \frac{3}{\pi} \cdot \sin \frac{180}{3} V_m = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_m$$

$$\bullet V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m = 0.827V_m$$

• $I_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi.R}$ التيار المتوسط المار بالحمل :

• $V_{rms} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}} V_m$ القيمة الفعالة للتوتر المقوم :

• $V_{rms} = 0.8407V_m$

• $I_{rms} = \frac{0.8407.V_m}{R}$ - التيار الفعال المار بالحمل :

• $I_r = I_s = \frac{0.8407.V_m}{R.\sqrt{3}} = 0.4854 \frac{V_m}{R}$ - تيار الملف الثانوي الفعال للمحول :

• $PIV = \sqrt{2}V_{LL} = \sqrt{3}V_m$ - التوتر العكسي الأعظمي على عناصر التبديل :

$$= 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = 2V_m \cos \frac{180}{6} = V_m \sqrt{3}$$

مثال(20):

المقوم الثلاثي الطور التفرعي البسيط ذي نقطة الوسط، غذي من منبع توتر الخط فيه 460 V، 50 Hz وحمل بمقاومة $R = 20\Omega$. إذا كانت حثية المنبع (S. Inductance) مهمة بين ما يلي:

a- مردود التقويم η .

b- عامل الشكل F.F.

c- R.F عامل التعرّيج.

P.I.V. -d

الحل:

$$a- V_s = \frac{460}{\sqrt{3}} = 265.58V, \quad V_m = \sqrt{2} \times 265.58 = 375.59V$$

$$\bullet V_{dc} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m = 0.827V_m$$

$$\bullet I_{dc} = \frac{0.827V_m}{R}$$

$$\bullet V_{rms} = 0.8407V_m, \quad I_{rms} = \frac{0.8407V_m}{R}$$

$$\bullet \eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = 96.767\%$$

$$\bullet FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = 101.657\%$$

$$\bullet FF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}}{V_{dc}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2}{V_{dc}^2} - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} = 18.28\%$$

$$\bullet The \quad P.I.V = \sqrt{3}V_m = 650.54V$$

- حساب التوافقيات:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} I_0 d\omega t = \frac{I_0}{3}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} I_0 \cos n \omega t \cdot d\omega t = \frac{I_0}{n\pi} [\sin n \omega t]_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}}$$

$$a_n = \frac{I_0}{n\pi} \times \sqrt{3} \quad for \quad n = 1, 2, 7, 8, 13, 14$$

$$a_n = \frac{-I_0}{n\pi} \times \sqrt{3} \quad \text{for } n = 4, 5, 10, 11, 16, 17$$

$$a_n = 0 \quad \text{for all triplen harmonics}$$

$$I_s(t) = \frac{I_0}{3} + \frac{\sqrt{3}I_0}{\pi} \left(\sin\omega t + \frac{1}{2}\sin 2\omega t - \frac{1}{4}\sin 4\omega t - \frac{1}{5}\sin 5\omega t + \frac{1}{7}\sin 7\omega t + \frac{1}{8}\sin 8\omega t + \dots \right)$$

$$THD(I_s(t)) = \sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{s1}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\frac{I_0/\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}I_0}{\pi\sqrt{2}}} - 1} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2}{9} - 1}$$

$$THD(I_s(t)) = 1.0924$$

الفصل الثالث

ثالثاً: مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة



1- مقدمة حول آلية الإزاحة بالطور في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة والمضاعفة:

1-1: حالة ربط ثانوي المحول بشكل نجمي:

- يوضح الكتاب النظري لإلكترونيات القدرة الكهربائية (1) في الفصلين الثاني والثالث ، آلية عمل مجموعات التقويم التفرعية البسيطة حيث عدد الأطوار q قد يكون (2،3.....9) ، ومن ثم يوضح عمل مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة ، سواء كانت مقادة او غير مقادة أو نصف مقادة. لدى استخدام الثيرستور والديود كعناصر تقويم في الجسور. كي نحدد زاوية بدء قدح عنصر التقويم، اعتمدنا على مبدأ وجود مجموعة تقويم مكونة من عناصر أطلق عليها المجموعة ذات الاتجاه الموجب (مهابط مشتركة) وتعطي التوتر $(V_M - V_O)$. ومجموعة أخرى من العناصر ذات الاتجاه السالب (مصاعد مشتركة) وتعطي التوتر $(V_N - V_O)$. أي أن راسم الاهتزاز المهبطي إذا وضعناه بين نقطة المهابط المشتركة ونقطة النجمة للمحول نحصل على $(V_M - V_O)$. ويبدأ الثيرستور الأول بالتوصيل عند الزمن $\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}$. بالنسبة لمجموعة ثلاثية الطور هذه الزاوية تساوي 30° درجة بعد صفر الإحداثيات لتوترات الأطوار لمحول التغذية الثانوي. يبدأ الثيرستور الأول لأنه بدءاً من تلك اللحظة سيصبح توتر مصعده أكثر ايجابية من توتر باقي المصاعد. وسيستمر بالتوصيل لفترة $\frac{T}{q}$ من الدور حيث سيصبح توتر الطور الثاني أكثر ايجابية من باقي التوترات، ويمكن عندئذ للعنصر الثاني T_2 (الثيرستور الثاني) بالتوصيل والشكل (1-3) يوضح بنية الجسر التفرعي المضاعف الذي يحتوي المجموعتين

وكيف تقدم المجموعة ذات الاتجاه الموجب توترات موجبة والمجموعة ذات الاتجاه السلب تقدم التوتر السالب وكل عنصر يعمل لمدة تعادل ثلث الدور .

- بالمقابل تعمل مجموعة الثيرستورات ذات المصاعد المشتركة في النصف السالب من موجة التوتر، أي عندما يصبح مهبط الثيرستور (T_1') المقابل لـ T_1 أكثر المهابط سلبية يمكن تطبيق نبضة القذح على بوابته وسوف ينتقل عندئذ للتوصيل، وهو بالتأكيد سيبدأ بالتوصيل بعد 180 درجة من لحظة توصيل الثيرستور الأول الموجب من الجسر ومن نفس الذراع، وسيستمر بالتوصيل لفترة $\frac{T}{q}$ من الدور يليه T_2' و T_3' ونحصل على التوتر ($V_N - V_O$) ذي القيمة المتوسطة السالبة، ونرى شكل هذا التوتر عندما نضع الراسم بين المصاعد المشتركة (N) ونقطة النجمة (O) للمحول.

- توتر خرج الجسر الكلي $U_C = V_M - V_N$ هو الفرق بين توتر المجموعتين السابقتين لذا لدى تحصيل هذين التوترين نحصل على توتر الخرج الكلي الناتج عن الجسر التفرعي المضاعف.

- إذا كي نحصل على توتر الخرج لأي جسر تقويم مضاعف أو بسيط، اعتمدنا على رسم توترات الأطوار وعند الزاوية $\left(\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}\right)$ بدأت الإزاحة بالطور وهي تبتعد في حالة $q=3$ ما يعادل 30° درجة عن بدء الإحداثيات.

- توتر المجموعة ذات الاتجاه الموجب يعطى بالعلاقة:

$$U_{C1} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

- توتر المجموعة السالبة يعطى بالعلاقة:

$$U_{C2} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

ومنه فإن توتر الخرج للجسر PD₃ (التفرعي المضاعف ذو الأطوار الثلاث) سيكون مساوياً:

$$U_C = U_{C1} - U_{C2} = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

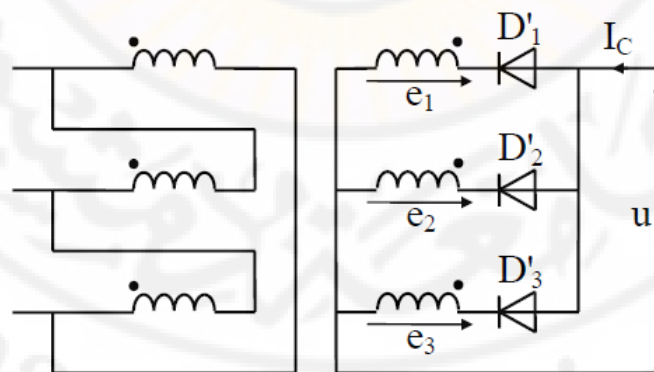
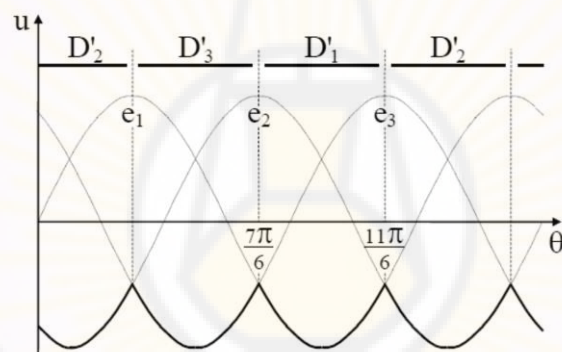
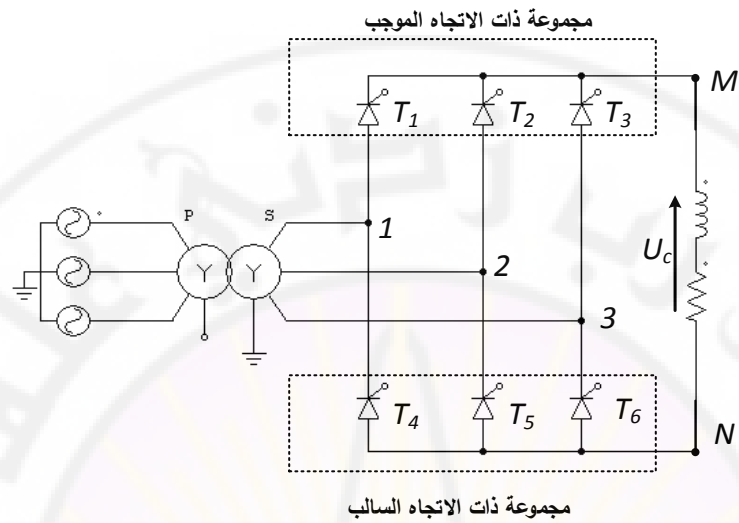
$V_m = \sqrt{2} V_{eff}$ توتر الطور الأعظمي. إذا رغبتنا بأخذ توتر الخط الأعظمي بدلاً من توتر الطور يمكن التعويض بالشكل التالي:

$$U_C = \frac{2.3}{\pi} \cdot \frac{V_{mLine}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \alpha$$

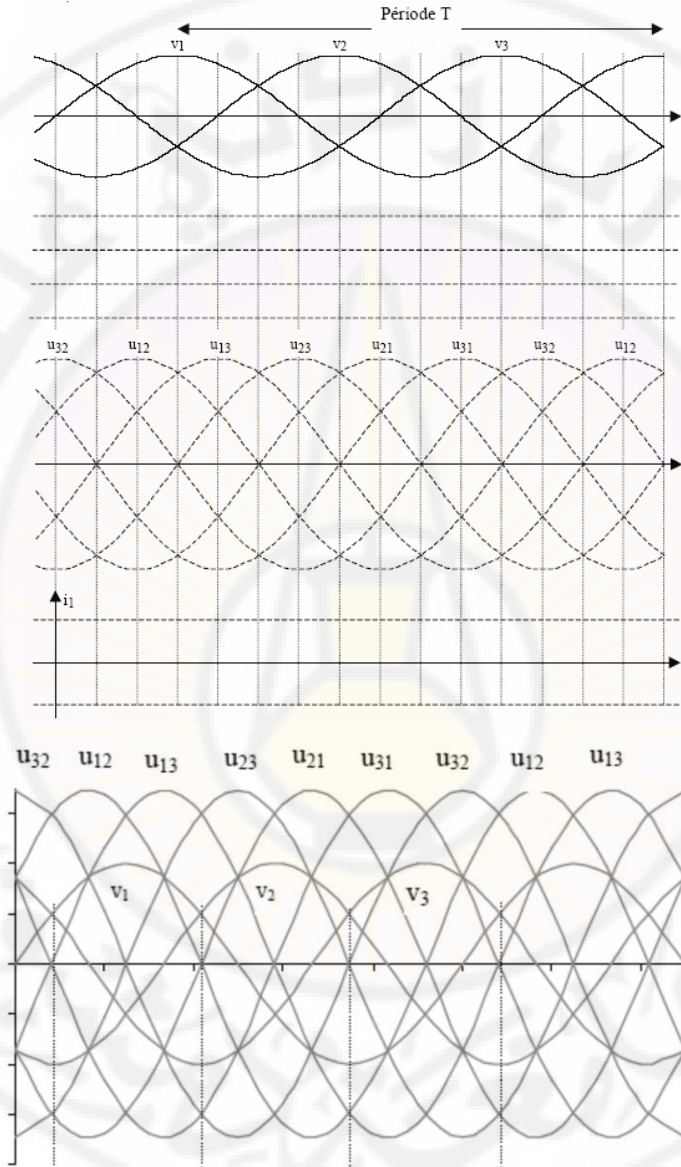
$$U_C = \frac{3}{\pi} V_{mLine} \cos \alpha$$

- في بعض المراجع العلمية لا تعتمد توترات الأطوار لرسم شكل التوتر المقوم، وتعتمد توترات الخطوط الأمامية ($V_{AB}-V_{BC}-V_{CA}$) وتوترات الخطوط المقابلة لها ($V_{BA}-V_{CB}-V_{AC}$)، أي كما هو موضح في الشكل (2-3) يتم رسم توترات الخطوط الأعظمية بدءاً بالتوتر V_{AB} . هذا التوتر سيكون أكبر التوترات ايجابية عند الزاوية 60° مقاسة بدءاً من صفر الإحداثيات. لو تم مقارنة هذه الزاوية باللحظة التي يتم فيها قدح الثيرستور T_1 ، لدى اعتمادنا توترات الأطوار، نجد أنها نفس الزاوية، وهو موضح بالشكل أعلاه. والسبب هو أن توترات الأطوار متقدمة 30° عن توترات الخطوط.

وسيعمل الثيرستوران T_1 و T_2' بأن واحد (أي العناصر المرتبطة بالطورين A و B). الثيرستور الأول يعمل حسب توتر الطور الأول والثيرستور السالب للطور الثاني حسب التوتر السالب للطور الثاني في تلك الفترة.



الشكل (3-1) بنية جسر التقويم التفرعي المضاعف، وشكل توتر الفرعة السالبة



الشكل (3-2) توترات الأطوار وتوترات الخطوط وفرق الزاوية بينهما

1-2: حالة ربط ثانوي المحول بشكل مثلثي (تسلسلي):

يمكن ربط ثانوي المحول المغذي لمجموعات التقويم بشكل نجمي كما بينا منذ قليل في الفقرة (1)، كما يمكن أن يتم توصيل الثانوي بشكل مثلثي (حالة ثلاثة أطوار) أو بشكل تسلسلي حالة ستة أطوار.

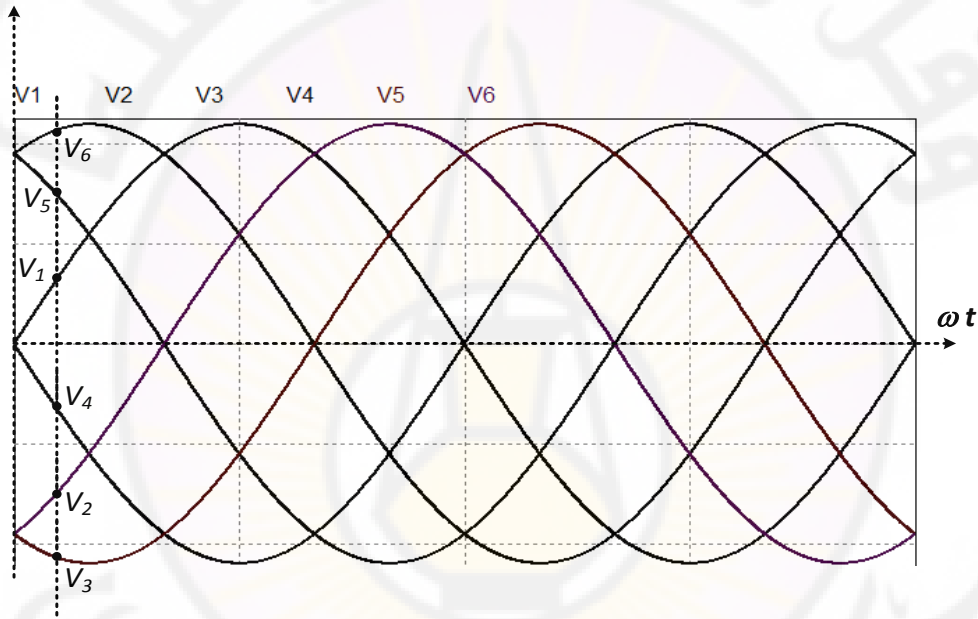
في هذه الحالة، تبقى الفكرة الأساسية في عملية التقويم قائمة وهو أن عنصر التقويم ذي توتر المصعد الأكثر إيجابية سوف ينتقل للتوصيل (إذا طبقت نبضة قرح على البوابة) وإذا كان موصلًا باتجاه موجب أي مهابط مشتركة. وسوف يعمل عنصر التقويم ذي المهبط الأكثر سلبية بالنسبة للعناصر ذات الاتجاه السالب الموصلة بمصاعد مشتركة.

وبما أن اتجاه دوران وتتابع التوترات واحد، لذا فإنه في كل لحظة من اللحظات يجب الاعتماد في هذه الحالة على توتر أو كمون العقد وليس توترات الأطوار كما في الربط التفرعي. ولتوضيح ذلك إذا أخذنا ست أطوار لثانوي محول ثلاثي الطور وربطت هذه الأطوار على التسلسل، في اللحظة $t=0$ ، حسب الشكل (3-3)، سيكون لدينا التوترات $(V_1+V_5+V_6)$ موجبة، والتوترات $(V_2+V_3+V_4)$ سالبة وبالتالي فإن كمون العقدة (1) نهاية الملف الأول ستكون أكثر النقاط إيجابية (أكثر إيجابية من العقدة (6) ومن العقدة (5)) لذا سيعمل العنصر المرتبط إلى العقدة (1).

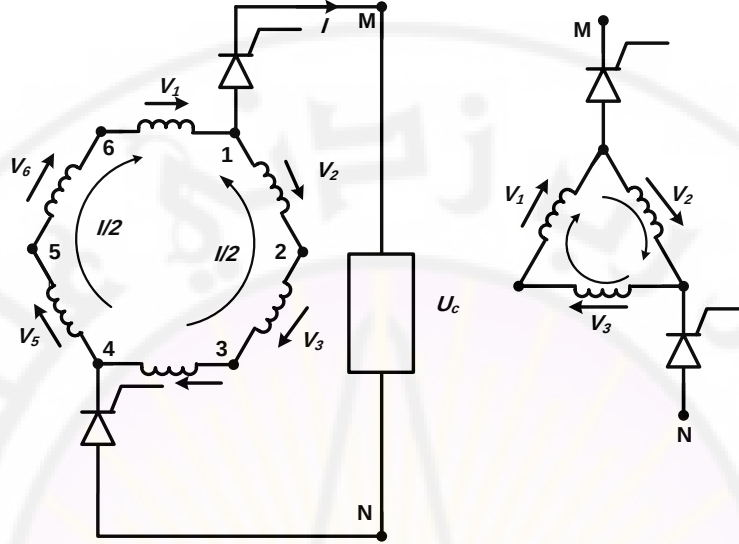
بالنسبة للتوترات السالبة، سيكون كمون العقدة (4)، أكبر الكمونات أو التوترات سالبة، لذا سيعمل العنصر السالب المرتبط إلى العقدة (4)، وسيمر التيار في الأطوار الموجبة والسالبة بقيمة $\left(\frac{I}{2}\right)$. لكن توتر الخرج سيكون مساوياً فقط مجموع التوترات الموجبة. وعليه يعطى التوتر في هذه المجموعات بالعلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \cos \alpha$$

q: عدد الأطوار، V_m : توتر الخط الأعظمي أو توتر الطور الأعظمي في حال عدد الأطوار أكبر من ثلاثة لأن المحول موصل مثلثي.
الإزاحة بالطور لـ α هنا ستبدأ من الصفر.



شكل (2-3) توترات الأطوار وتوترات الخطوط وفرق الزاوية بينهما.



الشكل (3-3) ربط التوترات وملفات الثانوي على التسلسل.

V_{AB} : توتر الخط الأعظمي ويساوي $V_{eff} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}$

V_A : توتر الطور الأعظمي ويساوي $V_{eff} \cdot \sqrt{2}$

V_{AB} يساوي الفرق بين $(V_A - V_B)$ خلال كامل الفترة.

مثال (1):

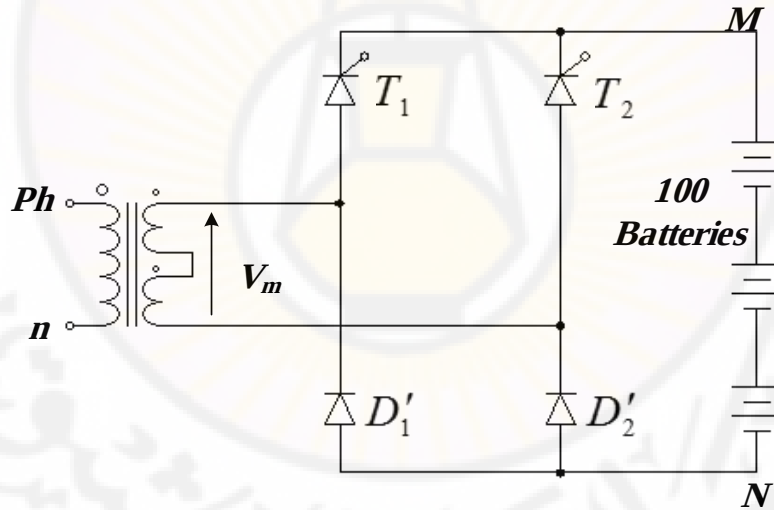
يراد شحن مدخرات بشاحن مكون من جسر أحادي الطور نصف مقاد غير متناظر توتر الخلية يتراوح بين 1.8-2.3 فولت. بين لنا توتر خرج الشاحن الواجب استخدامه ومواصفاته الكاملة، علماً أن سعة المدخرات تصل إلى 600 أمبير ساعي وعددها يساوي 100 مدخرة. وأن المقاومة الداخلية للمدخرات تساوي 0.5 أوم. ارسم شكل التوتر على طرفي المدخرات.

الحل:

تتكون دائرة الاستطاعة حسب الشكل (3-4) :

بما أن عدد المدخرات 100، فإن أدنى توتر شحن سيكون مساوياً $U_{Cmin}=180V$ وأقصى توتر للمدخرات سيكون $U_{Cmax}=230V$. وحتى يمر تيار شحن في المدخرات يجب أن يكون توتر الشاحن أكبر من أكبر توتر الشحن، ذلك أن المدخرات حتى ولو كان الأمبير ساعي فيها قليلاً يبقى توتر الدارة المفتوحة مساوياً للقيمة العظمى.

- تيار الشحن النظامي للمدخرات يساوي عادة 10% من التيار الاسمي للمدخرات وهنا يمكن تقديره بين (60-100) أمبير، حتى يتمكن الشاحن أيضاً من تمرير تيار كبير إن لزم ذلك، كما في حالة الشحن القسري Booste charging.



الشكل (3-4) دائرة الاستطاعة للشاحن

بفرض أن التوتر الأعظمي المقوم الناتج عن الشاحن هو 300 فولت وعليه يمكن حساب توتر الطور الثانوي للمحول:

$$U_{C_{\max}} = 300 = \frac{2.q}{\pi} . V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

$$300 = \frac{2.2}{\pi} . \sqrt{2} \frac{V_{eff}}{2} . 1 = V_m = 471V$$

$V_{eff} = 334Volts$ توتر ثانوي المحول كاملاً كونه أحادي الطور.

إذا كان التيار المار قريب من الصفر أي عند الشحن الكامل، يعمل الجسر عند زاوية إزاحة بالطور تساوي:

$$230 = 300 \times \frac{1}{2} (1 + \cos \psi) = 150 + 150 \cos \psi$$

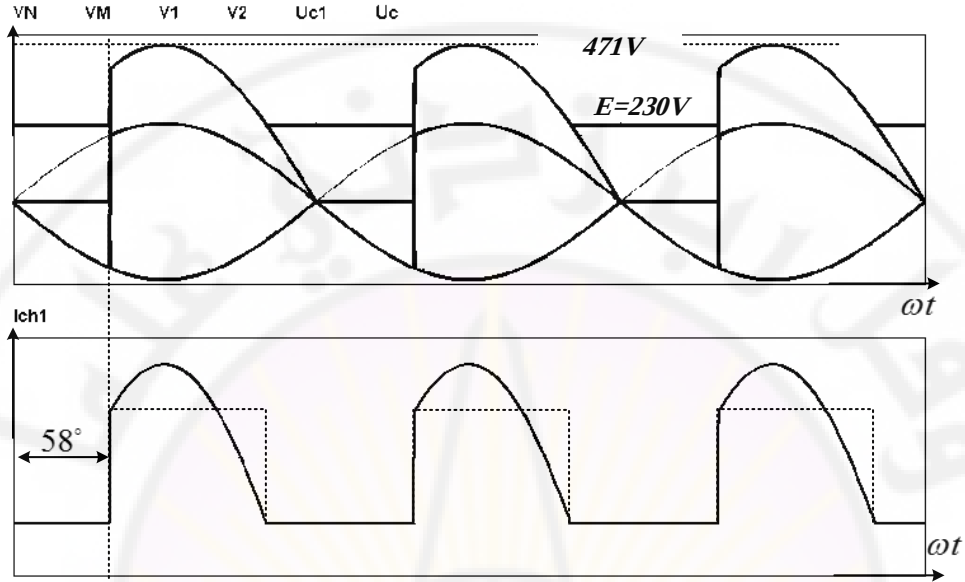
$$\cos \psi = 0.5333$$

$$\psi = 58^\circ$$

- التوتر العكسي المتشكل على عناصر الجسر هو:

$$V_{i\max} = 2V_m = 2 \times \frac{334\sqrt{2}}{2} = 471Volts$$

$$V_{i\max} = 471Volts$$



الشكل (3-5) التوتر على طرفي المدخرات وتيار الشحن

مثال (2):

مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ثلاثية الطور نصف مقادة، تعمل عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 45 درجة كهربائية، توتر الخط في ثانوي المحول 420 فولت، حملت بمحرك تيار مستمر استطاعته الاسمية 32 كيلو وات، توتره الاسمي 400 فولت، بين لنا ما يلي:

- 1- ارسم دائرة الاستطاعة، وبين قيمة توتر التشغيل المطبق على المحرك عند تلك الزاوية وما هو شكل التوتر المرئي على طرفي المحرك عندئذ، وشكل تيار الطور للثانوي وقيمه الفعالة، علماً أن المحرك سيعمل عند الاستطاعة الاسمية والسرعة الاسمية، وأن مقاومة المتحرض كانت 0.8 أوم، وممانعته 2 أوم.
- 2- بفرض أن حثية المحول والشبكة منسوبة للثانوي تساوي 0.005 هنري، عند نفس الشروط السابقة احسب زاوية التطابق وقيمة هبوط التوتر الناتج عن التطابق.

3- بدون الاهتمام بالتطابق ارسم واحسب التوتر العكسي المتشكل على الثيرستور الثالث في الجسر المستخدم.

الحل:

الشكل أدناه (آ-6-3) يوضح دائرة الاستطاعة، حيث أن توتر خرج الجسر سوف يطبق على المتحرض وملف التحريض يغذى عادةً من منبع ثانوي.
- مجموعة التقويم المقترحة، فرض أنها تعمل عند $\psi=45^\circ$ ، بما أن الجسر نصف مقاد فإن التوتر المتوسط المقوم الناتج سيكون:

$$U_C = \frac{2.q}{\pi} . V_m \sin \frac{\pi}{q} . \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \left(\frac{420}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \right) \frac{\sqrt{3}}{2} . \frac{1}{2} (1 + 0.707)$$

$$U_C = 484.36 \text{Volts.}$$

التوتر المقوم الناتج عند $\psi=45^\circ$ يبدو أنه أكبر من التوتر الاسمي للمحرك لذا يجب رفع زاوية الإزاحة حتى تحقق التوتر الاسمي، وزاوية الإزاحة المطلوبة تحسب بعد معرفة التوتر الكلي لخرج الجسر عند الزاوية $\psi=0$ والذي يساوي

$$U_{C0} = \frac{2.q}{\pi} . V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

ومنه

$$U_{C0} = \frac{2 \times 3}{\pi} \left(\frac{420}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \right) \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$U_{C0} = 565.8 \text{Volts.}$$

وعليه لحساب الزاوية الجديدة نعتمد أن:

$$U_C = U_{C0} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$400 = 565.8 \times \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$\cos \psi = 0.2213$$

$$\psi = 65.814^\circ$$

- كي نتمكن من رسم شكل التوتر الكلي على طرفي الحمل، يلزم حساب القوة المحركة الكهربائية العكسية والتي تحسب من العلاقة:

$$U_C = E + I.R$$

عند الحمل الكامل والتوتر الاسمي لدينا:

$$I = \frac{32000}{400} = 80A$$

$$U_C = 400 = E + 80 \times 0.8$$

$$E = 336V$$

2- تعطى زاوية التطابق عند زاوية إزاحة بالطور ψ بالعلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{I_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$\cos(\psi) - \cos(\psi + \alpha) = \frac{0.005 \times 314 \times 80}{\left(\frac{420}{\sqrt{3}}\right) \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{125.6}{296.98}$$

$$0.4097 - \cos(\psi + \alpha) = 0.4229$$

$$\psi + \alpha = 89.2436$$

$$\alpha = 23.43 \text{ Degree}$$

$$\alpha = 23.43$$

يحسب هبوط التوتر الناتج عن التطابق في الجسر الثلاثي الطور المضاعف
بالعلاقة:

$$\Delta U_C = \frac{q}{\pi} L_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$\Delta U_C = \frac{3}{3.14} \times 0.005 \times 314 \times 80 = 119.99 = 120 \text{Volts}$$

$$\Delta U_C = 120 \text{Volts}$$

3- يحسب التوتر العكسي

$$V_{i \max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = 2 \cdot \left(\frac{420}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{2} \cdot \cos 2 \times \frac{180}{2 \times 3}$$

الأعظمي بالعلاقة:

$$V_{i \max} = 594 \text{Volts}$$

1-3- طريقة رسم التوتر العكسي على عناصر التقويم :

رسم أو استنتاج شكل التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم هام لدى محاولة البحث عن عطل في جسر التقويم. ذلك أنه لدى معرفة الشكل النظامي للتوتر العكسي ومقارنته بالشكل العملي المرئي على الجسر المعطل ، يساعد في معرفة أي العناصر التي لا تعمل بشكل نظامي لأن شكل التوتر العكسي عليها يكون مخالفاً للشكل المعروف عند زاوية معروفة، لذا فإننا نعمل على رسم التوتر العكسي لمعرفة حالة الثيرستور، وهذا يساعد الطالب أيضاً في تفهم عمل الجسور الثيرستورية. بالنسبة لاختيار الثيرستور، القيمة الأساسية هي القيمة العظمى للتوتر العكسي والتي تحسب من العلاقة الواردة أعلاه. ولدى تشغيل الثيرستور عند زوايا تأخير في الطور مختلفة نجد انزياح شكل التوتر العكسي وقد نحصل على القيمة العظمى للتوتر العكسي في الربع الموجب، وهذا يؤكد ضرورة تحمل الثيرستور توتر انهيار أمامي مساوٍ لتوتر الانهيار العكسي.

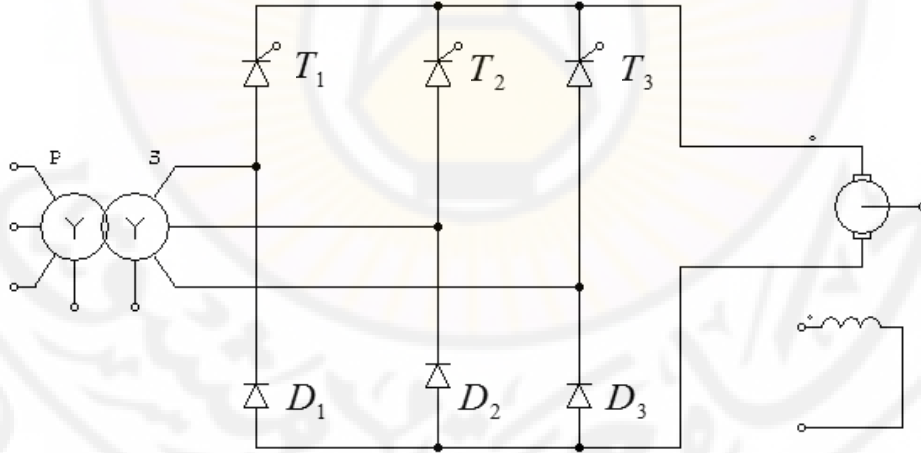
- لرسم التوتر العكسي نبدأ بالفترة التي يكون الثيرستور فيها موصلاً ، حيث أن التوتر العكسي عندئذ مساوٍ للصفر. ثم نبدأ برسم فرق التوتر بين

$$V_i = V_1 - (V_M - V_0)$$

التوتر $(V_M - V_0)$ يساوي V_2 عندما يكون العنصر Th_2 موصلاً، ويساوي V_3 عندما يكون Th_3 موصلاً. أي أننا خلال الدور نطرح توتر المهابط المشتركة $(V_M - V_0)$ من توتر المصعد للثيرستور المراد حساب التوتر العكسي على طرفيه.

بالنسبة لثيرستور موصول بالاتجاه السالب، ولحساب التوتر العكسي على أحد هذه العناصر وليكن Th_1' ، يتم رسم الفرق بين $((V_N - V_0) - V_1)$ ، وعليه خلال الفترة $\frac{T}{q}$

يتم توصيل Th_2' وخلال $\frac{T}{q}$ أخرى يتم توصيل Th_3' وفي كل فترة يكون $(V_N - V_0) = V_1$ ثم V_2 ثم V_3 وهكذا يرسم التوتر العكسي على عناصر التقويم.



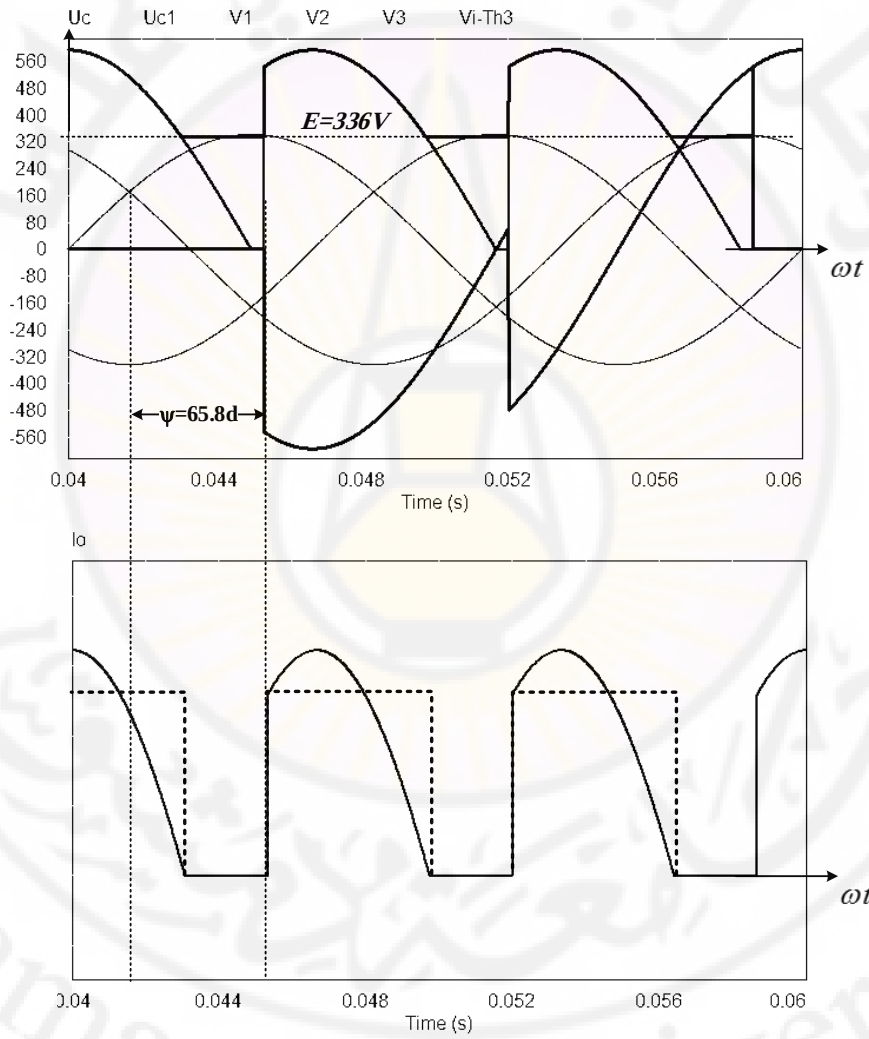
الشكل (أ-6-3) دائرة الاستطاعة

الشكل أدناه يعطي الأشكال التالية :

1 - شكل التوتر المقوم عند زاوية إزاحة $\psi = 65.8^\circ$.

2- شكل التوتر العكسي على Th_3 بدون إظهار القوة المحركة الكهربائية العكسية للمحرك.

3- شكل تيار الحمل المار.



الشكل (ب-3-6) أمواج التوتر المقوم والعكسي وتيار الحمل

مثال (3):

محرك تيار مستمر استطاعته 660 كيلو وات، ذو تحريض مستقل، توتر المتحريض 820 فولت، والقوة المحركة الكهربائية العكسية $E=779.756$ Volts عند السرعة الاسمية، ومقاومة المتحريض 0.05 أوم وتوتر ملف التحريض 400 فولت، يراد تغذيته من جسر تقويم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور نصف مقاد $q=3$. المطلوب:

1- قدر قيمة توتر ثانوي المحول الممكن استخدامه لتغذية هذا الجسر عند التردد 50 هرتز، علماً أنه قد نحتاج لرفع توتر المنبع لقيم قد تصل إلى 1.2% من التوتر الاسمي. ماذا تقترح أن يكون توتر الابتدائي المغذي للمحول ولماذا؟

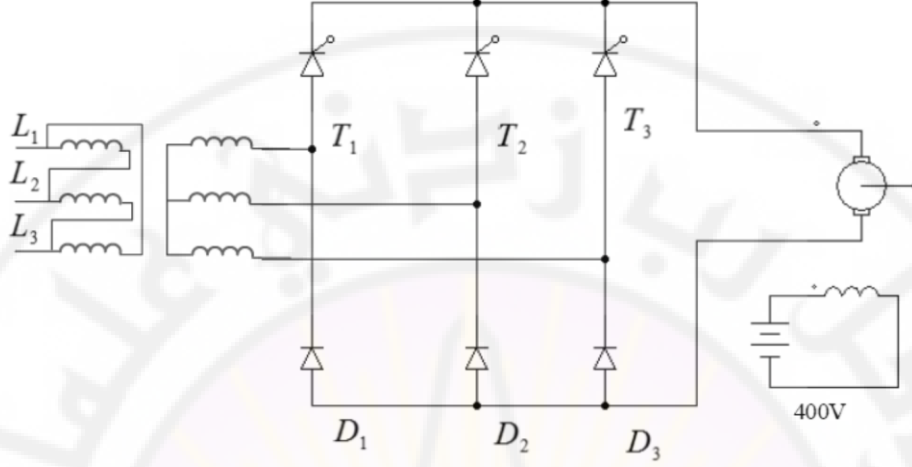
2- بعد تحديد توتر الثانوي، بين زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها على الجسر لتغذية المحرك عند التوتر الاسمي والسرعة الاسمية.

3- ما هي قيمة هبوط التوتر الناتج عن التطابق وزاوية التطابق عند حالة التوتر الاسمي، علماً أن حثية المحول والشبكة منسوبة للثانوي كانت $L=0.00030$ henry.

4- ارسم شكل التوتر المقوم عند زاوية الإزاحة المحسوبة من قبلكم. وأهمّل التطابق. وارسم شكل تيار الحمل المار.

5- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي للثريستورات المستخدمة.

الحل:



الشكل (آ-7-3) دائرة الاستطاعة

1- بفرض عدم وجود إزاحة بالطور يمكن حساب توتر الملف الثانوي، حرصاً على تعويض هبوطات التوتر التي لم نتطرق لها في هذه المسألة يمكن رفع التوتر المتوسط المقوم الذي سوف يعطيه الحسر بنسبة 20%:

$$U_{C0} = 820 \times 1.2 = 984 \text{Volts}$$

$$U_{C0} = \frac{2.3}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$= 0.8274 V_m + 0.8274 \cos \psi$$

بفرض $\psi = 0$ نجد:

$$984 = 1.65 V_m = 1.65 \times \sqrt{2} V_{eff}$$

$$V_m = 596.36 \text{Volts}$$

$$V_{eff} = 421.7 \text{Volts}$$

يجب أن يكون المحول خافض للتوتر، وطالما أن التوتر أكبر من 400 فولت لذا يمكن أن نقترح محول بتوتر ابتدائي: 3000 فولت أو أكبر.

2- التوتر الاسمي للمحرك: 820 فولت.

الجسر نصف مقاد ، لذا يمكن حساب زاوية الإزاحة بالطور الممكن العمل عندها
باعتقاد العلاقة أدناه:

$$820 = 984 \times \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$\psi = 48.2 \text{ Degree}$$

3- يعطى هبوط التوتر الناتج عن التطابق بالعلاقة:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} L_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$I_C = \frac{P}{U_C} = \frac{660 \times 10^3}{820} = 805 \text{ Amper.}$$

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{l_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$0.666 - \cos(\psi + \alpha) = \frac{75.83}{516.16} = 0.14682$$

$$(\alpha = 10.534^\circ)$$

$$\Delta_1 U_C = \frac{3}{3.14} \times 0.0003 \times 314 \times 805 = 72.45 \text{ Volts}$$

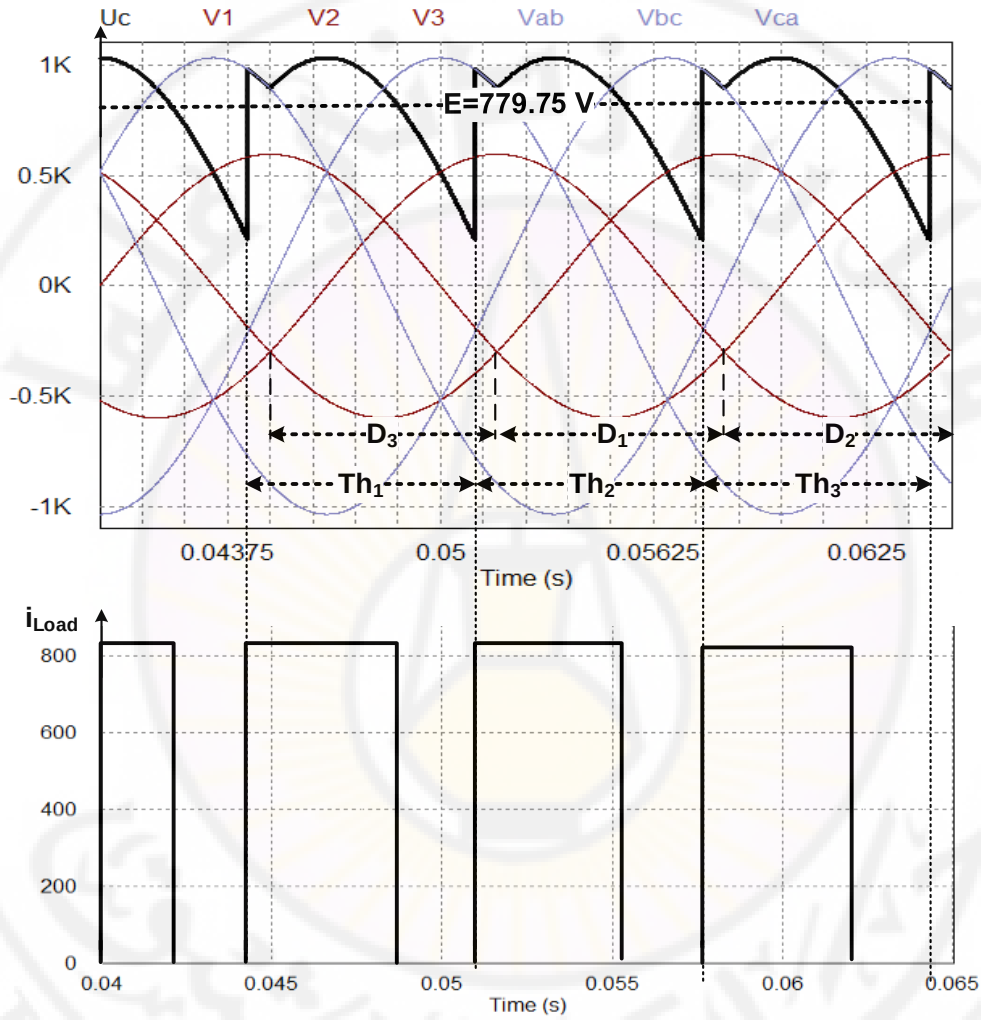
$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = 2 \times 596.3 \times 0.866 \quad -5$$

$$V_{i\max} = 1032.9 \text{ Vts} \Rightarrow 1200 \text{ Volts}$$

- لشراء عنصر التقويم يجب أن يتحمل توتراً عكسياً وأمامياً أكبر من أكبر توتر عكسي تم حسابه وذلك تفادياً من التوترات العابرة والزائدة.

4- الشكل أدناه يوضح شكل التوتر المقوم على طرفي الحمل عند $\psi = 48^\circ$ ، كما نرى القوة المحركة الكهربائية العكسية C. E.M.F وشكل تيار المحرك.

$$E = U_C - I.r = 820 - 805 \times 0.05 = 779.8V$$



الشكل (ب-7-3) التوتر المقوم للجسر الثلاثي الطور، تتابع عمل عناصر التقويم ، شكل تيار الحمل.

مثال (4):

جسر تقويم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور نصف مقاد، محمل بحمل مختلط RL، مقاومة الحمل 20Ω ، ذي ممانعة كبيرة جداً. توتر الدخل المطبق على الجسر (خط-خط) يساوي 480V (50Hz). زاوية الإزاحة بالطور 90 درجة. اجب على ما يلي:

- 1- ارسم شكل التوتر المقوم بين المهابط المشتركة (V_M-V_0)، وشكل التوتر بين المصاعد المشتركة ونقطة النجمة (V_N-V_0). ومن ثم ارسم توتر الخرج الكلي U_C . حدد تتابع عمل عناصر التقويم.
- 2- احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.

الحل:

- 2- تحسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج (الطلب الثاني) بالعلاقة:

$$U_C = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

بما أن $\alpha = 90^\circ$ فإن $\cos \alpha = 0$ وعليه نجد:

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \cdot \frac{480}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{1}{2} \right) = 323.3V$$

- 1- أشكال التوتر يمكن رؤيتها على الشكل المبين أدناه.

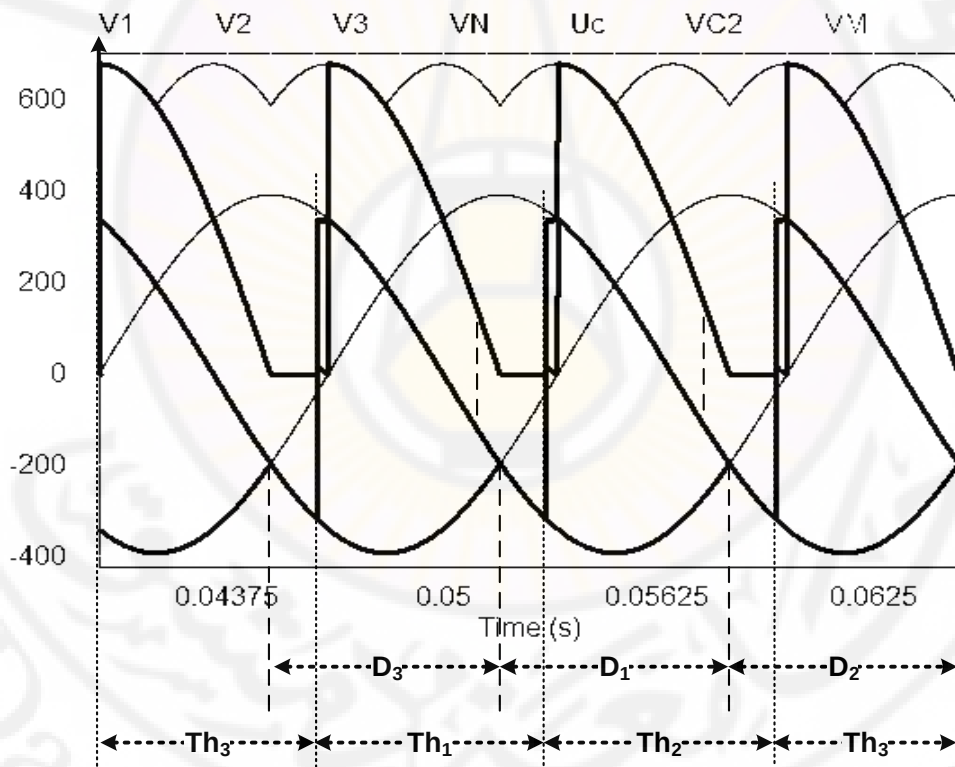
يتم رسم (V_M-V_0) عند الزاوية المطلوبة.

يتم رسم (V_N-V_0) بدون إزاحة بالطور.

يتم تحصيل (V_M-V_N) وهو U_C .

التوتر المتوسط المقوم الناتج، تم الحصول عليه من الفرق اللحظي بين توترات المهابط المشتركة وتوترات المصاعد المشتركة، بما أن المجموعة نصف مقادة قمنا بداية بتحديد فترات التوصيل للعناصر المقادة وغير المقادة ثم تم رسم توتر

المجموعة المقادة وهنا نتعامل مع التوترات الموجودة في الربع الموجب، نطبق الإزاحة بالطور المطلوبة بدءاً من اللحظة التي يصبح فيها توتر الطور الأول أكبر التوترات إيجابية، ثم تزاح باقي التوترات بنفس القيمة. التوتر بين المصاعد المشتركة ونقطة النجمة لن يتغير لأن عناصر المجموعة السالبة غير مقادة ويأخذ التوتر المقوم قيم التوترات السالبة. فرق التوتر بين خرج المجموعة الموجبة والمجموعة السالبة يعطي توتر الجسر النهائي .



الشكل (3-8) التوتر المقوم الناتج لمقوم نصف مقاد PD3 عند إزاحة 90 درجة

مثال (5):

جسر تقويم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور مقاد، محمل بحمل أومي ، مقاومة الحمل 20 أوم، توتر الدخل المطبق على الجسر (خط- خط) يساوي 480V (50Hz). زاوية الإزاحة بالطور 90 درجة. بين ما يلي:

- 1- ارسم شكل التوتر بين المهابط المشتركة ونقطة النجمة ($V_M - V_0$)، وشكل التوتر بين المصاعد المشتركة ونقطة النجمة ($V_N - V_0$). ومن ثم ارسم توتر الخرج الكلي U_C . حدد تتابع عمل عناصر التقويم.
- 2- احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.

الحل:

تحسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج (الطلب الثاني) بالعلاقة:

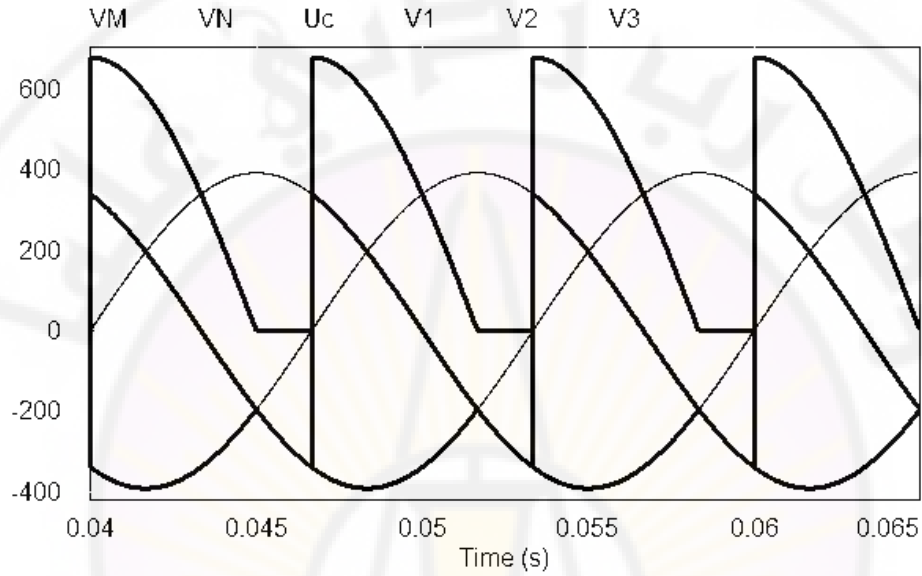
$$U_C = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

ونلاحظ أنها نفس العلاقة المستخدمة في جسر التقويم التفرعي المضاعف نصف المقاد أي أننا نعامل حالة الحمل الأومي معاملة الجسور نصف المقادة، حيث لا توجد مركبات توتر سالبة.

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \cdot \frac{480}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} (1 + \cos 90) \left(\frac{1}{2} \right) \\ = \frac{3 \times 480 \sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{1}{2} \right) = 323.3 \text{Volts.}$$

- 1- لرسم شكل التوتر المقوم في مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة المحملة بحمل أومي نعمل على رسم شكل التوتر ($V_M - V_0$) للمهابط المشتركة. ورسم أشكال التوتر ($V_N - V_0$) للمصاعد المشتركة عند الزاوية المطلوب العمل عندها، وهي هنا 90° وكأن الحمل تحريضي، ونحصل التوترات أي نستنتج التوتر ($V_M - V_N$) وبما

أن الحمل أومي نعمل على حذف كل مركبات التوتر الواقعة تحت المحور الأفقي.
والشكل الناتج هو شكل توتر الخرج الكلي U_C .



الشكل (3-9) شكل التوتر المقوم عند حمل أومي

مثال (6) :

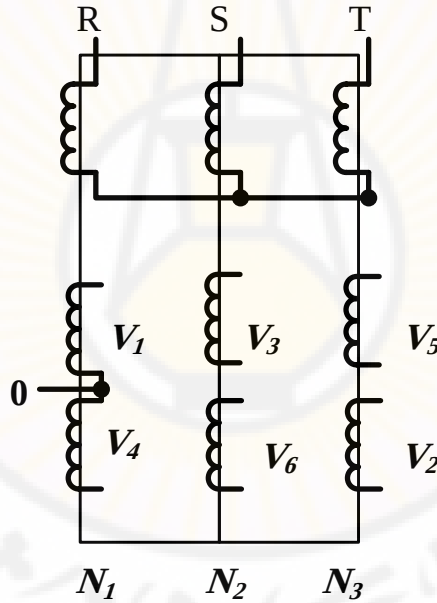
لديك جسر تقويم تفرعي أحادي الطور مقاد. يراد تغذيته من محول ثلاثي الطور على كل ذراع تم وضع ملفين توتر كل ملف 210 فولت. بين لنا ما يلي:
1- ارسم مخطط التوصيل للجسر المقترح والمحول وملفاته. وبين لماذا تم اعتماد هذه الملفات؟.

2- احسب زاوية التأخير بالطور الواجب تشغيل الجسر عندها، كي يغذي الجسر المقترح محرك التيار المستمر عند توتره الاسمي البالغ 200 فولت.

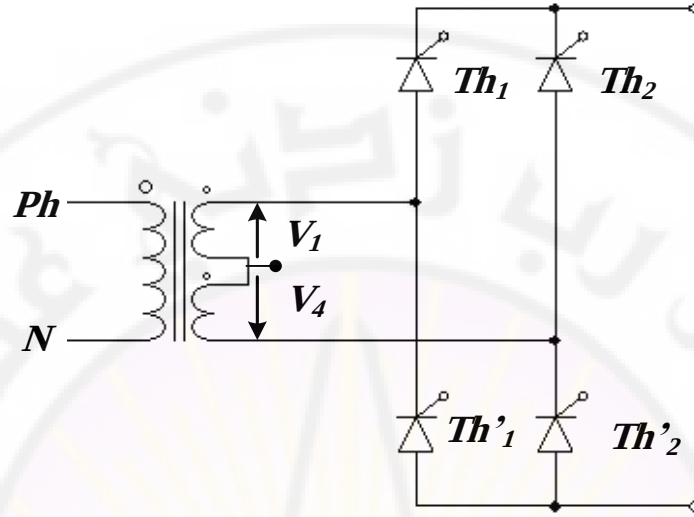
- 3- ارسم شكل التوتر المقوم السابق على طرفي المتحرض، إذا علمت أن الاستطاعة الاسمية للمحرك كانت 4 كيلو وات ومقاومة المتحرض 0.5 أوم.
- 4- ارسم شكل تيار الحمل.

الحل:

في المحول الثلاثي الطور، لدينا ست ملفات، فرق الطور بين V_1 و V_3 يساوي 120° ، وفرق الطور بين V_1 و V_4 يساوي 180° ، وذلك إذا تم لف الملف V_4 بعكس اتجاه الملف V_1 . وفي الجسر الأحادي الطور يلزم ملفين فرق الطور بينهما 180° درجة لذا سوف نعتمد (V_4 و V_1) لربط الجسر الأحادي الطور عليهما.



الشكل (أ-10-3) ملفات المحول الثلاثي الطور



الشكل (ب-10-3) الجسر الأحادي الطور.

- التوتر المقوم الناتج عن الجسر بدون إزاحة بالطور:

$$U_{C0} = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$= \frac{2 \times 2}{\pi} \frac{210 \times 2\sqrt{2}}{2} \times 1$$

$$U_{C0} = \frac{4}{\pi} \sqrt{2} \times 210 = 378.3V$$

- للحصول على توتر تشغيل المحرك يجب إجراء إزاحة بالطور ويمكن حساب من

العلاقات :

$$U_C = U_{C0} \cdot \cos \psi$$

$$200 = 378.3 \cos \psi$$

$$\cos \psi = 0.5286$$

$$\psi = 58.09^\circ$$

- في محرك التيار المستمر، تيار المحرك يعطى بالعلاقة أدناه، وهي القيمة المتوسطة للتيار، لأن التيار في المحرك سيكون متقطعاً وغير مستمر نظراً لوجود قوة محرّكة كهربائية عكسية:

$$I = \frac{4000}{200} = 20A$$

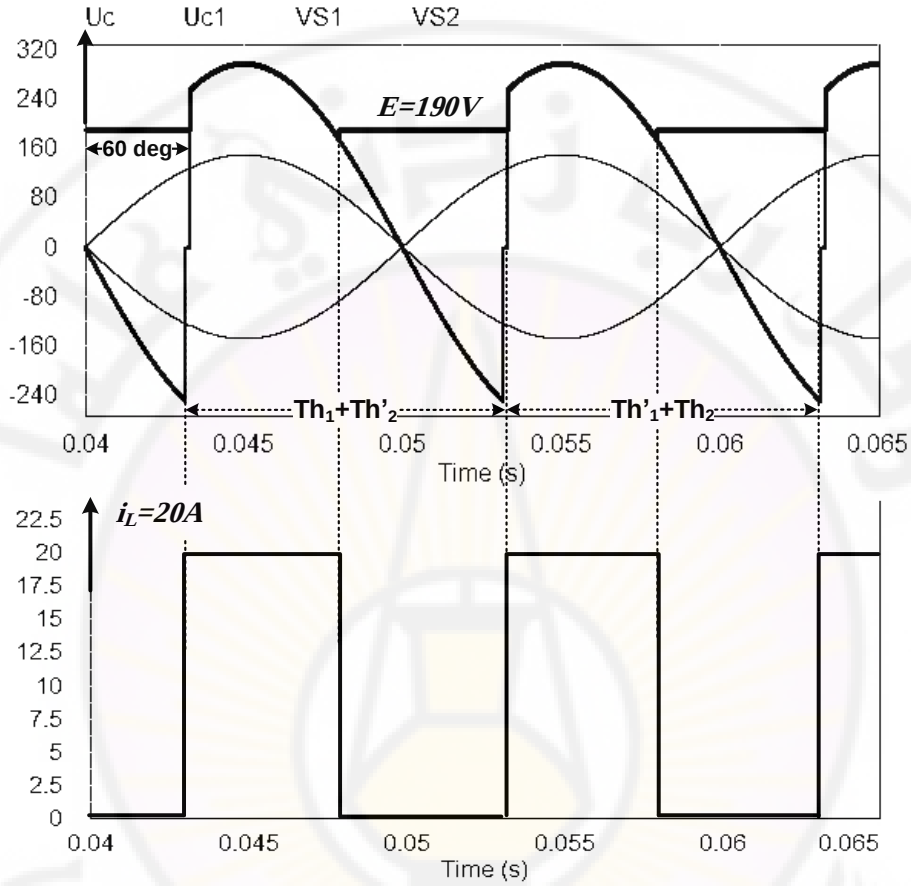
- القوة المحركة الكهربائية العكسية عند التوتر الاسمي والسرعة الاسمية تعطى بالعلاقة:

$$U_C = E + I.R$$

$$200 = E + 10 \times 1$$

$$E = 190 \text{Volts.}$$

- الأشكال التالية توضح شكل التوتر المقوم وشكل أو مستوى التوتر للقوة المحركة الكهربائية العكسية. كما نرى شكل التيار المار في المحرك.



الشكل (س-10-3) شكل التوتر المقوم على طرفي المحرك مع اعتبار القوة المحركة الكهربائية E.M.F، وشكل تيار المحرك المتقطع المار بالمحرك.

مثال (7):

يراد قيادة محرك تيار مستمر ذي استطاعة قدرها 6 كيلو وات. توتر التشغيل الاسمي 240 فولت. مقاومة المتحرض 1 أوم، حثية الشبكة 3 ميلي هنري. حثية

- الحمل 8 ميلي هنري، مقاومة الحمل 1 أوم. مقاومة الشبكة والمنبع المكافئة 0.5 أوم، باستخدام جسر تقويم نصف مقاد ثلاثي الطور مضاعف، احسب ما يلي:
- 1- مع مراعاة هبوطات التوتر الكلية، ما هي قيمة توتر طور الملف الثانوي للمحول المستخدم لتغذية الجسر، بحيث يمكن قيادة المحرك بحرية وليونة مع وجود وفر بالتوتر.
 - 2- بعد اختيار التوتر، حدد زاوية الإزاحة بالطور الواجب العمل عندها.
 - 3- ارسم دائرة الاستطاعة للجسر المقترح، وارسم شكل التوتر المقوم الممكن رؤيته على طرفي المحرك عند زاوية الإزاحة التي حصلت عليها، وذلك بفرض أن المحرك يدور عند السرعة الاسمية والتوتر الاسمي.
 - 4- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي المتشكل على أحد عناصر التقويم.
 - 5- ارسم شكل تيار الحمل المار في المحرك، وشكل تيار الطور في الملف الأول لثانوي المحول.
 - 6- هل يمكن تشغيل هذا المحرك في الاحداثيات الأربعة للتوتر والتيار باستخدام هذا الجسر؟

الحل:

مواصفات المحرك مبينة أدناه. لدى حساب هبوط التوتر الناتج عن التطابق وعلى مقاومات الجسر، وعناصر التقويم، يمكن إضافة هذه الهبوطات للتوتر الاسمي للمحرك. بناء عليه يمكن تحديد أدنى توتر يمكن للجسر أن يقدمه حتى نتمكن من التحكم بالتوتر وقيادة المحرك:

$$R_a = 1\Omega, \quad P_C = 6KW, \quad U_C = 240V.$$

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق في جسر التقويم التفرعي المضاعف يعطى بالعلاقة:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} \cdot I_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

- تيار الحمل المتوسط المار :

$$I_C = \frac{6000}{240} = 25 \text{ Amp.}$$

- هبوط التوتر خلال مرحلة التطابق وعلى عناصر التقويم بحسب بالشكل :

$$\Delta_1 U_C = \frac{3}{3.14} \times 0.003 \times 314 \times 25 = 22.5 \text{ Volts.}$$

$$\Delta_2 U_C = U_C(I_C) = 1.5 \times 6 = 9 \text{ Volts.}$$

- هبوط التوتر على مقاومات الدارة باعتبار المقاومة المكافئة :

$$R_C \cdot I_C = 25 \times 0.5 = 12.5 \text{ Volts.}$$

مجموع هبوطات التوتر :

$$\Delta U_C = 12.5(V) + 9(V) + 22.5(V) = 44 \text{ Volts.}$$

- التوتر المتوسط الأدنى الواجب تقديمه من جسر التقويم :

$$U_{C0} = 240 + 44 + (40) = 324 \text{ Volts.}$$

المطلوب من الجسر تقديم توتر مستمر يقارب 324 فولت، ثم من الضروري العمل عند إزاحة بالطور للحصول على توتر المحرك الاسمي. لذا من هذه القيمة يمكن حساب توتر ثانوي المحول عند الزاوية $\varphi=0$:

$$U_{C0} = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$324 = \frac{2 \times 3}{3.14} \cdot V_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow V_m = 195.79 \text{ Volts.}$$

$$V_{eff} = 138.445 \text{ Volts} \neq 150 \text{ Volts.}$$

وسوف نعتمد القيمة: $V_m = 212 \text{ Volts}$ للتوتر الثانوي للمحول.

هذا التوتر سوف يولد توتراً مقوماً عند زاوية إزاحة تساوي الصفر من القيمة:

$$U_{C0} = \frac{2 \times 3}{\pi} \times 212 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 350.8 \text{Volts}$$

2- وبما أن الجسر نصف مقاد فعليته:

$$U_C = U_{C0} (\cos \psi + 1) / 2$$

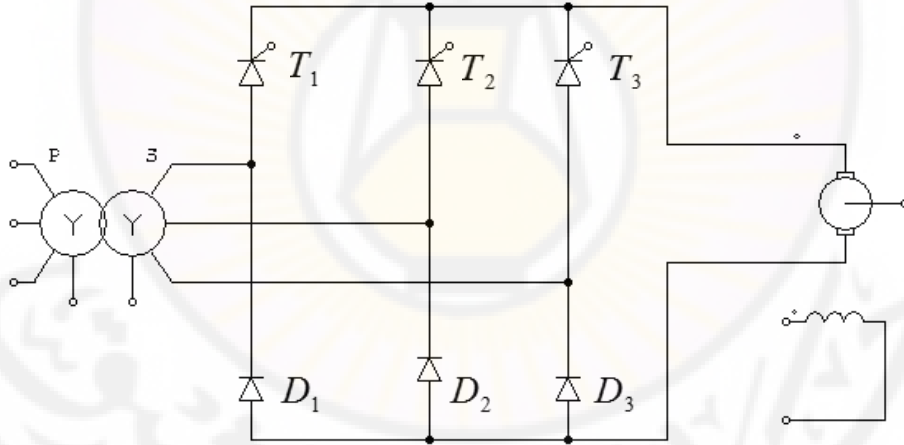
$$240 = 350 (\cos \psi + 1) / 2$$

$$\cos \psi = \frac{110}{350} = 0.3142$$

زاوية الإزاحة بالطور:

$$\psi = 71.68^\circ$$

3- دائرة الاستطاعة المستخدمة:



الشكل (آ-11-3) دائرة الاستطاعة المستخدمة

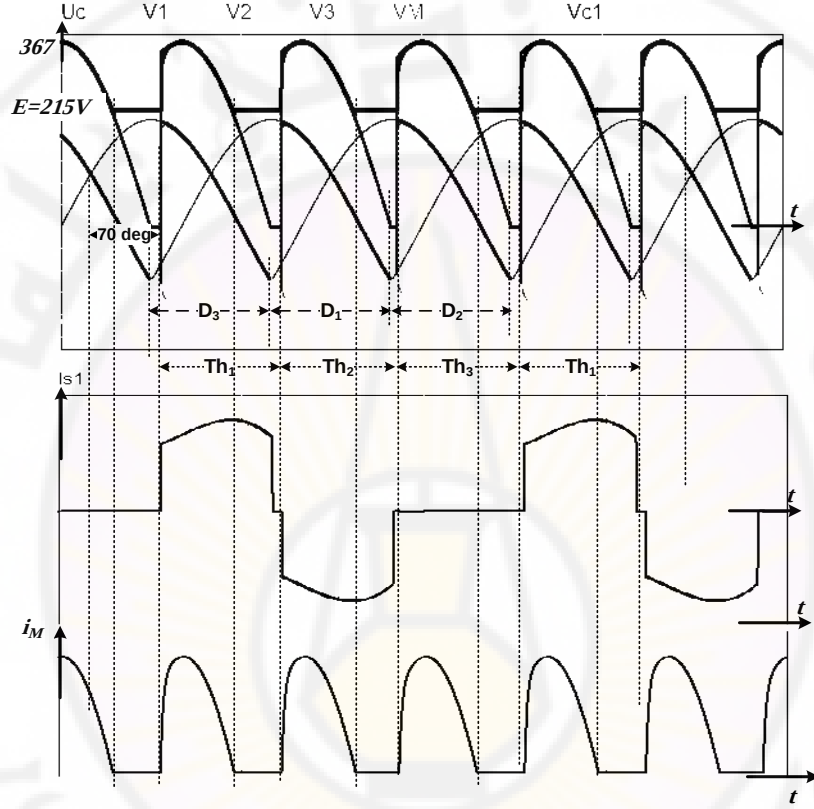
5- الشكل أدناه يوضح طريقة رسم شكل التوتر المقوم، تتابع عمل عناصر التقويم،

تيار المحرك والتيار في أحد الملفات الثانوية.

سنأخذ $\psi = 70^\circ$

$$U_C = E + I_C \cdot R_a$$

$$240 = E + 25 \times 1 \Rightarrow E = 240 - 25 = 215$$



الشكل (ب-11-3) شكل التوتر المقوم على طرفي الحمل، تيار الثانوي

4- تعطى القيمة العظمى للتوتر العكسي بالعلاقة:

$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

$$V_{i\max} = 2 \times 212 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 367 \text{ Volts.}$$

6- جسر التقويم التفرعي المضاعف بمفرده لا يمكنه العمل سوى في ريعين من إحداثيات التوتر والتيار، يستطيع تغيير التوتر من القيمة العظمى الموجبة إلى القيمة العظمى السالبة، لكن التيار يبقى في اتجاه واحد. وكي نستطيع العمل في الإحداثيات الأربعة يجب استخدام جسر تقويم ثاني وربطه باتجاه معاكس والعودة لمبدأ الجسور المضاعفة ذات الاتجاه المزدوج للتيار (Dual Converter).

مثال (8) :

جسر تقويم أحادي الطور مقاد، توتر ثانوي المحول المرتبط به يساوي 410 فولت، بين لنا ما يلي:

- 1- ارسم دائرة الاستطاعة للجسر المقترح، واحسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم، وارسم شكل التوتر المقوم عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 60 درجة كهربائية.
- 2- احسب القيمة العظمى للتوتر العكسي، وارسم شكل هذا التوتر على الثيرستور رقم 2 عند نفس الزاوية.
- 3- بفرض أن حثية الحمل 0.03 هنري وحثية الشبكة والمنبع تساوي 0.003 هنري، وتردد المنبع 50 هرتز. ومقاومة الحمل المطبق 10 أوم. ما هي قيمة زاوية التطابق الناتجة عند زاوية الإزاحة بالطور المقترحة 60 درجة، وهبوط التوتر الناتج عندئذ. ارسم توتر الخرج مع إظهار التطابق (برسم مستقل).
- 4- ما هي زاوية التطابق عند زاوية إزاحة تساوي الصفر. وقارنها مع الزاوية السابقة. تحدث عن سبب اختلاف القيم الناتجة.

الحل:

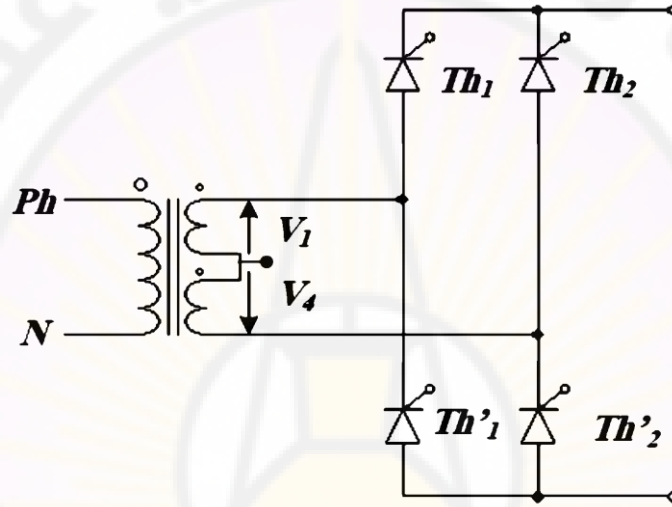
دائرة الاستطاعة مبينة أدناه، وهو حمل تحريضي ذي حثية قدرها: $L=0.03H$.

- 1- يعطى التوتر المقوم بالعلاقة:

$$U_C = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} . \cos \psi$$

$$U_C = \frac{2 \times 2}{\pi} \times \frac{410}{2} \times \sqrt{2} \times 1 \times \cos 60 = 369.316 \cos 60$$

$$U_C = 184.658 \text{ Volts.}$$



الشكل (آ-12-3) دائرة الاستطاعة

2- القيمة العظمى للتوتر العكسي تعطى لمجموعات التقويم التفرعية المضاعفة بالعلاقة:

وبما أن عدد الأطوار زوجي يمكن مباشرة القول أن التوتر العكسي الأعظمي

$$V_{imax} = 2V_m$$

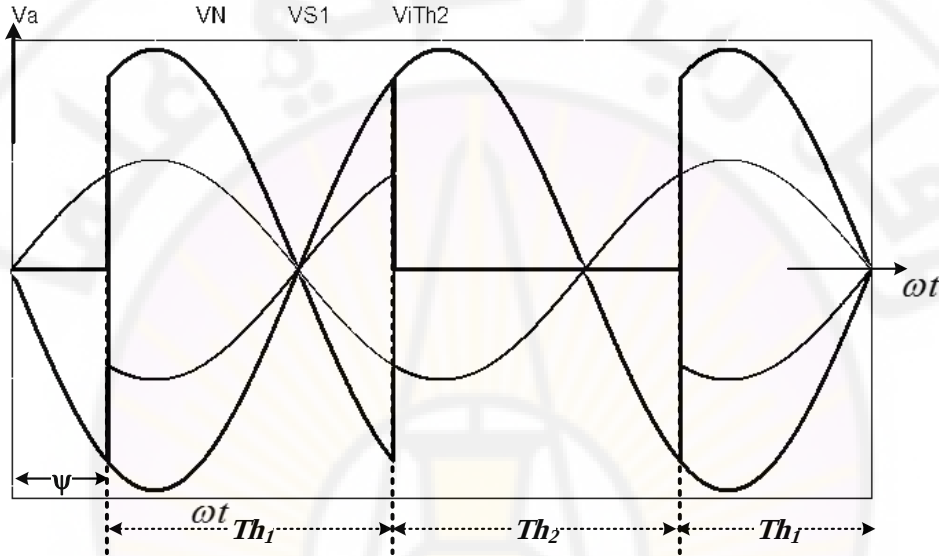
أو أن العلاقة العامة تساوي:

$$V_{imax} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

وعليه:

$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{6} = 2V_m$$

$$V_{i\max} = 2 \frac{410}{2} \sqrt{2} = 579.8V$$



الشكل (ب-12-3) شكل التوتر المقوم عند $\psi=60^\circ$ وشكل التوتر العكسي على Th_2 عند نفس زاوية الإزاحة

3- لحساب زاوية التطابق α سوف نحسب تيار الحمل ونعتمد حثية الشبكة المعطاة (0.003) هنري.

$$I_C = \frac{U_C}{R} = \frac{184.658}{10} = 18.4658Amp.$$

$$I_C = 18.466A.$$

- عند زاوية إزاحة بالطور تعطى زاوية التطابق بالعلاقة:

$$\begin{aligned} \cos \psi - \cos(\psi + \alpha) &= \frac{l_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} \\ &= \frac{0.003 \times 314 \times 18.466}{289.9 \times 1} = \frac{17.395}{289.9} \end{aligned}$$

$$0.5 - \cos(\psi + \alpha) = 0.06$$

$$\cos(\psi + \alpha) = 0.44$$

$$(60 + \alpha) = 63.896$$

وعليه فإن زاوية التطابق: $(\alpha = 3.896)$

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق متساوي سواءً بدون وجود إزاحة بالطور أو مع وجود إزاحة بالطور، لذا يمكن حساب الهبوط بالعلاقة:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} \cdot l_2 \cdot \omega \cdot I_C = \frac{2}{3.14} \times 0.003 \times 314 \times 18.66$$

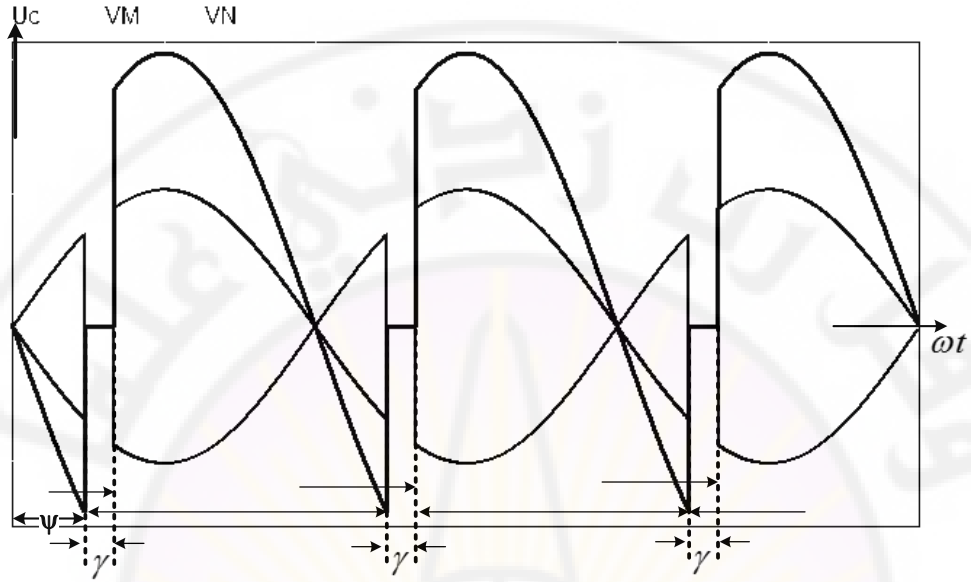
$$\Delta_1 U_C = 11.08 \text{Volts.}$$

4- زاوية التطابق بدون إزاحة بالطور تعطى بالعلاقة:

$$(1 - \cos \alpha) = \frac{l_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} = 0.06$$

$$\cos \alpha = 0.94 \Rightarrow \alpha = 19.94^\circ$$

- سبب الاختلاف هو فرق الكمون بين التوترات المتتالية. كلما زاد هذا الفرق نقصت زاوية التطابق.



الشكل (س-12-3) شكل التوتر المقوم الناتج مع إظهار التطابق.

- نلاحظ أن توتر الخرج خلال فترة التطابق في الجسر الأحادي الطور ينطبق مع محور السينات وذلك لأن V_1 تساوي V_2 ومجموعهما خلال التطابق يساوي الصفر، ذلك لأنه كما نعلم التوتر المقوم خلال التطابق يساوي:

$$U_C = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

مثال (9) :

جسر تقويم نصف مقاد ثلاثي الطور PD3 يغذى من محول ثلاثي الطور موصل الطرف الثانوي بشكل نجمي والابتدائي بشكل مثلثي توتر الخط في الثانوي 600 فولت. حثية المحول والشبكة منسوبة للثانوي 2mh، يغذى بهذا الجسر متحرض محرك تيار مستمر ذي تيار اسمي قدره 50/ أمبير. كما يغذى ملف التحريض من

جسر أحادي الطور PD2 توتر الملف 110 فولت وتياره /6/ أمبير. بين لنا ما يلي:

- 1- احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عند $\psi = 45^\circ$ وما هي قيمة زاوية التطابق الناشئة.
- 2- ما هو شكل التوتر المقوم عند $\psi = 45^\circ$. وما هو شكل تيار الحمل المار عندئذٍ. وما هي زاوية الإزاحة بالطور بين التوتر والتيار عندئذٍ.
- 3- ما هو شكل التوتر العكسي وقيمتة العظمى على Th_1 في الجسر الأحادي الطور عند زاوية إزاحة /30/ درجة. وما هي استطاعة المحول المغذي للملف التحريض؟.

الحل:

- 1- الجسر الثلاثي الطور المضاعف نصف المقاد PD3 يغذي المتحريض، والجسر الأحادي الطور PD2 يغذي ملف التحريض، وهو مغذى من محول أحادي الطور، التوتر المتوسط المقوم للجسر PD3 عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 45° تعطى بالعلاقة:

$$U_C = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} . \cos \psi$$

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \times \sqrt{2} \times \frac{600}{\sqrt{3}} \times 0.866 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 268.6 \text{Volts.}$$

$$U_{C0} = 810 / \text{Volts.}$$

زاوية التطابق عند زاوية إزاحة تساوي الصفر تحسب بالشكل:

$$1 - \cos \alpha = \frac{I_2 \omega I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$= \frac{210^{-3} \times 2\pi 50 \times 50}{\left(\frac{600}{\sqrt{3}} \sqrt{2}\right)} \cdot 0.866$$

$$1 - \cos \alpha = \frac{31.4}{424.25} = 0.074$$

$$\cos \alpha = 0.9259 \Rightarrow \alpha = 22.2^\circ$$

2- زاوية التأخير بين التيار وتوتر الطور بالنسبة لملفات المحول الثانوي الموصل بشكل نجمي تساوي:

$$\varphi = 45 + 30 = 75^\circ$$

3- التوتر العكسي الأعظمي بالنسبة لعناصر الجسر المغذي لملف التحريض يعطى بالشكل:

$$V_{i\max} = 2V_m = 172.7(\text{Volts})$$

- يمكن حساب توتر الملف الثانوي من العلاقة:

$$U_C = 110 = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$110 = \frac{2 \times 2}{\pi} \cdot V_m \cdot 1 \Rightarrow$$

$$V_m = 86.35 \text{Volts}$$

زاوية التطابق مع وجود تأخير بالطور يعطى بالعلاقة :

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{L_2 \omega I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$\cos 45 - \cos(45 + \alpha) = 0.074$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} - \cos(45 + \alpha) = 0.074$$

$$\cos(45 + \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{2} - 0.074 = 0.06331$$

$$\cos(45 + \alpha) = 0.6331$$

$$45 + \alpha = 50.72$$

$$\alpha = 5.721^\circ$$

- نلاحظ أن زاوية التطابق عند $\psi = 45^\circ$ أصغر بكثير من الزاوية عند $\psi = 0$.

- استطاعة المحول المغذي لملف التحريض:

$$P = V_s \cdot I_s$$

$$V_s = \frac{86.35 \times 2}{\sqrt{2}} = 122.1 / \text{Volts}$$

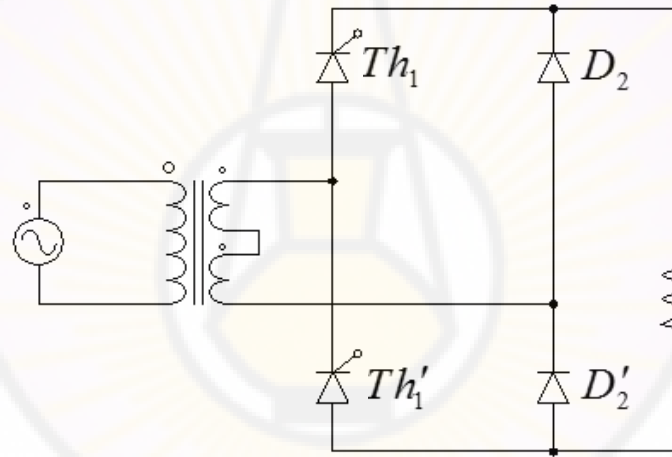
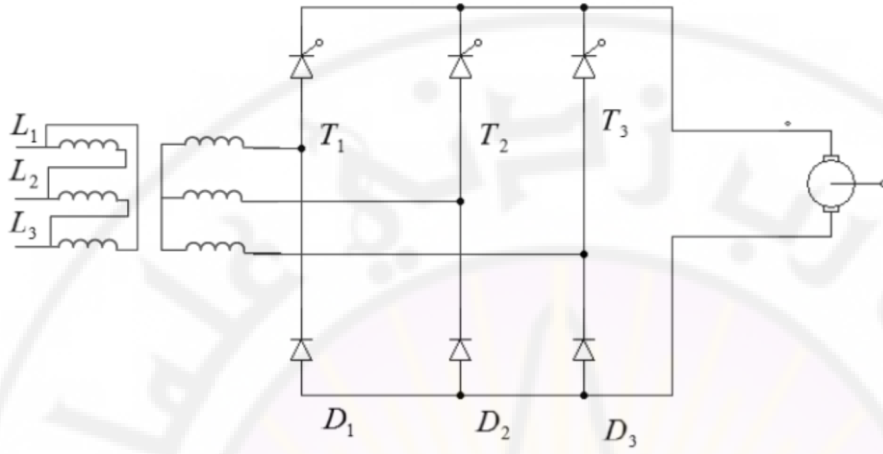
$$I_s = \frac{I_C \sqrt{2}}{\sqrt{q}} = I_C$$

$$I_s = 6 \text{ Amper}$$

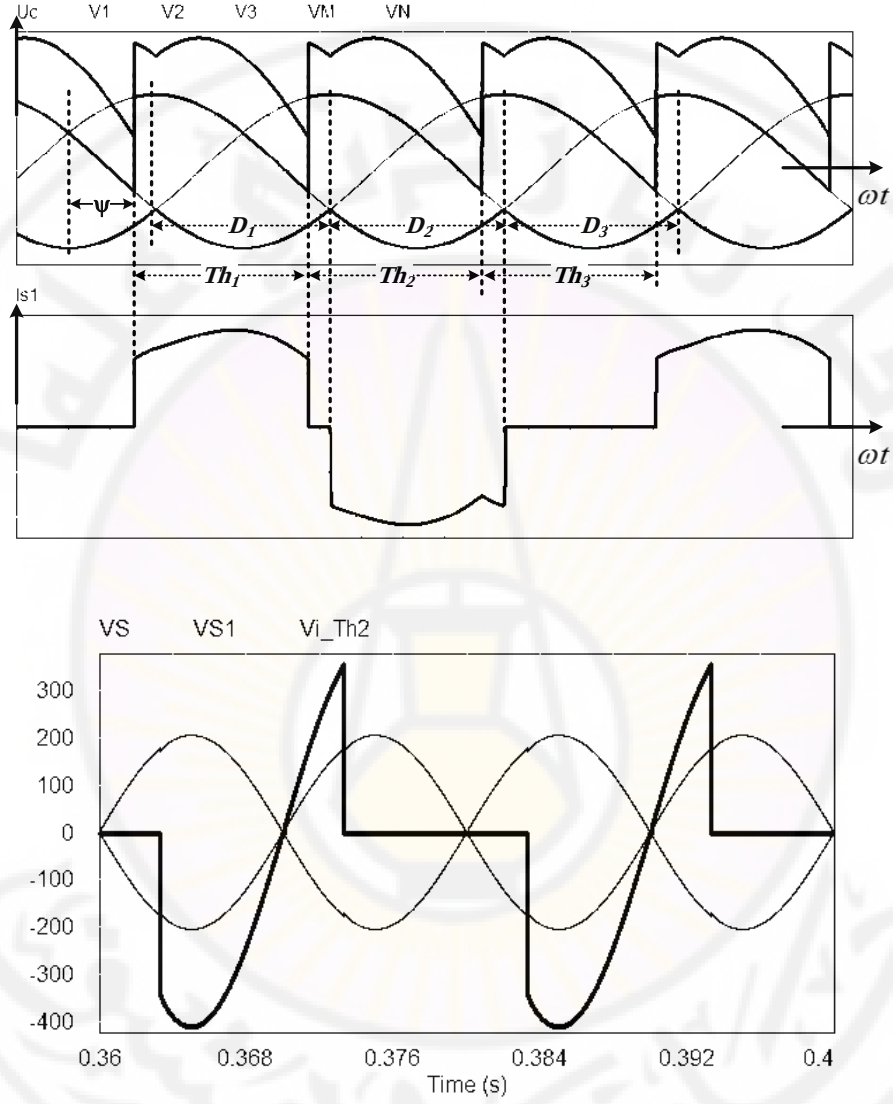
$$P = 6 \times 122.1 = 732.7 / \text{V.A}$$

- الأشكال أدناه توضح شكل التوتر الناتج عن PD3 و تيار الثانوي، وتتابع

عمل عناصر التقويم.



الشكل (آ-13-3) دارتا الاستطاعة المغذيتان للمتعرض وملف التحريض



الشكل (ب-13-3) التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم في الجسر الأحادي الطور.

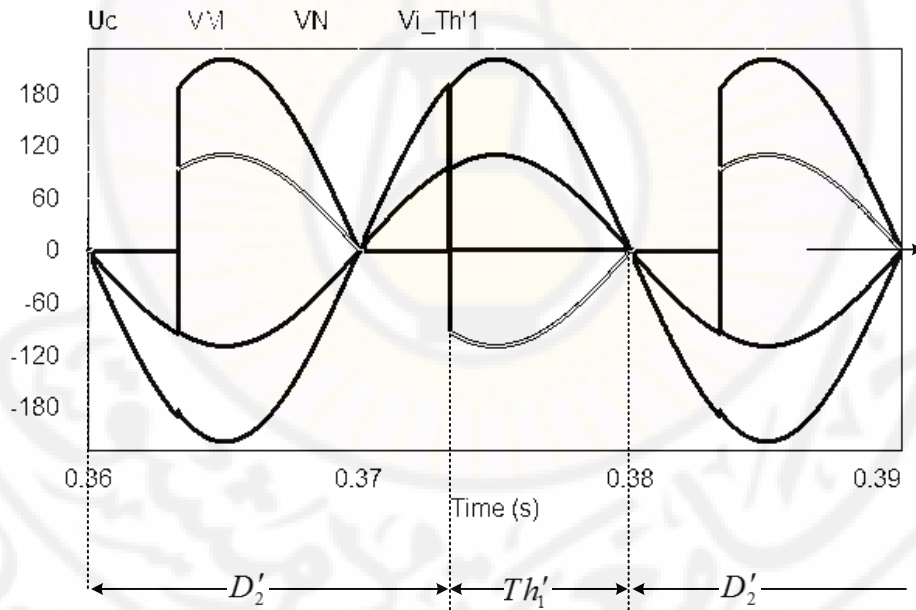
الشكل (س-13-3) التوتر المقوم مع إزاحة بالطور ،تيار الملف الثانوي للطور الأول.

مثال (10):

جسر تقويم ثيرستوري أحادي الطور غير متناظر، توتر الملف الثانوي الفعال /220/ فولت وتوتر الابتدائي /220/ فولت، ممانعة الشبكة تساوي /1/ أوم، تيار الحمل المار 15 أمبير، يعمل عند زاوية /60/ درجة. المطلوب تحديد القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عن الجسر، والقيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد العناصر الثيرستورية. ما هي قيمة هبوط التوتر الناتج عن التطابق في هذه الحالة.

الحل:

الشكل أدناه يوضح عمل الجسر الأحادي الطور عند زاوية إزاحة قدرها 60° .



الشكل (3-14) التوتر المقوم والتوتر العكسي لجسر أحادي الطور غير متناظر

$$U_C = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \times 2}{\pi} (\sqrt{2} \times 110) \times 1 = 198 \text{ Volts}$$

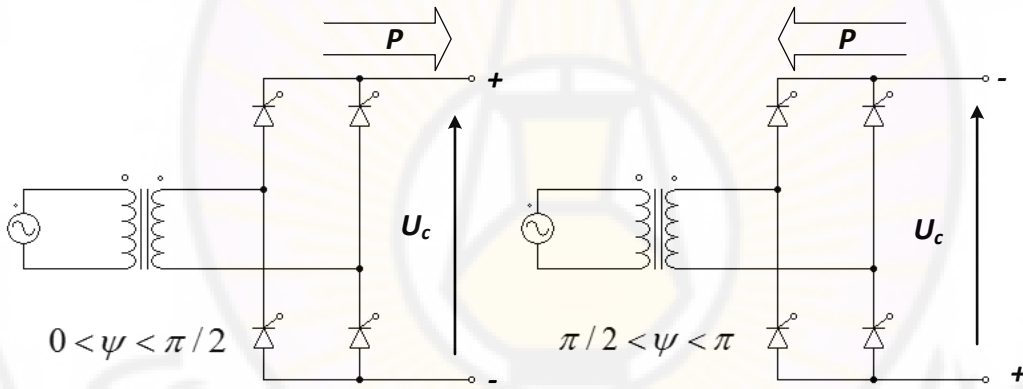
$$V_{i\max} = 2V_m = 2\sqrt{2} \times 110 = 311.1 \text{Volts.}$$

$$\Delta U_C = \frac{q}{\pi} \cdot L_2 \cdot \omega \cdot I_C = \frac{2}{\pi} \times 1 \times 15 = 9.55 \text{Volts.}$$

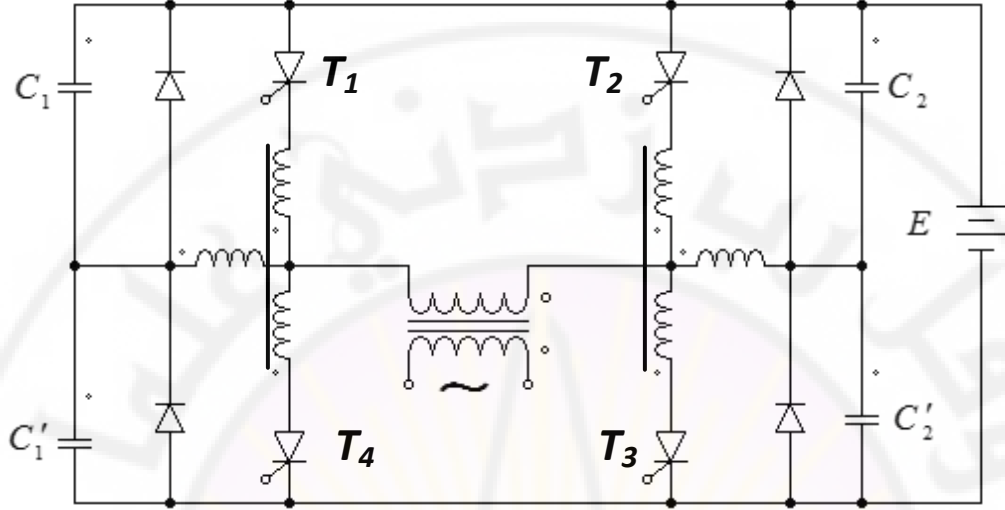
مثال (11):

ما الفرق بين حالة تشغيل جسر تقويم أحادي الطور مقاد يعمل عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من (90) درجة ، أي كعاكس ، وعمل الجسر الأحادي الطور كمعرج من النواحي التالية: تركيب الجسر ، نوعية وشكل توتر الخرج والدخل ، الوظائف المطلوبة في كل حالة (التطبيقات).

الحل:



(ب-3-15) جسر تقويم ثيرستوري يعمل كعاكس. (أ-3-15) جسر تقويم ثيرستوري.



(س-15-3) مبدلة جسرية أحادية الطور.

- الأشكال الثلاثة أعلاه (a- b- c) توضح ثلاث حالات لعمل جسر التقويم الأحادي الطور المقاد. في الشكلين (a و b) بنية الجسور متماثلة والفرق فقط في قيمة زاوية الإزاحة بالطور. بينما نجد أن الجسر في (c) يختلف بالبنية عن باقي الجسور. هذا الجسر (c) هو معرج مستقل يعمل على تحويل التوتر المستمر إلى توتر متناوب، وغير مرتبط بالشبكة، يستطيع من خلال توتر المدخلة E توليد توتر متناوب في المحول وتغذية أي حمل يربط على ثانوي المحول. وكي تستطيع العناصر الثيرستورية الانتقال من حالة الوصل (ON) إلى حالة الفصل (OFF) يلزم استخدام دائرة حجز قسرية مكونة مبدئياً من (L و C_1 و D). ولن ندخل أكثر في تفاصيل وآلية التبديل وسنذكر ذلك في بحث المعرجات مستقبلاً.

- الأشكال (a و b) هما من نفس البنية لكن الجسر (a) يعمل على نقل الاستطاعة من المنبع المتناوب وحققها بالحمل ذي التوتر المستمر وهي الاستطاعة الموجبة المستجرة من المنبع وتعطى بالشكل:

$$P_C = U_C . I_C$$

لكن في الشكل (b) ولدى رفع قيمة زاوية الإزاحة بالطور $90^\circ > \psi$ عندئذ تصبح محصلة التوتر المتوسط المقوم الناتجة سالبة $\cos(120) < 0$ وهذا يعني أنه التوتر المتوسط المقوم أصبح سالباً. لذا فإن الاستطاعة المتداولة في هذه الحالة هي جداء التوتر السالب $(-U_C)$ بالتيار المار في الجسر I_C والذي لا يمكنه أن يغير من اتجاهه، لذا فالجداء السالب لا يعني وجود استطاعة سالبة بل يعني أن اتجاه الاستطاعة سوف ينعكس، وهي أصبحت قادمة من الحمل المستمر وتحقن في الشبكة المتناوبة المرتبط بها هذا الجسر.

$$P_C = (U_{C0} . \cos \psi) . I_C$$

$$P_C = (-U_C . I_C)$$

- جسور التقويم التي تعمل عند زاوية إزاحة بالطور أصغر من 90° هي منابع توتر مستمر تستخدم لغايات متعددة ومعروفة لتغذية (محركات تيار مستمر - أحمال - شواحن....) ولدى العمل عند زاوية إزاحة أكبر من 90° درجة، يمكن للجسر استرداد القدرة من الحمل وحققها بالشبكة، (خط نقل بالتيار المستمر وغيرها).
الجسور نوع (c) تعمل كمعرجات مستقلة وتحول التوتر المستمر إلى توتر متناوب.

مثال (12) :

يراد تنظيم سرعة محرك تيار مستمر باستطاعة 7.5 كيلو وات. ذي توتر عمل اسمي 440 فولت. باستخدام جسر تقويم ثلاثي الطور تفرعي مضاعف نصف مقاد، يغذى من محول ثلاثي الطور توتر الطور في الثانوي يساوي 230 فولت قيمة فعالة. بين لنا ما يلي:

- 1- ما هي قيمة الإزاحة بالطور التي سيعمل عندها جسر التقويم وذلك حتى يعمل المحرك عند توتر تشغيل قدره 269.2/ فولت، أهمل هبوط التوتر.
- 2- ما هو شكل التوتر المرئي على طرفي المحرك عند تلك الزاوية، علماً ان القوة المحركة الكهربائية المتولدة تتناسب طردياً مع سرعة الدوران وتوتر المنبع المغذي. عند التوتر الاسمي كانت ق.م.ك. تساوي 420 فولت.
- 3- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي الممكن اعتماده لعناصر التقويم المستخدمة، وما هي مواصفات العناصر الثيرستورية الممكن استخدامها. ارسم شكل التوتر العكسي عند زاوية الإزاحة بالطور الناتجة لديك.
- 4- ما هي استطاعة المحول المغذي لهذه المجموعة، وما هي زاوية عامل الاستطاعة الناتجة للطور الأول.

الحل:

- 1- زاوية الإزاحة بالطور تحسب بالشكل التالي:
- التوتر المقوم الناتج عن جسر تقويم ثلاثي الطور تفرعي مضاعف نصف مقاد يغذى بتوتر ثانوي 230V قيمة فعالة للطور يعطى بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} . (\cos \psi + 1) \frac{1}{2}$$

$$= \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} \times 230 \times \sin \frac{180}{3} \cos \psi$$

بفرض أن $\cos \psi = 1$ ، أي عند زاوية إزاحة تساوي الصفر وعليه:

$$U_{C0} = 538.248 \text{Volts.}$$

بما أن توتر الخرج المطلوب العمل عنده هو 269.2V فإن زاوية الإزاحة تحسب:

$$269.2 = 538.248(Cos \psi + 1) \frac{1}{2}$$

$$269.2 = 269.2 + 269.2Cos \psi$$

$$269.2Cos \psi = 0$$

$$\psi = 90^\circ$$

- في هذه الحالة يجب ألا يقل التوتر العكسي للثيستر الممكن استخدامه عن 600V ويفضل أخذ ثيستر بتوتر 800 فولت. - عند التوتر الاسمي للمحرك 440 فولت تكون القوة المحركة الكهربائية العكسية 420 فولت وبالتالي عند التوتر 269.2 فولت، ستكون E.M.F متناسبة طرذاً:

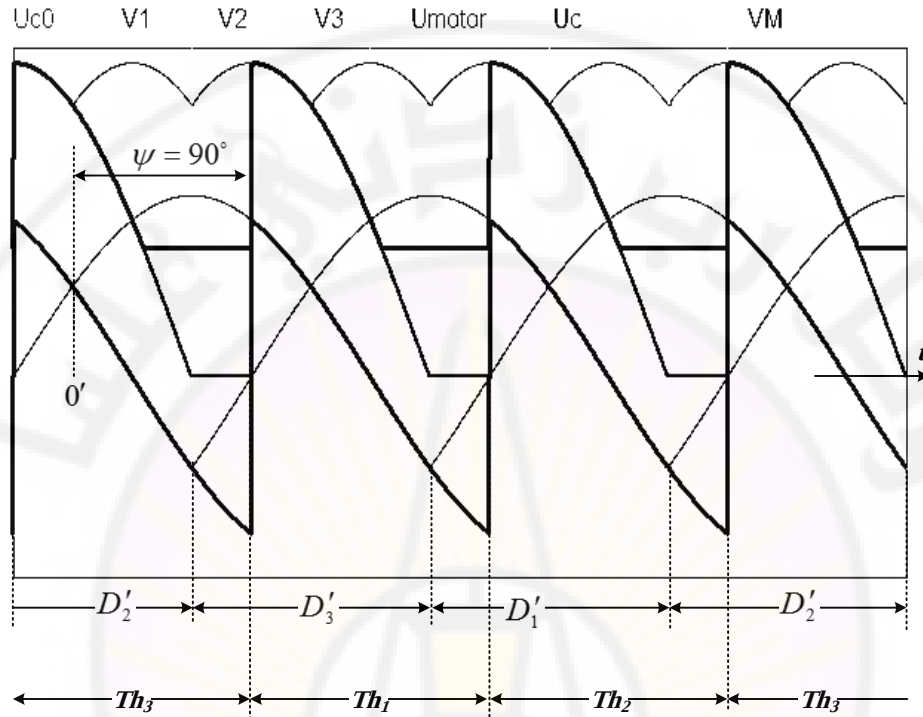
$$E.M.F = 269.2 \times \frac{420}{440} = 257Volts.$$

3- التوتر العكسي الأعظمي:

$$V_{imax} = 2V_m Cos \frac{\pi}{2q}$$

$$V_{imax} = 2\sqrt{2} \times 230 \times Cos \frac{180}{6} = 563Volts$$

2- شكل التوتر المقوم عند الزاوية $\psi=90$



الشكل (آ-16-3) التوتر المقوم عند الزاوية $\psi=90^\circ$

- مواصفات عنصر التقويم الواجب اعتماده:

1- التوتر الأمامي:

$$V_m = \sqrt{2} \times 230 = 325V$$

لكن كما ذكرنا يمكن اعتماده مساوياً للتوتر العكسي 600 فولت.

2- التيار الأعظمي:

$$I_c = \frac{7500}{440} = 17.1Amp.$$

ويمكن أخذ ثيرستور بتيار أعظمي 25/ أمبير.

4- مواصفات المحول المغذي:

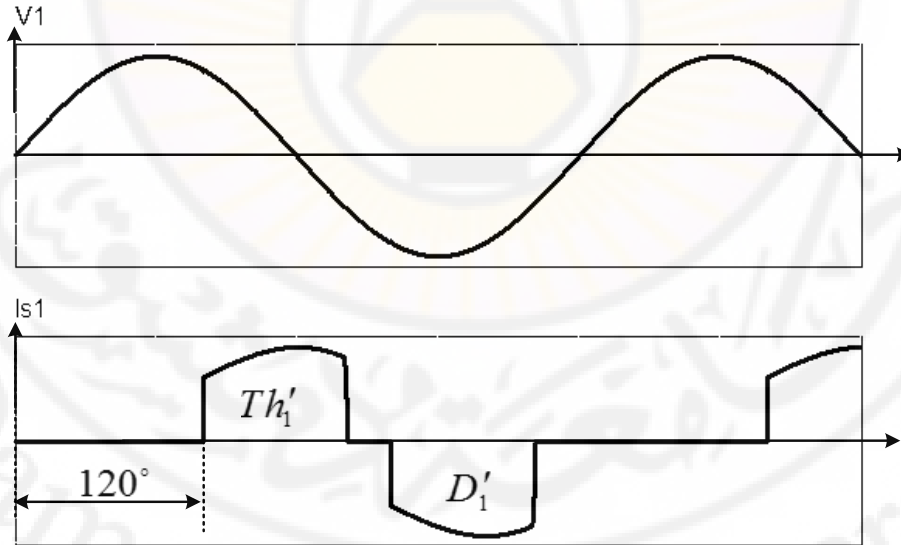
يجب أن لا تقل استطاعة المحول عن استطاعة الحمل وهي /7.5/ وذلك دون النظر لعوامل الاستطاعة. لكن يمكن أيضاً حساب تيار الثانوي وتوتره وبالتالي استنتاج استطاعة المحول.

$$V_s = 230 \text{Volts.}$$

$$I_s = I_c \sqrt{\frac{2}{3}} = 17 \times \sqrt{\frac{2}{3}} = 13.88 \text{Amp.}$$

$$P = 3V_s.I_s = 3 \times 230 \times 13.88 = 9577 \text{V.A}$$

- زاوية عامل الاستطاعة تحسب من فرق الطور بين تيار الطور الأول وتوتر الطور الأول ومن الشكل المرسوم نجد أن الثيرستور الأول المرتبط بالطور الأول يوصل بعد 120 درجة من الطور الأول (أي أنه متأخر بـ 120°).



الشكل (ب-16-3) زاوية عامل الاستطاعة للمحول

- هذا ونظراً لوجود زاوية تأخير كبيرة في الملف الثانوي للمحول وبالتالي في الابتدائي فإن ذلك يستدعي رفع استطاعة المحول لقيم أكبر بكثير من استطاعة الحمل، وقد يستدعي أحياناً لرفع استطاعة المحول لقيم قد تساوي 2.5 مرة استطاعة الحمل لأن

$$P = P_{dc} \cdot \cos \varphi$$

مثال (13):

جسر تقويم مقاد ثلاثي الطور PD3 يغذى من محول ثلاثي الطور، وصل الطرف الثانوي بشكل نجمي والابتدائي بشكل مثلثي، توتر الخط في الثانوي 400 فولت. حثية المحول والشبكة منسوبة للثانوي 4mH، يغذي حملاً تحريضياً حثيته 10mH ومقاومته 10Ω . بين لنا ما يلي:

- 1- احسب القيمة المتوسطة الحقيقية للتوتر المقوم الناتج عند $\psi=0$ ، وما هي قيمة زاوية التطابق الناشئة.
- 2- ما هو شكل التوتر المقوم وقيمته المتوسطة عند $\psi=120^\circ$. وما هو شكل تيار الحمل المار عندئذ.
- 3- ما هو شكل التوتر العكسي وقيمته العظمى على Th_1 عند $\psi=120^\circ$.

الحل:

- 1- القيمة المتوسطة الحقيقية للتوتر المقوم عند $\psi=0$:

$$U_C = U_{C0} - \Delta U_C$$

$$U_{C0} = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} \times \left(\frac{400}{\sqrt{3}} \right) \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 540.46 \text{Volts.}$$

$$1 - \cos \alpha = \frac{l_2 . \omega . I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} = \frac{4 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 50 \times 54}{\frac{400}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{67.6}{282.84} = 0.239$$

$$\cos \alpha = 0.76$$

$$\alpha \approx 39^\circ$$

$$\Delta U_C = \frac{q}{\pi} . l_2 . \omega . I_C = \frac{3}{3.14} \times 4 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 50 \times 54 = 64 \text{Volts.}$$

$$U_C = 540 - 64 = 476 \text{Volts.}$$

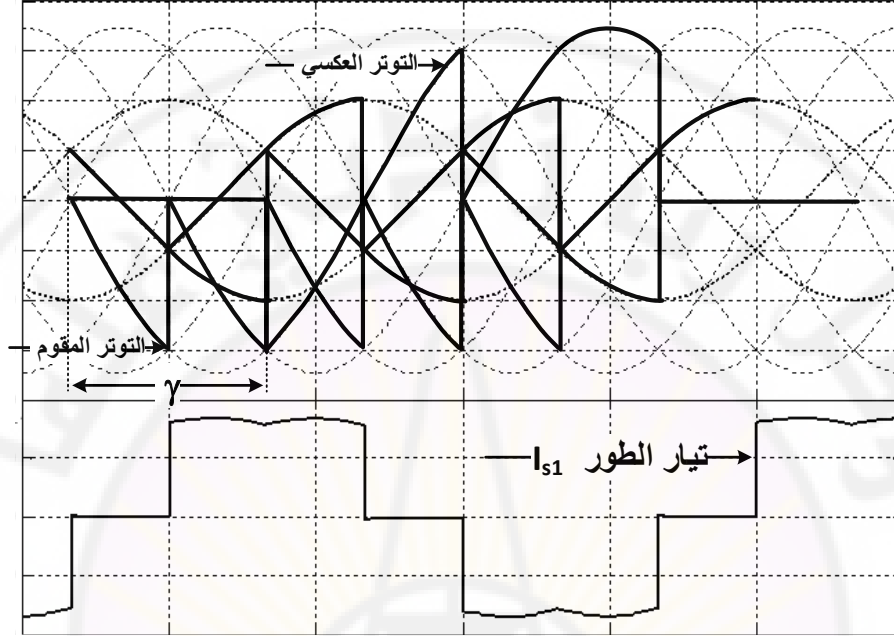
$$I_C \cong \frac{540}{10} = 54 \text{Amp.}$$

2- الشكل أدناه يوضح شكل التوتر المقوم عند $\psi = 120^\circ$ حيث أن القيمة المتوسطة ستكون مساوية:

$$U_C = U_{C0} . \cos \psi$$

$$U_C = 540 (\cos 120) = -270V$$

التوتر المتوسط سالب وشكل التوتر في الربع الثاني من أحداثيات التوتر - الزمن.



الشكل (17-3) التوتر المقوم العكسي لجسر ثلاثي الطور مضاعف مقاد عند الزاوية $\psi=120^\circ$ - شكل تيار الطور الأول.

مثال (14):

اشرح عملية التطابق في الجسور الثيرستورية المضاعفة وذلك بفرض أن ثانوي المحول موصل بشكل نجمي، وبين إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور تساوي 120° درجة كهربائية، شكل التوتر المقوم الناتج مع اعتبار التطابق، القيمة المتوسطة للتوتر الهابط نتيجة التطابق، زاوية التطابق. اعتبر أن الجسر ثلاثي الطور. توتر الخط 600 فولت، الحمل مختلط المقاومة 15 أوم، والممانعة 40 أوم. حثية الشبكة والمحول منسوبة للثانوي كانت 0.004 هنري. اختر مواصفات الثيرستورات الممكن تركيبها في مثل هذا الجسر.

ارسم علاقة توتر الخرج الناتج مع التيار باعتبار وجود التطابق وهبوط التوتر الناتج عنه (منحني الخواص الخارجية).

الحل:

- التطابق كما مر في المسائل السابقة هو عمل عنصرين بآن واحد. وفي مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة يحدث تطابق في المجموعات ذات الاتجاه الموجب، وتطابق في المجموعات ذات الاتجاه السالب. وهبوط التوتر الكلي هو مجموع الهبوط الناتج عن التطابق في كلا المجموعتين لذا فالعلاقة النازمة لحساب هبوط التوتر عندئذ هي:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} \cdot L_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$q=3$$

L_2 : حثية المنبع والشبكة الواقعة في جبهة الجسر.

في التطبيق لدينا: $L_2=0.004H$ و I_C تحسب من العلاقة: عند زاوية إزاحة 120°

$$I_C = \frac{U_C}{R} = \frac{\frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos 120^\circ}{15}$$

$$I_C = \frac{\frac{2 \times 3}{\pi} \left(\frac{600}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(-\frac{1}{2} \right)}{15} = \frac{404.1}{15} = 26.94 \text{ Amp.}$$

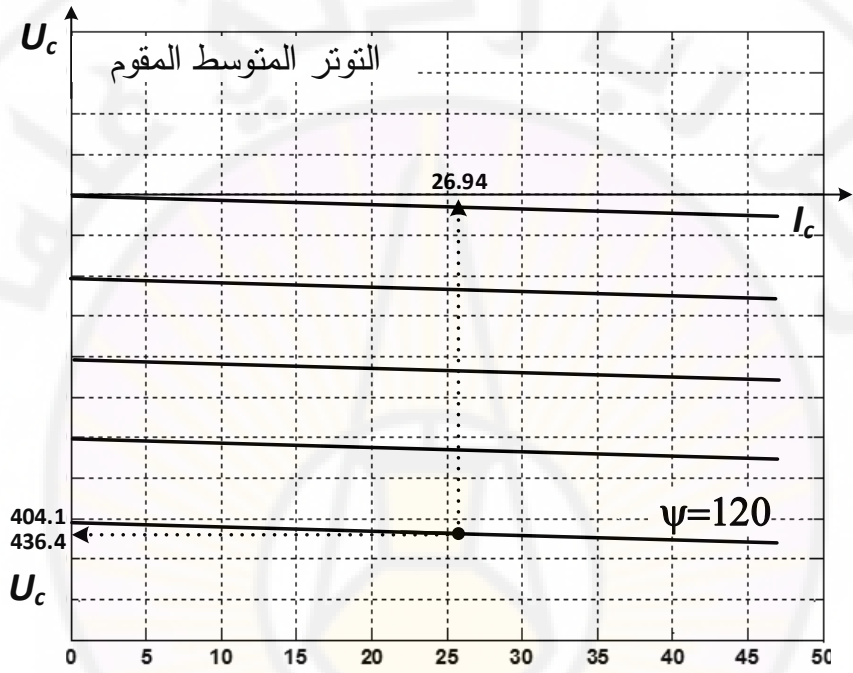
بالتعويض فإن هبوط التوتر:

$$\Delta_1 U_C = \frac{3}{3.14} \times 0.004 \times 2\pi \times 50 \times 26.94 = 32.33 \text{ Volts.}$$

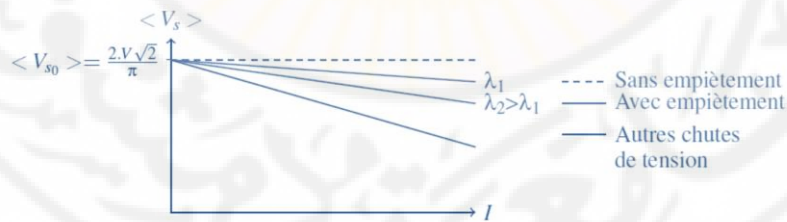
هذا الهبوط يتناسب مع تيار الحمل

$$\Delta_1 U_C = K \cdot I_C$$

بالشكل، ويضاف للتوتر المتوسط المقوم. $K = \frac{q}{\pi} \cdot L_2 \cdot \omega$ ثابت لا يتغير مع تغير تيار الحمل، ويزداد مع تزايد التيار ويرسم



الشكل (آ-18-3) التوتر المتوسط كتابع لتيار الحمل



- زاوية التطابق عند $\psi = 120^\circ$ تحسب من العلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{L_2 \cdot \omega \cdot I_c}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

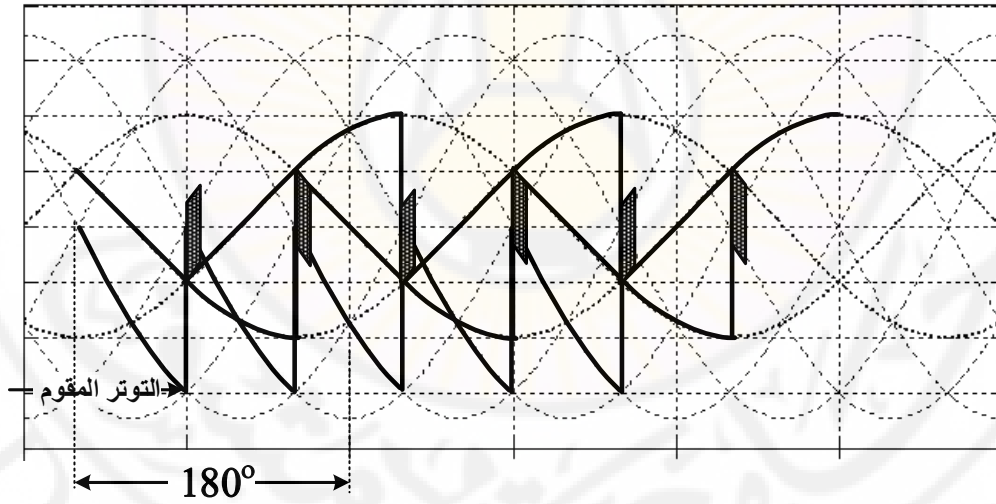
$$-\frac{1}{2} - \cos(\psi + \alpha) = \frac{0.004 \times 314 \times 26.94}{\left(\frac{600}{\sqrt{3}}\right) \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{33.84}{423.0}$$

$$-\cos(\psi + \alpha) = 0.08 + \frac{1}{2} = 0.58$$

$$\cos(\psi + \alpha) = -0.58$$

$$\psi + \alpha = 125.5^\circ$$

بما أن زاوية الإزاحة $\psi = 120^\circ$ ومنه فإن زاوية التطابق: $\alpha = 5.5^\circ$



الشكل (ب-18-3) التوتر المتوسط المقوم للجسر التفرعي المضاعف عند

$$\psi = 120^\circ$$

- كي يتم تحديد مواصفات العناصر يلزم تحديد: V_{imax} و I_{Cmax} و V .

$$V_{imax} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = 2 \cdot \frac{600}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \frac{180}{6}$$

$$V_{imax} = 848.52 \text{Volts.}$$

نختار توتر عكسي 1200 فولت.

$$I_{max} = 54.5A \Rightarrow$$

$$I_{max} = 60A \text{ نختار}$$

التوتر الأمامي:

$$V = \frac{600}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 489.9 \text{Volts.}$$

نختار توتر أمامي من رتبة V_{imax} أو أكبر من القيمة المحسوبة أعلاه.

مثال (15):

لديك جسر تقويم تفرعي مضاعف PD3. توتر الخط لثانوي المحول يساوي 820 فولت. طبق خرج الجسر على محرك تيار مستمر، توتره الاسمي 760 فولت واستطاعته تساوي 600 كيلو وات. إذا كانت حثية المحول والشبكة منسوبة للثانوي تساوي 0.0002 هنري، ومقاومة المتحرض تساوي 0.1 أوم. بين لنا ما يلي:

1- ما هي زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها على الجسر حتى يعمل المحرك عند التوتر الاسمي والاستطاعة الاسمية بإهمال المفاقيد.
2- ما هو شكل التوتر المرئي على طرفي المحرك عند التوتر الاسمي، والحمل الكامل.

3- ما هو شكل تيار الحمل عندئذ.

- 4- ما هو شكل التوتر العكسي المتشكل على الثيرستور الثاني عند الزاوية المعتمدة.
وما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي المتشكل.
- 5- ما هي زاوية التطابق الممكن نشوءها عند زاوية الإزاحة بالطور السابقة، وما هو هبوط التوتر الناتج عن التطابق. ارسم شكل التوتر مع إظهار التطابق بدون القوة المحركة الكهربائية العكسية.

الحل:

مواصفات الدارة: $U_C=760V$ ، $V_L=820V$ ، $P_C=600KW$ ، $I_2=0.0002H$ ، $R_a=0.1\Omega$ ، PD3 مقاد.

- 1- بناءً على ذلك يمكن حساب قيمة التوتر المتوسط المقوم الناتج عن التوتر 820V وبما أن توتر المحرك المطلوب 760V يمكن بالتالي معرفة زاوية الإزاحة بالطور الواجب العمل عندها، باعتبار عدم وجود مفايد:

$$U_C = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} . \cos \psi$$

$$760 = \frac{2 \times 3}{\pi} \times \frac{820}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \psi$$

$$760 = 1107.95 \cos \psi$$

$$\cos \psi = 0.68595$$

$$\psi = 46.68^\circ$$

$$I_C = \frac{600000}{760} = 789.5 \text{ Amp.}$$

- شكل التوتر المرئي على طرفي المحرك وشكل تيار الحمل سيرد لاحقاً.

$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

-4

$$V_{i\max} = 2 \cdot \left(\frac{820}{\sqrt{3}} \right) \cdot \sqrt{2} \cdot \cos 30 = \frac{2 \times 820 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_{i\max} = 1159.65 \text{Volts.}$$

5- تحسب زاوية التطابق من العلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{l_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$\cos 46.68 - \cos(\psi + \alpha) = \frac{0.0002 \times 314 \times 789.5}{\left(\frac{820}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$$0.6861 - \cos(\psi + \alpha) = \frac{49.58}{579.8275} = 0.0855$$

$$\cos(\psi + \alpha) = 0.91449 \quad 0.6006$$

$$\psi + \alpha = 53.09$$

وعليه فإن زاوية التطابق:

$$\alpha = 6.40^\circ$$

$$U_C = E + I_a \cdot r_a$$

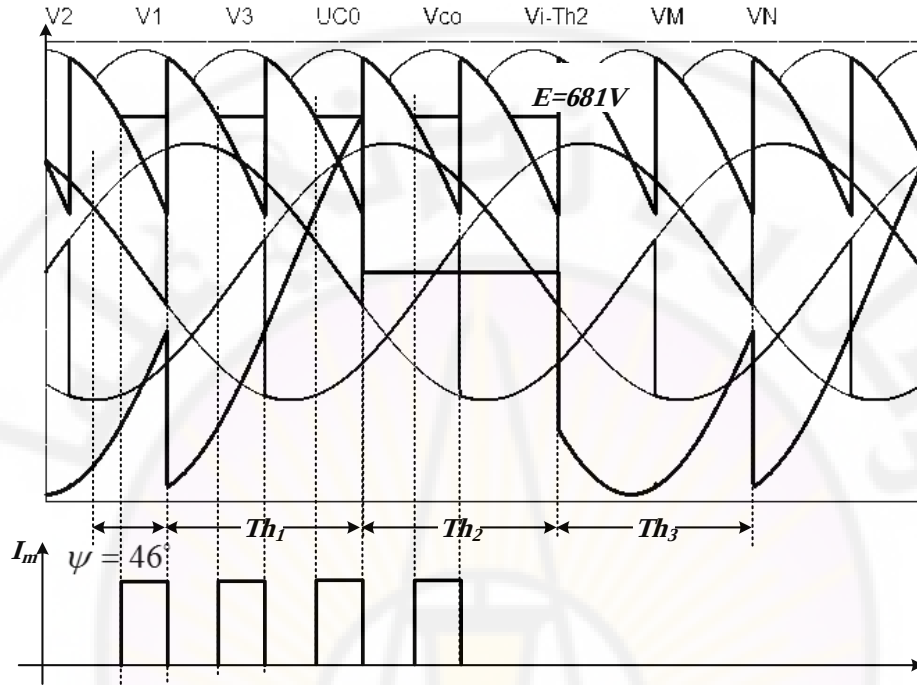
$$760 = E + 789.5 \times 0.1 = E + 78.95$$

$$E = 681 \text{Volts.}$$

- الشكل أدناه يوضح التوتر المتوسط المقوم المرئي على طرفي المحرك

E=681V والتوتر العكسي على الثيرستور الثاني. وشكل تيار الحمل باعتبار

وجود E.M.F.



الشكل (19-3) التوتر المتوسط المرئي، التوتر العكسي، تيار الحمل مع ظهور EMF

مثال (16):

ما هي الطرق أو الأشكال التي يعمل عندها جسر التقويم الأحادي الطور وحدد في أي ربع من إحداثيات التوتر والتيار (الأرباع الأربعة) يعمل بها. وحدد العلاقة النازمة لحساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.

الحل:

يمكن للبنية العامة المعروفة لجسر التقويم الأحادي الطور العمل في أربعة طرق وهي:

1- جسر تقويم أحادي الطور مقاد. يعمل في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار، العلاقة النازمة لتوتر الخرج:

$$U_C = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

V_m : التوتر الأعظمي لطور ثانوي المحول الأحادي الطور.
وبما أن $q=2$ نجد:

$$U_C = \frac{2.2}{\pi} \frac{V_m}{2} \cdot \cos \alpha = 2V_{SM} \cos \alpha / \pi$$

$$V_{SM} = V_m$$

2- في حال كون جسر التقويم أحادي الطور مقاد + ديود حر، يكون العمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار والعلاقة:

$$U_C = U_c (1 + \cos \alpha) / 2$$

3- جسر تقويم أحادي الطور نصف مقاد متناظر:

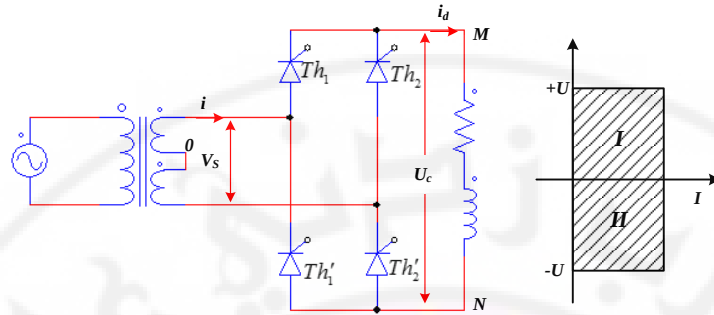
$$U_C = U_c (1 + \cos \alpha) / 2$$

والعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار، إضافة ديود حر لا يؤثر على القيمة المتوسطة لتوتر الخرج أو على شكل التوتر.

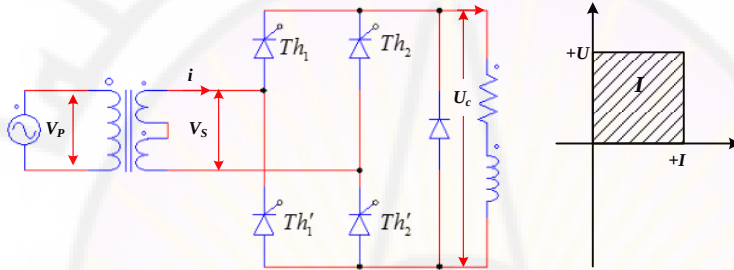
4- جسر تقويم أحادي الطور نصف مقاد غير متناظر:

$$U_C = U_c (1 + \cos \alpha) / 2$$

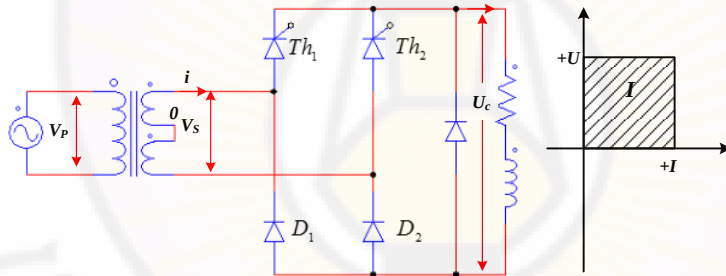
والعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار، هذا وإن إضافة ديود حر سوف لن يؤثر على القيمة المتوسطة لتوتر الخرج أو على شكل التوتر.
الأشكال هي:



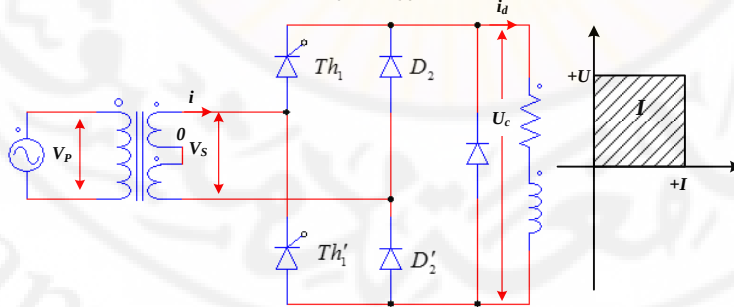
الشكل (أ) 3-20



الشكل (ب) 3-20



الشكل (ج) 3-20



الشكل (د) 3-20

الشكل (آ-20-3) يمثل جسر تقويم ثيرستوري مقاد يعمل في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار

الشكل (ب-20-3) يمثل جسر تقويم ثيرستوري مقاد مع ديود حر يعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار

الشكل (س-20-3) يمثل جسر تقويم نصف مقاد متناظر يعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار ،ليس بحاجة لديود حر .

الشكل (ع-20-3) يمثل جسر تقويم نصف مقاد غير متناظر يعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار ، ليس بحاجة لديود حر .

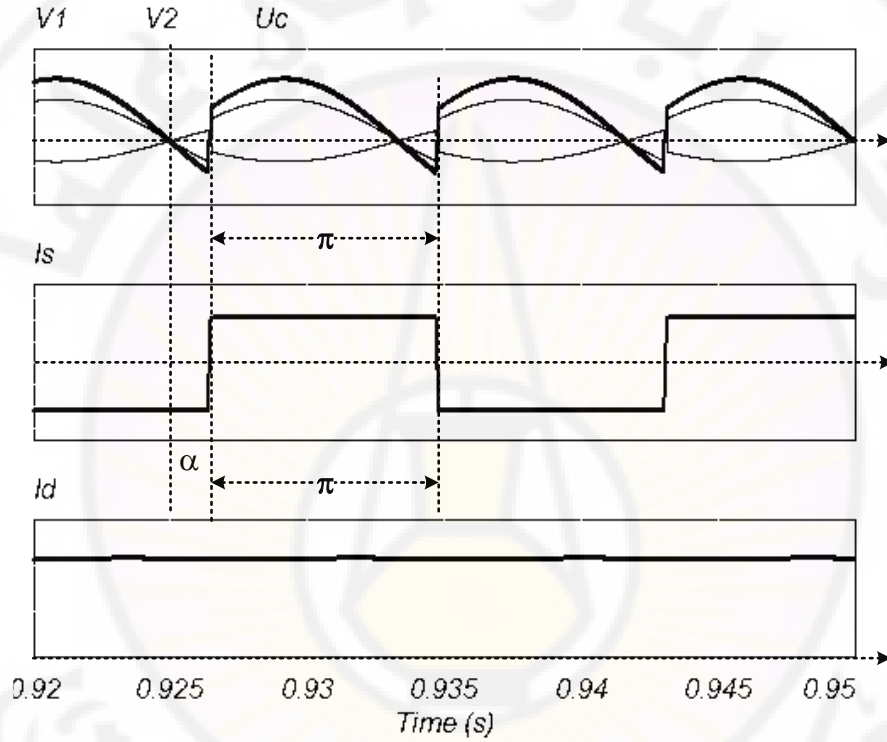
مثال (17):

لدينا جسر تقويم مقاد (Fully-controlled) أحادي الطور (single-phase) توتر المنبع 120V ،يعمل عند تردد 60 هرتز. الحمل مكون من مقاومة 8Ω وحثية ذات قيمة كبيرة وكافية بحيث يبقى تيار الحمل مستمراً.

إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور $\alpha = \frac{\pi}{6} (Rd)$ أو $\alpha = 30^\circ$ احسب ما يلي:

- ارسم شكل موجة التوتر المقوم والتيار المار في ثانوي المحول وتيار الحمل.
- احسب عامل الشكل (FF) Form factor لتوتر الخرج.
- عامل التعرّيج لتوتر الخرج (RF) Ripple factor.
- عامل التقويم (RR) Rectification ratio.
- معادلة تيار الدخل حسب سلسلة فورييه.
- عامل التشوه الكلي في الدخل (THD) Input total harmonic distortion.
- عامل الاستطاعة في الدخل (PF) Power factor.

- h عامل الإزاحة بالطور في الدخل (Displacement power factor).
- j عامل التشوه في تيار الدخل.
- k عامل القمة Crest factor.



الشكل (3-21) التوتر المقوم ، تيار المنبع، يار الحمل

الحل:

a- الشكل أدناه يوضح عمل الجسر الأحادي الطور عند زاوية إزاحة قدرها 30 درجة، كما نرى شكل تيار الطور الثانوي وتيار الحمل المستمر غير المتقطع. لرسم هذا الشكل نعمل على رسم توتر الطور الثانوي بقيمة عظمى تساوي نصف توتر الملف الثانوي، ونرسم توترين مزاحين عن بعضهما بمقدار نصف الدور. بدءاً من صفر الإحداثيات نبدأ بتحديد زاوية الإزاحة ونستنتج توتر المجموعة ذات الاتجاه

الموجب (توتر المهابط المشتركة والذي نطلق عليه (Vm- V0). ثم نستنتج توتر المصاعد المشتركة ، ونرسم التوتر (Vn-V0). توتر الخرج الكلي هو فرق التوتر بين التوترين الذين حصلنا عليهما ويساوي (Vm-Vn)، قيمة هذا التوتر تساوي القيمة العظمى لتوتر ثانوي المحول المستخدم.

b- عامل الشكل لتوتر الخرج FF هو نسبة القيمة الفعالة لتوتر الخرج إلى القيمة المتوسطة لتوتر الحمل.

القيمة الفعالة لتوتر الخرج:

$$V_{Lrms} = \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_l^2 d\omega t \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{V_{sm}^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin^2 \omega t d\omega t \right]^{\frac{1}{2}}$$

V_{Sm} : القيمة العظمى لتوتر ثانوي المحول

$$V_{Lrms} = \frac{V_{Sm}}{\sqrt{2}} = V_s = 120V$$

هذه القيمة لا تتغير مع زاوية الإزاحة بالطور. وهي بالنهاية تساوي القيمة الفعالة لتوتر المنبع الذي هو ثانوي المحول.

- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج معروفة من العلاقة:

$$U_C = \frac{2}{\pi} V_{Sm} \cos \alpha = \frac{2 \times \sqrt{2} \times 120}{\pi} \cos 30 = 93.7V$$

$$FF = \frac{V_{Lrms}}{U_C} = \frac{120}{93.7} = 1.28$$

c- عامل التعرّيج RF هو دلالة أو مقياس لمدى زيادة توتر الخرج عن مركبة التيار المستمر لتوتر الخرج:

$$RF = \frac{V_{lac}}{V_{lav}} = \frac{[V_{lrms}^2 - V_{lav}^2]^{\frac{1}{2}}}{V_{lav}} = \left[\frac{V_{lrms}^2}{V_{lav}^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$RF = (FF^2 - 1)^{\frac{1}{2}} = (1.28^2 - 1)^{\frac{1}{2}} = 0.8$$

- حسب كتاب الكترونيات القدرة الكهربائية عامل التعرّيج للتوتر لمثل هذه الأنظمة يعطى بالعلاقة:

$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \cdot \frac{1 - \cos \frac{\pi}{q}}{\sin \frac{\pi}{q}} = \frac{\pi}{2 \times 2} \times \frac{1}{1} = \frac{\pi}{4}$$

$$K_0 = 0.785$$

هذه القيمة عالية، لكن بالنسبة للتيار فهي تساوي الصفر لأنه مستمر.

d- نسبة التقويم RR تعطى بالعلاقة:

$$RR = \frac{V_{lav} \times I_{av}}{V_{lrms} \times I_{lrms}} = \frac{V_{lav}}{V_{lrms}} = \frac{U_C}{V_S} = \frac{93.7}{120} = 0.78$$

e- شكل موجة تيار الدخل مكونة كما في الشكل (21-3) من مستطيلات ذات ارتفاع I_d وعرض π . ومتناظرة خلال النصف الموجب والنصف السالب. وعليه فإن المركبة المستمرة I_{dc} للتيار I_s تساوي الصفر. وبسبب التناظر لا توجد مركبات توافقية من الرتب الزوجية (even).

باستخدام العلاقات المعروفة للمركبات التوافقية ذات الرتب الزوجية نجد:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_{lav} \cos n \omega t \cdot d\omega t$$

Or:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_{lav} \cos n \omega t \cdot d\omega t - \frac{1}{\pi} \int_{\pi+\alpha}^{2\pi+\alpha} I_{lav} \cos n \omega t \cdot d\omega t$$

من أجل $n=1,3,5$ فإن:

$$a_n = -\frac{4}{n\pi} I_{lav} \cdot \sin n\alpha$$

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{4}{n\pi} I_{lav} \cdot \sin(n\omega t - n\alpha)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} = -n\alpha$$

حيث من أجل $n=1,3,5$:

$$b_n = \frac{4}{n\pi} I_{lav} \cdot \cos n\alpha$$

$$I_{lav} = \frac{U_c}{R} = \frac{93.7}{8} = 11.7 A$$

$$\alpha = \frac{\pi}{6} = 30^\circ$$

وعليه فإن سلسلة فورييه تكتب بالشكل:

$$i_s(t) = 14.9 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) + 4.97 \sin\left(3\omega t - \frac{\pi}{2}\right) + \\ + 2.98 \sin\left(5\omega t - \frac{5\pi}{6}\right) + \dots$$

f- يعطى تشوه التوافقيات الكلي THD بالشكل:

$$THD = \frac{(I_{Srms}^2 - I_{S1rms}^2)^{\frac{1}{2}}}{I_{S1rms}^2}$$

وهو نسبة المركبات التوافقية للتيار بالنسبة إلى المركبة الأساسية للتيار.

المركبة الأساسية للتيار:

$$i_{s1} = 14.9 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$$

والمركبة الفعالة للقيمة العظمى:

$$I_{S1rms} = \frac{14.9}{\sqrt{2}} = 10.54A$$

- القيمة الفعالة لتيار الدخل I_{Srms} تساوي القيمة الفعالة لتيار الحمل I_{lav} .
أي أن:

$$I_{Srms} = 11.7A$$

وعليه:

$$THD = \frac{\left[(11.7)^2 - (10.54)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{10.54} = 0.4824 \quad or$$

$$THD = 48.24\%$$

نسبة المركبة الثالثة في موجة تيار الخرج عالية، لذا فإن THD كانت كبيرة.
g- عامل استطاعة الدخل PF هو تعبير عن النسبة بين الاستطاعة المتوسطة إلى الاستطاعة بالفولت أمبير. وعند تيار حمل ثابت لدينا:

$$PF = \frac{P_{av}}{V_S \cdot I_{Srms}} = \frac{U_C \cdot I_{lav}}{V_S \cdot I_{Srms}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \cos \alpha = 0.78$$

وهو تابع لزاوية القدح أو الإزاحة بالطور، وأكبر قيمة هي عند $PF=0.9$.
h- عامل الإزاحة بالدخل DPF يعرف بأنه $\cos \theta_1$ ، حيث θ_1 هي الزاوية بين مركبة التوتر الأساسية ومركبة التيار الأساسية. التوتر V_S هو الأساس والمرجع للقياس. لذا من تحليل فورييه للتيار:

$$DPF = \cos \theta_1 = \cos \alpha = \cos \frac{\pi}{6} = 0.866$$

وعليه فإن عامل الإزاحة في الدخل يتغير مع زاوية الإزاحة بالطور.
f- عامل التشوه بالدخل هو النسبة بين المركبة الأساسية الفعالة للتيار على مجموع القيم الفعالة للتيار.

$$\text{input distortion factor} = \frac{I_{S1rms}}{I_{Srms}}$$

في هذا التطبيق:

$$\frac{I_{S1rms}}{I_{Srms}} = \frac{10.54}{11.7} = 0.9$$

مثال (18): جسر أحادي الطور غير مقاد مع حمل أومي :

- Full-Wave Bridge Rectifier with Resistive Load

- القيمة المتوسطة للتوتر المقوم تعطى $V_{dc} = \frac{2qV_m}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2.2}{\pi} V_m \cdot 1 = \frac{2V_m}{\pi}$ بالعلاقة :

$$(V_m = 2V_m')$$

$$\bullet V_{dc} = 0.6366V_m$$

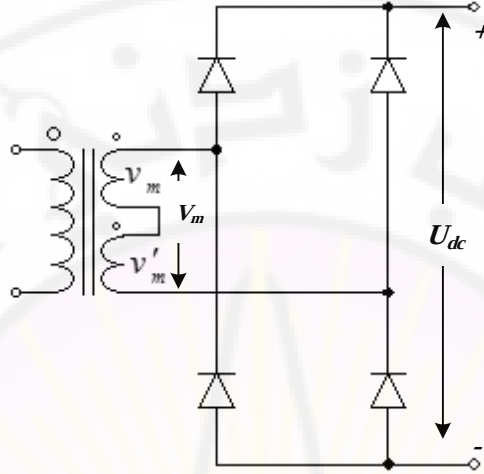
- تيار الحمل في حالة حمل أومي (أو تحريضي) يعطى بالعلاقة : $I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R}$

- القيمة الفعالة لتوتر الدخل : $V_{rms} = (\frac{\sqrt{2}}{2})V_m = 0.707V_m$

- القيمة الفعالة لتيار الحمل : $I_{rms} = 0.707V_m / R$

- المردود : $\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{I_{dc}^2 \cdot R}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = \frac{(\frac{0.6366}{R} V_m)^2 \cdot R}{(0.707V_m)(0.707 \frac{V_m}{R})}$

$$\eta = 81\%$$



الشكل (22-3) دائرة الاستطاعة

مثال (19) :

جسر أحادي الطور غير مقاد حمل بمقاومة أومية صرفية ،

$R=15$ توتر المنبع $V_s = 300\sin 314t$ ، $V_m=300$

بين لنا:

a- المردود efficiency

b- عامل الشكل Form factor

c- عامل التعرّيج Ripple factor

d- PIV

e - عامل استطاعة الدخل (Power factor)

$$1) V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} 190.956 \text{ Volts}$$

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \cdot 2}{\pi} \cdot \frac{300}{2} \cdot 1 = 190.956$$

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{300}{\sqrt{2}} = 212.132V$$

$$a) \eta = \frac{V_{dc} I_{dc}}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = 81.06\%$$

$$b) F.F = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = 1.11$$

$$c) R.F = \frac{V_{dc}}{V_{ac}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}}{V_{dc}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2}{V_{dc}^2} - 1}$$

$$R.F = \sqrt{F.F^2 - 1} = 0.482$$

$$d) PIV = 2V_m' = 300V$$

$$e) \text{ input power factor} = \frac{\text{Real power}}{\text{Apperant power}} = \frac{V_s I_s \cos \phi}{V_s I_s} = 1$$

- حساب التوافقيات:

$$b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_{0*} \sin n \omega t d \omega t$$

$$= \frac{2I_0}{n\pi} [-\cos n \omega t]_0^{\pi}$$

$$= \frac{2I_0}{n\pi} [\cos 0 - \cos n \pi] = \frac{4I_0}{n\pi} \quad \text{for } n = 1, 3, 5, \dots$$

$$i(t) = \frac{4I_0}{\pi} \times \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

$$THD_{I_s(t)} = \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2 + \left(\frac{1}{9}\right)^2 + \left(\frac{1}{11}\right)^2 + \left(\frac{1}{13}\right)^2 + \left(\frac{1}{15}\right)^2}$$

$$THD_{I_s(t)} = 46\%$$

$$I_{s1} = \frac{4I_0}{\sqrt{2\pi}}$$

$$THD_{I_s(t)} = \sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{s1}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{I_0/4I_0}{\sqrt{2\pi}}\right)^2 - 1}$$

$$THD_{I_s(t)} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2\pi}}{4}\right)^2 - 1} = 48.34\%$$

مثال (20) :

باعتبار أن تيار الحمل 30A، مقاومة الحمل $R=15\Omega$ ، $V_S=300\sin(314t)$ ، من المثال (19) وجدنا أن:

$$V_{dc} = 190.986 \text{ V}, V_{rms} = 212.132 \text{ V}, I_{dc} = 30 \text{ A}, I_{rms} = 30 \text{ A}.$$

$$\bullet \eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = \frac{190.986 \times 30}{212.132 \times 30} = 90.03\%$$

$$\bullet FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{212.132}{190.986} = 1.11$$

$$\bullet FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{212.132}{190.986} = 1.11$$

$$\bullet RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}}{V_{dc}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2}{V_{dc}^2} - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} = 0.482$$

$$\bullet \text{The PIV} = 300\text{V}.$$

$$\bullet I_{s1} = \frac{4I_0}{\sqrt{2\pi}} = \frac{4 \times 30}{\sqrt{2\pi}} = 27.01\text{A}$$

$$\bullet \text{Input Power Factor} = \frac{\text{Real Power}}{\text{Apperant Power}} = \frac{V_s \cdot I_{s1} \cdot \cos \phi}{V_s \cdot I_s}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{I_{s1} \cdot \cos \phi}{I_s} = \frac{27.01 \times 1}{30} = 0.9 \text{Lag.}$$

مثال (21):

جسر تقويم أحادي الطور وصل إلى منبع ذي توتر 11 KV توتر فعال، 50 Hz،
حثية المنبع $L_s = 5\text{mH}$ (Source Inductance). يراد تغذية حمل 200A تيار
مستمر. أوجد:

I- التوتر المتوسط المستمر.

II- عامل الاستطاعة.

III- حدد العامل THD لتيار الخط.

- لتطبيق العلاقات النظرية نعتبر أن $V'_m = \frac{V_m}{2}$

$$V'_m = \frac{11000}{2} \cdot \sqrt{2} = \frac{15556.34}{2} = 7776.175 \text{Volts}$$

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \cdot 2}{\pi} \cdot V_m = \frac{4V_m}{\pi}$$

القيمة المتوسطة النظرية

$$V_{dc} = \frac{4 \times 7776.175}{\pi} = 9903.48$$

القيمة المتوسطة الفعلية للتوتر المقوم:

$$V_{dc/actual} = V_{dc} - \Delta_1 U_C$$

$$= V_{dc} - 4 \times f \times l_2 I_C$$

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} l_2 \omega I_C = \frac{2}{\pi} l_2 \times 50 \times I_C$$

$$= 4 \cdot l_2 \cdot I_C \cdot 50$$

$$V_{dc/act.} = 9903.48 - 4 \times 50 \times 0.005 \times 200$$

$$= 9903.48 - 200 = 9703 \text{Volts}$$

- $u = \cos^{-1}(1 - \frac{2\omega l_2 I_C}{V_m})$
- $V_{rd} = \frac{-4\omega l_2 I_0}{2\pi} = -4f l_2 I_0$
- $V_{dc/actual} = V_{dc/without \text{ source inductance}} - V_{rd} = \frac{2V_m}{\pi} - 4f l_2 I_0$
- $I_s = \sqrt{\frac{2I_0^2}{\pi} [\frac{\pi}{2} - \frac{u}{3}]}$; $I_{s1} = \frac{8I_0}{\sqrt{2\pi}u} \times \sin \frac{u}{2}$

$$PF = \frac{2\sin u}{u \sqrt{\pi [\frac{\pi}{2} - \frac{u}{3}]}}$$

بالتطبيق الرقمي :

- $u = \cos^{-1}(1 - \frac{2 \times 2 \times \pi \times 50 \times 0.005 \times 200}{15556}) = 0.285 \text{ Rad}$
- $PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \times \cos(\frac{u}{2}) = \frac{2 \times \sin(u)}{u \sqrt{\pi [\frac{\pi}{2} - \frac{u}{3}]}} = \frac{2 \times \sin(0.285)}{0.285 \sqrt{\pi [\frac{\pi}{2} - \frac{0.285}{3}]}}$

$$PF = 0.917$$

$$I_s = \sqrt{\frac{2I_0^2}{\pi} [\frac{\pi}{2} - \frac{u}{3}]} = \sqrt{\frac{2 \times (200)^2}{\pi} [\frac{\pi}{2} - \frac{0.285}{3}]} = 193.85 \text{ A}$$

$$I_{s1} = \frac{8I_0}{\sqrt{2\pi}u} \times \sin \frac{u}{2} = \frac{8 \times 200}{\sqrt{2\pi} \times 0.285} \times \sin(\frac{0.285}{2}) = 179.46 \text{ A}$$

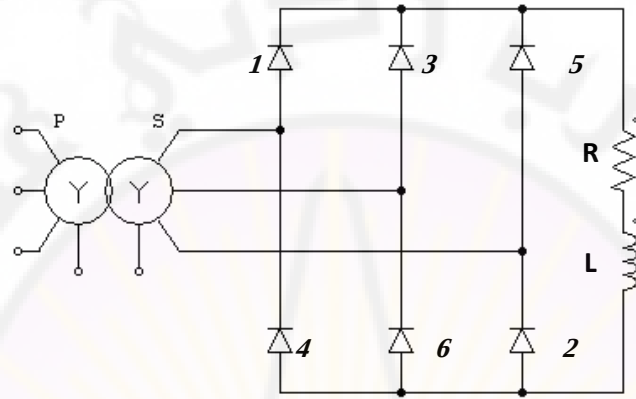
$$THD_i = \sqrt{(\frac{I_s}{I_{s1}})^2 - 1} = \sqrt{\frac{193.85}{179.46} - 1} = 40.84\%$$

مثال (22):

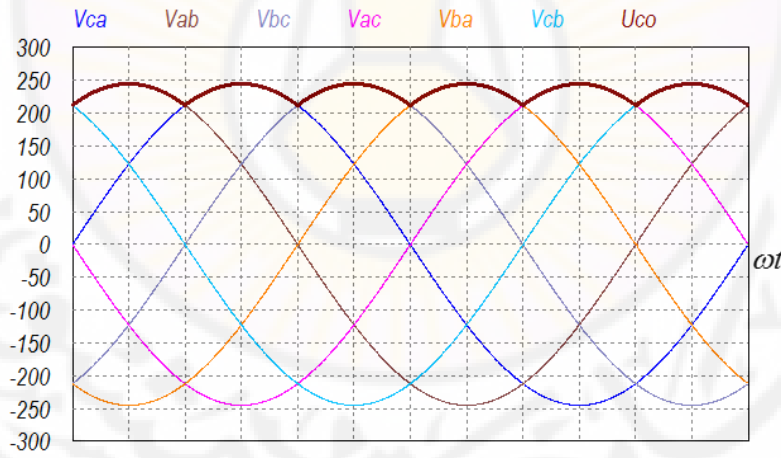
في جسر تقويم ثلاثي الطور غير مقاد، (تفرعي مضاعف)، مع حمل أومي

Three-phase full wave rectifier with resistive load

يمكن كتابة العلاقات الناظمة بالشكل التالي :



الشكل (أ-22-3) دائرة الاستطاعة



الشكل (ب-22-3) شكل التوتر المقوم

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3} V_m \sin \omega t . d \omega t = \frac{3 \sqrt{3} V_m}{\pi}$$

$$V_{dc} = 1.3505V_{LL} = 1.654V_m = \frac{3\sqrt{2}V_{LL}}{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{2.q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2-3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_m$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (\sqrt{3}V_m \sin \omega t)^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9 \times \sqrt{3}}{4\pi}} V_m =$$

$$1.6554V_m = 1.3516V_{LL}$$

$$I_r = \frac{1.6554V_m}{R \cdot \sqrt{3}} = 0.9667 \frac{V_m}{R}$$

$$I_s = 0.9667 \sqrt{2} \cdot \frac{V_m}{R}$$

مثال (23):

غذي المقوم الجسري غير المقاد المضاعف ثلاثي الطور ، من منبع توتر
 460V, 50Hz ، وحمل بمقاومة حمل $R=20\Omega$. بإهمال حثية المنبع بين:
 a- المردود η , b- FF , c- R.F , d- PIV

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} = 1.65V_m = 621.226V$$

$$I_{dc} = \frac{1.65V_m}{R} = 31.0613A$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9 \times \sqrt{3}}{4\pi}} \cdot V_m = 1.6554V_m = 621.752V$$

$$I_{rms} = \frac{1.6554V_m}{R} = 31.0876A$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} = 99.83\%$$

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = 100.08\%$$

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \sqrt{FF^2 - 1} = 4\%$$

$$PIV = \sqrt{3}V_m = 650.54V$$

مثال (24):

التوافقيات في جسر تقويم ثلاثي الطور مضاعف بوجود تيار حمل مستمر:

Three-phase full wave rectifier with DC load current:

$$b_n = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0 \sin n\omega t \cdot d\omega t = \frac{2I_0}{n\pi} [-\cos n\omega t]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}}$$

$$b_1 = \frac{2I_0}{\pi} \sqrt{3}, \quad b_5 = \frac{2I_0}{5\pi} (-\sqrt{3}), \quad b_7 = \frac{2I_0}{7\pi} (-\sqrt{3}), \quad b_{11} = \frac{2I_0}{11\pi} \sqrt{3}$$

$$b_{13} = \frac{2I_0}{13\pi} \sqrt{3} \dots$$

$$b_n = 0 \quad \text{for } n = 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, \dots$$

$$I_s(t) = \frac{2\sqrt{3}I_0}{\pi} \left(\sin\omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \dots \right)$$

$$THD(I_s(t)) =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2 + \left(\frac{1}{11}\right)^2 + \left(\frac{1}{13}\right)^2 + \left(\frac{1}{17}\right)^2 + \left(\frac{1}{19}\right)^2 + \left(\frac{1}{23}\right)^2 + \left(\frac{1}{25}\right)^2}$$

$$THD(I_s(t)) = 31\%$$

$$I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_0, \quad I_{s1} = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{3}}{\pi} I_0$$

$$THD(I_s(t)) = \sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{s1}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\frac{2/3}{2 \times 3 / \pi^2} - 1} = 31.01\%$$

$$Power \quad Factor = \frac{I_{s1}}{I_s} \times \cos(0) = \frac{I_{s1}}{I_s}$$

$$u = \cos^{-1} \left[1 - \frac{\sqrt{2} \omega L I_0}{V_{LL}} \right], \quad V_{rd} = \frac{6 \omega L I_0}{2\pi} = 6 f L I_0$$

$$V_{dc/act.} = V_{dc/without \quad inductance} - V_{rd} = 1.35 V_{LL} - 6 f L I_0$$

$$I_s = \sqrt{\frac{2 I_0^2}{\pi} \left[\frac{\pi}{3} - \frac{u}{6} \right]}, \quad I_{s1} = \frac{2 \sqrt{6} I_0}{\pi u} \sin\left(\frac{u}{2}\right)$$

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos\left(\frac{u}{2}\right) = \frac{\frac{2 \sqrt{6} I_0}{\pi u} \sin\left(\frac{u}{2}\right)}{\sqrt{\frac{2 I_0^2}{\pi} \left[\frac{\pi}{3} - \frac{u}{6} \right]}} \cos\left(\frac{u}{2}\right)$$

$$PF = \frac{\sqrt{3} \sin(u)}{u \sqrt{\pi \left[\frac{\pi}{3} - \frac{u}{6} \right]}}$$

مثال (25):

جسر تقويم ثلاثي الطور تفرعي مضاعف غير مقاد موصل إلى منبع 50 Hz،
33KV، له حثية منبع 8mH، يراد تغذية حمل بتيار 300A مستمر، أوجد:

- زمن التبديل وزاوية التبديل.
- توتر الخرج المستمر.
- عامل الاستطاعة.
- عامل THD لتيار الخط.

الحل: تعطى زاوية التطابق بالشكل :

$$u = \cos^{-1} \left[1 - \frac{\sqrt{2} \omega L_s I_0}{V_u} \right]$$

$$u = 0.2549 \text{ rad} = 14.61^\circ$$

$$V_{dc/act.} = V_{dc/nominal} - V_{rd} = 1.35V_{LL} - 6fLI_d$$

$$V_{dc/act.} = 1.35 \times 33000 - 6 \times 50 \times 0.008 \times 300 = 43830 \text{ V}$$

$$PF = \frac{\sqrt{3} \times \sin u}{u \sqrt{\pi \left[\frac{\pi}{3} - \frac{u}{6} \right]}} = \frac{\sqrt{3} \sin(0.2549)}{0.2549 \times \sqrt{\pi \left[\frac{\pi}{3} - \frac{0.2549}{6} \right]}} = 0.9644$$

$$I_s = \sqrt{\frac{2I_d^2}{\pi} \left[\frac{\pi}{3} - \frac{u}{6} \right]} = \sqrt{\frac{2 \times (200)^2}{\pi} \times \left[\frac{\pi}{3} - \frac{0.2549}{6} \right]} = 239.9 \text{ A}$$

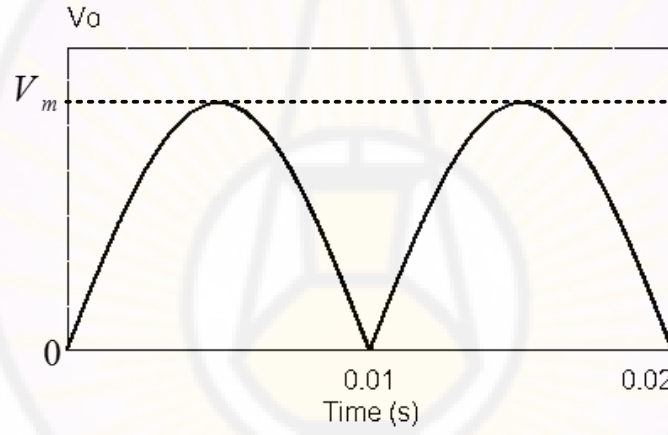
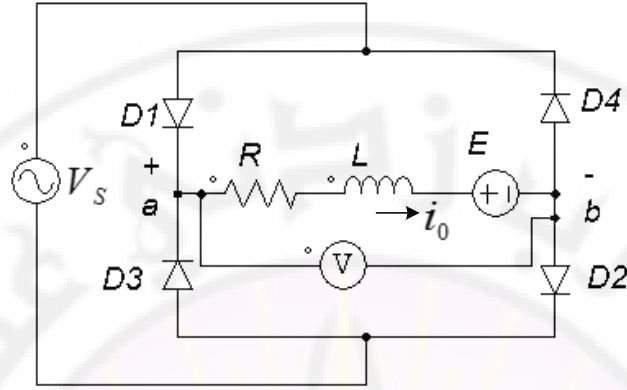
$$I_{s1} = \frac{4\sqrt{3}I_0}{\pi u \sqrt{2}} \sin\left(\frac{u}{2}\right) \times 2\sqrt{3} = 233.28 \text{ A}$$

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \times \cos\left(\frac{u}{2}\right) = 0.9644$$

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{s1}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{239.929}{233.28}\right)^2 - 1} = 24.05\%$$

مثال(26): جسر أحادي الطور غير مقاد محمل بمقاومة و حثية:

Single-Phase Full-Wave Rectifier with RL Load



الشكل (3-23) جسر تقويم أحادي الطور، وشكل التوتر المقوم

$$V_s(t) = V_m \sin(\omega t), \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

$$i_0(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \theta) - \frac{E}{R} + A e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

من أجل حالة الاستقرار (Steady State) يلزم أن يكون:

$$i_0(t) = i_0(T) = I_0$$

عندئذ:

$$A = \frac{2V_m \sin \theta}{Z(1 - e^{-\frac{R\pi}{L\omega}})}$$

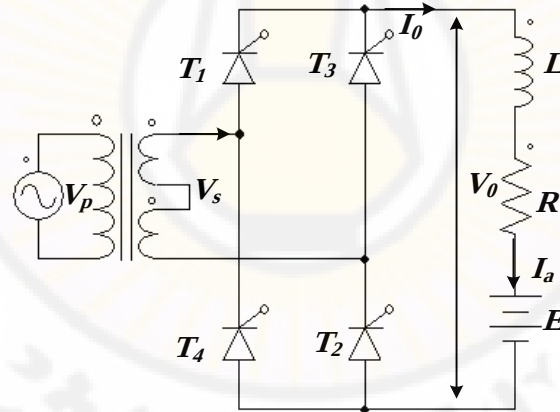
$$i_0(t) = \frac{V_m}{Z} \left[\sin(\omega t - \theta) + \frac{2\sin \theta}{(1 - e^{-\frac{R\pi}{L\omega}})} e^{-\frac{R}{L}t} \right] - \frac{E}{R}$$

$$I_0 = \frac{V_m}{Z} \sin \theta \frac{1 + e^{-\frac{R\pi}{L\omega}}}{1 - e^{-\frac{R\pi}{L\omega}}} - \frac{E}{R}$$

$$I_0 > 0 \quad \text{and} \quad i_0(t) > 0 \quad \text{for} \quad 0 \leq (\omega t - \theta) \leq \pi$$

هذا يوفر مرور تيار حمل بشكل مستمر .

$$I_0 > 0$$



الشكل (3-24) دائرة الاستطاعة وحمل مختلط ومدخرات

تيار الحمل يبقى بشكل مستمر إذا كانت نسبة التوتر أقل من القيمة:

$$\left(\frac{E}{V_m} \right)_{Critical} = \sin \theta \cdot \cos \theta \frac{1 + e^{\frac{-R\pi}{L\omega}}}{1 - e^{\frac{-R\pi}{L\omega}}}$$

$E = 0$ guarantees Continuous Current. $L = 0$ and $E > 0$ Cause Current interruptions

مثال (27): توترات الأطوار والخطوط:

Three Phase line voltage and phase voltages

تعطى توترات الأطوار بالشكل :

$$V_{an}(t) = V_m \sin \omega t \quad V$$

$$V_{bn}(t) = V_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad V$$

$$V_{cn}(t) = V_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad V$$

$$V_{ab}(t) = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t + 30^\circ) \quad V$$

$$V_{bc}(t) = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t - 90^\circ) \quad V$$

$$V_{ca}(t) = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t - 210^\circ) \quad V$$

توتر الخط كتابع للزمن يعطى بالعلاقة :

$$V_{ab}(t) = \sqrt{3}V_m \sin(\omega t + 30^\circ) \quad V$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1.65V_m$$

$$\bullet I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R}$$

$$\bullet V_{rms} = 3V_m \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.6554V_m$$

$$\bullet I_{rms} = (I_r^2 + I_r^2 + I_r^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{1.6554}{R} V_m$$

$$I_r = 0.5518 \frac{\sqrt{3}V_m}{R} = \frac{0.955V_m}{R}$$

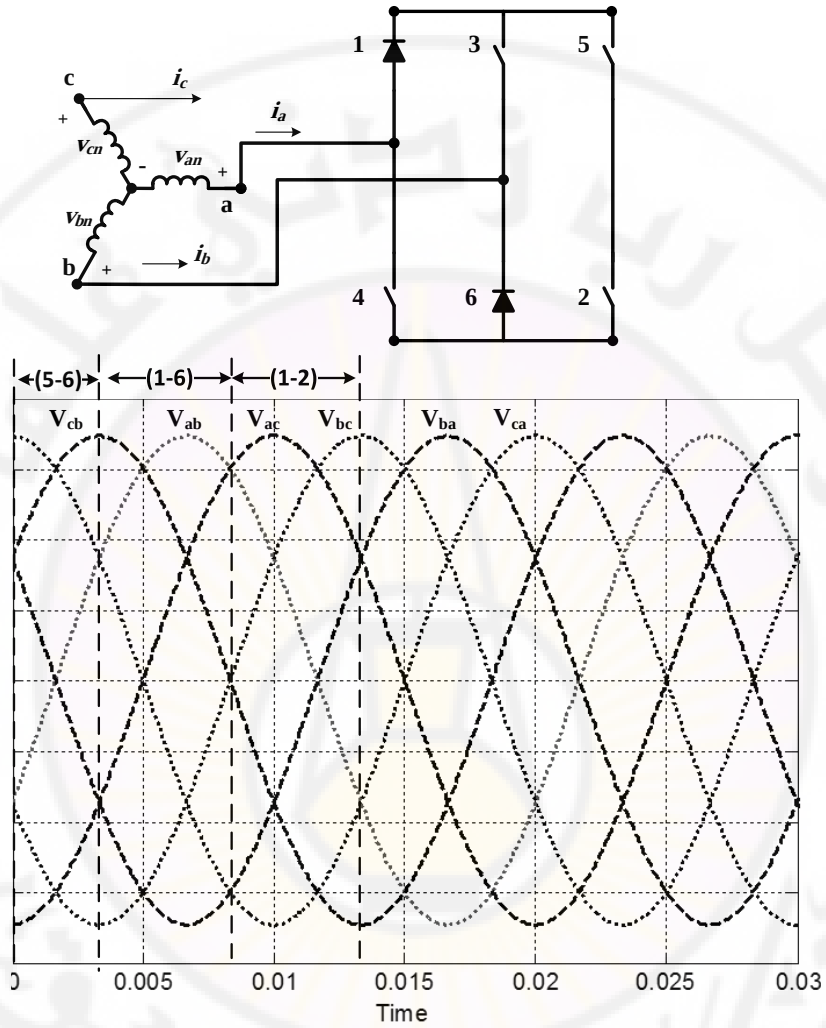
$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{V_{dc}^2 / R}{V_{rms}^2 / R} = 99.83\%$$

$$RF = 4\%$$

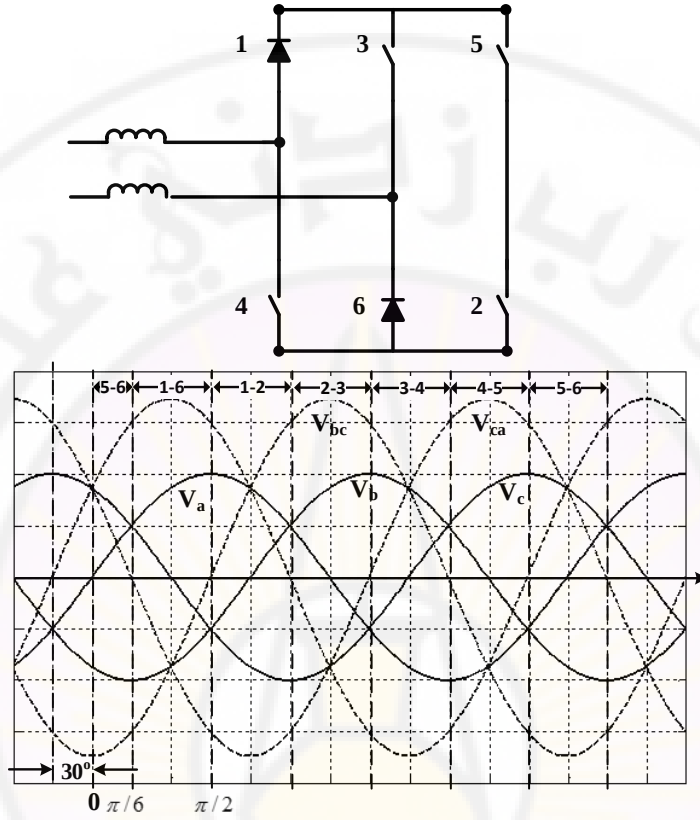
$$V_{ab}(t) = \sqrt{2}V_{ab} \sin(\omega t) \quad \frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3}$$

$$i_0(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \sin(\omega t - \theta) - \frac{E}{R} + A_1 e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$



الشكل (25-3) تشكيل ست توترات خطوط



الشكل (3-26) توترات الخطوط وتوترات الأطوار في محول ثلاثي الطور مثلثي نجمي

- عند حالة العمل المستقرة:

$$i_0(\omega t = \frac{\pi}{3}) = i_0(\omega t = \frac{2\pi}{3}) = I_0$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \times \frac{\sin(\frac{2\pi}{3} - \theta) - \sin(\frac{\pi}{3} - \theta)e^{\frac{R}{L} \frac{\pi}{3\omega}}}{1 - e^{\frac{R}{L} \frac{\pi}{3\omega}}} - \frac{E}{R}$$

Provided $I_0 > 0$

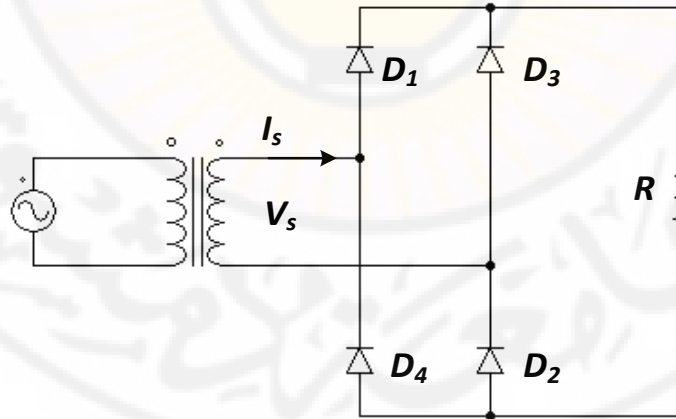
$$i_0(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \times \left[\sin(\omega t - \theta) + \frac{\sin(\frac{2\pi}{3} - \theta) - \sin(\frac{\pi}{3} - \theta)}{1 - e^{-\frac{R}{L} \frac{\pi}{3\omega}}} e^{-\frac{R}{L}(\frac{\pi}{3\omega} - t)} \right] - \frac{E}{R}$$

Condition for continuous load current

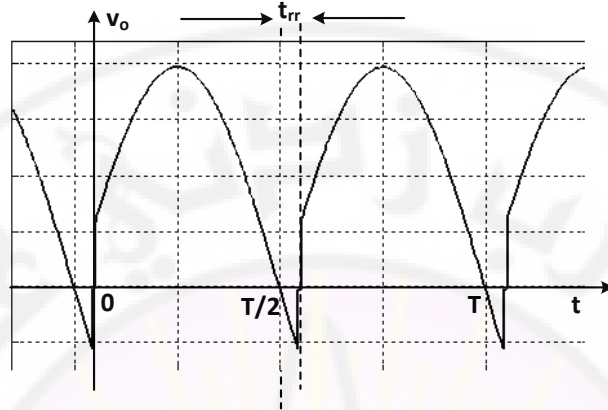
$$\left(\frac{E}{\sqrt{2}V_{ab}} \right)_{critical} = \left[\frac{\sin(\frac{2\pi}{3} - \theta) - \sin(\frac{\pi}{3} - \theta)e^{-\frac{\pi}{3\tan\theta}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{3\tan\theta}}} \right] \cos\theta$$

مثال (28):

في الجسر الأحادي الطور شكل (3-27) زمن الاستعادة العكسي للديودات (الثنائيات) المستخدمة (Reverse Recovery Time (t_{rr}) = 50 μ s. عند توتر قدره $V_s = 120$ V لثانوي المحول. بين أثر زمن الاستعادة العكسي على القيمة المتوسطة لتوتر الخرج إذا كان تردد المصدر مساوياً 2 KHz و 60 Hz.



الشكل (3-27) دائرة الاستطاعة للجسر الأحادي الطور



الشكل (3-28) التوتر المقوم وفترة العمل في الجزء السالب

الحل:

فترة الاستعادة العكسية سوف تؤثر على قيمة توتر الخرج، ذلك لأن الديود D1 سوف لن يتوقف عن التوصيل عند الزمن $\omega t = \pi$ ، يستمر بالتوصيل حتى الزمن $t = \frac{\pi}{\omega} + t_{rr}$ لذا فإن القيمة المتوسطة سوف تنخفض والشكل (29-b) يوضح ذلك.

توتر الدخل يعطى بالعلاقة

$$V = V_m \sin \omega t = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$$

والقيمة المتوسطة المخفضة للتوتر تحسب بالشكل:

$$V_{rr} = \frac{2}{T} \int_0^{t_{rr}} V_m \sin \omega t dt = \frac{2V_m}{T} \left[-\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{t_{rr}}$$

$$V_{rr} = \frac{V_m}{\pi} (1 - \cos \omega t_{rr})$$

بالتعويض بالقيم الحسابية:

$$V_m = \sqrt{2} V_s = \sqrt{2} \times 120 = 169.7V$$

التوتر المقوم المتوسط بدون فترة الاستعادة يعطى بالعلاقة المعروفة:

$$V_{dcr} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 \times 169.7}{\pi} = 108.03V$$

a- من أجل $t_{rr} = 50 \mu s$ و $f = 50 \text{ Hz}$ فقدان التوتر المتوسط يساوي:

$$V_{rr} = \frac{V_m}{\pi} (1 - \cos 2\pi f_s t_{rr}) = 5.65 \times 10^{-5} V_m$$

$$V_{rr} = 9.6 \times 10^{-3} V \quad \text{or} \quad 8.88 \times 10^{-5} \% \text{ of } V_{dc}$$

ملاحظة:

إن فترة الاستعادة العكسية تكون ذات أثر هام في حالة المنابع ذات الترددات العالية ونرى أنه في حالة التردد الصناعي فاقد التوتر هذا مهملاً.

مثال (29):

يراد تغذية حمل باستطاعة $P = 12 \text{ KW}$ عند توتر مستمر $U = 400V$ وذلك من منبع توتر متناوب $V_p = 240V$ ، $f = 50 \text{ Hz}$ ، ونسبة تحويل المحول m . يتم ترشيح توتر الخرج باستخدام مكثف C . ثابت زمن τ للحمل يساوي $5T$. $\left(T = \frac{1}{f}\right)$.

اعتبر أن جميع العناصر المستخدمة في الدارة مثالية.

1- احسب سعة المكثف C .

2- لدينا حثية L على التسلسل مع الحمل RC ، وبفرض أن التيار المار فيها I ناعم بدون تعرجات.

2-1: احسب نسبة تحويل المحول m التي تسمح بتحقيق هذه الشروط.

2-2: احسب تيار الابتدائي i_p (في الشبكة) و احسب قيمته الأساسية.

2-3: بين أن هذا التركيب، لدى النظر إليه من جهة الشبكة، يمثل مقاومة يتم حسابها بفرض التوافقية الأولى.

الحل:

1- الحمل أومي ويمثل بمقاومة R. وعليه:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{(400)^2}{12000} = 1.33\Omega$$

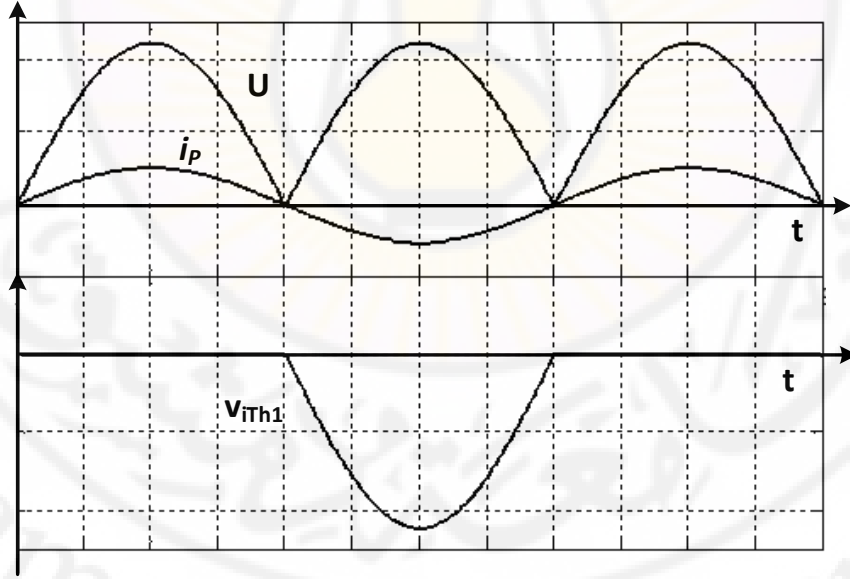
$$\tau = RC = 5(2\pi f) = 100\text{msec}$$

$$C = \frac{100}{1.33} = 75\text{mF}$$

$$U = \frac{2V_s \sqrt{2}}{\pi} \Rightarrow V_s = \frac{400 \times \pi}{2\sqrt{2}} \quad 1-2$$

$$V_s = 444\text{V} \quad (V_{sm} = 628\text{V})$$

$$m = \frac{V_s}{V_p} = \frac{444}{240} = 1.85$$



الشكل (29-3) التوتر المقوم وتيار الابتدائي، التوتر العكسي على TH1

2-2: القيمة الفعالة للمركبة الأساسية للتيار تعطى بالعلاقة:

$$I_{fond} = \frac{4.I_{moy}}{\pi\sqrt{2}}$$

$$I_{pfond} = \frac{4.m.I_{moy}}{\pi\sqrt{2}}$$

$$I_{moy} = \frac{U - E}{R} = \frac{P}{U} = \frac{12000}{400} = 30A$$

$$I_{fond} = \frac{4 \times 30}{\pi\sqrt{2}} = 27.1A$$

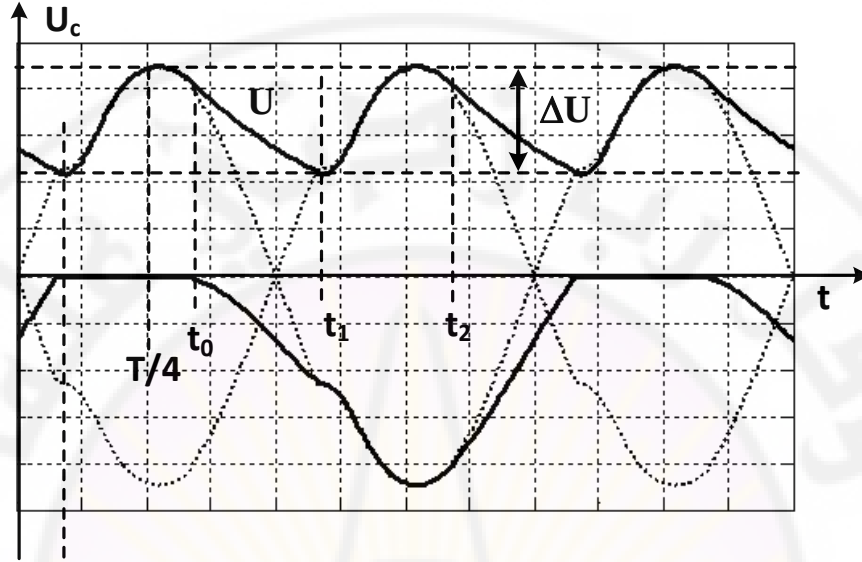
تيار الابتدائي الأساسي:

$$I_{pfond} = m.I_{fond} = 1.85 \times 27.1 = 50.14A$$

3-2: نأخذ فرضية التوافقية الأولى، نستعوض i_p بـ i_{pfond} وبما أنه لدينا V_p ، i_{pfond} من نفس الطور يمكن القول ان المعادلة المكافئة:

$$r_{eq} = \frac{V_p}{i_{pfond}} = \frac{240}{50.14} = 4.787\Omega$$

3- التوتر على طرفي الحمل يعطى بالشكل:

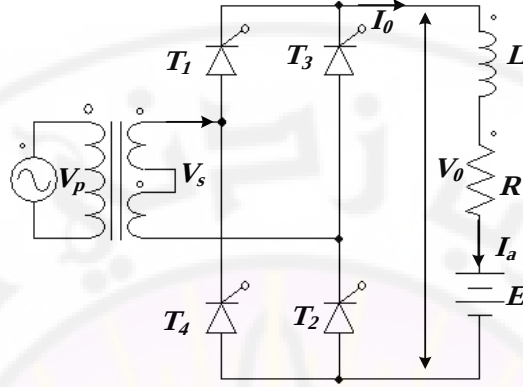


الشكل (3-30) التوتر على طرفي الحمل، والتوتر العكسي

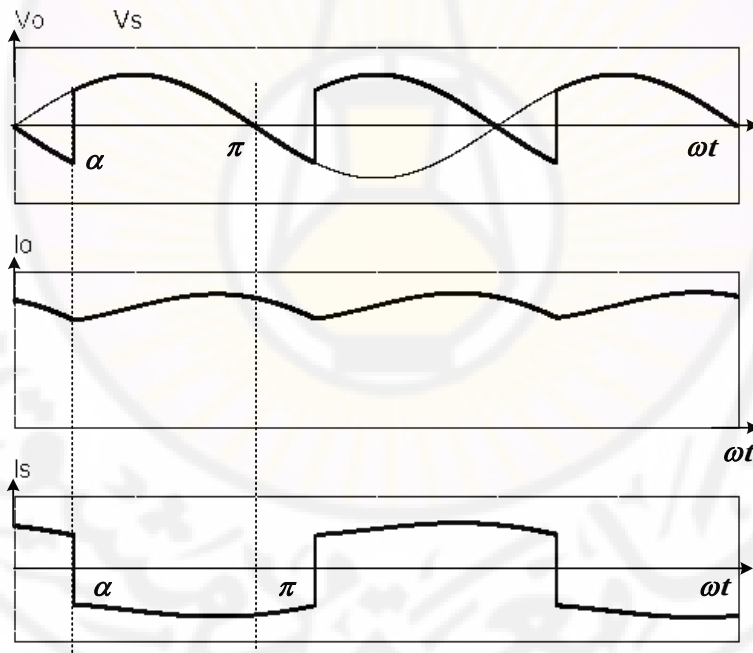
مثال (30):

تشغيل الجسر الأحادي الطور المقاد عند حمل مختلط RL:

جسر التقويم الأحادي الطور المقاد، حمل بمقاومة وحثية (R+L) والأشكال (آ-31-3) و (ب-31-3) توضح خرج الجسر وتيار الحمل وتيار الملف الثانوي للمحول. سوف نعرض النازمة لخرج الجسر وذلك كقيمة متوسطة وفعالة ثم سوف ندرس التيارات المارة في الحمل في حالة كون التيار متواصل أو غير متواصل.



الشكل (آ-31-3) دائرة الاستطاعة للجسر الأحادي الطور



- الشكل (آ-31-3) التوتر المقوم، تيار الحمل والمنبع

- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج يمكن حسابها بالشكل:

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\alpha+\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

(في كتاب الكترونييات القدرة نعتبر أن توتر الثانوي مقسم لتوترين مع وجود نقطة وسط وهمية وعليه فإن القيمة المتوسطة للتوتر تعطى بالعلاقة):

$$V_{dc} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha$$

حيث $q = 2$ ، $V_m' = \frac{V_m}{2}$ ، وتعطي نفس القيمة الناتجة لدينا هنا).

- القيمة الفعالة r.m.s لتوتر الخرج تعطى بالشكل:

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s$$

- كما نعلم من الشكل (آ-31-3) يعمل الثيرستورين T_1 و T_2 سوياً وكذلك T_3 و T_4 ، التيار المار خلال عملهما متشابه. سوف نعتمد إحدى الفترات لإيجاد معادلة تيار الحمل i_L :

خلال الفترة الأولى من العمل $(\alpha \leq \omega t \leq (\alpha + \pi))$ ، وباعتبار أن التوتر في ثانوي المحول هو توتر الدخل: $v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$ ، فإن تيار الحمل i_L خلال تلك الفترة يمكن إيجاده من العلاقة:

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E = \sqrt{2}V_s \sin \omega t \quad \text{من أجل } i_L \geq 0$$

حل هذه المعادلة من الشكل:

$$i_L = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} - \frac{E}{R}$$

حيث أن مفاعلة الحمل:

$$Z = \left[R^2 + (\omega L)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

و

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

الثابت A_1 يمكن تحديده من الشروط الأولية حيث $\omega t = \alpha$ ، $i_L = I_{L0}$ ، وعليه:

$$A_1 = \left[I_{L0} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) \right] e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)}$$

بالتعويض عن A_1 نجد:

$$i_L = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) - \frac{E}{R} + \left[I_{L0} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) \right] e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega} - t\right)}$$

عند نهاية هذه المرحلة من العمل لـ (T_1 و T_2) والوصول لحالة الاستقرار، لدينا

$$i_L(\omega t = \pi + \alpha) = I_{L0}$$

وبتعويض ذلك في العلاقة أعلاه:

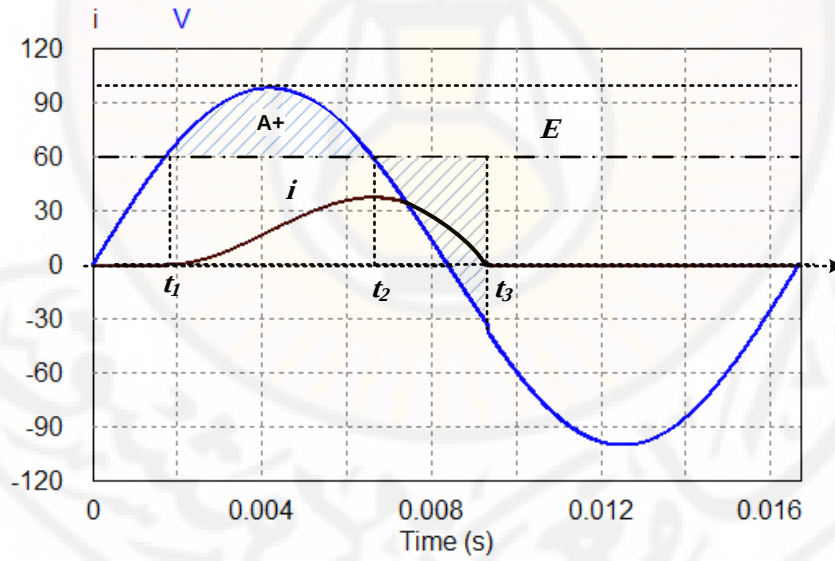
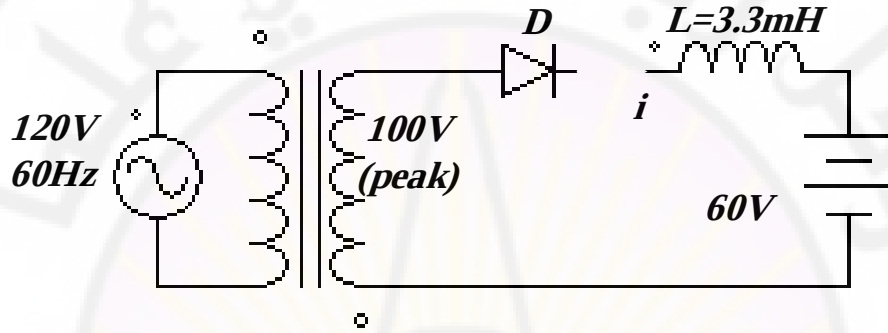
$$I_{L0} = I_{L1} = \frac{\sqrt{2}V_s - \sin(\alpha - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{-\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\pi}{\omega}\right)}}{Z \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\pi}{\omega}\right)} \right)} - \frac{E}{R}$$

القيمة الحرجة للزاوية α حيث I_0 يصبح مساوياً للصفر يمكن إيجادها لمعرفة قيم (V_s, E, L, R, θ) .

مثال (31):

الحثية L في الشكل أدناه ذات تحريضية 3.3 mH . وبفرض أن توتر المدخلة 60V . احسب القيمة العظمى للتيار المار إذا كان تردد المنبع 60 هرتز.

الحل:



الشكل (3-32-آ) دائرة الاستطاعة - الشكل (ب-3-32) التوترات والتيارات في عناصر الدارة

- لحساب القيمة العظمى للتيار، يجب إيجاد المساحة A_+ المظللة فوق توتر المدخرة البالغ 60 فولت. يمكن عادةً حساب هذه القيمة بإجراء التكامل من t_1 إلى t_2 لموجة التوتر. كما يمكن حساب هذه المساحة بيانياً بأخذ مربعات صغيرة وذلك بتجزئة زمن نصف الدور إلى 12/ قسم (لكل نصف دور) و (10) فولت لكل جزء من محور التوتر. عندئذ تكون مساحة المربع الواحد تساوي:

$$\Delta t = \left(\frac{1}{24} \right) \times \left(\frac{1}{60} \right) = \frac{1}{1440} \text{ sec}$$

ومنه مساحة المربع الواحد:

$$10 \times \frac{1}{1440} = 6.944 \text{ m.V.S} \text{ فولت- ثانية}$$

- بإجراء حصر لعدد المربعات تحت المنحني، نجد أن A_+ يحتوي فرضاً 19 مربع وعليه فإن المساحة سوف تعادل:

$$A_+ = 19 \times 6.944 = 132 \text{ m.V.S} = 0.132 \text{ (V.S)}$$

التيار الأعظمي المتوقع مروره عندئذ يعطى بالعلاقة:

$$\left(V = L \frac{I}{t} \right)$$

$$I = \frac{V.S}{L} = \frac{0.132 \text{ (V.S)}}{0.0033 \text{ (h)}} = 40 \text{ A.}$$

مثال (32):

يراد صنع وحدة تغذية 135V، 20A باستخدام جسر تقويم أحادي الطور غير مقاد مع مرشح تحريضي. تعرجات التيار العظمى يجب ألا تتجاوز 10% (Peak- 10% Peak Current Ripple). بفرض أن تردد المنبع 60 Hz احسب ما يلي:

a- القيمة الفعالة لتوتر دخل المنبع.

b- القدرة المخزنة في الحثية.

c- تحريضية الملف المستخدم.

d- القيمة العظمى من القمة إلى القمة لتيار التعرّيج.

الحل:

a - القيمة الفعالة لتوتر المنبع يمكن حسابها من العلاقة:

$$U_C = \frac{2.q}{\pi} \frac{V_{eff}}{2} \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_C = 0.9V_{eff}$$

$$135 = 0.9V_{eff} \Rightarrow V_{eff} = 150V$$

b- الاستطاعة المستمرة المقدمة من جسر التقويم:

$$P = U_C . I_C = 135 \times 20 = 2700Watt$$

وعليه فإن القدرة (energy) المخزنة في الملف (المفاعلة) "Choke" تعطى:

$$W_L = \frac{5.5P}{f.ripple}$$

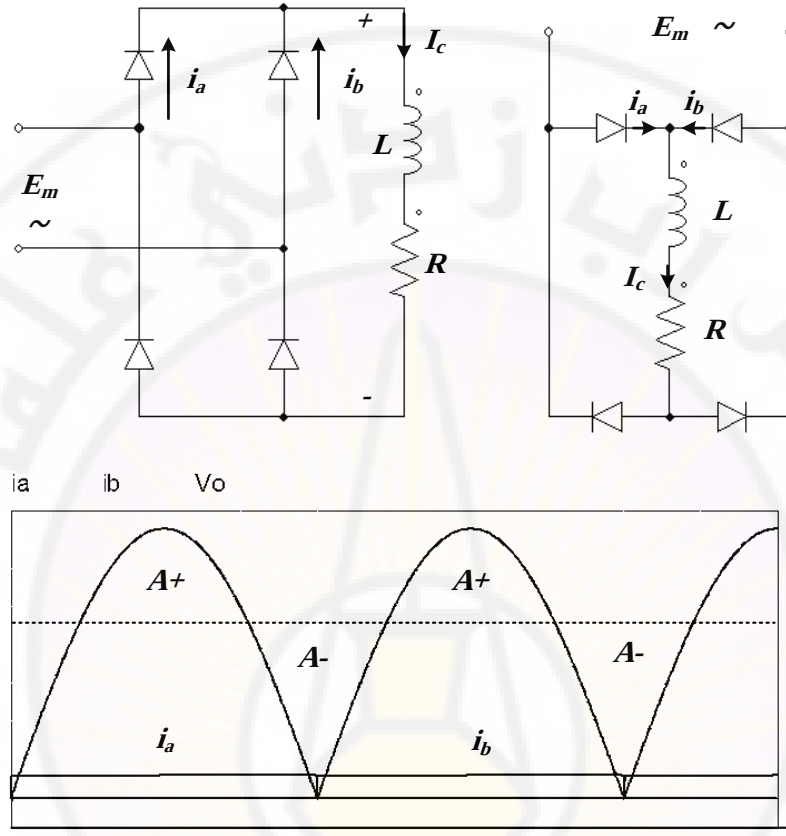
حيث:

ripple: تعرجات التيار من القمة إلى القمة وذلك كنسبة مئوية من التيار المستمر

.%

W_L : القدرة المخزنة في ملف التتعيم (المفاعلة).

f: تردد المنبع.



الشكل (آ-33) دائرة الاستطاعة - الشكل (ب-33) التوترات والتيارات

$A+$ القدرة المستجدة من قبل الملف

$A-$ القدرة المحررة من قبل الملف

5.5: ثابت ناتج عن الواحدات المستخدمة.

وعليه:

$$W_L = \frac{5.5 \times 2700}{60 \times 10} = 24.75 J$$

أي للوصول إلى فرق التيار بين قمة و أخرى بحدود 10% يجب على الحثية أن تخزن قدرة قدرها 24.75 جول.

c- من القدرة يمكن حساب قيمة المفاعلة وعليه:

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2$$

$$24.75 = \frac{1}{2} L(20)^2$$

$$L = 0.124 \text{ Henry}$$

d- بما أن نسبة التعرّيج 10% وعليه فإن التيار المستمر سيتغير بمقدار:

$$20 \times 0.1 = 2A$$

أي أن التيار في الحمل سيتراوح بين 19 أمبير و 21 أمبير. لأن القيمة المتوسطة كانت 20 أمبير.

مثال (33):

جسر تقويم ثلاثي الطور (جسر كريتز Grietze) تفرعي مضاعف غير مقاد، يطلب منه تقديم استطاعة إلى حمل قدرها 360kW عند توتر 240 فولت مستمر. إذا كان المنبع المتوفر هو ثلاثي الطور بتوتر خط 600/ فولت، 60 هرتز. احسب ما يلي:

a- توترات الابتدائي و الثانوي لمحول التغذية.

b- التيار المستمر المار في كل ديود.

c- القيمة العظمى للتوتر العكسي الاعظمي لكل ديود.

d- القيمة قمة- قمة لتعرجات التوتر في الخرج وتردد هذه التعرجات.

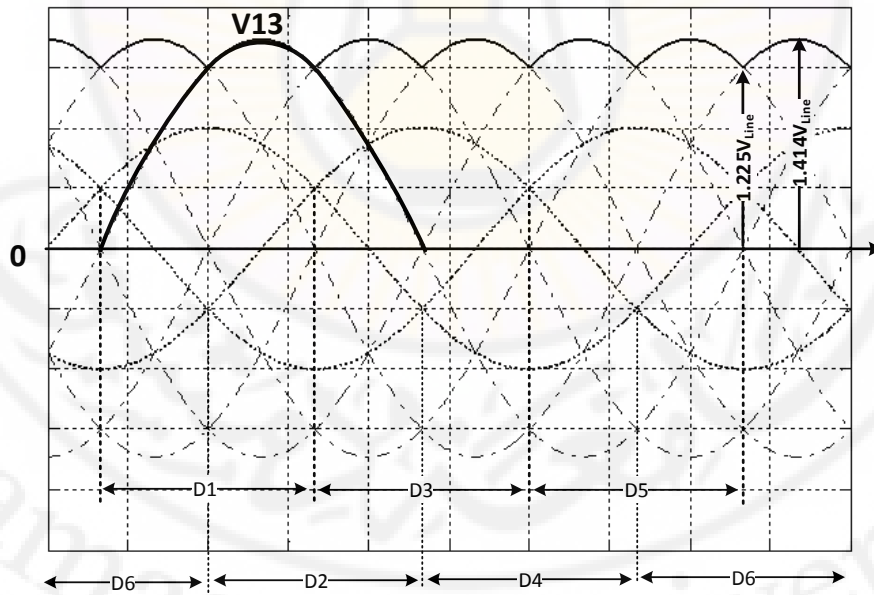
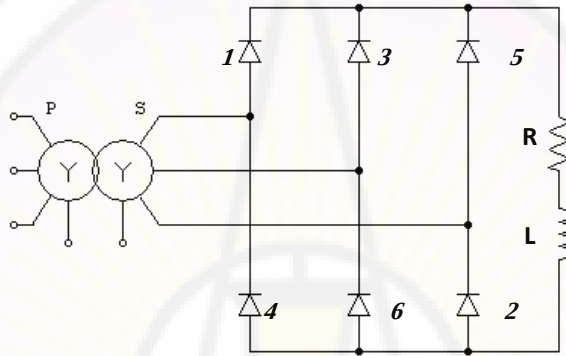
الحل:

a - يعطى التوتر المقوم بالعلاقة:

$$U_C = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{3}}{2} = 1.35 V_{Line}$$

$$240 = 1.35 V_{Line} \Rightarrow V_{Line} = 177 \text{ Volts.}$$



الشكل (آ-3-34) دائرة الاستطاعة - الشكل (آ-3-34) التوترات والتيارات

إذا المحول المطلوب ذي توتر خط في الثانوي قدره 177 فولت ،وتوتر خط في الابتدائي قدره /600/ فولت. ويمكن تحقيق ذلك سواءً بربط المحول على شكل مثلثي أو شكل نجمي.

b- تيار الحمل المستمر:

$$I_d = \frac{360(kW)}{240} = 1500A$$

وعليه فإن القيمة المتوسطة لتيار الديود:

$$I = \frac{I_d}{3} = 500A$$

بالمقابل القيمة العظمى لتيار الديود تبقى مساوية لتيار الحمل الأعظمي 1500 أمبير.

c- القيمة العظمى للتوتر العكسي:

$$PIV = V_m \quad \text{or} \quad 2V_m \cos \frac{\pi}{2q} = \sqrt{2} \times 177$$

$$PIV = 250V$$

d- توتر الخرج المقوم يتراوح بين القيم العظمى $1.414V_{Line} = \sqrt{2}V_m$ والتوتر $1.225V_{Line}$ حسب الشكل أي بين القيم:

$$V_{max} = 1.414 \times 177 = 217V$$

$$V_{min} = 1.225 \times 177 = 250V$$

وعليه فإن التغيرات (ripple) في التوتر من القمة للقمة كانت 33 فولت .

- تردد هذه التعرجات (ripple) يساوي ست أمثال تردد المنبع لأن الجسر تفرعي مضاعف ثلاثي الطور.

مثال (34):

a - في المثال السابق احسب الممانعة (المفاعلة) اللازمة لتنعيم التيار بحيث تصبح نسبة التعرجات 5%.

b- وهل وجود المفاعلة يخفف من عامل التعرّيج لتوتر الخرج الناتج.

الحل:

a- تعطى العلاقة النازمة لتعرجات التيار في هذا الجسر بالشكل:

$$\text{ripple} = 0.17 \frac{P}{f \cdot \omega_L}$$

هذه المفاعلة تخزن القدرة عندما يتجاوز التوتر المقوم اللحظي القيمة المتوسطة

$$V_c = 1.350V_m \text{ والتي تساوي}$$

ويعود ويفرغ ما تم تخزينه عندما تنخفض القيمة اللحظية للتوتر وعليه:

$$5 = \frac{0.17 \times 360000}{60 \times \omega_L}$$

$$\omega_L = 240 \text{ Joule}$$

أي أن الحثية يجب أن تكون قادرة على تخزين هذه القدرة ضمن حقلها المغناطيسي وتحسب الحثية عندئذ من العلاقة:

$$\omega_L = \frac{1}{2} Li^2$$

$$204 = \frac{1}{2} L(1500)^2 \Rightarrow L = 1.8 \times 10^{-4}$$

$$L = 1.8 \text{mh}$$

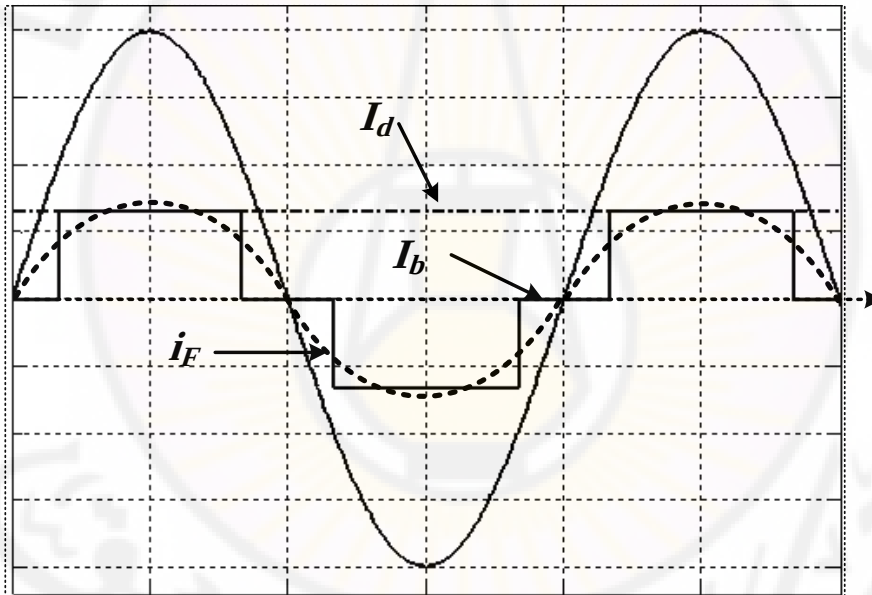
b- المفاعلة هذه سوف لن تغير من فرق التوتر اللحظي بين التوترات المقومة

وتبقى القيمة من قمة إلى قمة ما تم حسابه 33 فولت.

مثال (35):

مقوم ثلاثي الطور _ مضاعف، يعطي تيار حمل مستمر قدره 400A احسب من أجل الخط المغذي للطور الأول:

- القيمة الفعالة لتيار الخط مقاسة بمقياس القيمة الفعالة r.m.s.
- القيمة الفعالة للمركبة الأساسية لتيار الخط.
- القيمة لتيار المركبة التوافقية السابعة.
- القيمة الفعالة (r.m.s) لتيار المركبة السابعة والحادية عشرة.



الشكل (3-35) توتر الطور الأول وتيار الطور

الحل :

يمكن رسم شكل موجة التوتر لأحد الأطوار المتناوبة ورسم التيار المار في هذا الطور، وبالتالي حساب القيمة الفعالة r.m.s وتيار التوافقية الأساسي. القيمة الفعالة I لتيار الخط ذي الشكل المستطيل يمكن استنتاجها من العلاقة:

$$I^2 \times 180^\circ = I_d^2 \times 120^\circ$$

$$I = \sqrt{120/180} I_d = 0.816 I_d$$

مركبة التيار الفعال هذا (I) مكونة من مركبة أساسية I_F (Fundamental r.m.s component)، إضافة للعديد من التيارات التوافقية ونرى أن I_F هي من طور التوتر ذاته. ولحساب قيمة I_F يمكن القول أن:

$$P_{ac} = P_c$$

$$\sqrt{3} V I_F = V_c \cdot I_d = 1.35 V I_d$$

$$I_F = 0.78 I_d$$

ويعطى بدلالة التيار الفعال I بالتعويض حيث:

$$I_F = 0.955 I$$

أي أن مركبة التيار الأساسية I_F أصغر قليلاً من مركبة التيار الفعال I.

- بالعودة للقيم الحسابية:

a- القيمة الفعالة (r.m.s) لتيار الخط إذاً تساوي:

$$I = 0.816 I_d = 0.816 \times 400 = 326 A$$

b- القيمة الفعالة (r.m.s) للمركبة الأساسية I_F تساوي:

$$I_F = 0.955 I = 0.955 \times 326 = 311 A$$

c- القيمة الفعالة (r.m.s) لتيار التوافقية السابعة تساوي:

$$I_{H7} = I_F / 7 = 311 / 7 = 44 A$$

والقيمة العظمى لهذه المركبة:

$$\sqrt{2} \cdot I_{H7} = 44 \times \sqrt{2} = 62 A$$

d- القيمة الفعالة لتيار التوافقية (11) هو:

$$I_{H11} = I_F / 11 = 311 / 11 = 28 A$$

والقيمة الفعالية لمجموع تيار التوافقيتين (7 و 11) هو:

$$I_{(H7+H11)}^2 = I_{H7}^2 + I_{H11}^2$$

$$= 44^2 + 28^2 = 52A$$

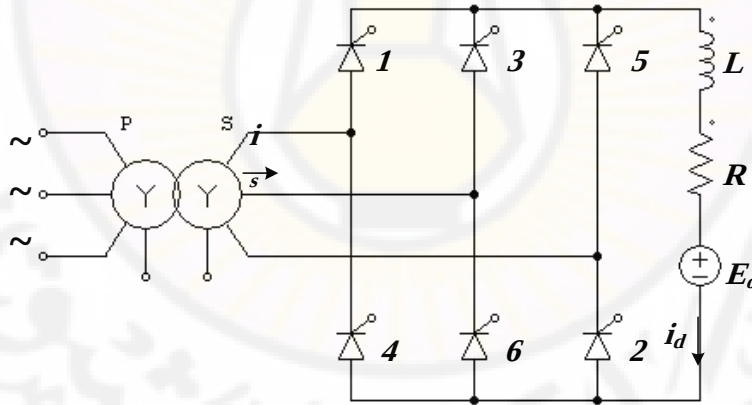
مثال (36):

جسر ثلاثي الطور مقاد، وصل إلى شبكة ثلاثية الطور توتر دخل الجسر للخط 480V، 60Hz، يحتوي الحمل على منبع تيار مستمر 500V له مقاومة داخلية 2Ω. احسب الاستطاعة المقدمة للحمل من أجل زاوية إزاحة بالطور:

(a) 15 درجة.

(b) 75 درجة.

الحل:



الشكل (3-36) دائرة الاستطاعة المعتمدة

a- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج عند زاوية إزاحة بالطور 15° تساوي:

$$U_C = 1.35V_{Line} \cos \psi = \frac{2.q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{V_{mLine}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \psi$$

$$U_C = 1.35 \times 480 \times \cos 15^\circ = 626V$$

بإهمال هبوط التوتر على الحثية، فإن الهبوط سيكون على المقاومة الداخلية 2Ω ،
وقيمة هذا الهبوط:

$$U = U_C - E_0 = 626 - 500 = 126V$$

ومنه فإن تيار الحمل سيكون:

$$I_d = \frac{U}{R} = \frac{126}{2} = 63A$$

وعليه فإن الاستطاعة المقدمة للحمل تساوي:

$$P_C = U_C \cdot I_C = 626 \times 63 = 39.4kW$$

b- عند زاوية إزاحة بمقدار $\psi = 75^\circ$ توتر خرج الجسر سيكون:

$$U_C = 1.35 \times 480 \times \cos 75^\circ = 167.7V$$

نلاحظ أن التوتر المتوسط المقوم الناتج عن الجسر أقل من E_0 وهنا يحاول التيار المرور باتجاه معاكس، لكن يستحيل ذلك في مثل هذه الجسور لذا فالتيار صفر والاستطاعة المحقونة في الحمل تساوي الصفر.

مثال (37):

باستخدام جسر تقويم ثلاثي الطور مقاد تقرعي مضاعف (جسر كريترز)، وبفرض

أن زاوية الإزاحة بالطور كانت 45° ومقاومة الحمل 15Ω . احسب ما يلي:

a- عامل الاستطاعة المزاح displacement power factor.

b- الاستطاعة الردية المستجرة من قبل المبدل (جسر التقويم).

c- عامل الاستطاعة الكلي Total Power Factor.

الحل:

بما أن زاوية الإزاحة المقترحة 45° هي بين توتر الطور في ثانوي المحول ولحظة قدح الثيرستورات لذا فإن عامل الاستطاعة في الثانوي سيكون:

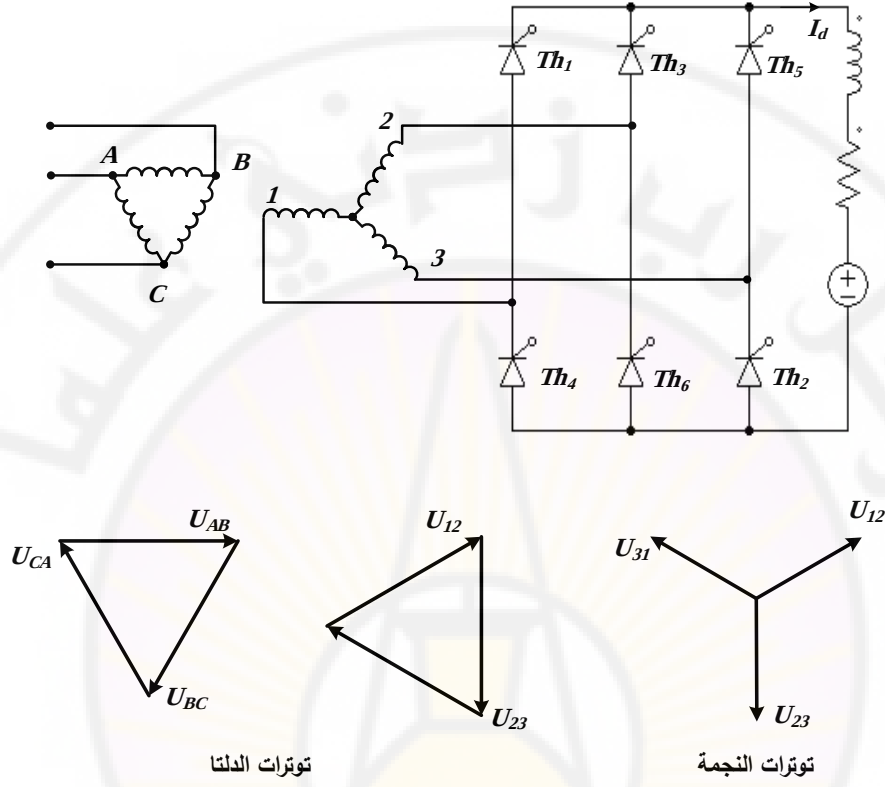
$$\varphi = \frac{T}{4} - \frac{T}{2q} + \psi$$

حيث أن الزمن $\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}$ هو لحظة بدء توصيل عنصر التقويم فيما لو كان من

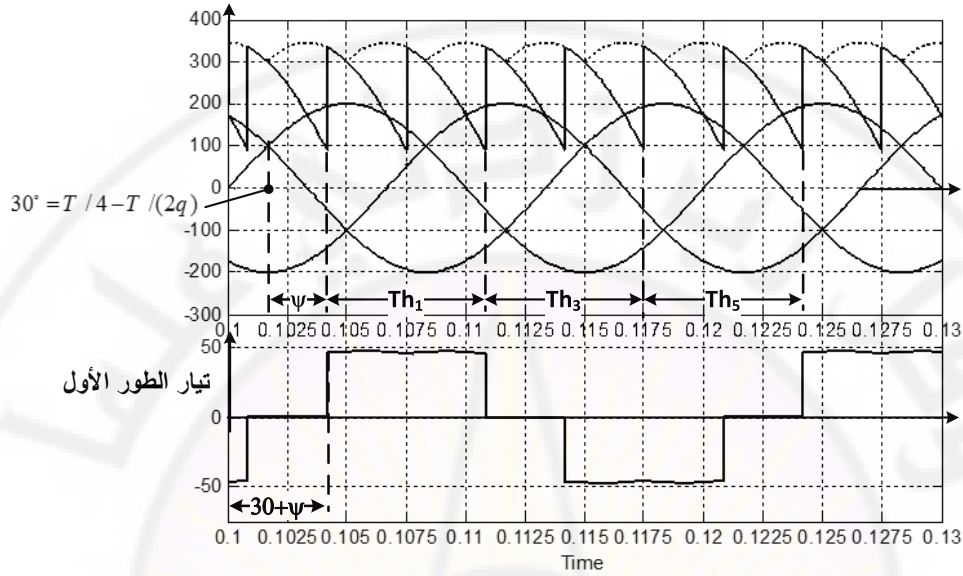
الديود. وفي حال استخدام عناصر قيادة من الثيرستور، لا يمكن في جسر التقويم الثلاثي الطور بدء تطبيق نبضات القرح لحظة مرور موجة التوتر الثانوي بالصفر. يجب بدء الإزاحة من اللحظة التي يصبح فيها توتر المصعد أكبر التوترات الايجابية، وهي اللحظة المساوية $\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}$ حيث T هي الدور (2π) أو 360

درجة و q عدد الأطوار وهنا يساوي $3/$ أي أن العنصر الأول Th_1 التابع لجسر التقويم يستطيع العمل بدءاً من الزاوية $30/$ درجة مقاسة من الصفر. لذا لا تعتبر هذه الزاوية ضمن زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على هذا الثيرستور. والزاوية $\psi = 45^\circ$ تقاس بعد هذه الزاوية. وعليه فإن زاوية عامل الاستطاعة في ثانوي المحول سوف تساوي $\psi + 30 = \varphi$.

بناءً على ما تقدم إذا كان المحول موصول Y-Y فإن زاوية تيار الابتدائي بالنسبة للتوتر في الابتدائي تبقى كما هي. لكن في حال كون المحول موصول Δ -Y. أي أن توتر الثانوي متقدم 30° عن توتر الابتدائي فإن زاوية عامل الاستطاعة في الابتدائي ستكون مساوية عندئذ زاوية الإزاحة بالطور المطبقة ($\varphi = \psi$) والأشكال تشرح هذه العملية.



الشكل (آ-3-37) دائرة الاستطاعة - الشكل (ب-3-37) توترات النجمة والدلتا



الشكل (س-37-3) توتر الجسر المضاعف وتيار أحد الأطوار

الحل :

a- عامل الاستطاعة في ثانوي المحول يساوي:

$$\cos \varphi = \cos(30 + 45) = \cos 75^\circ$$

b- في حال وصل المحول Y-Y. الاستطاعة الردية المستهلكة من قبل المبدل ستكون:

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

$$P = U_C \cdot I_d =$$

U_C تحسب من العلاقة :

$$U_C = 1.35 \times 480 \times \cos 45$$

$$U_C = 459 \text{ Volts}$$

$$I_d = \frac{459}{15} = 30 \text{ Amper}$$

$$P = 459 \times 30 = 13.77 \text{ kW}$$

وعليه فإن:

$$Q = 13.77 \times \tan 75$$

$$Q = 13.77 \times 3.732 = 51.4 \text{ kVAR}$$

c- عامل الاستطاعة الكلي يعطى بالشكل:

$$\text{Total power factor} = \frac{\text{active power per phase (W)}}{V_{(r.m.s)} \times I_{L(r.m.s)}}$$

$$T.P.F = \frac{\frac{U_C \cdot I_d}{3}}{\frac{n_1}{n_2} \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{n_2}{n_1} I_d \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\frac{2 \cdot q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot I_d \cdot \cos \psi}{3 \times \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot I_d \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$$T.P.F = 0.9 \cos \psi$$

$$T.P.F = 0.9 \times 0.359 = 0.233$$

حيث:

I_L : تيار الدخل الفعال للطور.

$V_{r.m.s}$: توتر الطور الفعال للابتدائي.

I_d : تيار الحمل المستقر الأعظمي.

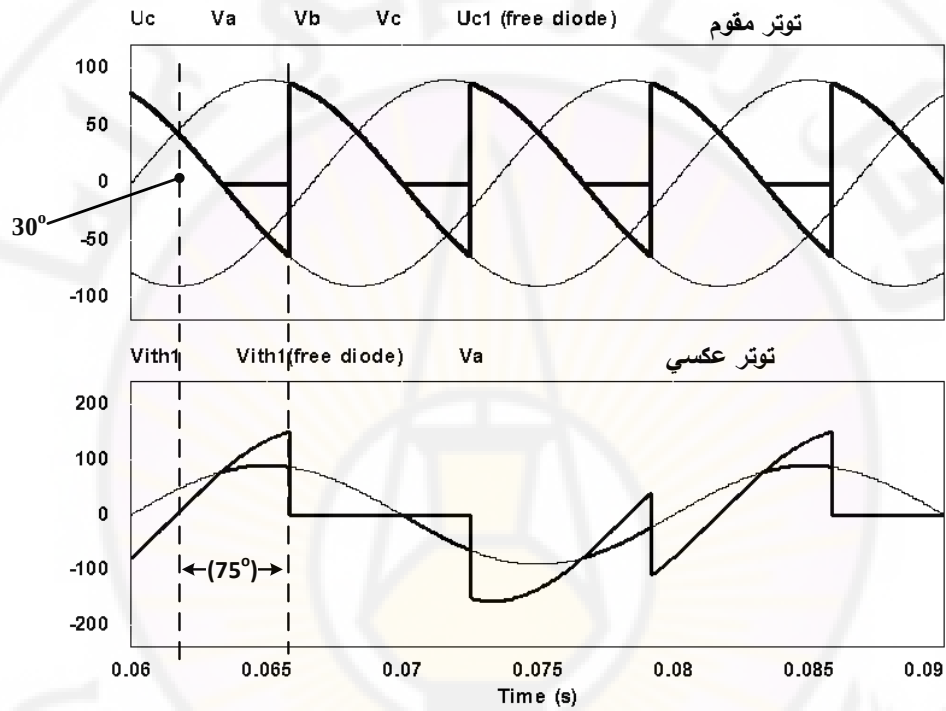
U_C : توتر خرج الجسر المستمر.

$q=3$: عدد الاطوار.

V_m : توتر الطور الأعظمي.

$\cos \psi$: زاوية الإزاحة بالطور.

- نلاحظ مما سبق أنه لدى وجود إزاحة بالطور فإن عامل الاستطاعة لمحول الدخل سيكون سيئاً. وهذا يتطلب تحسين وإضافة مكثفات لتعويض الاستطاعة الردية اللازمة، كما في الشكل أدناه.



الشكل (د-37-3) توتر الجسر المضاعف وتيار أحد الأطوار وإظهار زاوية الإزاحة بالطور

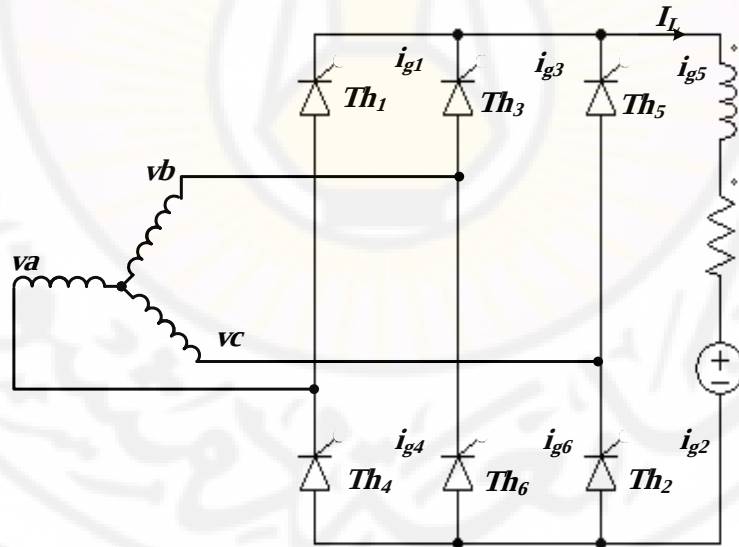
مثال (39):

جسر تقويم تفرعي مضاعف مقاد، غذي من محول ثلاثي الطور وصل الملف الثانوي بشكل نجمي. توتر الطور الفعال في الثانوي 200V.

- ارسم شكل التوتر بين (M و 0) وبين (N و 0) والتوتر المحصل $(V_M - V_N)$.
- ارسم تيار الثيرستور Th_1 و Th_4 وتيار الطور α عند $(\alpha < 30^\circ)$.
- شغل الجسر عند الزاوية $\alpha = 75^\circ$ وارسم شكل التوتر المقوم.
- أضف ديود حر على خرج الجسر وبين كيف تحسب القيمة المتوسطة للتوتر عندئذ.

الحل:

- المنحنيات أدناه توضح آلية عمل هذا الجسر عند $\alpha < 30^\circ$ وكذلك عند $\alpha = 75^\circ$.
- يبدأ التوتر المقوم بأخذ قيم سالبة عند $\alpha = 60^\circ$ وما فوق. ولحساب القيمة المتوسطة بدقة إذا كانت الإزاحة بالطور أكبر من 60° يمكن استخدام العلاقة التالية أدناه، وهي نفس العلاقة اللازمة لحساب القيمة المتوسطة مع وجود الديود الحر، ويمكن تطبيقها بدءاً من $\alpha > 60^\circ$.



الشكل (آ-39-3) دائرة الاستطاعة

$$U_{av} = \frac{2.q}{2\pi} \int_{60+\alpha}^{180} 200\sqrt{2}\sin\theta d\theta$$

$$U_{av} = \frac{6 \times 200\sqrt{2}}{2\pi} [\cos\theta]_{60+\alpha}^{180}$$

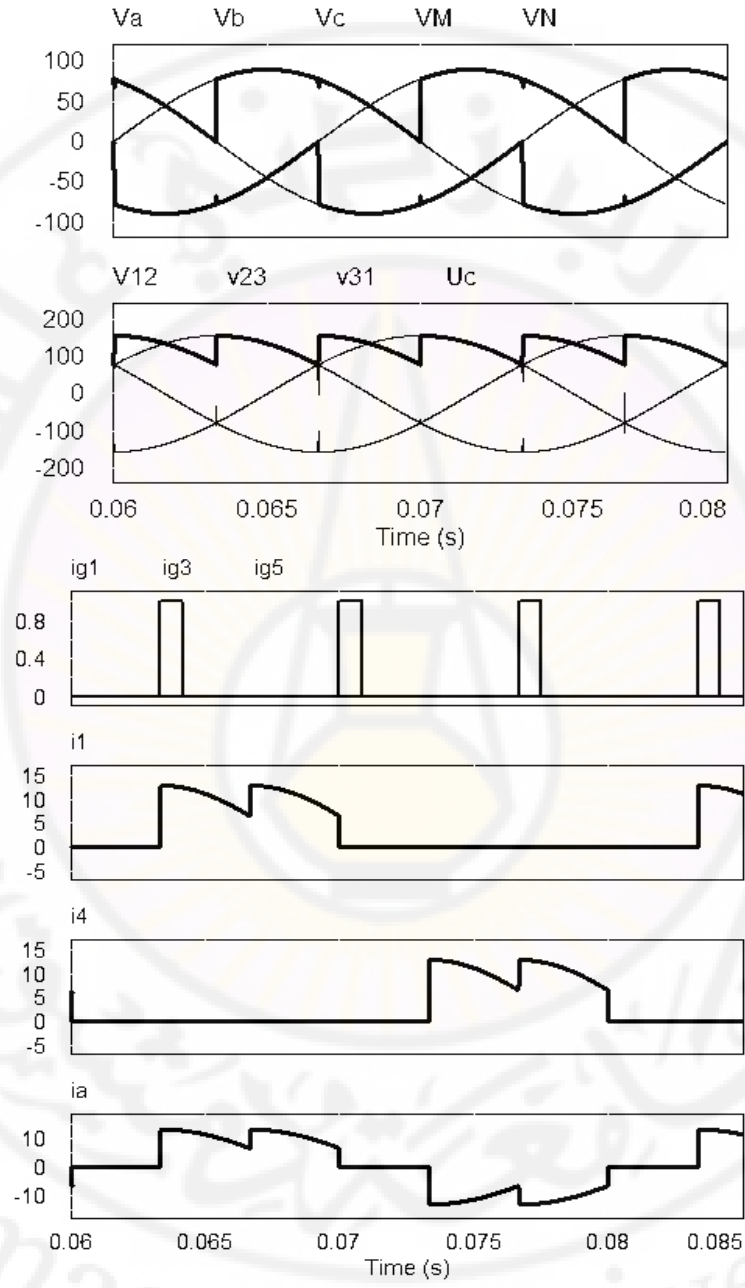
$$V_{av}=0 \quad \alpha=120 \text{ من أجل}$$

- هذا وبالنسبة لرسم شكل موجة توتر الخرج عند زوايا أكبر من 60 مع وجود ديود حر، فإنه يمكن رسم الأمواج كما هي في حالة الحمل التحريضي ، بعد رسم $(V_M - V_0)$ و $(V_N - V_0)$ و $(V_M - V_N)$ التوتر المحصل . فإننا نقوم بحذف أجزاء الأمواج السالبة. والأمواج المتبقية الموجبة هي شكل التوتر المقوم الناتج. وهذا أيضاً يطبق في حالة الحمل الأومي.

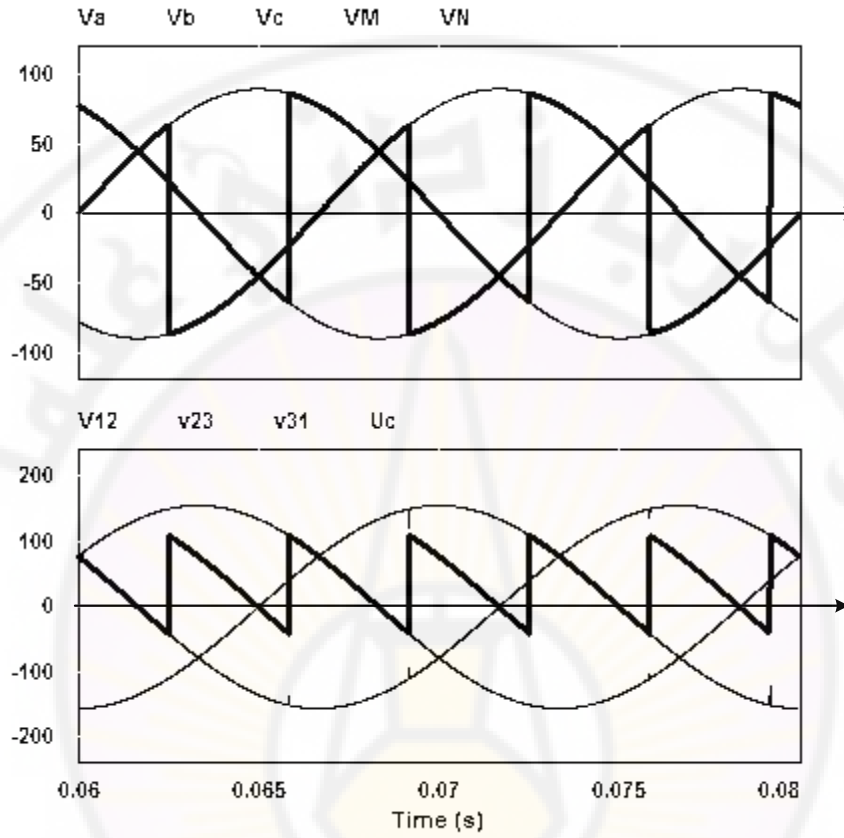
- هذا ولدى رسم العلاقة بين التوتر المتوسط المقوم U_C بدلالة زوايا الإزاحة بالطور α نقوم باستخدام العلاقة النازمة لعمل الجسر المقاد، لكن نجري التكامل بدءاً من لحظة التوصيل وصولاً لنصف الدور ، وعليه فإننا نستخدم هذا التكامل للزوايا بعد 60°

$$V_{av} = \frac{6}{2\pi} \int_{60+\alpha}^{180} 200\sqrt{2}\sin\theta d\theta$$

وقبل الزاوية $\alpha=60^\circ$ نستخدم علاقة الجسر المقاد المعروفة



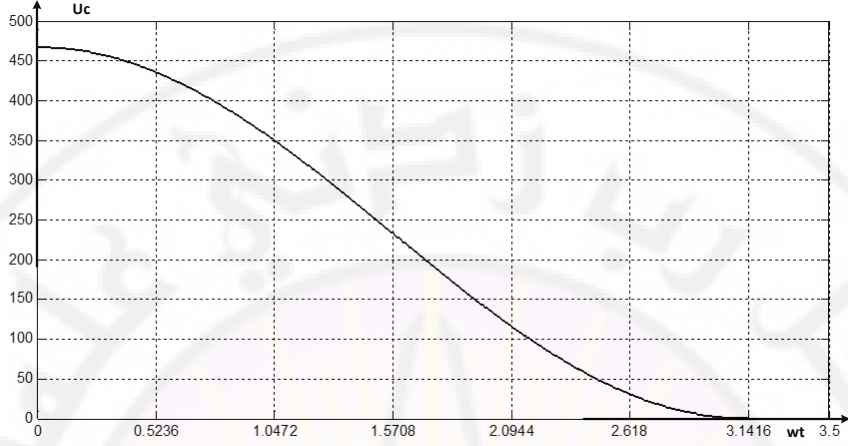
الشكل (ب-3-38) منحنيات التوتر والتيارات عند زاوية إزاحة $\alpha < 30^\circ$



الشكل (س-3-38) منحنيات التوتر والتيار عند زاوية إزاحة $\alpha < 75^\circ$

$$U_{av} = \frac{2.q}{2\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$q = 3, \quad V_m = \sqrt{2} V_{eff}$$

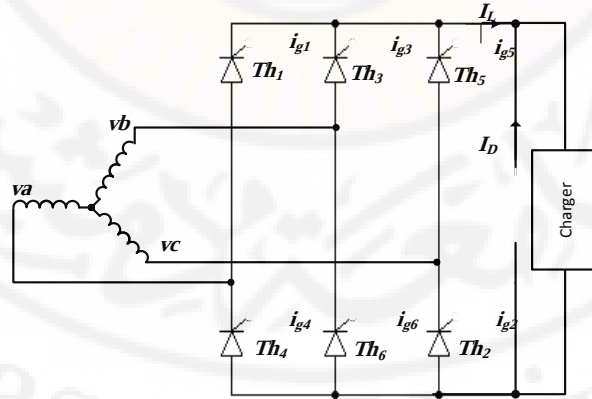


الشكل (ع-38-3) علاقة توتر الخرج المقوم مع زوايا الإزاحة بالطور

مثال (39):

الجسر الثلاثي الطور المضاعف (جسر كريتز) نصف المقاد المبين في الشكل (a) يغذى من منبع ثلاثي الطور، محول وصل بشكل نجمي توتر الخط 415V. ارسم شكل التوتر المقوم المتوسط الناتج بدلالة زوايا الإزاحة بالطور. وارسم أشكال موجة توتر الخرج عند $\alpha=30^\circ$ و $\alpha=120^\circ$ و $\alpha=90^\circ$.

الحل:



الشكل (أ-39-3) دائرة الاستطاعة

حسب العلاقة النازمة للجسور نصف المقادة:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} . V_m \sin \frac{\pi}{q} . \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

$$U_{av} = \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} \times \frac{415}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)$$

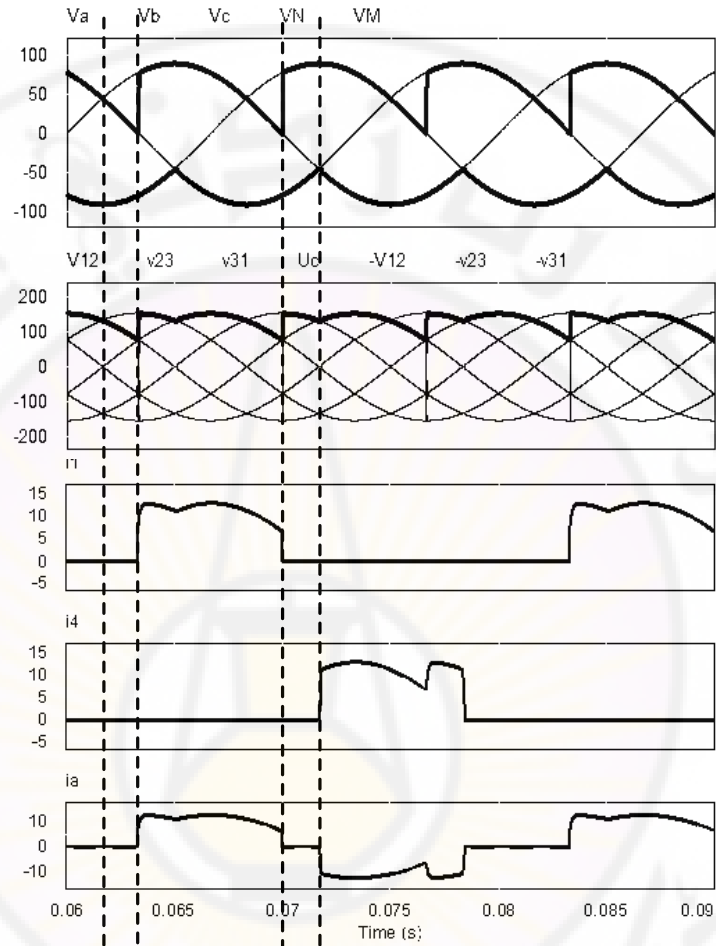
$$U_{av} = \frac{3}{2\pi} \sqrt{2} \times 415 (1 + \cos \alpha) = \frac{3}{2\pi} V_{mLine} (1 + \cos \alpha)$$

يمكن تشكيل

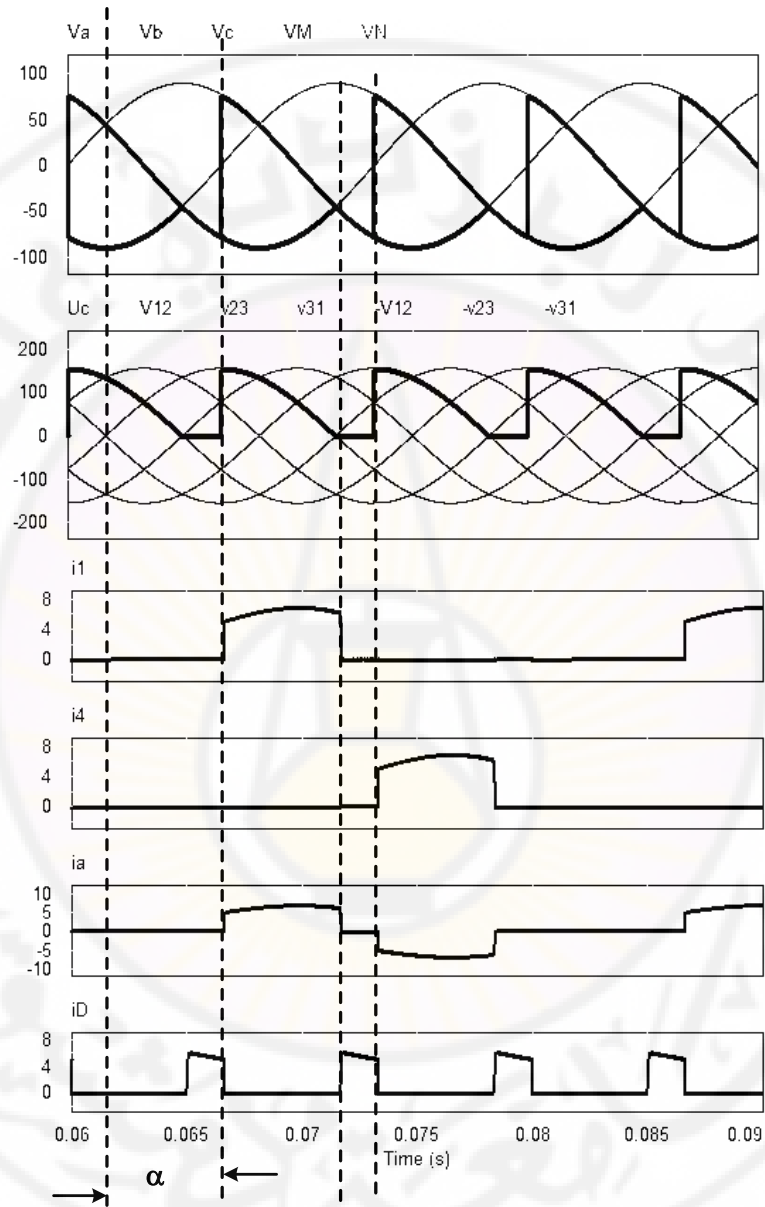
جدول لقيم التوتر المتوسط المقوم بدلالة زوايا الإزاحة بالطور .

U_{av}	0	30	60	90	120	150	180
α	560	523	420.6	280.4	140.2	37.5	0

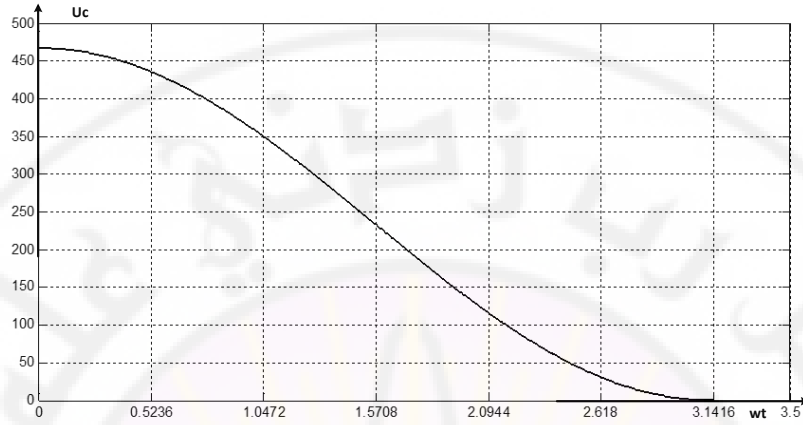
- يمكن استنتاج أشكال التوتر المقوم بنفس الأسلوب الذي تم إتباعه في باقي مجموعات التقويم، حيث أنه يتم رسم توترات الأطوار في الثانوي بدءاً من التوتر V_1 ثم V_2 و V_3 . تحدد زاوية الإزاحة بالطور المطلوب العمل عندها ونبدأ برسم توتر المهابط المشتركة ($V_M - V_0$) دون النظر لوجود الديودات في المصاعد المشتركة. ثم نرسم توتر المصاعد المشتركة ($V_N - V_0$) والذي لا يتغير لأنه تم استخدام عناصر غير مقادة. تعمل العناصر بالتتابع التوتر الأعلى سلبية يعمل على توصيل الديود المرتبط به، (D_2, D_6, D_4)، ثم نحصل على التوتر ($V_M - V_N$) حيث نعمل على طرح التوتر ($V_N - V_0$) من التوتر ($V_M - V_0$) والتوتر المحصل الناتج هو توتر الخرج U_{av} .



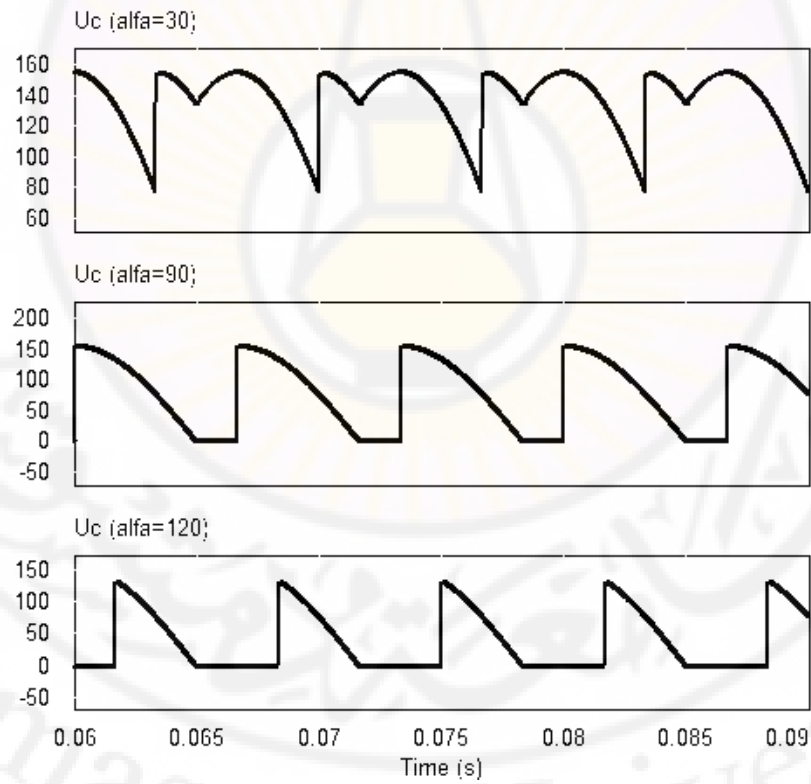
الشكل (س-3-39) التوتر المقوم عند إزاحة $\alpha=30^\circ$



الشكل (ب-39-3) التوتر المقوم عند إزاحة $\alpha=90^\circ$



الشكل (3-39-ع) علاقة التوتر المتوسط المقوم مع زوايا الإزاحة بالطور



الشكل (ب-39-3) أشكال التوتر المقوم النهائي عند مختلف زوايا الإزاحة بالطور المطلوبة (120-90-30)

مسألة (40)

يراد التحكم بتوتر الخرج المستمر المطبق على حمل من القيمة العظمى حتى ربع التوتر، استخدم لهذه الغاية جسر تقويم ثلاثي الطور تفرعي مضاعف نصف مقاد. حدد مجال تغير α . وحدد تيار الديود الحر إذا كان تيار الحمل الكامل المستمر 20A.

الحل:

يعطى التوتر المقوم لمثل هذا الجسر بالعلاقة:

$$U_C = \frac{3}{2\pi} V_{mL} (1 + \cos \alpha)$$

أي أن التوتر المقوم مكون من جزء ثابت مضروب بـ $(1 + \cos \alpha)$. إذاً للحصول على ربع التوتر بدءاً من القيمة العظمى يجب أن تكون زاوية الإزاحة تساوي:

$$\frac{1}{4} = \frac{1 + \cos \alpha}{1 + \cos 0}$$

$$\alpha = 120^\circ$$

أي أن α يجب إزاحتها من الصفر حتى 120° .

- عند العمل عند $\alpha = 120^\circ$ ، الديود الحر في الحمل سوف يعمل باقي الدور أي 60° وعليه فإن التيار الفعال للديود الحر سيكون مساوياً:

$$\left(\frac{20^2 + 0^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = 14.14A$$

مثال (41):

حدد نسبة تعرجات التوتر قمة إلى قمة بالنسبة للقيمة المتوسطة لتوتر الخرج في حالة جسور غير مقادة عدد القمم فيها 2, 3, 6, 12, 24 ، في الدور .

الحل:

إذا اعتبرنا أن القيمة العظمى للتوتر:

$$V_{\max} = V$$

والقيمة الدنيا للتوتر المقوم وحسب عدد الأطوار q والتي تعطى بالعلاقة :

$$V_{\min} = V \cos \frac{\pi}{q}$$

عامل التعرّيج يعطى بالشكل:

$$K = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2U_{C0}}$$

عامل التعرّيج:

$$K = \frac{V - V \cos \frac{\pi}{q}}{\frac{q}{\pi} V \sin \frac{\pi}{q}}$$

الجدول التالي يبين قيمة عامل التعرّيج K كتابع لعدد الأطوار .

0.017	0.07	0.3	0.79	عامل التعرّيج:
			0.0075	
12	6	3	2	عدد الأطوار :
			18	

مثال (42):

جسر تقويم أحادي الطور غير مقاد. طبق عليه توتر 50V، 50Hz. يعطي تيار حمل مستمر 60A. احسب هبوطات التوتر الناتجة عن:

- 1- ممانعة منبع التغذية التي تساوي حثيته 0.1mH.
- 2- هبوط التوتر على كل ديود يساوي (0.6+0.002i). احسب الهبوط.
- 3- الهبوط على مقاومة منبع التغذية والنواقل المستخدمة البالغ مقاومتها 0.002Ω.

الحل:

- 1- ممانعة منبع التغذية هي التي تسبب فترة التطابق، وتؤدي إلى حصول هبوط في التوتر. يعطى الهبوط في حالة جسر أحادي الطور $q=2$ بالعلاقة:

$$\Delta U_C = \frac{q}{\pi} I_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$\Delta U_{C1} = \frac{2 \times 0.1 \times 10^{-3} \times 2\pi 50 \times 60}{\pi} = 1.2V$$

باعتبار أن ممانعة الدخل لكلا الخططين هي 0.1mH، أما إذا كانت هذه الممانعة تمثل خطأ واحداً، فإن هذه القيمة يجب أن تضرب بـ (2)، ويساوي (2.4)V.

- 2- عند تشغيل الجسر، نلاحظ وجود عنصري تقويم دائماً في حالة عمل وعليه فإن هبوط التوتر على عناصر التقويم يساوي:

$$\Delta U_{C2} = 2[0.6 + (0.002 \times 60)] = 1.44V$$

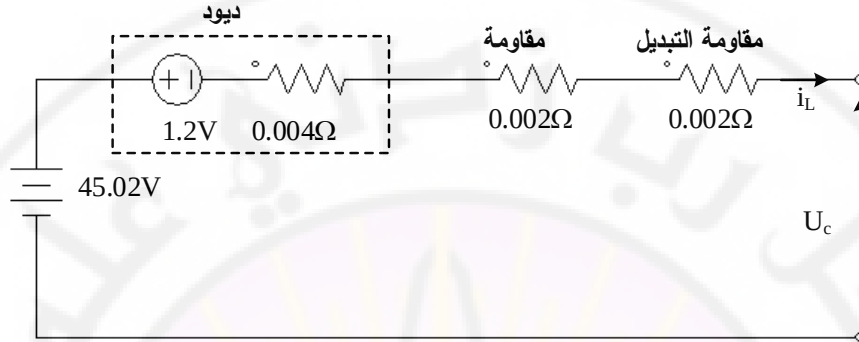
- 3- هبوط التوتر في المقاومة:

$$0.002 \times 60 = 0.12V$$

- التوتر المقوم الذي يقدمه الجسر بدون مفايد يساوي:

$$U_C = \frac{2 \times 2}{\pi} \frac{50}{2} \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{2} = \frac{2 \times 50 \times \sqrt{2}}{\pi} \times 1 = 45.02V$$

والدارة المكافئة كما يلي:



الشكل (3-40) الدارة المكافئة

مثال (43):

لدينا جسر تقويم أحادي الطور مقاد يعمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi=45^\circ$ من أجل تيار حمل معطى، وزاوية إزاحة بالطور معدومة. كانت زاوية التطابق 30° . حدد زاوية التطابق عندما تكون زاوية الإزاحة بالطور $\psi=45^\circ$. مع استمرار مرور نفس تيار الحمل.

ارسم شكل التوتر المقوم في الحالتين وارسم تيار الأطوار.

الحل:

هبوط التوتر الناتج عن التطابق لا يتغير سواء كان لدينا زاوية إزاحة بالطور $\psi=30^\circ$ أو أية زاوية إزاحة. الذي يتغير لدينا هو زاوية التطابق.

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق في مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة:

$$\Delta U_c = \frac{q}{\pi} I_2 \omega I_c$$

- زاوية التطابق في حال عدم وجود إزاحة بالطور تعطى بالعلاقة:

$$1 - \cos \gamma = \frac{L \omega I_c}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} = \frac{L \omega I_c}{V_m}$$

- وتعطى زاوية التطابق في حال وجود إزاحة بالطور بالعلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \gamma) = \frac{L \omega I_c}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} = \frac{L \omega I_c}{V_m}$$

أي أن:

$$1 - \cos \gamma = \cos(\psi) - \cos(\psi + \beta)$$

$$1 - \cos 30 = \cos 45 - \cos(45 + \beta)$$

$$1 - \frac{\sqrt{3}}{2} = \cos 45 - \cos(45 + \beta)$$

$$1 - 0.866 = 0.707 - \cos(45 + \beta)$$

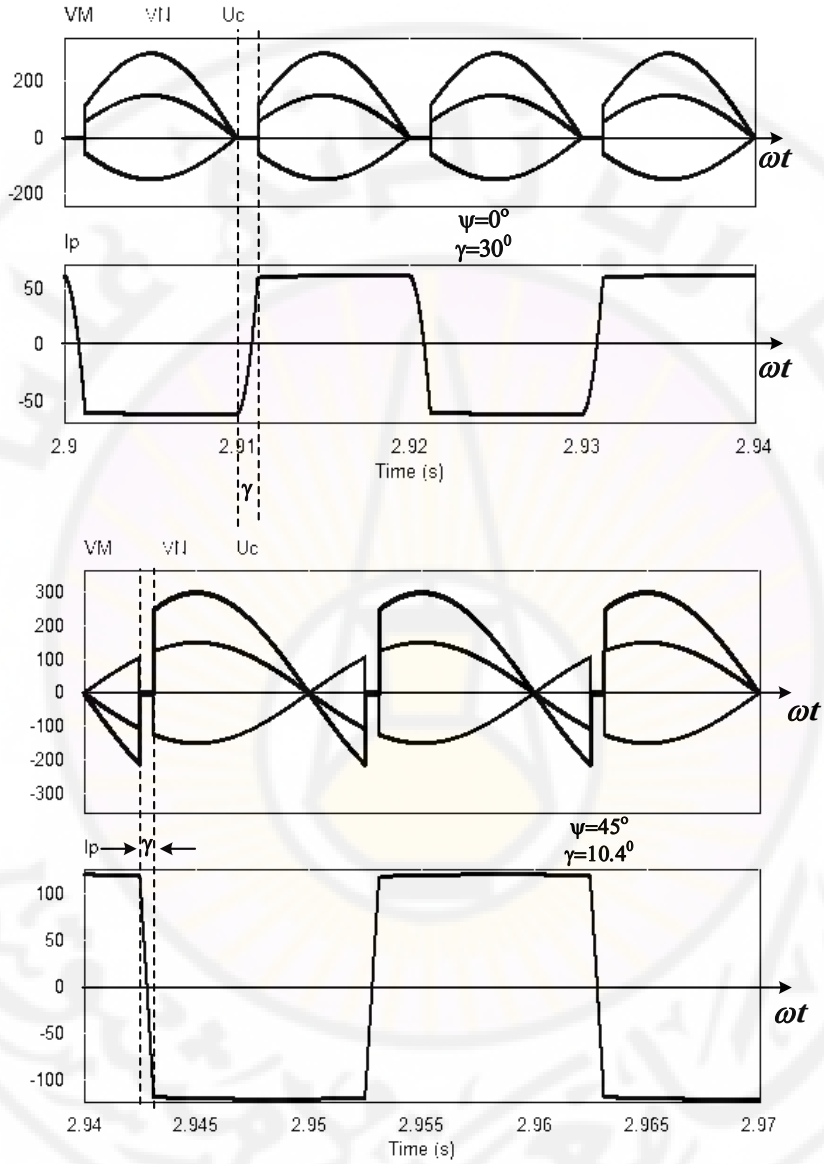
$$\cos(45 + \beta) = 0.573$$

$$\cos^{-1} 0.573 = 55.04$$

$$45 + \beta = 55.04$$

$$\beta = 10.04^\circ$$

أي أن زاوية التطابق عند زاوية إزاحة بالطور 45° تصبح 10.04° بينما كانت عند الصفر 30° .

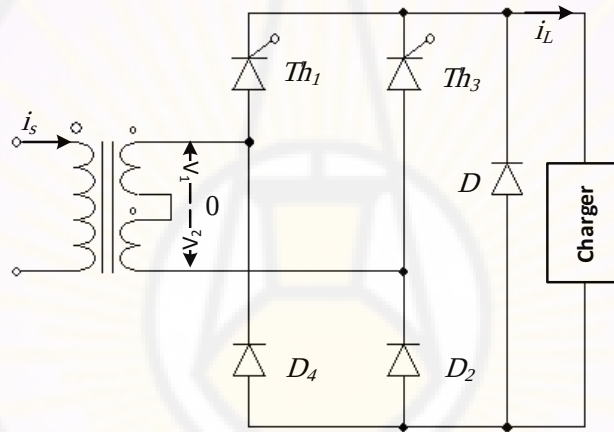


الشكل (3-41) التوترات والتيارات عند مختلف زوايا الإزاحة بالطور

مثال (44):

طبق توتر 120V، 50Hz على جسر تقويم أحادي الطور نصف مقاد. وتم إضافة ديود حر على طرفي الحمل. تيار الحمل 10A، والحمل تحريضي بحت. ما هو توتر الحمل، وأشكال أمواج التيار للثريستور والديود الحر، عند زاوية تأخير في القدح تساوي 90° . افرض أن ممانعة منبع الدخل 3mH، أهمل هبوطات التوتر.

الحل:



الشكل (آ-42-3) دائرة الاستطاعة

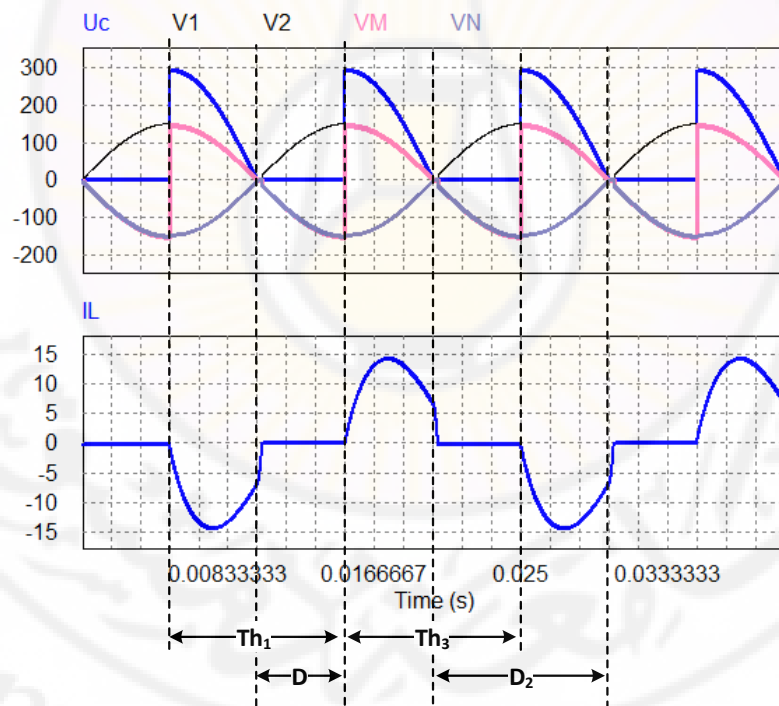
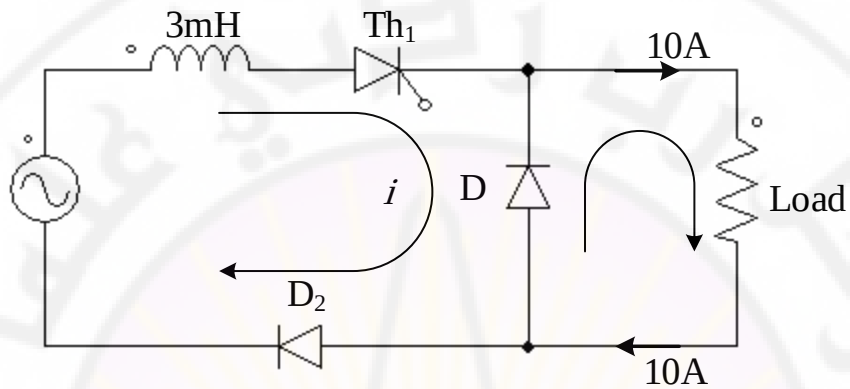
سنعتبر أن تيار الحمل مستمر ويساوي $I_L = 10A$.

- عند الزاوية π ، من نصف الدور الأول للموجة الجيبية، لا يتوقف الثريستور Th_1 لأن الحمل تحريضي، بالمقابل يبدأ التوتر V_1 بأخذ قيم سالبة، لذا سيبدأ الديود D_4 بالتوصيل، عمل Th_1 و D_4 يعمل على قصر الحمل وجعل توتر الخرج مساوٍ للصفر لأن

$$(V_M - V_0) - (V_N - V_0) = 0$$

وفي حال وجود ديود حر يمكن أيضاً لهذا الديود أن يعمل على تمرير تيار الحمل.

$$(V_M - V_0) - (V_N - V_0) = 0$$



الشكل (ب-42-3) التوتر المقوم وتيار الطور

لذا بدءاً من الزمن $t=0$ أو عند $t=\pi$ يحدث تطابق بين الديود الحر D والتيار القادم من المنبع عبر Th_1 و D_4 . وعليه يمكن القول أن:

$$V = 120\sqrt{2}\sin\omega t = L \frac{di}{dt}$$

$$120\sqrt{2}\sin(2\pi \times 50t) = 31 \times 10^{-3} \frac{di}{dt}$$

$$i = -180\cos(2\pi \times 50t) + C$$

يحسب ثابت التكامل باعتبار أنه عند $t=0$ أو π يكون $i=0$ و $C=180$ بالتعويض:

$$i = 180(1 - \cos 2\pi \times 50t) \\ = 180(1 - \cos \omega t)A$$

تنتهي فترة التطابق عندما يصبح تيار الديود الحر مساوي 10A وبالتعويض نجد أن:

$$\omega t = 19.2^\circ$$

وهي فترة التطابق بين الديود الحر والثريستور Th_1 و D_4 .

- لكن بعد 90° عندما يبدأ الثريستور Th_1 بالقذف، ويجب فصل الديود D ، توتر التبديل الذي يكون مطبقاً في تلك اللحظة هو:

$$120\sqrt{2}\sin(\omega t + 90)$$

ويساوي $120\sqrt{2}\cos\omega t$. وهذا التوتر يكون مساوياً $L \frac{di}{dt}$.

$$120\sqrt{2}\cos\omega t = L \frac{di}{dt}$$

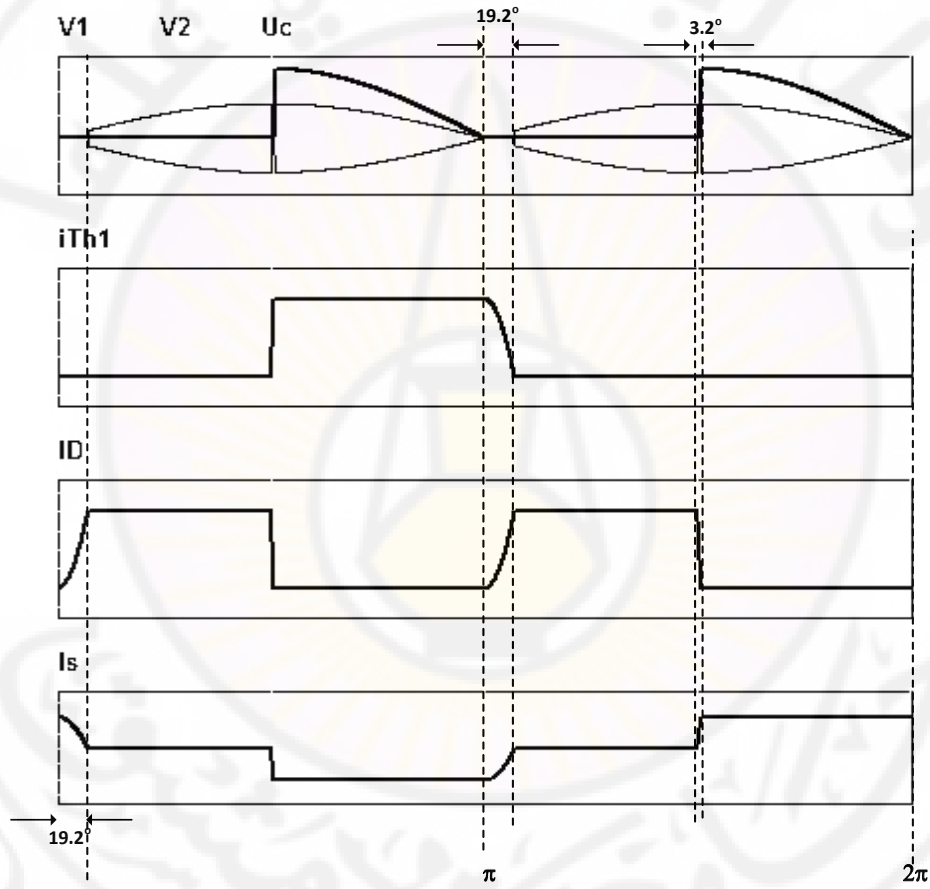
عند $t=0$ و $i=0$ ومنه نحسب التيار الدائر. وعليه فإن:

$$i = 180\sin\omega t$$

تتوقف ظاهرة التطابق عندما يصبح التيار المار $i=10A$ وذلك إذاً عند الزمن

$$\omega t = 3.2^\circ$$

الشكل (س-3-42) أدناه يوضح أشكال أمواج التيار المار في الثيرستور، الديود الحر، والمنبع.



الشكل (س-3-42) أمواج التيار المار في الثيرستور والديود الحر

ملاحظة:

بالعودة للشكل (ب-3-42) حيث تم رسم توتر الخرج في الجسر نصف المقاد. وكون الحمل تحريضي. هذا الشكل نرسمه بنفس الأسلوب حتى ولو لم يكن لدينا

ديود حر أي أن توصيل الثيرستور Th_1 و Th_2 يستمر لفترة $\frac{T}{q}$ من الدور، وكذلك

الديودات D_2 و D_4 . لذا لدى تحصيل التوتر، نجد أنه لا توجد مركبات توتر سالبة، والتيار المار في الحمل الذي اعتبرناه مستمر سوف يستمر خلال الفترة $(\pi+90)$ للمرور $(D_4 \text{ و } Th_1)$ أو $(D_2 \text{ و } Th_2)$. ويمثلان في الحقيقة الديود الحر، وهنا وكأن ممانعة المنبع (L) غير موجودة لأنه لا يمر بها تيار خلال تلك الفترة.

هذا يتم تأكيده بالشكل (س-42-3) عندما تم رسم تيار المنبع بدلالة تيار الثيرستور D و Th_1 وان التيار القادم من المنبع هو فقط التيار المار خلال فترة عمل (Th_1) و (D_2) و (Th_1) و (D_4) أي أننا نعود لنرى أن المسألة تحل بشكل آخر. وكان التطابق يحدث بين الثيرستور Th_1 والديود الحر عند وصل Th_1 وعند فصله لكن زمن التطابق مختلف.

- هذا كما يمكن القول أن $(D_4 \text{ و } Th_1)$ يستمران بالتوصيل لقصر الحمل والديود D يمرر تياراً يتزايد حتى يصل إلى تيار الحمل ثم يقف بعدها $(Th_1 \text{ و } D_4)$. وعند $(\pi+90)$ تأتي نبضة قدح لتوصل $(D_2 \text{ و } Th_2)$ يوصل لأن مصعده موجب وهنا يحدث تبديل بين تيار الديود الحر D والثيرستور Th_2 .

- في مجموعات التقويم عادة يتم التبديل بين الثيرستور Th_1 والثيرستور Th_2 حيث أن التيار من المفروض أن ينتهي من Th_1 ويبدأ في Th_2 ويكون عندئذ حسب الشكل، الطورين V_1 و V_2 في حالة عمل مشترك والتوتر المقوم خلال التطابق يساوي:

$$\frac{V_1 + V_2}{2} = 0$$

$$I_C = i_{S1} + i_{S2}$$

$$\frac{dI_C}{dt} = 0 = \frac{di_{s1}}{dt} + \frac{di_{s2}}{dt}$$

وعليه:

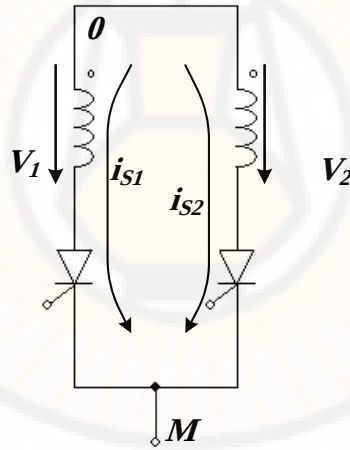
$$\frac{di_{s1}}{dt} = -\frac{di_{s2}}{dt}$$

وهذا يسمح لنا بكتابة المعادلة بأن:

$$120\sqrt{2}\sin\omega t = L \frac{di_{s2}}{dt}$$

الدارة المكافئة خلال التطابق :

الشكل (س-42-3) الدارة المكافئة خلال التطابق



مثال (45):

تم تطبيق توتر 150V، 50Hz على جسر تقويم ثلاثي الطور تفرعي بسيط .
ممانعة ومقاومة المنبع تساوي 1.2mH و 0.07Ω لكل طور. وبفرض أن هبوط
التوتر على الثيرستور الواحد 1.5V. عند تيار حمل 30A. احسب القيمة المتوسطة
للتوتر المقوم من أجل زوايا الإزاحة بالطور التالية: 0°، 30°، 60°.

الحل:

يوجد هنا ثلاثة هبوطات للتوتر:

a- هبوط توتر ناتج عن عناصر القدح $Th_1=1.5V$.

b- هبوط توتر ناتج عن مقاومات الدارة : $30 \times 0.07 = 2.1V$

c- هبوط توتر ناتج عن التطابق:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{2\pi} l_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$\Delta_1 U_C = \frac{3 \times 314 \times 1.2 \times 10^{-3} \times 30}{2\pi} = 5.4V$$

- تعطى القيمة المتوسطة لتوتر الخرج المقوم بدون هبوطات بالتوتر بالشكل:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$U_C = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} \times 150 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \alpha$$

$$U_C = 175.4 \cos \alpha$$

الآن باعتبار هبوطات التوتر وزوايا التأخير بالطور نجد:

$$\alpha=0 \text{ عند } U_C=166.4V \quad \alpha=30 \text{ عند } U_C=142.9V$$

$$\alpha=60 \text{ عند } U_C=78.7V$$

$$U_C=78.7V$$

مثال (46):

ممانعة منبع التغذية المقوم ثلاثي الطور تقرعي بسيط غير مفاد ومكون من حثية دخل 0.08 ومقاومة 0.01 بالقيم الواحدية.

ما هو توتر ثانوي المحول اللازم اقتراحه لتغذية حمل بتوتر 30V، 50A افرض أن هبوط التوتر على الديود 0.7V.

الحل:

حتى نتمكن من حساب هبوط التوتر الواقع على مقاومة المنبع وخلال التطابق يجب معرفة قيمة الممانعة والمقاومة بالهنري والأوم، لأنها أعطيت بالقيم الواحدية. لذا سنهمل مبدئياً هبوطات التوتر ونحسب التوتر الثانوي ثم يمكن تصحيح القيم باعتبار وجود هبوط التوتر.

- بإهمال ممانعة المنبع لدينا:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} - 0.7$$
$$30 = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} V_{eff} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 0.7$$

ومنه:

$$V_{eff} = 26.25V$$

- التيار المار بالحمل الفعال:

$$I = \frac{I_C}{\sqrt{q}}$$
$$I = \frac{50}{\sqrt{3}} = 28.87 A$$

من هذه القيم يمكن حساب المقاومة الأومية بدلالة القيم الواحدية:

$$R(\Omega) = R(p.u) \left(\frac{V}{I} \right)$$
$$R(\Omega) = 0.01 \frac{26.25}{28.87} = 0.0091 \Omega$$

والممانعة تساوي:

$$X = 0.08 \frac{26.25}{28.87} = 0.073 \Omega$$

- هبوط التوتر على المقاومة:

$$50 \times 0.0091 = 0.45V$$

- هبوط التوتر على الممانعة:

$$\Delta U = \frac{qX_L I}{2\pi} = \frac{3 \times 0.073 \times 50}{2\pi} = 1.74V$$

- نعيد حساب قيمة توتر المنبع بعد معرفة هبوطات التوتر شبه الفعلية:

$$30 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m - 0.7 - 0.45 - 2.74$$

ومنه:

$$V_{eff} = 28.12V$$

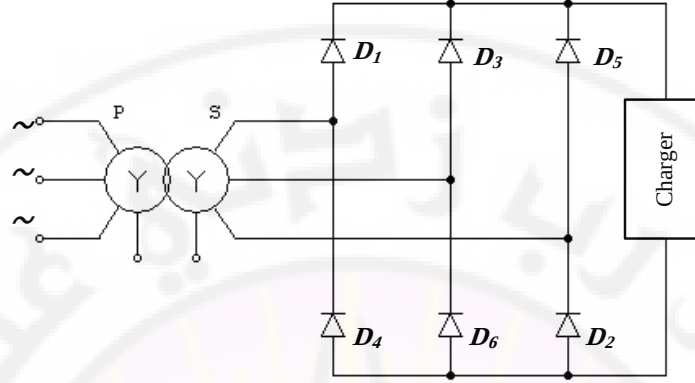
يمكن تدقيق قيم المقاومات والممانعة بعد معرفة هذا التوتر لكن القيم صحيحة والفروقات بسيطة. هذه القيم تعطي زاوية تطابق تساوي $\gamma=27^\circ$ عند تيار حمل 50A وتوتر منبع 28.12V. وممانعة منبع $X_L=0.078\Omega$.

مسألة (47):

تم تغذية جسر ثلاثي الطور غير مقاد مضاعف عند توتر خط فعال 220V باستطاعة قصر 75kVA. ارسم شكل أمواج التوتر في الحمل ومنبع التغذية عندما يكون تيار الحمل مستمر ويساوي:

(1) 80 أمبير.

(2) 140 أمبير.



الشكل (أ-43-3) جسر التقويم الثلاثي الطور مضاعف غير مقاد.

الحل:

- استطاعة القصر للمنبع أعطيت مساوية 75kVA. عند القصر هذا المنبع يعطى بالشكل:

$$\frac{75}{\sqrt{3}} / 220 = 196.8A$$

- ممانعة الدخل يمكن حسابها عندئذ بالشكل:

$$X = \frac{220}{\sqrt{3} \times 196.8} = 0.645 \Omega / \text{Phase}.$$

- من العلاقة المعروفة لحساب زاوية التطابق:

$$[\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \gamma)] = \frac{L\omega I_c}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

$$(1 - \cos \gamma) 220 \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.645 \times 80$$

ومنه فإن

$$\gamma = 48.1^\circ$$

- خلال التطابق يتزايد التيار في الديود الذي ينتقل لحالة التوصيل حسب العلاقة:

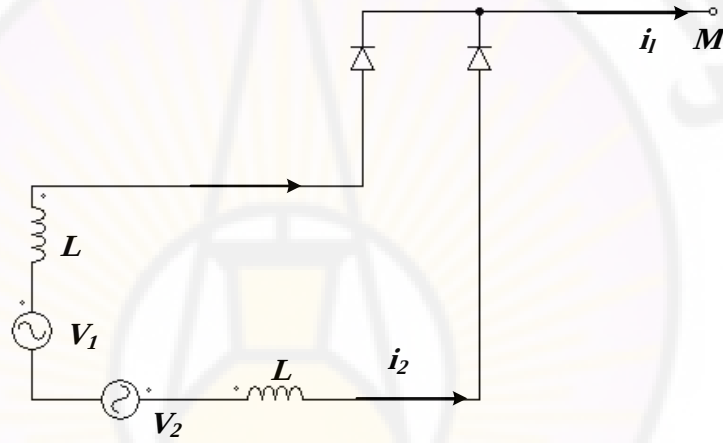
$$i = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L}(1 - \cos\omega t)$$

لدى حدوث التطابق لدينا:

$$I_1 = i_1 + i_2$$

$$\frac{dI_1}{dt} = 0 = \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt}$$

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{di_2}{dt}$$



الشكل (ب-43-3) الدارة المكافئة

عند التطابق في الدارة المبينة أعلاه لدينا بين M و O دارتين على التفرع

$$V_1 - L \frac{di_1}{dt} = V_2 - L \frac{di_2}{dt}$$

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{di_2}{dt} \text{ وبالنسبة للتيار } i_2 \text{ بما أن}$$

$$V_1 + L \frac{di_2}{dt} = V_2 - L \frac{di_1}{dt}$$

$$V_1 - V_2 = -2L \frac{di_2}{dt} = V_2 - V_1 = 2L \frac{di}{dt}$$

الفرق بين توتر طورين توتر الخط يساوي:

$$V_2 - V_1 = V_m \sqrt{3}$$

وعليه:

$$\sqrt{3}V_m \sin \omega t = 2L \frac{di_2}{dt}$$

$$di = \frac{\sqrt{3}V_m \sin \omega t \cdot dt}{2L}$$

تكامل هذا التيار وبالعودة للقيم الأولية حيث $i=0$ عند $t=0$ وثابت التكامل يكون مساوياً:

$$\frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L}$$

أي أن:

$$i = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L} (1 - \cos \omega t)$$

تنتهي فترة التطابق عند $i=I_l$ و $\omega t=\gamma$ و $\omega L=X$ وعليه

$$I_l = \frac{\sqrt{3}V_m}{2X} (1 - \cos \gamma)$$

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2I_l X}{\sqrt{3}V_m}$$

من العلاقات السابقة بعد أن تم تحديد معادلة التيار I يمكن رسم شكل هذا التيار كتابع للزمن t .

حيث:

$$i = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L} (1 - \cos \omega t)$$

$\sqrt{3}V_m$ = توتر الخط الأعظمي.

$$i = \frac{220\sqrt{2}}{2 \times 0.645} (1 - \cos \omega t)$$

$$i = 241(1 - \cos \omega t)$$

باستخدام العلاقة أعلاه يمكن رسم تيار العنصر خلال زمن التطابق.

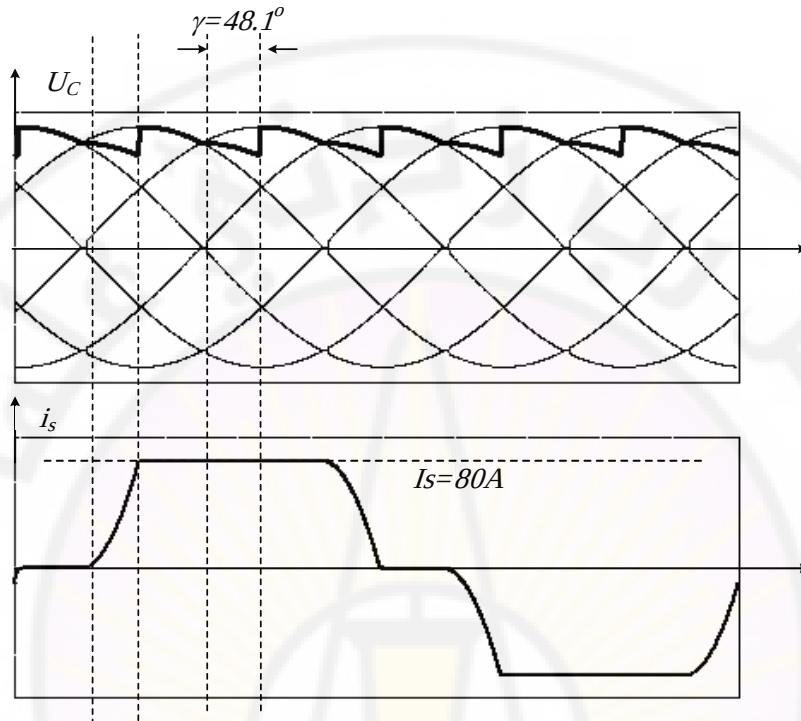
ii- لنحسب زاوية التطابق عند $I_L = 140A$ ومن العلاقة:

$$(1 - \cos \gamma) = \frac{L \omega I_L}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

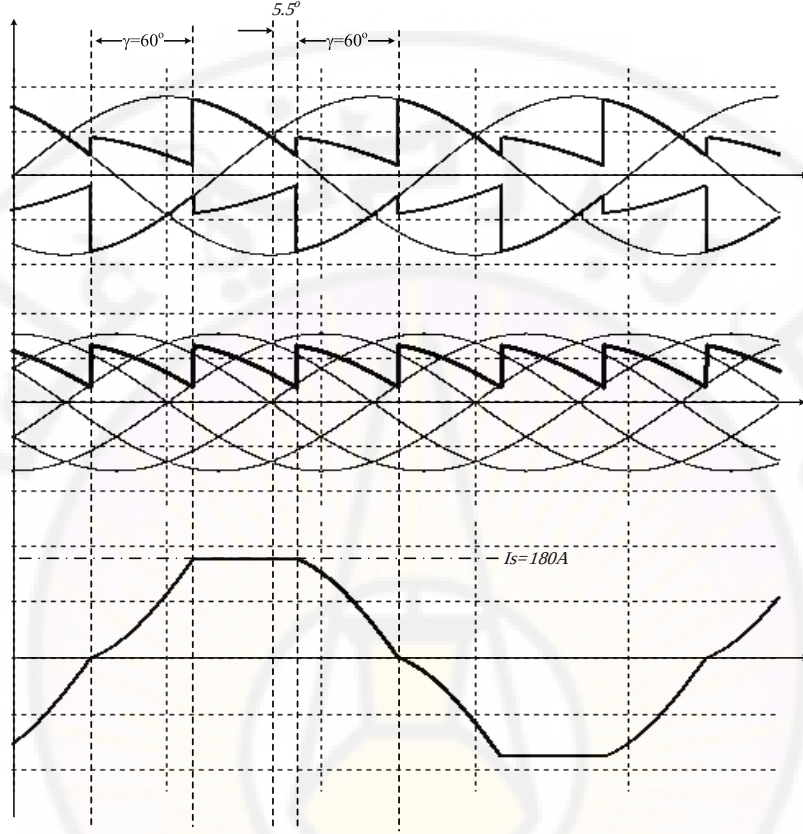
نحسب زاوية التطابق وتساوي $\gamma = 65.2^\circ$ أي أن التطابق أكبر من 60 درجة ولن يتوقف الديود قبل بدء فترة تطابق ثانية في الجسر وهو الذي يحدث في عناصر المجموعة ذات الاتجاه السالب. والشكل (س-43-3) و الشكل (ع-43-3) يوضحان أشكال التوترات ($V_M - V_0$) و ($V_N - V_0$) نرى أنه قبل انتهاء فترة التطابق في المجموعة ذات الاتجاه الموجب، يبدأ التطابق بين عنصرين في الاتجاه السالب، وبالتالي سينخفض التوتر بشكل كبير. كما أنه سيحدث تأخير في الطور تلقائي يمكن حسابه من العلاقة:

$$0.645 \times 140 = 220\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{q} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)]$$

$\gamma = 60^\circ$, $WL = X = 0.645$ ومنه فإن $\alpha = 5.5^\circ$.



الشكل (س-43-3) التوترات وتيار الثانوي مع إظهار التطابق



الشكل (ء-43-3) التوترات وتيار الثانوي مع إظهار التطابق

مثال (48):

طبق توتر 220V من منبع توتر ثلاثي الطور ذي ممانعة Reactance $(0.24\Omega/Ph)$ على جسر ثلاثي الطور مضاعف نصف مقاد. بإهمال هبوط التوتر الناتج عن مقاومات الدارة وعن عناصر التقويم؟ احسب التوتر المتوسط المقوم المطبق على الحمل. وارسم شكل أمواج توتر الخرج وكذلك تيار التغذية من أجل تيار حمل مستمر 40A وزاوية إزاحة بالطور عند القدح قدرها:

(1) 45° ، (2) 90° .

الحل:

(1) تعطى زاوية التطابق في حال كون المجموعة غير مقادة بالعلاقة:

$$1 - \cos \gamma = \frac{I_2 \omega I_C}{V_m \sin \frac{\pi}{q}} = \frac{2 \times I_L}{\sqrt{3} \times V_m}$$

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2 \times 40 \times 0.24}{220\sqrt{2}}$$

حيث أن $\sqrt{3}V_m$ هو توتر الخط الأعظمي.
ومنه فإن

$$\gamma = 20.2^\circ$$

- العلاقة التالية تساعد في معرفة قيمة التيار خلال فترة التطابق.

$$i = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L}(1 - \cos \omega t)$$

ومنه:

$$i = \frac{220\sqrt{2}}{2 \times 0.24}(1 - \cos \omega t)$$

$$i = 648(1 - \cos \omega t)$$

- العلاقة التالية تعطي زاوية التطابق γ في حال وجود إزاحة بالطور لجسور
الثيرستور وعليه:

$$I_L = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)]$$

$$40 = \frac{220\sqrt{2}}{2 \times 0.24} [\cos 45 - \cos(45 + \gamma)]$$

بحل العلاقة أعلاه نجد أن $\gamma=4.8^\circ$. أي أن المجموعة الثيرستورية ذات الاتجاه الموجب في جسر التقويم المضاعف تعمل عند زاوية إزاحة بالطور 45° ، وزاوية تطابق 4.8° . بينما رأينا أعلاه أن المجموعة ذات الاتجاه السالب (غير المقادة) تعمل عند زاوية تطابق وصلت إلى (20.2°) . وهي أكبر بكثير من زاوية التطابق للمجموعة الثيرستورية.

- إن تيار التطابق (التيار المار خلال فترة التطابق) يعطى بالعلاقة:

$$i = \frac{\sqrt{3}V_m}{2\omega L} [\cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha)]$$

وهو عادة يتغير بشكل خطي خلال فترة التطابق، ويمكن رسم التيار خلال التطابق بخط مستقيم يصل بين بداية فترة التطابق ونهايته لذا من السهل تحديد القيمة في البداية والنهاية.

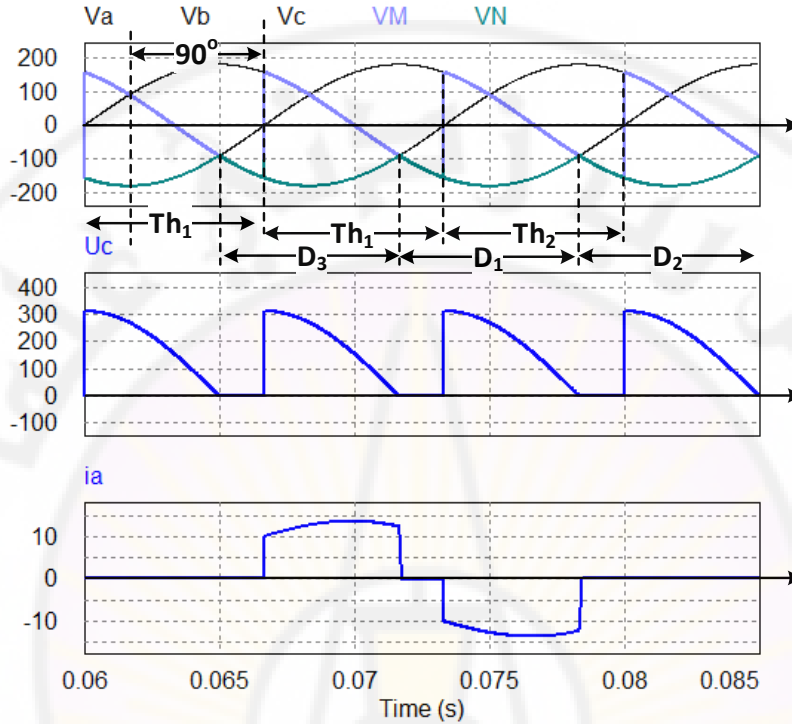
- تحسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج عند وجود إزاحة بالطور وتطابق في حال الجسور نصف المقادة، وطالما أن كل نصف جسر يعطي توتراً مختلفاً عن النصف الآخر. لذا فإن القيمة المتوسطة هي دائماً فرق التوتر بين:

$$V_M - V_N = (V_M - V_0) - (V_N - V_0)$$

$$V_{av} = \frac{3 \times 220\sqrt{2}}{\sqrt{3} \times 2\pi} \sin \frac{\pi}{3} [(1 + \cos 20.2^\circ) + (\cos 45^\circ + \cos(45^\circ + 4.8^\circ))]$$

$$V_{av} = 244.4V.$$

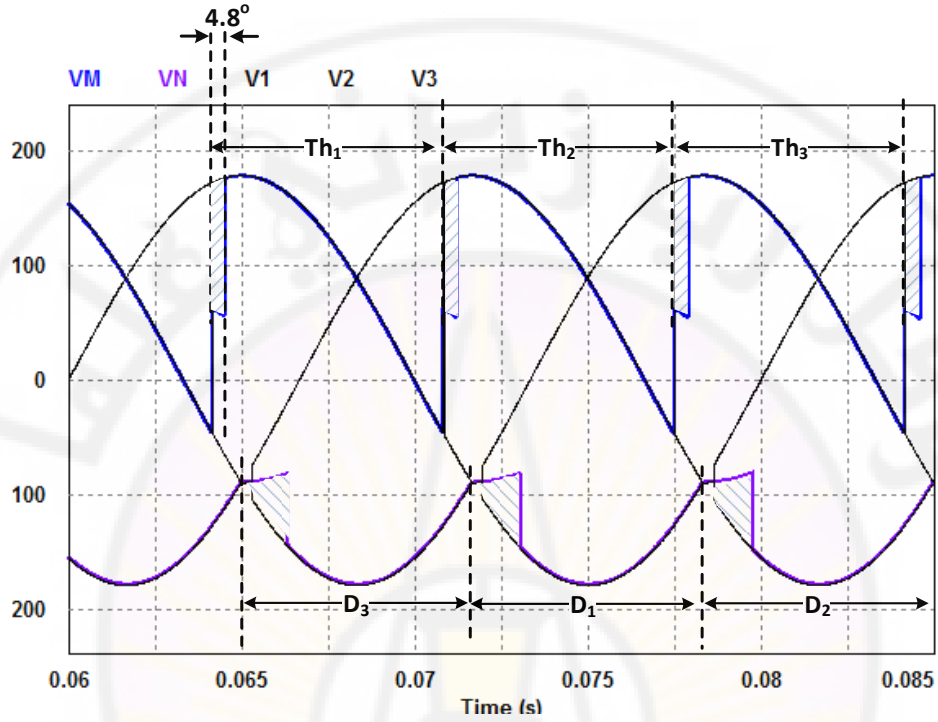
ii- لدى كون زاوية بالطور $\alpha=90^\circ$. وحسب الشكل (آ-44-3) أعلاه نلاحظ أن التوتر المتوسط المقوم يمر بقيم تساوي الصفر. وخلال تلك الفترات يعمل عنصر تقويم مقاد مع ديود على نفس موجة توتر الدخل وبالتالي فإن محصلة التوتر ستكون



الشكل (آ-44-3) استنتاج التوتر المقوم، وتيار الطور

مساوية للصفر، أي عند عمل (D_1', Th_1) بأن واحد فإنهم سيعملان على قصر الحمل، وكذلك خلال فترات أخرى سيعمل (D_2', Th_2) . تيار الحمل إذا سيمر بهذه العناصر التي تمثل ديوداً حراً.

- حدوث تطابق بين عناصر التقويم المقادة D_1' و D_2' سيحدث عند كون توتر الخرج مساوياً للصفر، كما أن حدوث التبديل بين العناصر الثيرستورية بعد إزاحة $\alpha=90^\circ$ لن يكون قائماً لأن احتمال أن يكون Th_1 قد فصل قبل بدء قدح Th_2 ، لذا لا يمكن أن يحدث تبديل وتطابق بين عناصر المجموعة ذات الاتجاه الموجب.



الشكل (ب-3-44) آلية التطابق في الاتجاه الموجب والسالب غير المتناظرة

مثال (49):

بين عامل الاستطاعة في الدخل لجسر التقويم، وعامل التعرّيج لتيار التغذية في حال كون:

1- جسر التقويم أحادي الطور غير مقاد.

2- جسر تقويم ثلاثي الطور غير مقاد.

أهمّل ظاهرة التطابق وهبوطات التوتر على عناصر التقويم، واعتبر أن تيار الحمل مستمر.

الحل:

1- تيار الدخل في الجسر الأحادي الطور عبارة عن أمواج مربعة ذات قيمة فعالة I_L والقيمة المتوسطة لتوتر الخرج لجسر أحادي الطور غير مقاد يعطى بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \times 2}{\pi} \times \sqrt{2} \frac{V_{eff}}{2} \times 1$$

$$U_{av} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{pheff}$$

- عامل الاستطاعة يعطى بالعلاقة:

$$F.P = \frac{\text{الاستطاعة}}{\text{المتوسطة في الخرج}} = \frac{V_{eff} I_{eff}}{\frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} I_C} = \frac{U_{av} I_C}{q V I_s} = \frac{q \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_C \sqrt{\frac{2}{q}}}{q \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_C \sqrt{\frac{2}{q}}}$$

$q=2$ لأن الجسر أحادي الطور وبالاختصار نجد:

$$F.P = \frac{2}{\pi} \sqrt{q} \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \times 1 = 0.9$$

أي أن عامل الاستطاعة في الجسر الأحادي الطور هو 0.9.

2- في حالة الجسر الثلاثي الطور، تيار الدخل ذي قطع مربعة وقيمته الفعالة تساوي:

$$I_{eff} = \frac{(I_L^2 + I_L^2)^{\frac{1}{2}}}{3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_L = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_L$$

- القيمة المتوسطة كما نعلم تعطى بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{2 \times 3}{\pi} \times \frac{\sqrt{3}}{2} V_m$$

- $V_m = \sqrt{2}V_{eff}$ وعليه نجد:

$$F.P = \frac{U_{av}.I}{\sqrt{3}(V_{Line})(I_{Line.eff})} = \frac{\frac{2 \times 3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_m \cdot I}{\sqrt{3} \left(\frac{V_m \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I \right)} = \frac{3}{\pi} = 0.955$$

مثال (50):

ارسم عامل الاستطاعة لتيار التغذية كتابع للتوتر المتوسط في الخرج عندما تتغير زاوية الإزاحة بالطور وذلك من أجل جسر أحادي الطور عندما تكون عناصر الجسر أولاً: كلها مقادة. ثانياً: نصف مقادة. أهمل التطابق وباقي المفاهيم، واعتبر تيار الحمل مستمر.

الحل:

1- في الجسر الأحادي الطور المقاد، يعطى توتر الخرج بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$V_m = \sqrt{2}V_{eff}$ ، $q = 2$ توتر الطور الواحد الأعظمي.

$$U_{av} = \frac{2 \times 2}{\pi} \sqrt{2} \frac{V_{eff}}{2} \cdot 1 \cdot \cos \alpha$$

$$U_{av} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{eff} \cos \alpha$$

- عامل الاستطاعة للجسر الأحادي الطور كما سبق واستنتجناه في المسألة السابقة يعطى بالعلاقة:

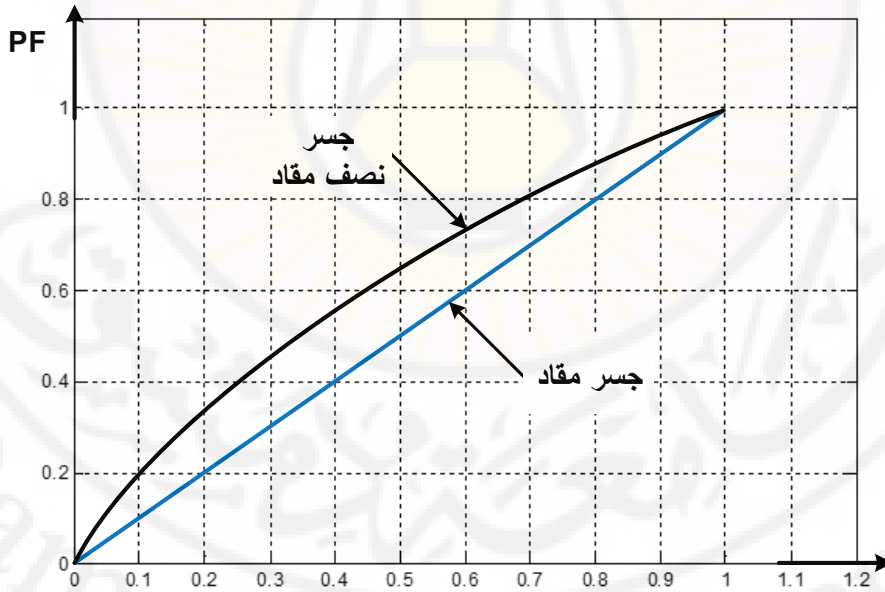
$$F.P = \frac{2}{\pi} \sqrt{q} \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha$$

$F.P = \cos \alpha \times$ عامل الاستطاعة بدون إزاحة

$$F.P = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \cos \alpha$$

- بفرض أن القيمة المتوسطة لتوتر الخرج عند الزاوية $\alpha = 0$ يعادل الواحد الصحيح فإن القيم ستكون تابع لقيمة $(\cos \alpha)$. وكان تغير عامل الاستطاعة كتابع لـ $(\cos \alpha)$ مساوٍ لتغير القيمة المتوسطة للتوتر المقوم بالقيم الواحدة.

- في الشكل (آ-45-3) نرى أنه لدى تدريج محور السينات بقيم التوتر المتوسط الواحدي، والمحور الشاقولي بقيم عامل الاستطاعة أن التغيرات خطية وتابعة لـ $\cos \alpha$.



الشكل (آ-45-3) تغيرات الاستطاعة كتابع لتوتر الخرج وزاوية الإزاحة

2- إن تيار الدخل يستمر من (α إلى π) خلال نصف الدور الموجب، وكذلك خلال النصف السالب يستمر من ($\pi + \alpha$ إلى 2π). باقي الدور يمر التيار من الحمل عبر الديود الحر ولا يمر في ملفات الثانوي، لذا لا يتم استجراره من المنبع. وعليه يمكن حساب القيمة الفعالة لتيار الدخل بالشكل:

$$I_{eff} = \left(\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_L^2 d\theta \right)^{\frac{1}{2}} = I_L \left(\frac{\pi - \alpha}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- نعلم أيضاً أن القيمة المتوسطة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة للمقوم نصف المقدار

$$U_{av} \frac{\sqrt{2}V_{eff}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

- عامل الاستطاعة في هذه الحالة يساوي:

$$F.P = \frac{\frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha) \cdot I_L}{q \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot I_L \cdot \left(\frac{\pi - \alpha}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$F.P = \frac{\sqrt{2}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \left(\frac{\pi}{\pi - \alpha} \right)^{\frac{1}{2}}$$

باعتبار أن المقدار $V_{eff}=1$ قيمة واحدة وعند $\alpha=0$ فإنه سيكون لدينا المقدار:

$$1 = V_{eff} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

وعندئذ عامل الاستطاعة F.P سيكون تابع لتغيرات $\cos \alpha$ كما في الحالة الأولى ويمكن رسم هذه التغيرات حسب الشكل (آ-45-3) الوارد أعلاه. لدى تغيير α من (0 إلى 180°).

مثال ((51):

احسب عامل الاستطاعة لتيار التغذية لجسر ثلاثي الطور مضاعف عندما يقدم هذا الجسر نصف التوتر المتوسط الأعظمي، وذلك باعتبار أن الجسر:

1- مقاد بشكل كامل.

2- نصف مقاد.

الحل:

1- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج في جسر التقويم التفرعي الثلاثي الطور المضاعف يعطى بالشكل:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$U_{av} = \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} V_{eff} \frac{\sqrt{3}}{q} \cdot \cos \alpha = \left(\frac{3}{\pi} \right) \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} V_{eff} \cos \alpha$$

عند $\cos \alpha = 0.5$

- التيار الفعال في الابتدائي يساوي:

$$I_{eff} = \frac{I_L \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$F.P = \frac{U_{av} \cdot I_L}{3 V_{eff} I_{eff}} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times 0.5 \times \sqrt{3}}{3 \times \pi \times \sqrt{2}} = 0.477$$

2- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج لجسر ثلاثي الطور نصف مقاد يعطى بالعلاقة

عند $\cos \alpha = 0$ لأن الزاوية $\alpha = 90^\circ$

$$\begin{aligned}
 U_{av} &= \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{2} (1 + \cos \alpha) \\
 &= \frac{2 \times 3}{\pi} \sqrt{2} V_{eff} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha) \\
 &= \left(\frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{2\pi} \right) V_{eff} (1 + \cos \alpha)
 \end{aligned}$$

عند الزاوية $\alpha = 90^\circ \leftarrow \cos \alpha = 0$

- التيار الفعال في الابتدائي يعطى بالعلاقة $I_{eff} = \frac{I_L}{\sqrt{2}}$ لان التيار لا يستمر بالمرور سوى 90° .
وعليه فإن عامل الاستطاعة:

$$F.P = \frac{3 \times \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times \sqrt{2}}{3 \times 2\pi} = 0.551$$

مثال (52):

تم ربط جسر تقويم مقاد أحادي الطور إلى منبع بتوتر 220V، ارسم شكل موجة توتر الخرج عند زاوية تقدم $\beta = 45^\circ$ مع تطابق $\gamma = 10^\circ$. ما هي القيمة المتوسطة لتوتر الخرج إذا كان هبوط التوتر على الثيرستور الواحد 1.5V. افرض أن التيار في الحمل مستمر.

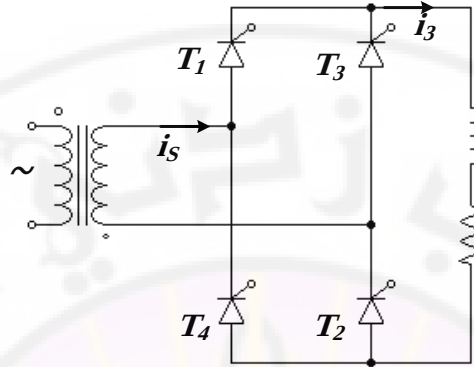
ارسم التوتر العكسي على أحد الثيرستورات.

الحل:

تعطى القيمة المتوسطة لتوتر الخرج بالشكل:

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \int_{145}^{315} 240\sqrt{2} \sin \theta d\theta$$

$$U_{av} = -164.9V$$



الشكل (آ-46-3) دائرة الاستطاعة

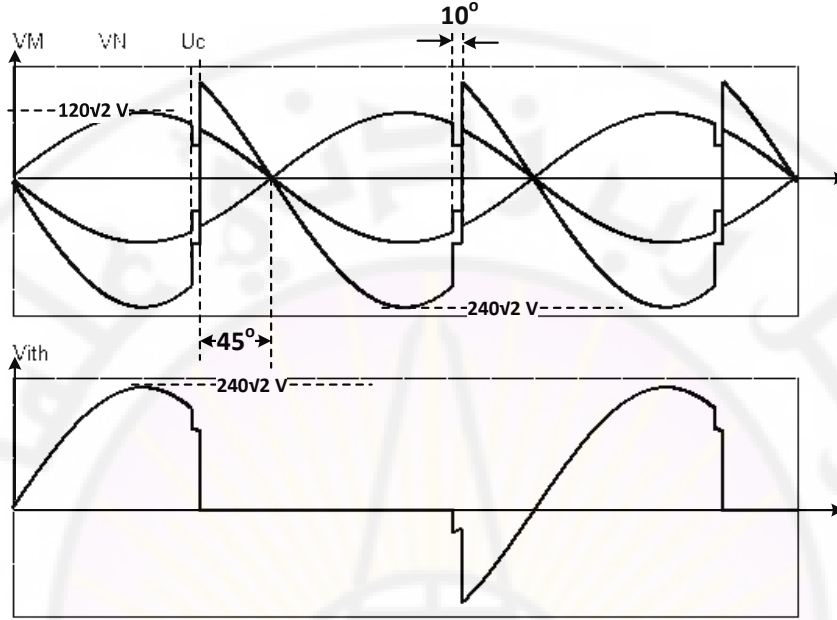
أو من العلاقة:

$$U_{av} = \frac{2 \cdot q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} [\cos \beta + \cos(\beta - \gamma)]$$

$$U_{av} = \frac{2 \times 2}{\pi} \cdot \frac{240}{2} \cdot \sqrt{2} [\cos 45 + \cos(35)] = -164.9V$$

- هذا المنبع إذا راعينا هبوط التوتر على العناصر سوف يعطي:

$$164.9 + 2 \times 1.5 = 167.9V$$

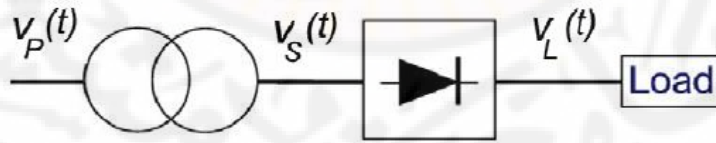


الشكل (ب-46-3) التوترات المقومة والتوتر العكسي على الثيرستور الأول

مثال 53 - دراسة نظرية لخواص وميزات أنظمة التقويم عند الأحمال الأومية :

1- بفرض وجود عناصر تقويم مثالية ، وعدم حدوث تطابق ، وحمل مكون من

مقاومة صرفة ، الشكل (47) أدناه يمثل ذلك :



الشكل (47) دائرة مكافئة لمنبع توتر متناوب ومقوم وحمل

التوتر المستمر على الحمل هو القيمة المتوسطة خلال الدور T، وتوتر الخرج يمكن أن يحسب بالعلاقة :

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt. \quad (1)$$

بالمقابل من الممكن تحديد قيمة توتر الحمل الفعال R.M.S باستخدام العلاقة :

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_L^2(t) dt}. \quad (2)$$

نسبة هذين التوترين تعطي قيمة ما يسمى عامل الشكل ((FF) Form Factor

$$FF = \frac{V_L}{V_{DC}}. \quad (3)$$

هذا العامل جداً مهم ،كونه مؤشر للدلالة على مردود عملية التقويم .بفرض أن الحمل كان مقاومة صرفة ،يمكن تحديد تيار الحمل كتابع للزمن كما هو مبين أدناه، كما يمكن تحديد قيمة تيار الحمل المستمر حسب العلاقات 4،5،6 الواردة ادناه :

$$i_L(t) = \frac{v_L(t)}{R_L} \quad (4)$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} \quad (5)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}. \quad (6)$$

نسبة التقويم والمعروفة بمردود التقويم يعبر عنها بالعلاقة

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_L + P_D} \quad (7)$$

حيث أن الاستطاعات الواردة في العلاقة تعطى بالشكل :

$$P_{DC} = V_{DC} \cdot I_{DC} \quad (8)$$

$$P_L = V_L \cdot I_L \quad (9)$$

$$P_D = R_D \cdot I_L^2 \quad (10)$$

العلاقة (10) هذه الاستطاعة تدل على المفايد في جسر التقويم والمقاومة المستخدمة هي المقاومة المكافئة للمقوم . بالتعويض في العلاقة (7) ومعالجة النتائج نجد أن مردود النظام يحسب كما يلي :

$$\eta = \frac{V_{DC} \cdot I_{DC}}{V_L \cdot I_L + R_D \cdot I_L^2} = \frac{V_{DC}^2}{V_L^2} \cdot \frac{1}{1 + (R_D/R_L)} \quad (11)$$

وذلك بفرض عناصر تقويم مثالية بدون مفايد ومقاومة مكافئة تساوي الصفر . وعليه :

$$\eta = \left(\frac{V_{DC}}{V_L} \right)^2 = \left(\frac{1}{FF} \right)^2 \quad (12)$$

عامل التعرّيج Ripple Factor (RF) عامل هام لتوصيف نوعية التوتر المقوم ، وهو يمثل مدى نعومة التوتر المقوم الناتج عن الجسر . يعبر عن عامل التعرّيج بالنسبة بين المركبات المتناوبة المتشكلة على الحمل والتوتر المتوسط الناتج عن الجسر كما هو في العلاقة أدناه :

$$RF = \frac{\sqrt{V_L^2 - V_{DC}^2}}{V_{DC}} = \sqrt{FF^2 - 1} \quad (13)$$

عامل الاستخدام للمحول المغذي للجسر يعطى بالعلاقة :

$$TUF = \frac{P_{DC}}{\text{Effective Transformer VA Rating}} = \frac{P_{DC}}{\frac{VA_p + VA_s}{2}} \quad (14)$$

القيم VAP and VAS تدل على الاستطاعة الظاهرية في الثانوي والابتدائي ولتحسين عمل الجسور وزيادة استقرارها وتحسين شكل التوتر المقوم والاستفادة القصوى من محول التغذية، نرفع من عدد الأطوار إلى طورين أو ثلاثة وبذلك تتحسن مواصفات العمل للجسر والمحول والحمل .

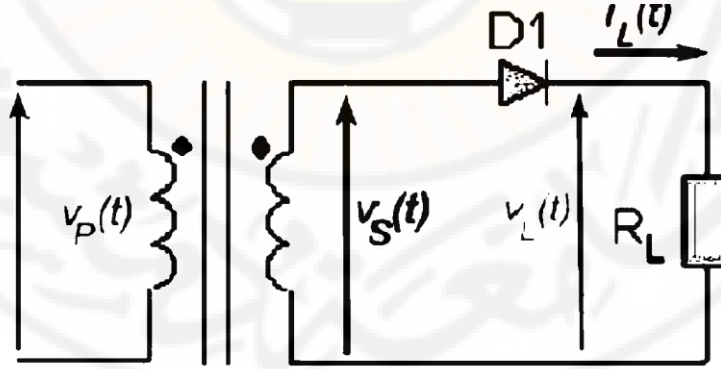
2- بفرض أنه لدينا مقوم نصف موجة ذي توتر دخل متناوب جيبي ذي تردد زاوي يعطى بالعلاقة المعروفة :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} , \quad (15)$$

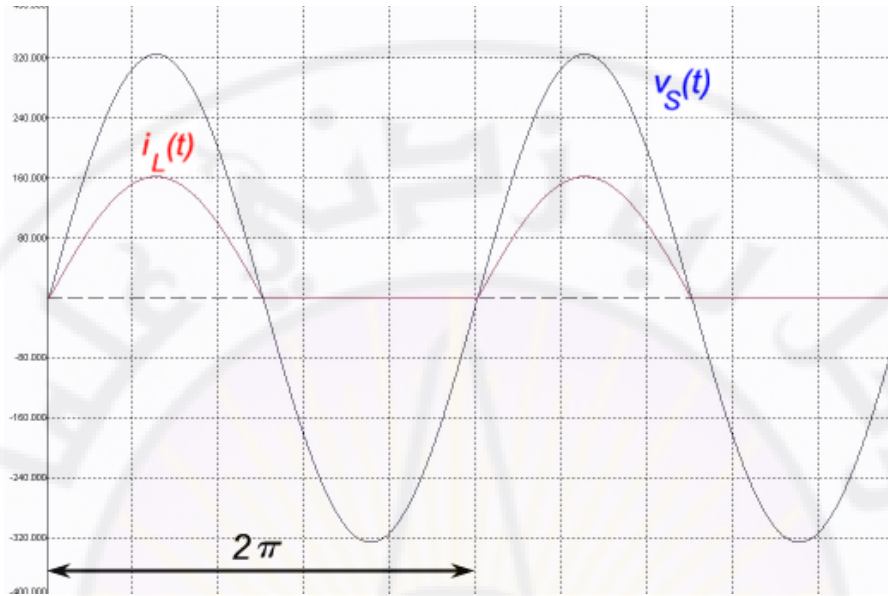
ومعادلة التوتر تعطى بالشكل :

$$v(t) = V \cdot \sin(\omega \cdot t) . \quad (16)$$

الشكل (48) أدناه يعطي دائرة المقوم غير المقاد (بدون إزاحة بالطور)، كما يظهر المنحني أدناه موجة التوتر المتناوب وتيار الحمل المار :



الشكل (48) دائرة الاستطاعة لمقوم وحيد وحمل اومي



الشكل (49) منحنى التوتر المتناوب وشكل تيار الحمل الأومي المار

القيمة المتوسطة الناتجة عن هذا الجسر البسيط تعطى بالعلاقة :

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_S \sin(\omega t) dt = \frac{V_S}{\pi} \quad (17)$$

القيمة الفعالة لتوتر الحمل تساوي إذاً :

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_L^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_S^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{V_S}{2} \quad (18)$$

تيار الحمل المستمر يساوي :

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{V_S}{\pi \cdot R_L} \quad (19)$$

تيار الحمل الفعال يساوي :

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_S}{2 \cdot R_L} = I_S \quad (20)$$

عامل الشكل للتوتر يساوي :

$$FF = \frac{V_L}{V_{DC}} = \frac{\pi}{2} \quad (21)$$

المردود :

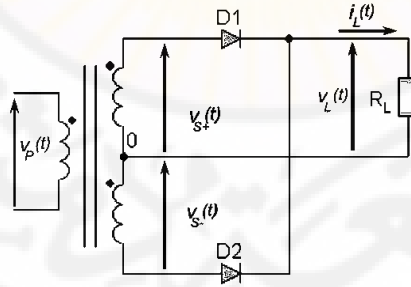
$$\eta = \left(\frac{1}{FF} \right)^2 = \frac{4}{\pi^2} = 0.405 \quad (22)$$

عامل التعرّيج يساوي :

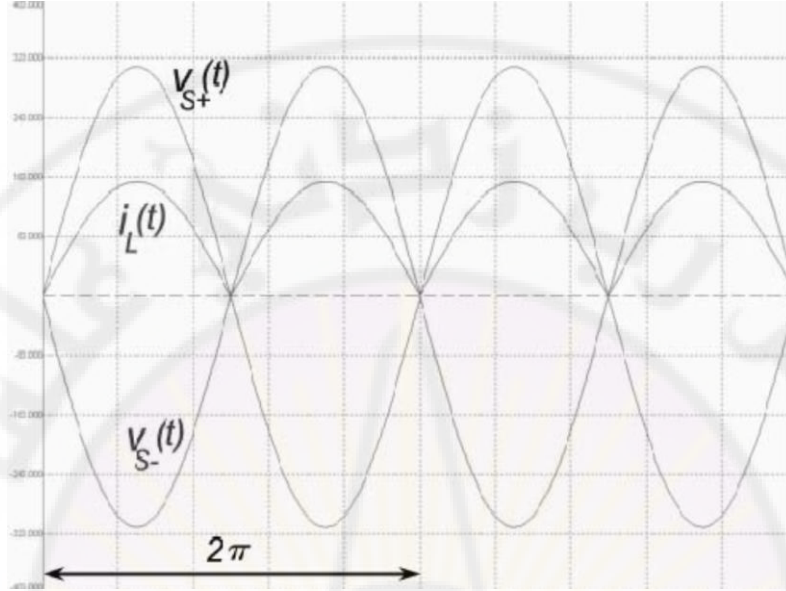
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = 1.21. \quad (23)$$

عامل الاستخدام للمحول يساوي 0.323 وهي قيمة منخفضة :
 $TUF = 0.323$ (or $TUF = 0.286$ according to some authors). (24)

3- إذا أخذنا جسر تقويم موجة كاملة نصف جسري ،نطلق عليه مضاعف التردد او تقويم تفرعي بسيط أحادي الطور ،حسب الدارة المبينة أدناه والذي يوضح توصيل وتركيب الجسر ،والمنحني يعطي شكل التوتر المقوم وتيار الحمل :



الشكل (50) دائرة الاستطاعة لمقوم وحيد الطور ذي نقطة وسط (مضاعف التردد)



الشكل (51) منحنى توتر الدخل وتيار الحمل المار

القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عن هذا الجسر، والقيمة الفعالة لتوتر الحمل، وتيار الحمل المتوسط والفعال، وعامل الشكل ومردود النظام مبين حسب العلاقات التالية، نلاحظ تحسن التوتر وباقي العوامل :

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_S \sin(\omega t) dt = \frac{2 \cdot V_S}{\pi} \quad (26)$$

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_L^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_S^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{V_S}{\sqrt{2}} \quad (27)$$

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{2 \cdot V_S}{\pi \cdot R_L} \quad (28)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_S}{\sqrt{2} \cdot R_L} \quad (29)$$

$$FF = \frac{V_L}{V_{DC}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1.11 \quad (30)$$

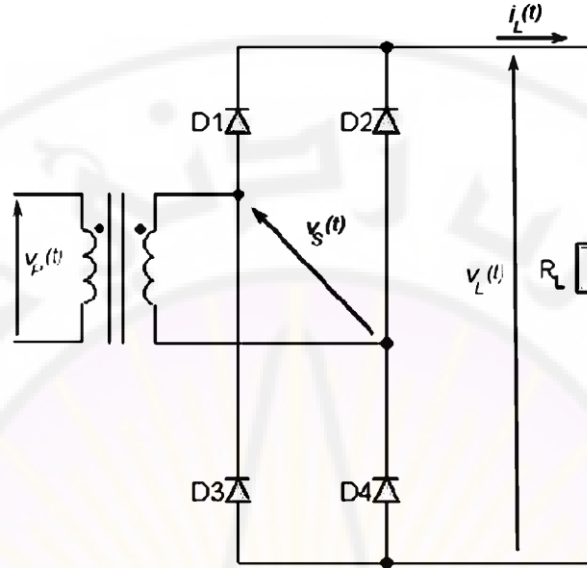
$$\eta = \left(\frac{1}{FF} \right)^2 = 0.81 \quad (31)$$

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = 0.483. \quad (32)$$

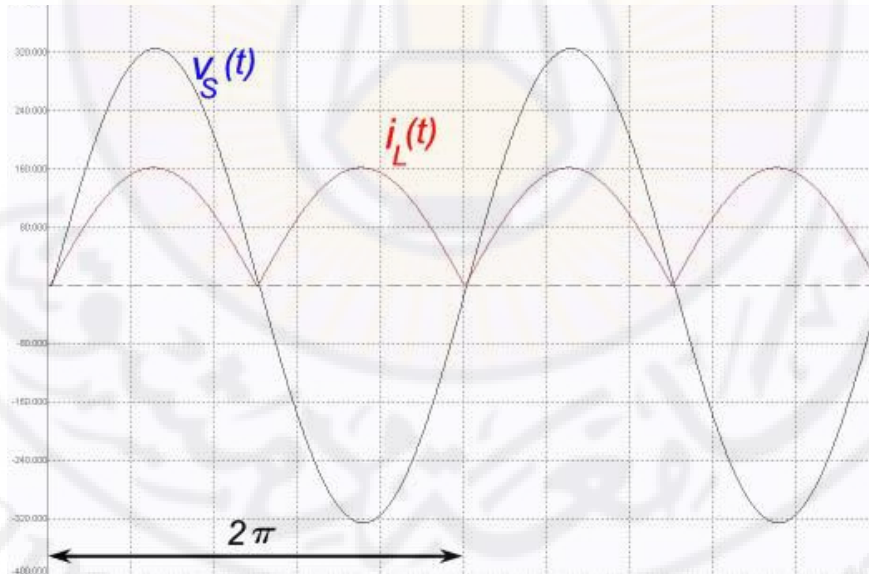
$$TUF = 0.671 \text{ (or } TUF = 0.572 \text{ according to some authors).} \quad (33)$$

4- إذا أخذنا جسر تقويم أحادي الطور غير مقاد كامل ، موجة كاملة ، (جسر أحادي الطور تفرعي مضاعف)، وبتطبيق العلاقات السابقة يمكن الحصول على أية نتيجة مطلوبة ، والشكل أدناه يوضح دائرة الجسر وتوتر الخرج وتيار الحمل ، نلاحظ أن عامل الاستخدام للمحول قد تحسن بشكل ملموس ووصل للقيمة 0.831:

$$TUF = \frac{V_{DC} \cdot I_{DC}}{\frac{V_s}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_s}{\sqrt{2}}} = 0.813. \quad (35)$$



الشكل (51) دائرة الاستطاعة لمقوم جسري وحيد الطور وحمل أومي



الشكل (52) منحنى توتر الدخل وتيار الحمل المار

الجدول التالي رقم (1) يوضح كل القيم التي تم حسابها للجسور ويلخص النتائج لمقوم نصف موجة وذوي نقطة وسط وجسر احادي الطور :

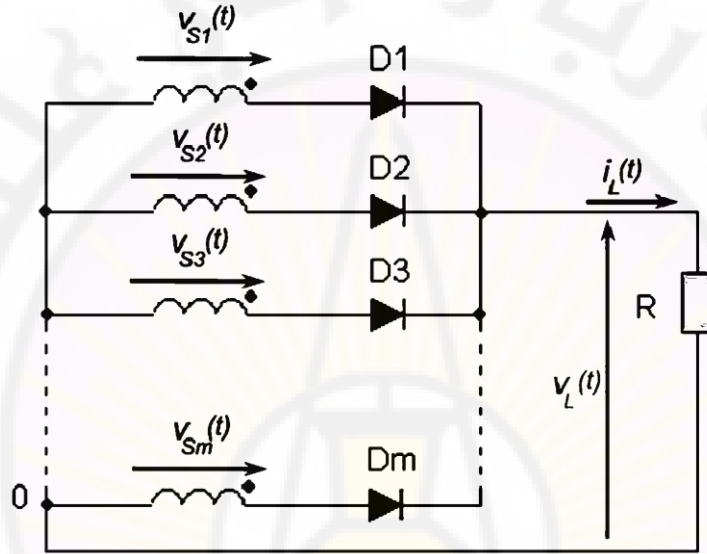
Table 1: Performance parameters for single-phase topologies

	Half-wave	Centre-tap	Bridge
Peak repetitive reverse voltage V_{RRM}	πV_{DC}	πV_{DC}	$\pi/2 V_{DC}$
r.m.s. input voltage per transformer leg V_{Srms}	$2.22 V_{DC}$	$1.11 V_{DC}$	$1.11 V_{DC}$
Diode average current $I_{F(AV)}$	I_{DC}	$0.5 I_{DC}$	$0.5 I_{DC}$
Diode peak repetitive forward current I_{FRM}	$\pi I_{F(AV)}$	$\pi/2 I_{F(AV)}$	$\pi/2 I_{F(AV)}$
Diode r.m.s. current $I_{F(rms)}$	$\pi/2 I_{DC}$	$\pi/4 I_{DC}$	$\pi/4 I_{DC}$
Form factor of diode current – $I_{F(rms)}/I_{F(AV)}$	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$
Form factor – FF	1.57	1.11	1.11
Rectification ratio – η	0.405	0.81	0.81
Ripple factor – RF	1.21	0.482	0.482
Transformer rating primary VA	$2.69 P_{DC}$	$1.23 P_{DC}$	$1.23 P_{DC}$
Transformer rating secondary VA	$3.49 P_{DC}$	$1.75 P_{DC}$	$1.23 P_{DC}$
Transformer utilization factor – TUF	0.324	0.671	0.813
Output ripple frequency f_R ($f_{mains} = 50$ Hz)	f_{mains}	$2 f_{mains}$	$2 f_{mains}$

5- يمكن دراسة جسور التقويم الثلاثية الطور البسيطة والمضاعفة واستنتاج القيم التي اوردناها سابقاً والشكل ادناه يوضح دائرة الاستطاعة لجسر تقويم ثلاثي الطور بسيط، وسوف نعرض تطبيق العلاقات السابقة وحساب التوتر المتوسط، والفعال للحمل، والتيارات وعوامل الشكل والمردود وعامل الاستخدام للمحول :

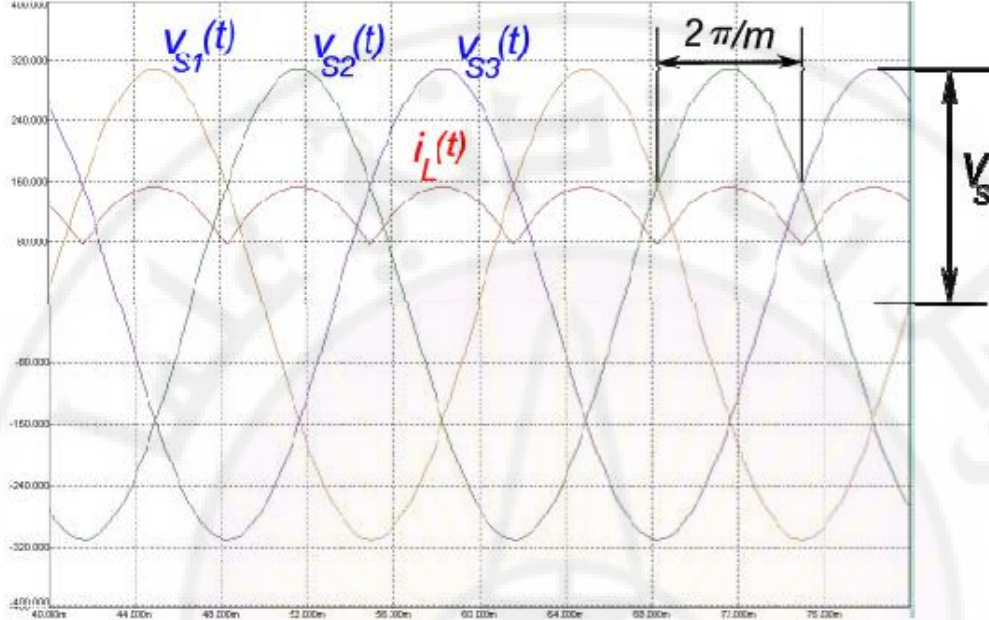
$$V_{DC} = \frac{V_s}{2 \cdot \pi} \int_{-\frac{\pi}{m}}^{\frac{\pi}{m}} \cos(\omega t) dt = V_s \cdot \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi}{m}\right)}{\frac{\pi}{m}} \right], \quad (37)$$

$$V_L = \sqrt{\frac{V_S^2}{2 \cdot \pi} \int_{-\frac{\pi}{m}}^{\frac{\pi}{m}} \cos^2(\omega t) dt} = V_S \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{m}\right)}{\frac{2 \cdot \pi}{m}} \right]} \quad (38)$$



الشكل (53) دائرة الاستطاعة لمقوم تفرعي بسيط متعدد عدد الأطوار

$$FF = \frac{V_L}{V_{DC}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{\sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{m}\right)}{\frac{2 \cdot \pi}{m}} \right]}}{\frac{\sin\left(\frac{\pi}{m}\right)}{\frac{\pi}{m}}} \quad (39)$$



الشكل (54) توترات الأطوار الثلاث لمنبع ثلاثي الطور وتيار الحمل للمقوم الثلاثي الطور

$$m \rightarrow \infty \Rightarrow FF \rightarrow 1 \Rightarrow RF \rightarrow 0. \quad (40)$$

الجدول التالي رقم (2) يعطي نتائج الحساب لعدة جسر بعدد أطوار m متعدد 6 أو 12 أو 24

	$m = 6$	$m = 12$	$m = 24$
V_{DC}/V_s	0.955	0.989	0.997
V_L/V_s	0.956	0.989	0.997
Form factor (V_L/V_{DC})	1.001	1.0001	1.0000
Ripple factor	0.042	0.0103	0.0026
Ripple frequency	$6 f_{mains}$	$12 f_{mains}$	$24 f_{mains}$
	12 vs. 6	24 vs. 12	
V_{DC} vs. V_{DC}	1.035	1.009	
V_L vs. V_L	1.034	1.009	
FF vs. FF	0.999	1	
RF vs. RF	0.245	0.249	

6 - مجموعات التقويم المقادة والعمل عند حمل أومي :

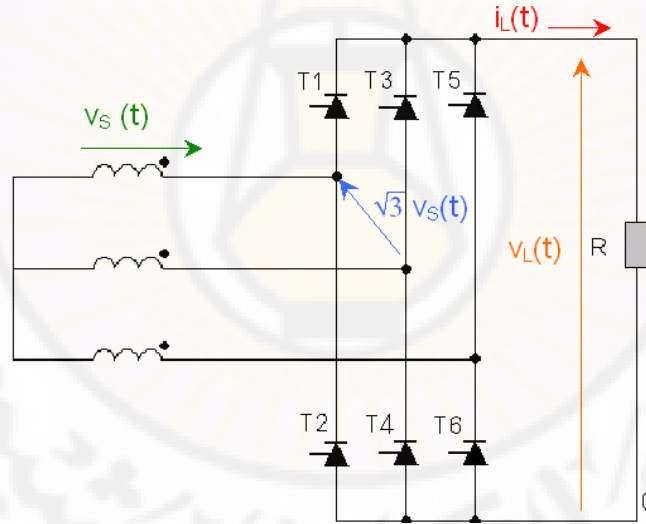
سوف يتم تحميل الجسور المقادة بحمل أومي واستنتاج العلاقات النازمة للقيمة المتوسطة للتوتر المقوم، ذلك أنه كما نعلم في الكتاب النظري لإلكترونيات القدرة الكهربائية، أننا لم ندخل في تفاصيل حساب التوتر المتوسط المقوم عند حمل أومي وتم الإكتفاء بالقول ان الحمل الأومي يعامل معاملة الجسور نصف المقادة في حساب القيمة المتوسطة للتوتر، ولدى رسم توتر الحمل نعمل على استنتاج توتر المهابط المشتركة ثم توتر المصاعد المشتركة ونحصل على توتر الخرج بين المصاعد والمهابط بطرح هاتين الموجتين من بعضهما، و بما أن الحمل أومي نقوم بحذف مركبات التوتر السالبة في موجة الخرج ويصبح شكل التوتر المقوم على الحمل مشابه للتوتر عند الجسر نصف المقاد او ذي الديود الحر Free Wheeling Diode، في هذه الفقرة نعطي العلاقات النازمة للتوتر المقوم عند

الحمل الأومي ونرى كيف يلزم حساب القيمة المتوسطة تبعاً لزاوية الإزاحة بالطور التي نعمل عليها .

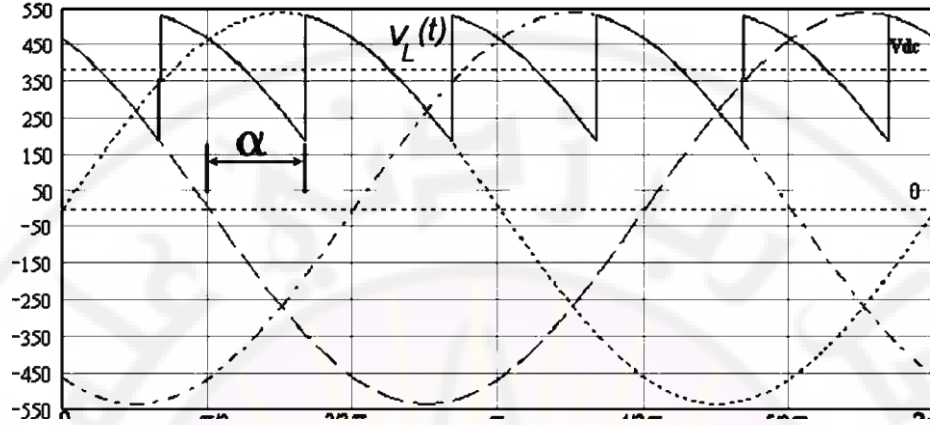
العلاقة التالية تعطي التوتر المتوسط المقوم عند زاوية إزاحة بالطور بين الصفر والـ 60 درجة (الدرجة 60 هي الحد الفاصل بين ظهور اثر الحمل الأومي والتحريضي)، الأشكال الواردة لاحقاً توضح شكل توتر الحمل عند زاوية إزاحة تساوي 10 درجة و 50 درجة كهربائية. العلاقة 47 أدناه هي نفسها المستخدمة في حالة الحمل التحريضي .

$$V_{DC}(\alpha) = \frac{6}{2\pi} \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} \sqrt{3} \cdot V_s \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) dt = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{3} \cdot V_s \cdot \cos(\alpha) \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3} \quad (47)$$

$$V_{DC}(\alpha) = V_{DC0} \cdot \cos(\alpha)$$



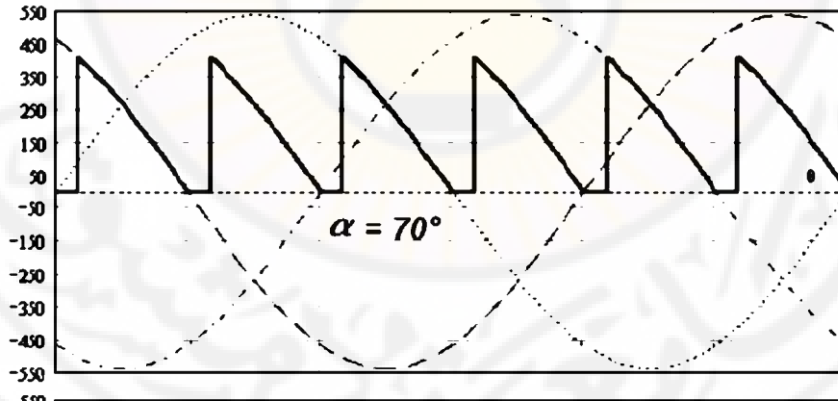
الشكل (55) دائرة الاستطاعة لمقوم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور (جسر كريتز)

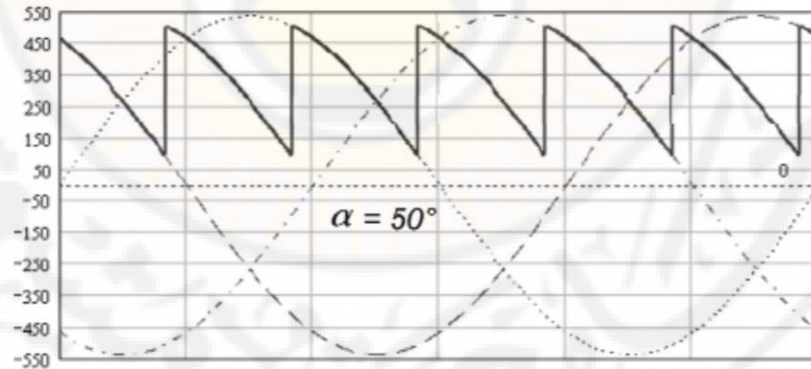
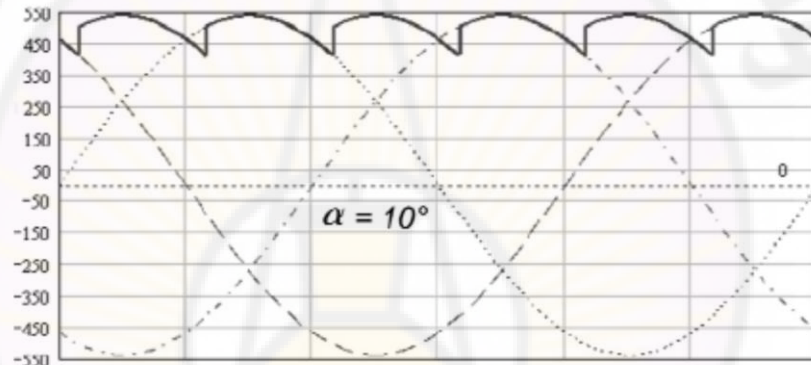
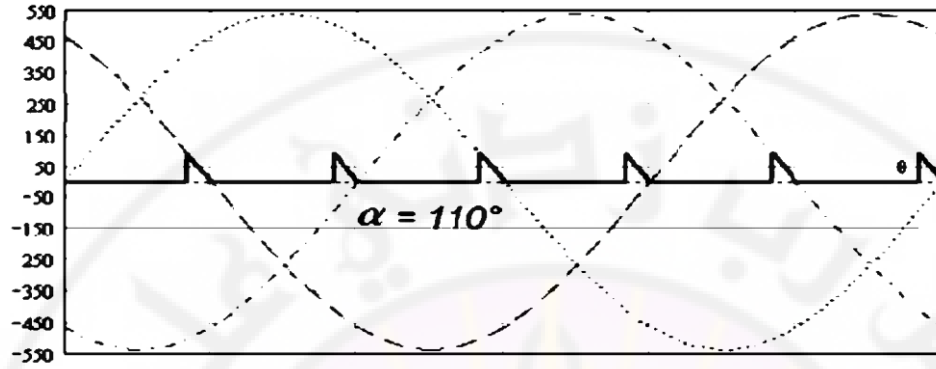


الشكل (56) التوتر المقوم الناتج عند زاوية إزاحة α

العلاقة التالية تعطي القيمة المتوسطة عند تطبيق إزاحة بالطور تقع بين 60 و 120 درجة، والأشكال الواردة بعد نذ توضح شكل موجة توتر الحمل عند إزاحة قدرها 70 و 110 درجة كهربائية .

$$V_{DC}(\alpha) = \frac{6}{2\pi} \int_{\alpha}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3} \cdot V_s \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) dt = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{3} \cdot V_s \cdot \left[1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{3}) \right] \quad \frac{\pi}{3} < \alpha \leq \frac{2\pi}{3} \quad (48)$$





الشكل (57) أشكال التوتر المقوم عند زوايا إزاحة قدرها 110 و 70 و 10 و 50



الفصل الرابع

رابعاً - مجموعات التقويم التسلسلية

مثال (1):

مجموعة تقويم تسلسلية سداسية الطور (عدد الأطوار ستة) S6، توتر الطور الواحد 200 فولت، حملت بحمل أومي ذي مقاومة قدرها 20 أوم، بفرض أن المجموعة تعمل عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 60 درجة كهربائية بين لنا مايلي:

1- ارسم دائرة الاستطاعة المستخدمة. وبين كيف يمكن قرح الثيرستورات المستخدمة. وبين بنية إحدى هذه الدارات.

2- احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج الناتج وبين أثر الحمل الأومي على شكل توتر الخرج. ناقش ذلك.

3- إذا تم فصل نبضات القرح للثيرستور الثاني، ما هو شكل توتر الحمل عندئذ.

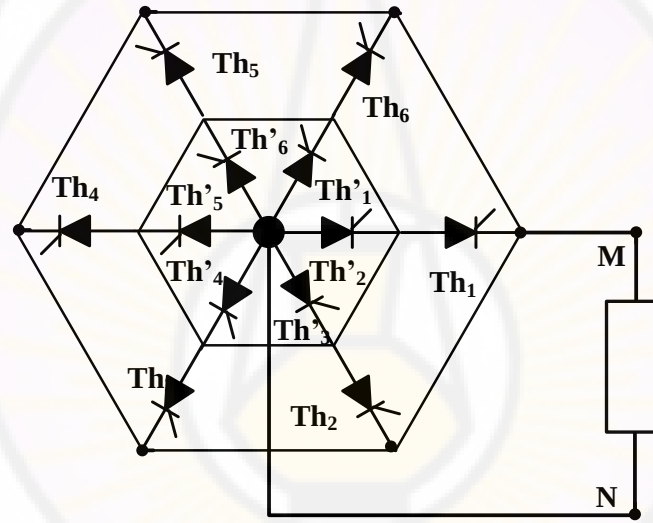
الحل:

يتم قرح الثيرستورات المستخدمة في الجسر ، بتتابع كل 60 درجة، يتم قرح الثيرستورات بداية من Th_1 الذي يقرح من الصفر ثم Th_2 Th_6 لذا يقترح لتغذية دوائر توليد النبضات ، استخدام محول باستطاعة صغيرة V.A مع ست ملفات في الثانوي مفتوحة كل ملف يغذي دارتي توليد نبضات لقرح ثيرستورين متقابلين بينهما 180 درجة . حسب الشكل المعروف لدوائر توليد النبضات.

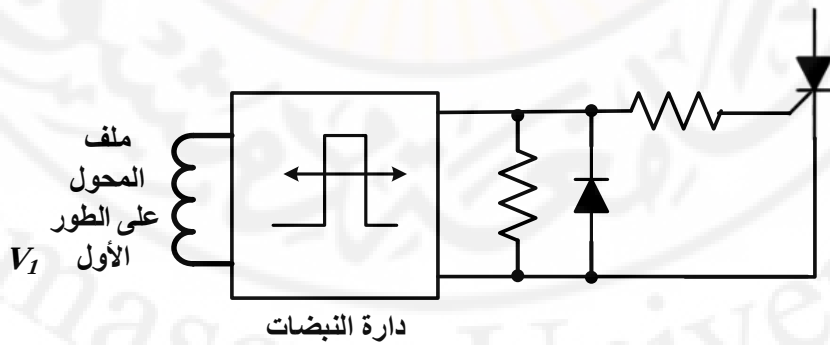
V_1 توتر تزامن لدائرة توليد النبضات ينشأ عند الزاوية 0 ، V_2 ينشأ عند الزاوية 60 ، V_3 ينشأ عند الزاوية 120 ، V_4 ينشأ عند الزاوية 180 ، V_5 ينشأ عند الزاوية 240 ، V_6 ينشأ عند الزاوية 300 .

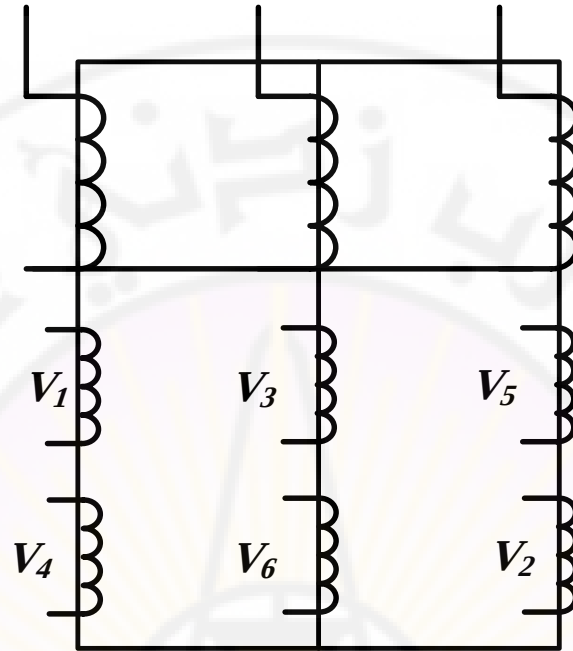
- كما أوضحنا في الكتاب النظري، في مجموعات التقويم التسلسلية يعمل عنصر التقويم حسب قيم توتر العقدة الأعظمي وليس توتر الطور، أي أنه عند الزمن $t=0$ يبدأ الثيرستور T_1 بالتوصيل بالاتجاه الموجب ليس لأن توتر الطور V_1 هو أكبر التوترات ايجابية، بل لأن كمون أو توتر العقدة (1) هو أكثر إيجابية من كمون العقدة

(6) ومن كمون العقدة (5). ويرى مصعد الثيرستور الأول مجموع التوترات الموجبة في تلك اللحظة والمساوية $(V_5+V_6+V_1)$. لذا فإن العنصر T_1 سيعمل ويقابله في العمل، من العناصر ذات الاتجاه السالب العنصر T_4 لأن كمون العقدة (4) أصغر الكمونات أو أكبر الكمونات سلبية وسوف تجمع التوترات اللحظية السالبة لـ $(V_4+V_3+V_2)$ وبالتالي تصبح العقدة (4) أكبر الكمونات سلبية ويوصل العنصر ذي الاتجاه السالب الموصل إليها وهو T_4' .

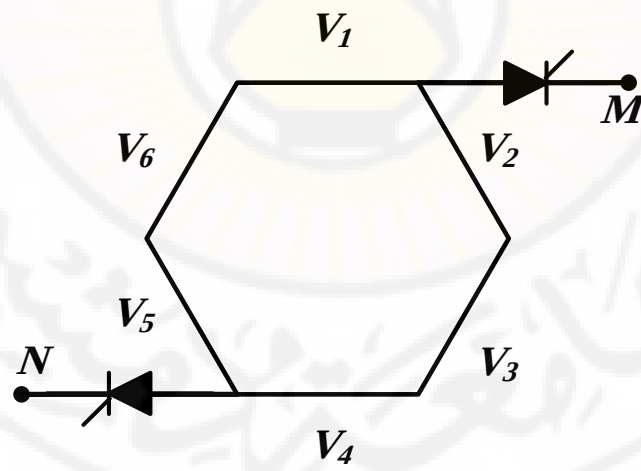


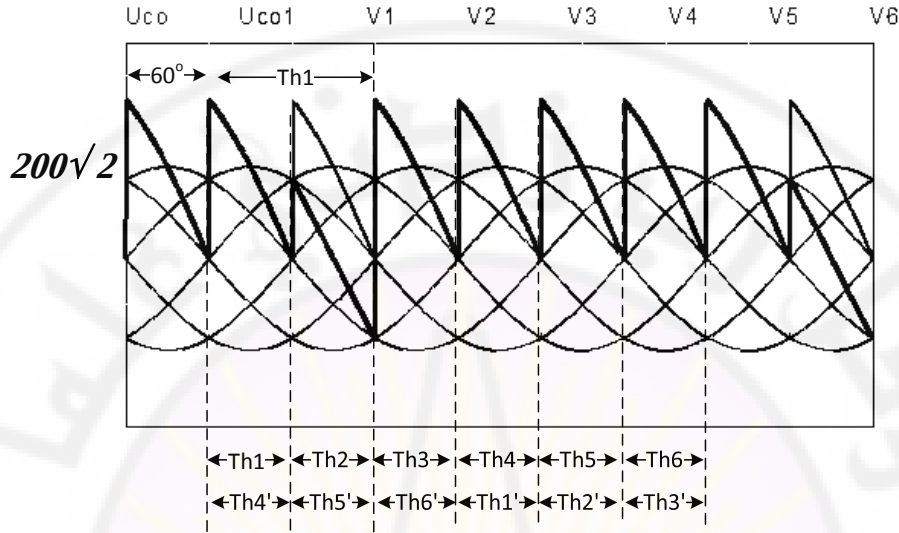
الشكل (آ-1-4) دائرة الاستطاعة





الشكل (ب-1-4) محول التوازن





الشكل (س-1-4) توتر الخرج عند $\psi=60^\circ$ ، والتوتر لدى فصل TH1

2- تعطى القيمة المتوسطة في مجموعات التقويم التسلسلية بالعلاقة:
حيث V_m توتر الخط حسب الربط التسلسلي.

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \cos \psi = \frac{6}{3.14} \times 200\sqrt{2} \times \frac{1}{2} = 270.23V$$

1- هنا لا يظهر أثر للحمل الأومي. لذا يمكن حساب التوتر على أساس الحمل التحريضي.

3- إذا تم فصل نبضات القذح للثريستور الثاني (T_2). فإن الثريستور الأول T_1

سوف يستمر بالتوصيل كامل الفترة $\frac{T}{q}$ التي كان سيعمل بها T_2 ويستمر بالتوصيل

حتى يبدأ الثريستور T_3 بالعمل. لذا فالتوتر المقوم الناتج يبقى خلال فترة إيقاف T_2 هو مجموع التوترات الواقعة بين T_1 والثريستورات ذات الاتجاه السالب الموافقة.

مثال (2):

مجموعة تقويم تسلسلية نصف مقادة S_3 ، تغذي حمل بمقاومة أومية قدرها 20 أوم وحثية قدرها 10 أوم، توتر الخط لثانوي المحول تساوي 410 فولت، عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 45 درجة. بين ما يلي:

- 1- القيمة المتوسطة للتوتر المقوم على طرفي الحمل عند زاوية الإزاحة المقترحة وعند زاوية تساوي الصفر. وارسم شكل التوتر المقوم عندئذ. وارسم شكل التوتر العكسي للثريستور الثاني الموجب.
- 2- القيمة المتوسطة لتيار الحمل.
- 3- القيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد الثريستورات المستخدمة.

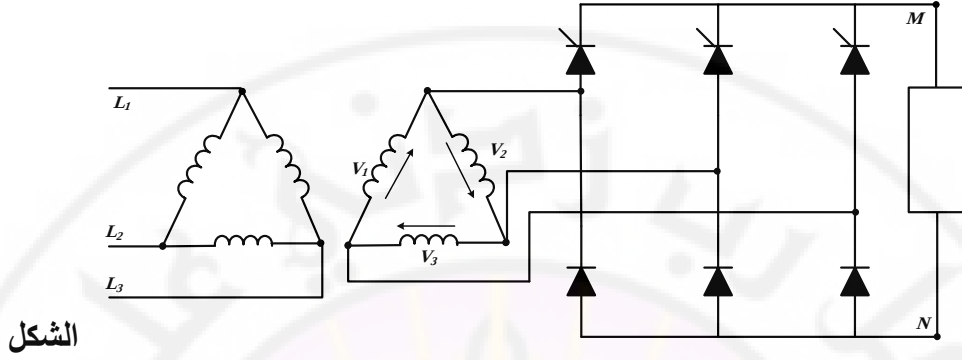
الحل:

- 1- تعطى القيمة المتوسطة في مجموعات التقويم التسلسلية بالعلاقة:

$$\begin{aligned} U_{C0} &= \frac{q}{\pi} \cdot V_m \\ &= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts} \\ U'_C &= U_{C0} \cdot \cos \psi = 553.975 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 391.72 \text{Volts} \\ &= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts} \end{aligned}$$

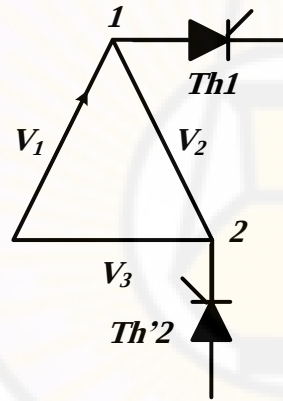
وذلك لو كان الجسر مقاداً وبما أنه نصف مقاد فإن التوتر المقوم سيعطى بالعلاقة:

$$\begin{aligned} U'_C &= U_{C0} \frac{1}{2} (1 + \cos \psi) = \frac{554}{2} (1 + \cos 45) \\ U'_C &= 473 \text{Volts} \end{aligned}$$



الشكل

(آ-2-4) دائرة الاستطاعة



الشكل (ب-2-4) التوتر المقوم للجسر نصف المقاد ، وشكل التوتر العكسي على TH_2

$$I_{load} = \frac{U_C}{R_C} = \frac{473}{20} = 23.64A$$

$$V_{imax} = V_m = 410\sqrt{2} = 579.82Volts$$

ويتم اختيار ثيرستور يتحمل توتر لا يقل عن 600 فولت إلى 800 فولت.

طريقة رسم التوتر العكسي في مجموعة تسلسلية:

بيناً في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة أو المضاعفة أن التوتر العكسي يساوي دائماً

$$V_i = V_1 - (V_M - V_0)$$

لعنصر موصول في مجموعة ذات اتجاه موجب ، أي أننا نقارن دائماً بين توتر المصعد وتوتر المهابط المشتركة أو بين توتر المهابط المشتركة وتوتر المصعد. لكن في مجموعات التقويم التسلسلية لا يوجد لدينا نقطة نجمة (0) ، لذا لا يوجد لدينا $(V_M - V_0)$ ولا يوجد لدينا $(V_N - V_0)$. لذا حتى نتمكن من حساب التوتر العكسي في المجموعات التسلسلية يمكن العودة لمفهوم عمل هذه المجموعات. بفرض أنه لدينا المجموعة S3 ونريد حساب التوتر العكسي على Th_1 الموصول باتجاه موجب، نجد أنه خلال فترة عمل Th_1 التوتر العكسي عليه يساوي الصفر، عندما يقف Th_1 ويبدأ Th_2 ، كنا قد بينا في الدراسة النظرية أن Th_2 ينتقل للتوصيل لأن كمون العقدة (2) أصبح أكثر إيجابية من كمون العقدة (1) وفرق الكمون الزائد هذا هو توتر الطور V_2 ، لذا فإن التوتر العكسي على Th_1 خلال فترة توصيل Th_2 هو $(-V_2)$ ، بعد $\frac{T}{q}$ أخرى سوف ينتقل للتوصيل Th_3 لأن كمون العقدة (3) أكبر من كمون (1) بالتوترات (V_2 و V_3) لذا فإن التوتر العكسي على Th_1 خلال فترة توصيل Th_3 هو $(-V_2 - V_3)$. بعد انتهاء Th_3 من التوصيل يعود Th_1 للعمل ويعود التوتر العكسي للقيمة صفر. نرى أن التوتر العكسي في هذه الحالة هو مجموع التوترات للأطوار القادمة بعد العنصر المراد حساب التوتر العكسي عليه، ويزداد التوتر العكسي بالتتابع مع تتابع عمل العناصر.

- بالنسبة لحساب التوتر العكسي لثريستور موصول في الاتجاه السالب Th_1' أو غيره. التوتر العكسي عندئذ يحسب بنفس الطريقة لكن يؤخذ التوتر (V_2) عند توصيل Th_2' ويؤخذ ($+V_2+V_3$) عند توصيل Th_3' .

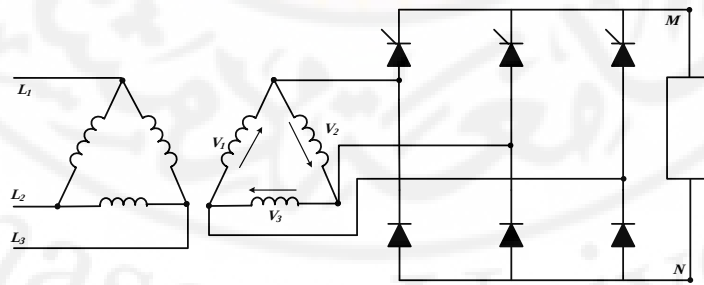
مثال (3):

- تم تشغيل جسر تقويم ثلاثي الطور S3 نصف مقاد تسلسلي، عند الزاوية 90 درجة كهربائية، علماً أن توتر الطور للملف الثانوي كان 700 فولت، بين لنا مايلي:
- 1- ارسم مخطط الجسر المستخدم كاملاً، وبين آلية قدح عناصر الجسر وكيف يمكن تحقيق التزامن للثريستورات المراد استخدامها.
 - 2- ارسم شكل التوتر المقوم الناتج عند الزاوية المقترحة، واحسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عندئذ.
 - 3- ارسم شكل التوتر العكسي المتشكل على الثريستور الثالث. واحسب القيمة العظمى لهذا التوتر.
 - 4- ارسم شكل تيارات الأطوار الثلاثة المارة في ثانوي المحول عند نفس الزاوية السابقة.

الحل:

S3, $V_{ph} = 700V$, $\psi = 90^\circ$

-1



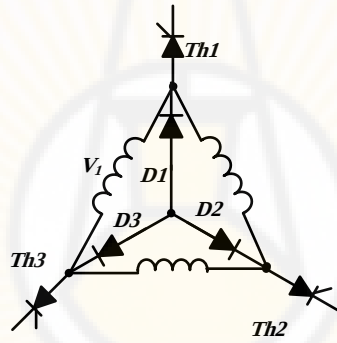
الشكل (أ-3-4) دائرة الاستطاعة

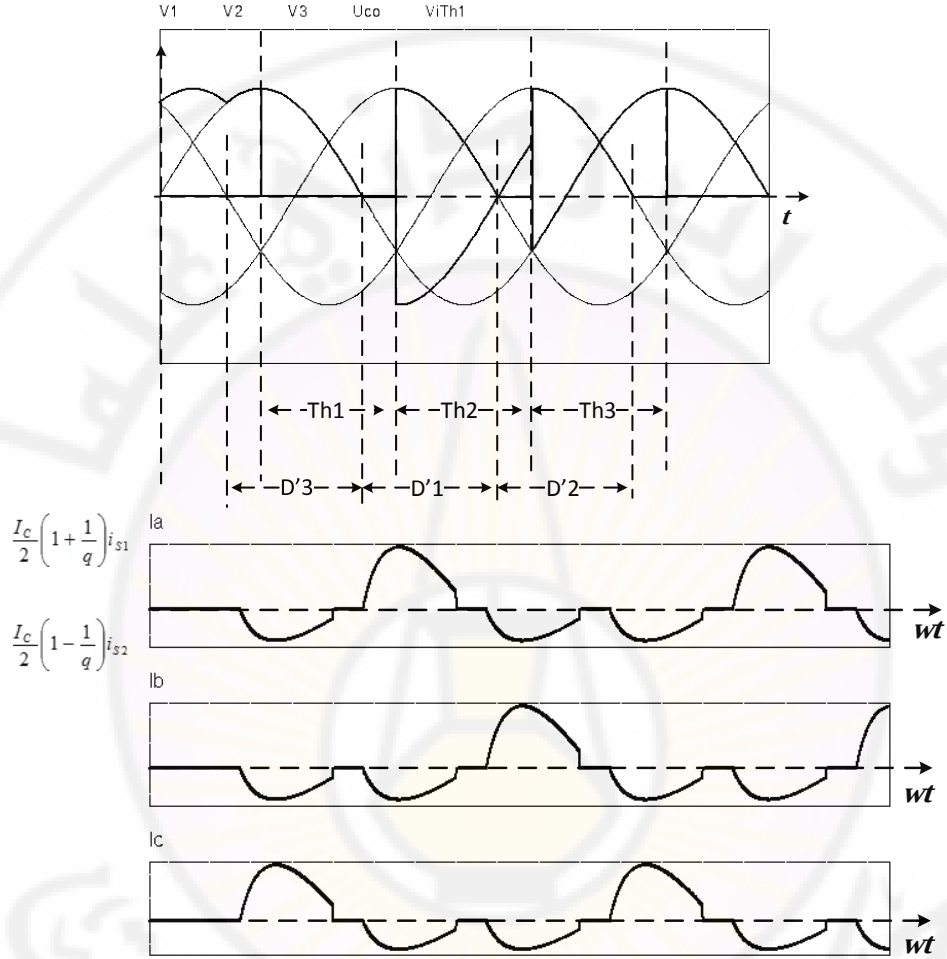
2- آلية القذح: يلزم قذح الثيرستور Th_1 عند بدء مرور توتر الطور V_1 بالقيمة صفر وهي زاوية بدء التشغيل وبدء الإزاحة. الثيرستور Th_2 و Th_3 يتم قذحهما بعد 120° درجة و 240° من لحظة قذح الثيرستور Th_1 . يمكن لتحقيق ذلك استخدام محول صغير الاستطاعة بـ $V.A$ وأخذ توترات الأطوار الموصلة مثلثي لتوليد نبضات القذح. دوائر القذح معروفة.

3- القيمة المتوسطة للتوتر المقوم:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{(1 + \cos \psi)}{2} = \frac{3}{3.14} \times 700 \sqrt{2} \times \frac{1}{2}$$

$$U_C = 472 \text{ Volts.}$$



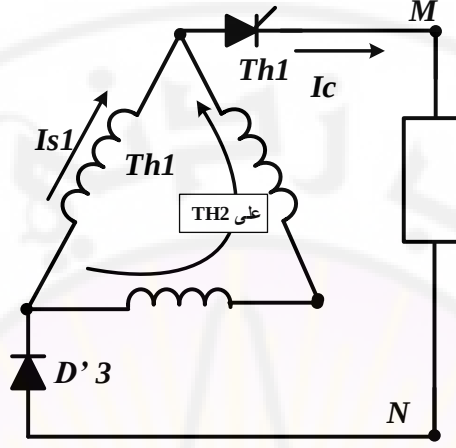


الشكل (ب-3-4) التوتر المقوم عند $\psi=90^\circ$ - وشكل التوتر العكسي على Th_3 .

- تيارات الاطوار الثلاث i_{s1} و i_{s2} و i_{s3} .

- ملاحظة:

حتى يمكن رسم التيارات في الأطوار الثلاث نأخذ كمثال حالة توصيل $(Th_1$ و $D_3')$ في هذه الحالة التيار يخرج من الملفات عبر Th_1 ويعود إلى الملفات عبر D_3' كما في الشكل (س-3-4).



الشكل (س-3-4) مسار التيار في الأطوار

- أي أن تيار الملف i_{s1} موجب بينما تيار الملفين i_{s2} و i_{s3} سالبين، تيار الملف الاول:

$$i_{s1} = \frac{I_c}{2} \left(1 + \frac{1}{q} \right)$$

وتيار الملفين الآخرين يساوي

$$i_{s2} = i_{s3} = \frac{I_c}{2} \left(1 - \frac{1}{q} \right)$$

حيث q عدد الأطوار. عدم تساوي التيارات اللحظية المارة في ملفات الثانوي يعود إلى أن التيار لا يتعرض لنفس الممانعة. عدد الأطوار التي يمر بها i_{s1} أقل من عدد الأطوار التي يمر بها i_{s2} و i_{s3} لذا يتناسب التيار مع عدد الأطوار. لكن دائماً مجموع هذه التيارات هو تيار الحمل.

$$i_{s1} + i_{s2} = I_c$$

مثال (4):

- جسر تقويم سداسي الطور، مقاد حمل بحمل تحريضي، توترالخط 200 فولت/ وزاوية الإزاحة المطلوب العمل عندها تساوي /60/ درجة، بين لنا مايلي:
- 1- القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج، وشكل التوتر المقوم عندئذ.
 - 2- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي لأحد الثيرستورات.
 - 3- ارسم شكل التيار المار في الطور الأول.
 - 4- هل يمكن بهذا الجسر تغيير اتجاه التيار المار في الحمل عند زيادة زاوية الإزاحة بالطور فوق 90 درجة.

الحل:

- 1- يعطى التوتر المتوسط المقوم بالعلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \cos \psi$$

$$U_C = \frac{6}{\pi} \sqrt{2} \times 200 \times \cos 60 = 270.23 \text{ Volts.}$$

- 2- التوتر العكسي الأعظمي في مجموعات التقويم التسلسلية ذات عدد الأطوار الزوجي تساوي:

$$V_{imax} = 2V_m = 2\sqrt{2} \times 200 = 565.68 \text{ Volts.}$$

- 4- لا يمكن باستخدام هذا الجسر تغيير اتجاه التيار المار في الحمل عند زيادة زاوية الإزاحة بالطور، ذلك لأن الجسر لا يعمل على إعطاء أي تيار سالب. والتيار المقدم من الحمل هو فقط تيار موجب مهما تغيرت زاوية الإزاحة بالطور.

- 3- استنتاج شكل التوتر المقوم والتيار:

- في مجموعات التقويم ذات عدد الأطوار الزوجي وفي فترة زمنية معينة وليكن لدينا Th_1 و Th_4' في حالة توصيل. عندئذ سيمر التيار من مجموعة الملفات الموجبة

$\left(\frac{I_C}{2}\right)$ ومن مجموعة الملفات السالبة $\left(\frac{-I_C}{2}\right)$ ويجتمعان ويمران بالثبر سبور وصولاً للنقطة M.

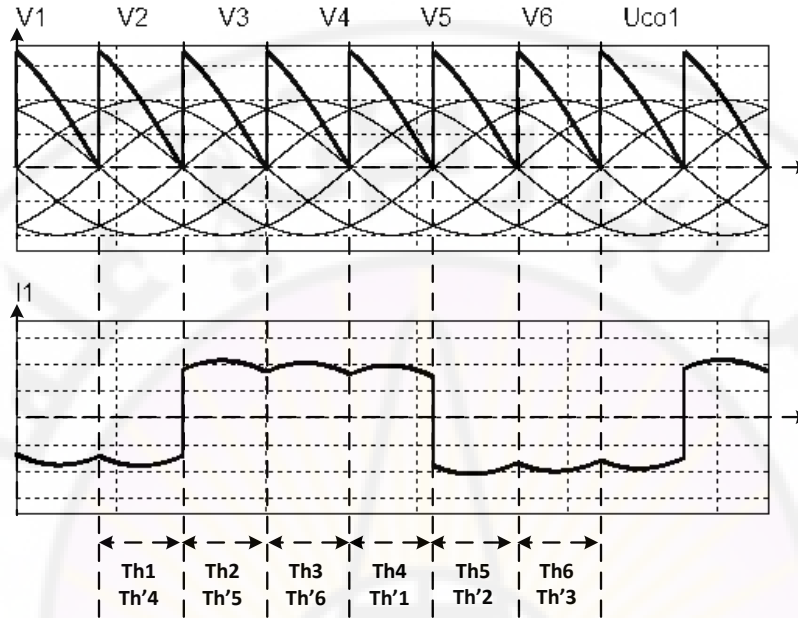
ثم يعود التيار من الحمل عبر Th_4' . الملفات في ثانوي المحول يمر بها تيار متساوي ومتعاكس ولا يتجاوز $\left(\frac{I_C}{2}\right)$.

- مهما كانت زاوية الإزاحة بالطور يبقى هذا الجسر وغيره من جسور التقويم عاجزة عن تمرير تيار باتجاهين وهذا ناتج عن كونهما مجموعات نصف ناقلة لا تمرر التيار سوى في اتجاه واحد.

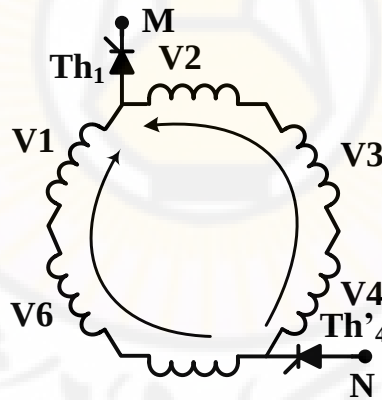
- في مجموعات التقويم ذات عدد الأطوار الزوجي وفي فترة زمنية معينة وليكن لدينا Th_1 و Th_4' في حالة توصيل. عندئذ سيمر التيار من مجموعة الملفات الموجبة $\left(\frac{I_C}{2}\right)$ ومن مجموعة الملفات السالبة $\left(\frac{-I_C}{2}\right)$ ويجتمعان ويمران بالثبرستور وصولاً للنقطة M.

ثم يعود التيار من الحمل عبر Th_4' . الملفات في ثانوي المحول يمر بها تيار متساوي ومتعاكس ولا يتجاوز $\left(\frac{I_C}{2}\right)$.

- مهما كانت زاوية الإزاحة بالطور يبقى هذا الجسر وغيره من جسور التقويم عاجزة عن تمرير تيار باتجاهين وهذا ناتج عن كونهما مجموعات نصف ناقلة لا تمرر التيار سوى في اتجاه واحد.



الشكل (آ-4-4) التوتر المقوم عند $\Psi=60^\circ$ ، تيار الطور الأول



الشكل (ب-4-4) الدارة المكافئة لمفات الثانوي للمحول

مثال (5): مجموعة تقويم تسلسلية مقادة ، عدد أطوارها ستة. غذيت من محول توتر الثانوي فيه /100/ فولت توتر خط. المجموعة مقادة، طلب منها العمل عند زاوية إزاحة بالطور

تساوي 30 درجة أيضاً عند زاوية إزاحة=150 درجة بين:

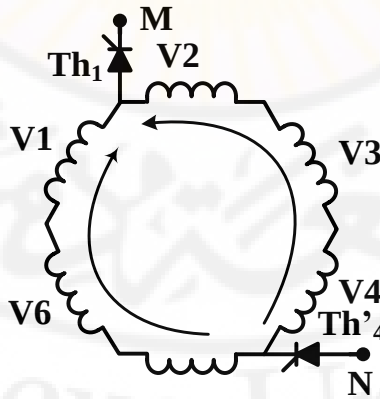
1- شكل التوتر على طرفي الحمل الأومي عند كلتا زاويتي التشغيل المطلوبتين، والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج.

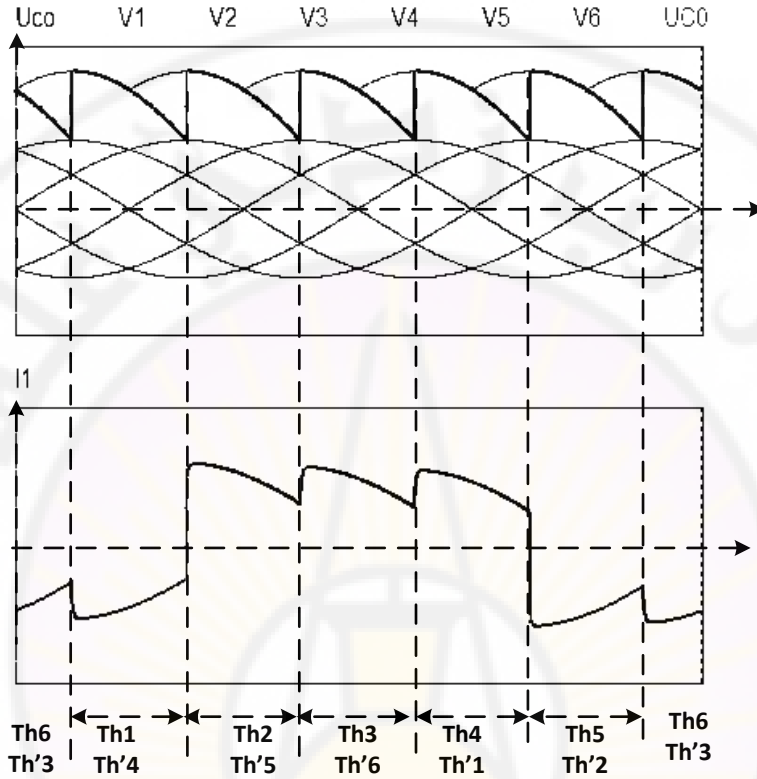
2- ما هو شكل التيار المار في عناصر التقويم، وفي الطور الأول، عندما تكون الزاوية المزاحة 30 درجة، وما هي زاوية عامل الاستطاعة للطور الأول.

3- اعتبر أن الحمل تحريضي بحت، والمجموعة نصف مقادة بين لنا في هذه الحالة شكل التوتر المقوم وقيمه المتوسطة عند الزاوية 30 للإزاحة وعند الزاوية 150.

الحل:

1- لرسم شكل التوتر المقوم الناتج عن هذا الجسر عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 30 درجة، كما ذكرنا سابقاً، بدءاً من الزمن $t=0$ يمكن للثريستور الأول الانتقال للتوصيل، لأن كمون العقدة (1) أكبر العقد ايجابية، لذا ينتقل Th_1 للتوصيل عند $\psi=30$ مقاسة بدءاً من الصفر، بالمقابل تكون العقدة (4) ذات كمون مساوٍ لأكبر العقد سلبية وينتقل Th_4 للتوصيل والتوتر المحصور بين Th_1 و Th_4 هو التوتر المقوم الناتج المساوي $U_C = (V_5+V_6+V_1)$ وذلك مهما كانت القيم اللحظية لهذه التوترات موجبة أو سالبة.

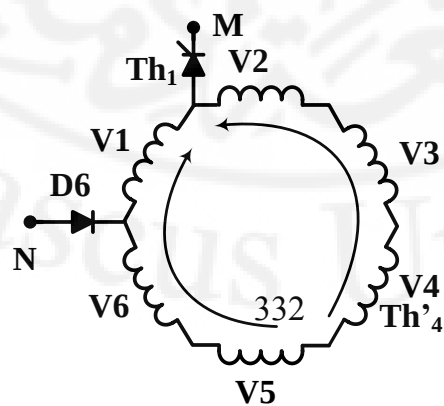


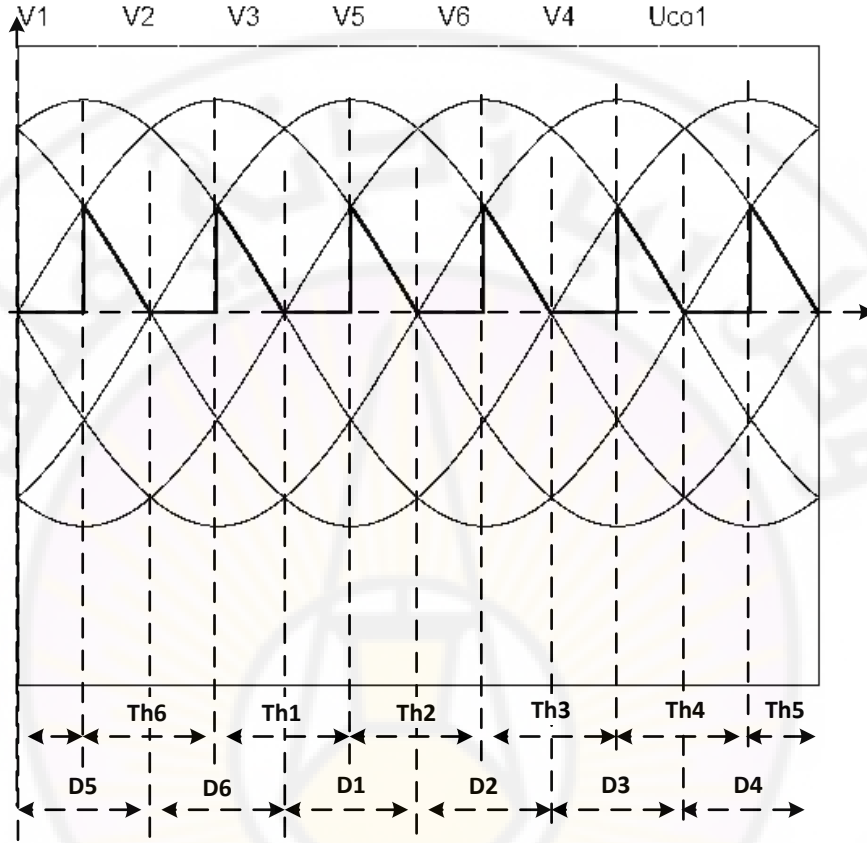


الشكل (آ-5-4) التوتر المقوم عند الزاوية $\psi=30^\circ$ ، تيار الطور الأول للمحول

- رسمنا في الشكل السابق (a) شكل تيار الطور الأول للمحول.
- إن شكل التوتر المقوم عند الزاوية $\psi=30^\circ$ لا يختلف في حالة الحمل الأومي عن حالة الحمل التحريضي.
- 3- إذا اعتبرنا أن **الحمل تحريضي**، والمجموعة نصف مقادة، في هذه الحالة شكل التوتر المقوم عند $\psi=30^\circ$ مبين على الشكل (آ-5-4) ويختلف عن حالة كون المجموعة مقادة ولا أثر هنا للحمل التحريضي. لكن عند $\psi=150^\circ$ ، وكون المجموعة نصف مقادة نجد أن الشكل (ب) يوضح شكل التوتر المقوم، وهنا لا توجد مركبات

The figure consists of two parts. The top part is a timing diagram showing the switching sequence for six voltage sources (V1, V2, V3, V5, V6, V4) and the resulting output voltage (Uco1). The diagram shows the conduction of each thyristor (Th1-Th6) and the resulting output voltage waveform. The bottom part is a schematic diagram of the 332-type VSC, showing the connection of the six voltage sources (V1-V6) to the thyristors (Th1-Th6) and diodes (D1-D6). The diagram also shows the output voltage (Uco1) and the current (Ico1) flowing through the load.





الشكل (ب-5-4) شكل التوتر المقوم الناتج عند $\psi=150$ والمجموعة نصف مقادة.

ملاحظة:

لرسم التوتر عند هذه الحالة نرى من الشكل (ب-5-4) أنه خلال فترة زمنية $\frac{T}{2q}$ مثلاً لدينا Th_1 موصل مع D_6' . في هذه الحالة توتر الخرج هو فقط توتر الطور

الأول V_1 . بالمقابل بعد $\frac{T}{2q}$ من الدور نجد أن العناصر الموصلة هي Th_1 و D_1' أي أن توتر الخرج مساوي الصفر.

2- التوتر المقوم الناتج عند الزاوية $\psi=30^\circ$ والحمل أومي، كما نرى من الشكل أن موجة التوتر المقوم لم تصل إلى محور الزمن، لذا فإن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم لا يمكن حسابها من العلاقة المستخدمة عند الحمل الأومي $\left(\frac{1}{2}(1 + \cos \psi)\right)$ ، أو مجموعة نصف مقادة ويفضل حسابها مباشرة من العلاقة:

$$U_C = U_{C0} \cdot \cos \psi$$

أي أن:

$$U_C = 270.23 \times 0.866 = 234.0$$

ولو تم حسابها بالعلاقة السابقة لحصلنا على التوتر التالي:

$$U_C = U_{C0} \cdot \frac{1}{2}(1 + \cos \psi) = 252.12 \text{Volts}$$

لكن القيمة الحقيقية هي الأولى 234 فولت.

- عند العمل عند الزاوية 150° والحمل أومي. فإن جميع موجات التوتر المقوم ستكون في الجهة السالبة أي أنه لن يظهر لدينا التوتر في هذه الحالة. وقيمة التوتر المتوسط المقوم الناتجة تساوي الصفر.

- من الشكل (آ-5-4) نرى أن شكل تيار الطور الأول مزاح بزاوية $\phi=30^\circ$ عن توتر الطور الأول.

- الآن عند حمل تحريضي ومجموعة نصف مقادة. سوف يتغير تتابع عمل عناصر التقويم السالبة (D_1' و D_2' D_6') وبالتالي فإن شكل التوتر المقوم سيكون فوق

شكل التوتر عند حالة المجموعة المقادة والحمل أومي. أي أن قيمة التوتر المقوم الناتج الحقيقية ستكون المعطاة بالعلاقة:

$$U_C = U_{C0} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

أي ستكون (252.12) فولت.

- و عند العمل عند 150° ستكون قيمة التوتر المقوم هي: (18.1) فولت. والشكل (ب-5-4) يبين شكل التوتر عند هذه الحالة.

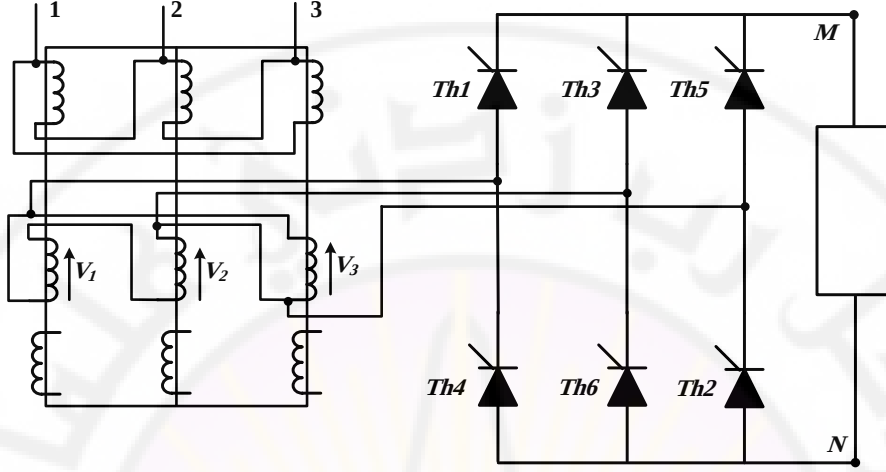
مثال (6):

بين مكونات دارات القذح الواجب استخدامها لقيادة جسر تقويم ثلاثي الطور، وصل طرف المحول الثانوي على شكل مثلثي. بين كيف يمكن قذح عناصر الجسر الثيرستوري المستخدم.

الحل:

في مجموعات التقويم التسلسلية يتم ربط ملفات الثانوي على التسلسل حسب تتابع التوترات الموجبة في ملفات الثانوي لذا من الشكل نرى كيف يتم ربط نهاية الملف الأول مع بداية الملف الثاني، وكذلك نهاية الثاني مع بداية الملف الثالث. الابتدائي يمكن أن يكون موصل بشكل مثلثي أيضاً أو بشكل نجمي.

لتحقيق التزامن بين نبضات القذح والثيرستورات المكونة للجسر، علينا أن نعلم هنا أن الثيرستور الأول للطور الأول الموصل في العقدة (1) سيتم وصله عند $\psi=0$ عند الزمن $t=0$ ، يليه بعد 120° الثيرستور Th_3 وبعد 240° تأتي فترة عمل الثيرستور Th_5 . كما أن الثيرستور السالب الموصل لنفس العقدة (1) والمسمى Th_4 سيوصل بعد 180 درجة من الزمن $t=0$. لذا يجب تأمين التزامن على هذا الأساس وبعدئذ يمكن إزاحة النبضات حسب الطلب.



الشكل (آ-6-4) طريقة ربط ملفات محول الاستطاعة المتواجدة على

نواة المحول مع الجسر.

يمكن إيجاد التزامن لدوائر توليد النبضات، إما بإضافة ملفات ذات توتر منخفض على نفس نواة المحول الرئيسي، أو استخدام محول صغير الاستطاعة، يلف بنفس الطريقة ($\Delta-\Delta$). وعندئذ فإن التوترات الناتجة عن ($V_1, \dots, V_6$) المتزامنة مع الثيرستورات (Th_1 إلى Th_6) تكون جاهزة ومتزامنة. حيث أن V_1 يبدأ من الصفر، وهذا ما يلزم لفتح Th_1 . وإن V_4 يبدأ بعد 180° وهذا ما يلزم لفتح Th_4 .

مثال (7):

بفرض أن عدد أطوار الثانوي لمحول ثلاثي الطور هو ستة أطوار، وصلت بشكل تسلسلي، توتر الطور الواحد 230 فولت. ربطت مجموعة تقويم نصف مقادة على ثانوي المحول. بين لنا ماييلي:

- 1- ارسم دائرة الجسر المطلوبة، واحسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور تساوي 45 درجة.
- 2- ارسم شكل التوتر المقوم الناتج عند الزاوية 45 درجة.
- 3- ما هي قيمة تيار الحمل المار، وارسم شكل التيار في الطور الثاني، علماً أن $R_L=10\Omega$ ، $X_L=20\Omega$.
- 4- بفرض تم فصل أحد الثيرستورات الموجبة، ما هو شكل التوتر المقوم عندئذ.

الحل:

- 1- لحساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم للمجموعات نصف المقادة نستخدم عادةً العلاقة:

$$U_C = U_{C0} \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

وهنا نلاحظ أن شكل التوتر المقوم مازال موجباً، وعليه إذا طبقنا هذه العلاقة نجد أن:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos \psi)$$

$$= \frac{6}{\pi} \times 230\sqrt{2} \times \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 529 \text{Volts.}$$

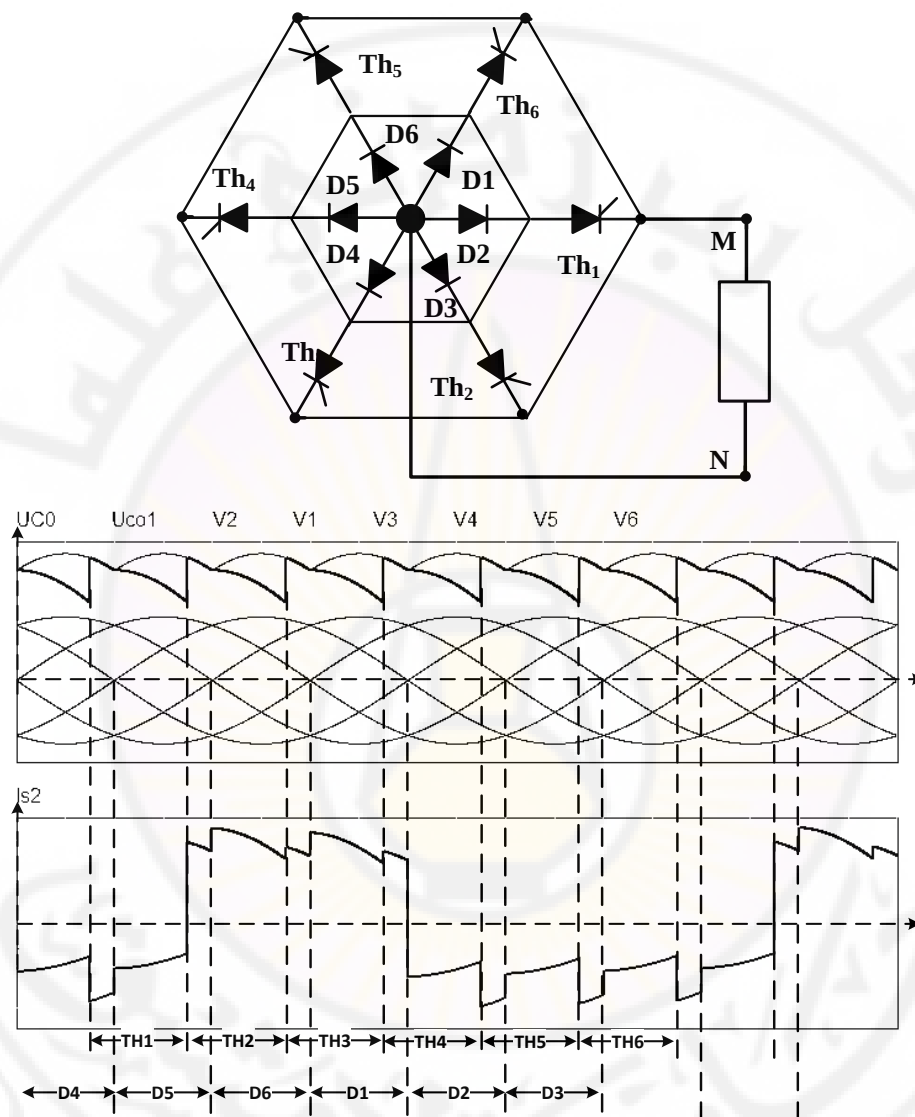
وإذا تم حساب هذا التوتر على أساس أنه مقاد نجد أنه يعطى بالشكل:

$$U_C = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \cos \psi$$

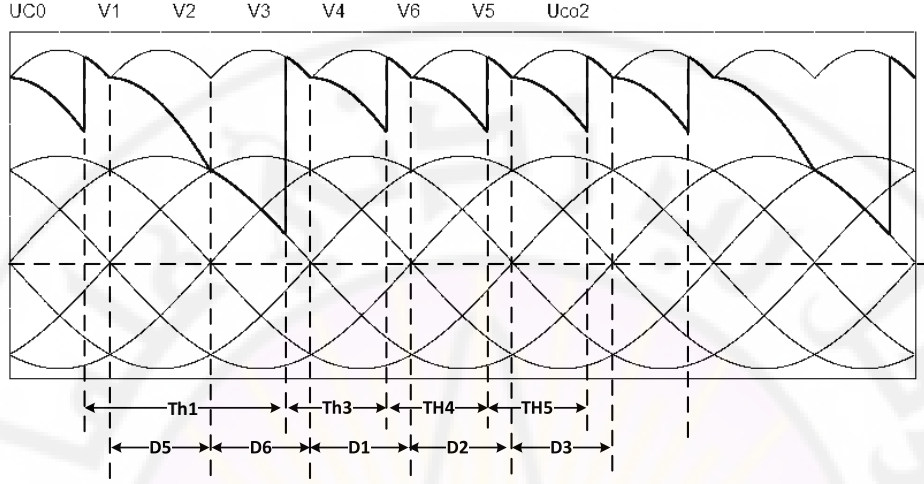
$$= \frac{6}{3.14} \times 230 \times \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$U_C = 439.5 \text{Volts.}$$

ونرى بعض الفرق بينهما. سواء كان الحمل أومياً أو تحريضياً. (فصل Th₂)



شكل (آ-7-4) التوتر المقوم عند إزاحة 45 درجة، وتيار الملف الثاني للمحول .



شكل (ب-7-4) التوتر المقوم مع إزاحة بالطور وفصل الثيرستور الثاني.

- 2- لرسم شكل تيار الثانوي، نعتد مبد أننا ننظر فقط للتيار المار في الطور الأول وذلك خلال الدور الكامل. ونرى أنه مهما اختلف التتابع لعناصر الجسر فإنه خلال ثلاث مراحل زمنية $\left(3\frac{T}{q}\right)$ يبقى التيار من نفس القيمة والاتجاه ثم لدى توصيل Th_4' ينعكس التيار في الطور الأول ويستمر سالباً أيضاً لثلاث مراحل أخرى ، كل منها $\left(\frac{T}{q}\right)$. وهذا ينطبق على باقي الأطوار مع مراعاة الإزاحة بالطور.
- 3- قيمة التيار المار في الحمل تساوي:

$$I_C = \frac{U_C}{R}$$

$$= \frac{529}{10} = 52.9 \text{ Amp.}$$

التيار المار في الملف الثانوي يساوي نصف تيار الحمل ويساوي 26.45A.

4- لدى فصل أحد الثيرستورات الموجبة وليكن Th_2 ، يستمر الثيرستور الأول Th_1 بالتوصيل كامل فترة تشغيل Th_2 ، والتوتر المحصل يبقى مجموع التوترات المحصورة بين Th_1 والديودات المتتابعة على التوصيل D_4 ثم D_5 ثم D_6 . لذا فإن توتر خرج الجسر سينخفض، عملياً انخفاض توتر الجسر أحياناً يكون مؤشراً للعاملين أنه يوجد عطل أو فصل لإحدى المنصهرات، ويلزم إصلاح ذلك. الشكل (ب-7-4) يوضح شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج.

مثال (8):

مجموعة تقويم تسلسلية S6 مقادة، تعمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi = 60^\circ$ ، توتر ثانوي المحول يساوي 400V. حثية الشبكة تساوي 3mh. تيار الحمل يساوي 20A. احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج مع مراعاة التطابق، وارسم شكل التوتر المقوم مع إظهار التطابق.

الحل:

- تعطى القيمة المتوسطة للتوتر المقوم للمجموعة التسلسلية S6 المقادة بالعلاقة التالية بدون مفايد:

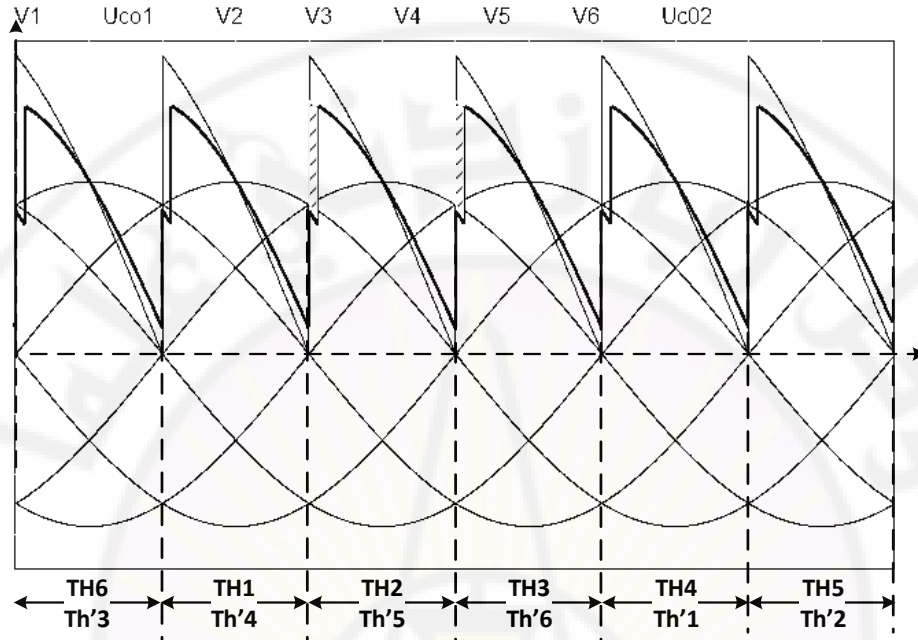
$$U_C = \frac{q}{\pi} V_m \cos \psi$$

$$= \frac{6}{\pi} \times \sqrt{2} \times 400 \cos 60 = 539 \text{ Volts.}$$

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} I_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$= \frac{6}{3.14} \times 0.003 \times 314 \times 20 = 36 \text{ Volts.}$$



الشكل (4-8) التوتر المقوم عند إزاحة بالطور قدرها 60 درجة ،مع إظهار التطابق

وعليه فإن التوتر المقوم بمراعاة التطابق سيكون مساوياً:

$$U'_C = 539 - 36 = 503 \text{Volts.}$$

- الشكل (4-8) يبين كيف يتم رسم شكل التوتر المقوم الناتج مع إظهار التطابق، وعليه عندما يوصل الثيرستور الأول فرضاً وكان الثيرستور السادس في حالة توصيل يحدث التطابق بين هذين العنصرين ويتم قصر الطور الأول، لذا فإن التوتر المقوم الناتج يساوي مجموع التوترات اللحظية الواقعة بين العنصر الأول والعنصر الرابع في المجموعة ذات الاتجاه السالب وهي $V_6.V_1$. V_5 ويجب حذف توتر الطور V_1 . الواقع تحت التطابق خلال فترة التطابق .
تحسب زاوية التطابق من العلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{I_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m}$$

$$\cos 60 - \cos(60 + \alpha) = \frac{0.003 \times 413 \times 20}{400\sqrt{2}}$$

$$\cos(60 + \alpha) = 0.5 - 0.0333 = 0.4667$$

$$60 + \alpha = \cos^{-1} 0.4667 = 62.18^\circ$$

$$\alpha = 2.18^\circ$$

- بدون تطابق موجة التوتر المقوم تساوي $(V_5 + V_6 + V_1)$.
 عند التطابق التوتر يساوي $V_5 + V_6$ خلال التطابق. أي تم حذف كامل توتر الطور
 الواقع تحت التطابق، والتوتر المقوم الناتج هو مجموع $(V_5 + V_6)$.

مثال (9):

مجموعة تقويم تسلسلية S3 مقادة، تعمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi = 60^\circ$ ، توتر
 ثانوي المحول (خط) يساوي 400V. حثية الشبكة تساوي 3mh و تيار الحمل يساوي
 20A. احسب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج مع مراعاة التطابق وارسم شكل التوتر
 المقوم مع إظهار التطابق.

الحل:

تعطى القيمة المتوسطة للمجموعة S3 المقادة بالعلاقة التالية بدون مفايد:

$$U_C = \frac{q}{\pi} V_m \cos \psi$$

$$= \frac{3}{3.14} \times \sqrt{2} \times 400 \cos 60 = 269.4 \text{ Volts.}$$

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق يساوي:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} \cdot L_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

$$= \frac{3}{3.14} \times 0.003 \times 314 \times 20 = 18 \text{Volts.}$$

وعليه بدون باقي هبوطات التوتر، نحصل على توتر مقوم يساوي:

$$U'_C = 269.4 - 18 = 251.4 \text{Volts.}$$

- لإظهار التطابق في المجموعات التسلسلية، يلزم الانتباه لكون المجموعة ذات عدد أطوار زوجي (4 - 6 - 12) أو عدد أطوار فردي (3 - 5 - 7 - 9). ذلك لأنه في المجموعات ذات عدد الأطوار الزوجي عندما يحدث تطابق في المجموعة ذات الاتجاه الموجب، يحدث بالوقت نفسه تطابق في المجموعة ذات الاتجاه السالب. لذا يبقى مجموع التوترات الموجبة للأطوار الموجبة مساوياً للتوتر الناتج عن باقي النصف من الاطوار السالبة، ويبقى العمل متوازناً، حيث أن ما يتم فقدته من توتر موجب يكافئ ما تم فقدته من توتر سالب.

لكن في حال كون عدد الأطوار فردي وليكن (q=3). في هذه الحالة عندما يحدث تطابق في المجموعة ذات الاتجاه الموجب (بين Th₁ و Th₃) على الطور الثالث، لا يوجد عندئذ تطابق في المجموعة ذات الاتجاه السالب.

لهذا نقول أن عملية حذف كامل توتر الطور الواقع تحت التطابق، سوف يخل بتوازن التوترات الموجبة والسالبة، بالمقابل أيضاً بعد فترة زمنية $\left(\frac{T}{2q}\right)$ سوف يحدث

تطابق في العناصر السالبة بين (Th₂' و Th₃') وسيتم حذف جزء من التوتر السالب، لكن كما نرى لا يوجد تطابق في الجهة الموجبة. لذا كي يمكن تحقيق التوازن في المجموعات ذات عدد الأطوار الفردي نقول، أنه عند حدوث تطابق سواءً

كان في الجهة الموجبة أو السالبة يتم حذف نصف توتر الطور الواقع تحت التطابق (وهذا يحقق التوازن خلال الدور).

بينما في مجموعات التقويم ذات عدد الأطوار الزوجية، نعمل على حذف كامل توتر الطور الواقع تحت التطابق في المجموعات ذات الاتجاه الموجب أو المجموعات ذات الاتجاه السالب. وتبقى العلاقة النازمة لحساب هبوط التوتر نفسها للمجموعات ذات عدد الأطوار الزوجي أو الفردي هي:

$$\Delta_1 U_C = \frac{q}{\pi} \cdot l_2 \cdot \omega \cdot I_C$$

- تحسب زاوية التطابق عند وجود إزاحة بالطور بالعلاقة:

$$\cos \psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{l_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m}$$

$$\cos 60 - \cos(60 + \alpha) = \frac{0.003 \times 413 \times 20}{400\sqrt{2}}$$

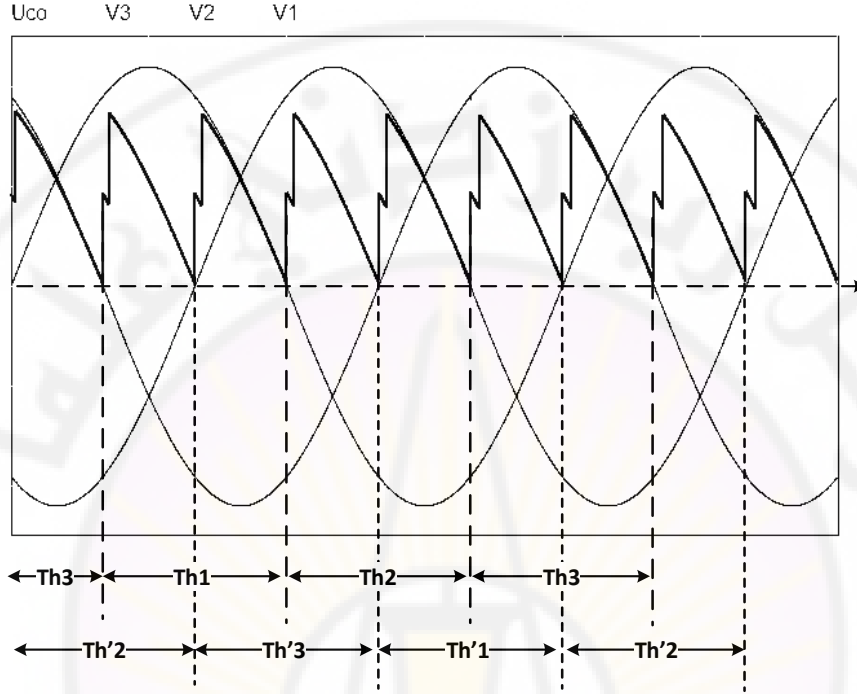
$$0.5 - \cos(60 + \alpha) = \frac{18.84}{565.7} = 0.0333$$

$$\cos(60 + \alpha) = 0.4667$$

$$60 + \alpha = \cos^{-1} 0.4667 = 62.18^\circ$$

زاوية التطابق: $\alpha = 2.18^\circ$, (بالشكل تم تكبير α لإظهار التطابق).

- حتى نتمكن من رسم شكل التوتر المقوم مع إظهار التطابق، وبمتابعة الشكل أعلاه، نلاحظ أننا أظهرنا التطابق فقط في الجهة الموجبة من التوتر ولم نتطرق للتطابق بين العناصر السالبة (Th_1' و Th_2' و Th_3'). كما نرى أنه عندما حدث تطابق بين (Th_1 و Th_3)، حدث التطابق على الطور الأول وكانت العناصر التالية في حالة توصيل (Th_1 و Th_3) في الاتجاه الموجب و Th_2' في الاتجاه السالب.



الشكل (آ-9-4) شكل التوتر المقوم مع إظهار التطابق $\psi=60^\circ$.

التوتر المقوم المحصل يجب أن يساوي (V_3+V_1) عند بدء توصيل Th_1 ، لكن بما أنه لدينا تطابق، فإننا سنعمل على حذف نصف توتر الطور الواقع تحت التطابق وهو V_1 . وعند البدء بالتوصيل يكون V_3 مساوي للصفر. لذا نأخذ ارتفاع التوتر V_1 عندئذ ونقسمه على (2) وتكون أول نقطة في التطابق. تحدد النقطة الثانية بجمع V_3 السالب إلى نصف V_1 الموجب وتحدد النقطة الثانية. هذا وإن V_3 تكون صغيرة القيمة ولا تظهر فرقاً كبيراً على الشكل مقارنة بقيمة $\left(\frac{V_1}{2}\right)$.

مثال (10):

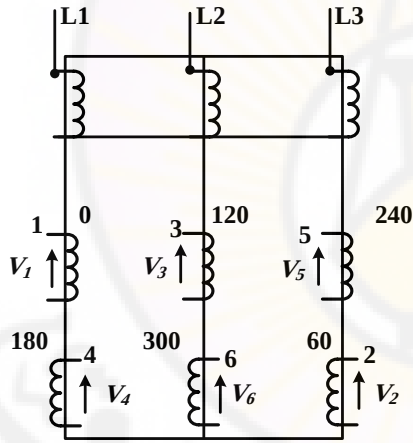
مجموعة تقويم تسلسلية $q=6$ مقادة تعمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi=0$ ارسم شكل التوتر المقوم عندئذ، وشكل التوتر العكسي على عنصر بالاتجاه الموجب Th_1 مثلاً

وعنصر بالاتجاه السالب Th_4' . اعتبر أن توتر الطور $200V$ ، اعتمد على التوترات المتواجدة في محول ثلاثي الطور ذي ست ملفات في الثانوي. وارسم دائرة الاستطاعة.

- ارسم شكل التوتر المقوم عند زاوية إزاحة بالطور 120° درجة باعتبار المجموعة نصف مقادة، وارسم شكل التوتر العكسي على أحد العناصر الثيرستورية

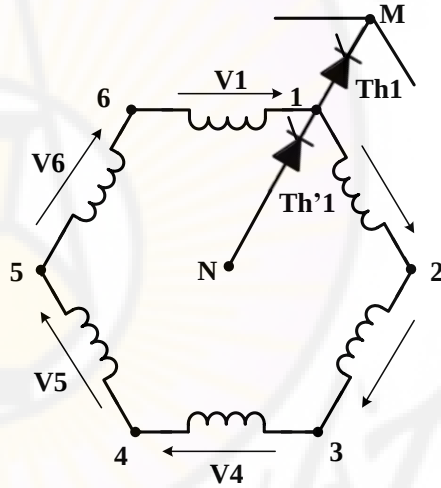
الحل:

الشكل أدناه (4-10-آ) يوضح ملفات المحول الثلاثي الطور وآلية ربط الملفات لتحقيق ثانوي المحول السداسي الطور.



الشكل (4-10-آ)

توضع الملفات في المحول الثلاثي الطور



الشكل (4-10-ب)

ربط الملفات على التسلسل وتحقيق ستة عقد

1- رسم التوتر المتوسط المقوم:

- الأشكال أعلاه توضح بدايات ونهايات ملفات الأطوار الستة ($V_6, \dots, V_2, V_1$) هذه التوترات متساوية بالتوتر، بالقيمة المطلقة، لكنها مزاحة عن بعضها البعض حسب القيم الواردة على الشكل، أي أن التوتر V_1 هو بدء نشوء التوترات وهو التوتر المرجعي ذي الزاوية صفر، وعلى نفس الذراع لدينا التوتر V_4 المزاح عنه بـ 180 درجة. على الذراع الثاني نجد التوتر V_3 بزاوية إزاحة 120 درجة بالنسبة لـ V_1 وعلى نفس الذراع الثاني نجد التوتر V_6 بزاوية إزاحة 300 درجة، وهكذا.

لتحقيق الوصل التسلسلي نقوم بوصل بداية كل ملف بنهاية الملف الثاني بالتتابع أي نربط V_1 إلى V_2 ثم V_2 إلى V_3 وهكذا V_3 إلى V_4 وفرق الطور بين كل ملف والآخر هو 60 درجة. لذا لدى رسم التوترات نرسم ست توترات فرق الطور بين كل توتر والآخر 60 درجة.

عند كل بداية ونهاية تنشأ العقدة (1) ثم العقدة (2) وهكذا. تربط عناصر الجسر المجموعات الموجبة والمجموعات السالبة لهذه العقد.

- لرسم شكل التوتر المقوم عند $\psi=0$ نلاحظ عند الزمن $t=0$ أن التوترات الموجبة هي ($V_5+V_6+V_1$) وأن التوترات السالبة هي ($-V_2-V_3-V_4$)، لذا فإن كمون العقدة (1) هو أكبر الكمونات إيجابية وعليه ينتقل العنصر D_1 أو Th_1 للتوصيل إذا طبقت عليه نبضة قدح. كما ينتقل D_4' أو (Th_4') في الاتجاه السالب. وتوتر الخرج المقوم المقاس بين M و N هو مجموع التوترات الموجبة عندئذ ($V_5+V_6+V_1$) بعد $\frac{T}{q}$

من الدور يصبح كمون العقدة (2) أكبر إيجابية من كمون العقدة (1) بالتوتر V_2 الذي انتقل ليصبح موجباً، وعندئذ يحصل التبديل، يقف D_1 أو Th_1 ويبدأ بالتوصيل (D_2 أو Th_2) يكون التوتر المقوم الناتج مساوٍ إلى ($V_6+V_1+V_2$) وهي التوترات الموجبة عندئذ.

هذا وفي حال تطبيق إزاحة بالطور على الثيرستورات، فإن التوتر المقوم الناتج سيكون دائماً مساوياً لمجموع التوترات المحصورة مثلاً بين (Th_1 و Th_4') وذلك مهما كانت قيم هذه التوترات موجبة أو سالبة.

2- رسم التوتر العكسي:

إذا أردنا رسم التوتر العكسي على عنصر تقويم في الاتجاه الموجب، ونحن نعمل عند زاوية إزاحة بالطور تساوي الصفر أو أية زاوية إزاحة بالطور أخرى، نعمل بالنتابع التالي:

- بفرض أن الزاوية صفر، أي أن العنصر الأول Th_1 أو D_1 سيعمل بدءاً من $t=0$ وصولاً إلى $\frac{T}{q}$ ، خلال تلك الفترة التوتر العكسي على Th_1 أو D_1 يساوي الصفر

لأنهما بحالة توصيل. عند $\frac{T}{q}$ يتوقف Th_1 أو D_1 ، ويبدأ بالتوصيل Th_2 أو D_2 ،

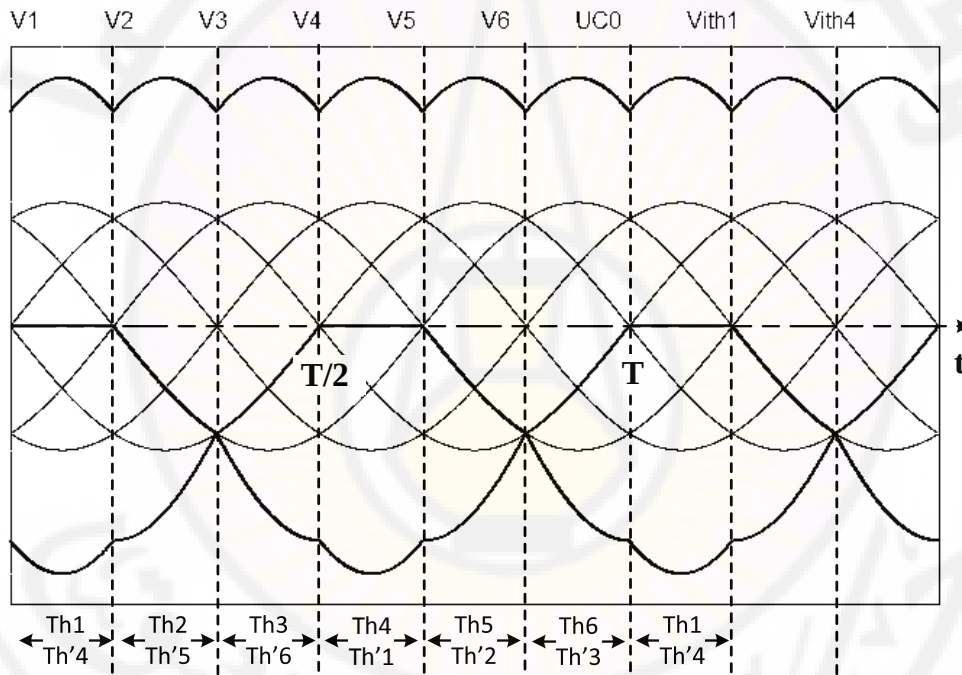
التوتر العكسي المتشكل على Th_1 هو $(-V_2)$ لأن مهابط Th_1 و Th_2 مشتركة وفرق الكمون بين مصعد ومهبط Th_1 هو $(-V_2)$. لذا نرسم $(-V_2)$. بعد $\frac{T}{q}$ أخرى

ينتقل Th_3 للتوصيل وعندئذ يصبح التوتر العكسي $(-V_2-V_3)$. ثم عند توصيل Th_4 يصبح التوتر العكسي مساوياً إلى $(-V_2-V_3-V_4)$. وهنا يصل التوتر العكسي للقيمة العظمى وبما أن q عدد زوجي فإن التوتر العكسي يصبح مساوياً كقيمة عظمى إلى $(2V_m)$.

بعدئذ ينتقل للتوصيل Th_5 ، التوتر العكسي يكون مساوياً: $(-V_2-V_3-V_4-V_5)$ لكن بما أن $(V_2$ و $V_5)$ متعاكستين يبقى لدينا $(-V_3-V_4)$.

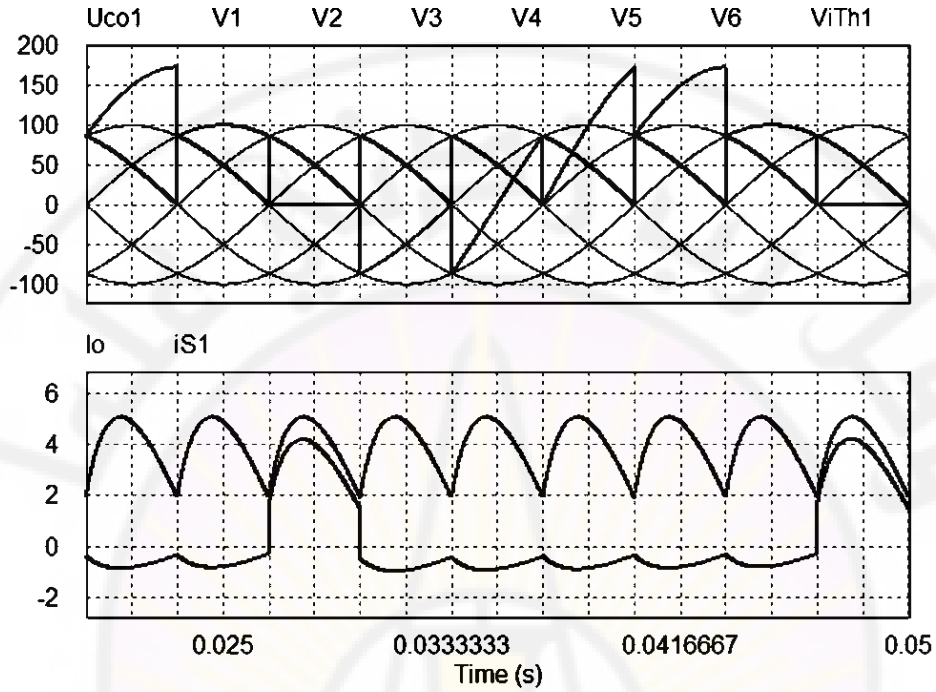
ثم في المرحلة الأخيرة ينتقل للتوصيل Th_6 ويصبح التوتر العكسي $(-V_2-V_3-V_4)$
 V_5-V_6 ويحذف التوترات المتناظرة نجد أنه تبقى لدينا $(-V_4)$. وبعد $\frac{T}{q}$ أخرى يعود
 Th_1 للتوصيل.

من الشكل (س-10-4) نرى أن التوتر العكسي أخذ شكل متناظر عند تزايد وصولاً
 للقيمة العظمى وأخذ نفس التناظر عند تناقصه.



الشكل (س-10-4) التوتر المقوم بدون إزاحة بالطور، وشكل التوتر العكسي على

Th_4 و Th_1



الشكل (د-10-4) التوتر المقوم عند إزاحة بالطور 120 لمجموعة نصف مقادة
، وشكل التوتر العكسي على TH1 ، وتيار الحمل وتيار أحد الأطوار

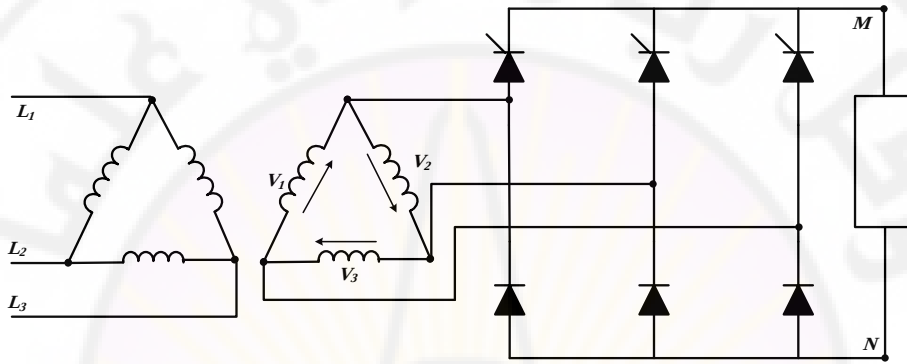
مثال (11):

مجموعة تقويم تسلسلية نصف مقادة S_3 ، تغذي حمل بمقاومة أومية قدرها 20 أوم وحثية قدرها 10 أوم، توتر الخط لثانوي المحول تساوي 410 فولت، عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 150 درجة. بين ما يلي:

- 1- احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم على طرفي الحمل عند زاوية الإزاحة المقترحة وعند زاوية تساوي الصفر. وارسم شكل التوتر المقوم عندئذ. وارسم شكل التوتر العكسي للثريستور الثاني الموجب.
- 2- القيمة المتوسطة لتيار الحمل.

3- احسب القيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد الثيرستورات المستخدمة، وارسم شكل هذا التوتر عند الزاوية 150 .

الحل:



الشكل (آ-11-4) دائرة الاستطاعة لجسر تسلسلي ثلاثي الطور

1- تعطى القيمة المتوسطة في مجموعات التقويم التسلسلية بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m$$

$$= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts}$$

$$U'_C = U_{C0} \cdot \cos \psi = 553.975 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 479.756 \text{Volts}$$

$$= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts}$$

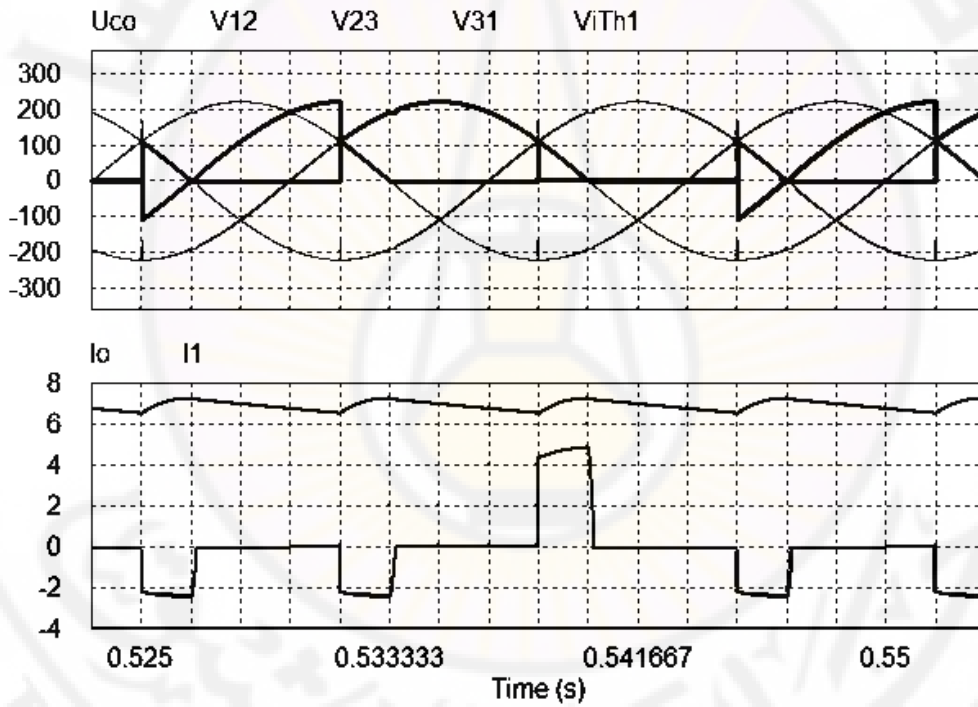
وذلك لو كان الجسر مقادراً وبما أنه نصف مقاد فإن التوتر المقوم سيعطى بالعلاقة:

$$U'_C = U_{C0} \frac{1}{2} (1 + \cos \psi) = \frac{554}{2} (1 + \cos 150)$$

$$U'_C = 37.118 \text{ Volts}$$

$$I_{load} = \frac{U_C}{R_C} = \frac{37.118}{20} = 1.8559 \text{ A}$$

$$V_{imax} = V_m = 410\sqrt{2} = 579.82 \text{ Volts}$$



الشكل (ب-11-4) شكل التوتر المقوم عند إزاحة بالطور قدرها 150 درجة والمجموعة نصف مقادة ، والتوتر العكسي وتيار الحمل وتيار أحد الأطوار

مثال (12):

مجموعة تقويم تسلسلية مقادة S_3 ، تغذي حمل بمقاومة أومية قدرها 40 أوم وحثية صغيرة ومهملة ، توتر الخط لثانوي المحول تساوي 410 فولت، عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 60 درجة. بين ما يلي:

1- احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم على طرفي الحمل عند زاوية الإزاحة المقترحة. وارسم شكل التوتر المقوم عند الزاوية 30 و 120 في كل حالة . وارسم شكل التوتر العكسي للثريستور الثاني الموجب.

- احسب القيمة العظمى للتوتر العكس 0000000 سي على أحد الثريستورات المستخدمة، وارسم شكل هذا التوتر عند الزاوية 120.

الحل:

1 تعطى القيمة المتوسطة في مجموعات التقويم التسلسلية بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m$$
$$= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts}$$

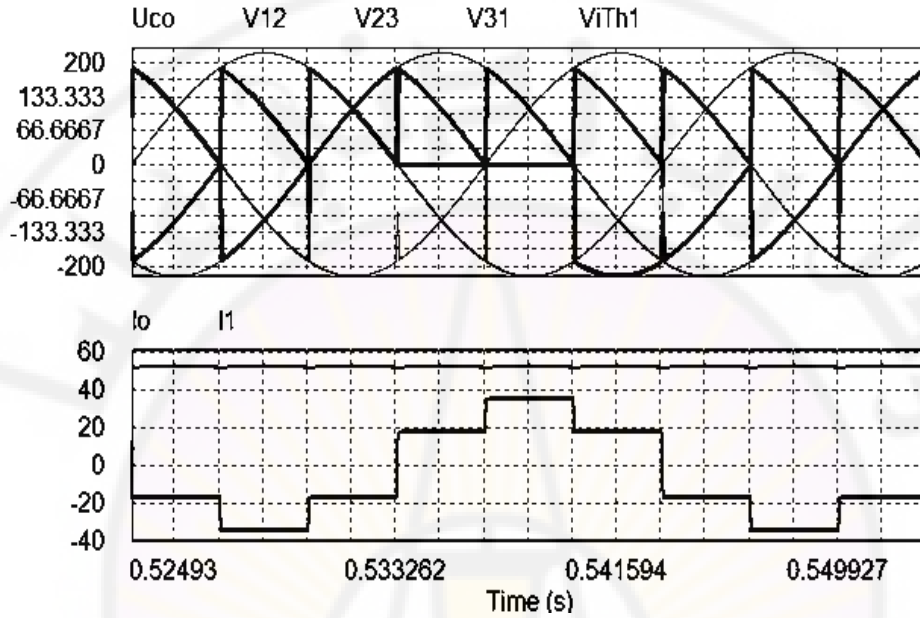
بما أن الجسر مقاد ولكنه محمل بحمل أومي فإن حساب القيمة المتوسطة تحسب بنفس العلاقة النازمة المستخدمة للجسور نصف المقادة وعليه فإن التوتر المقوم سيعطى بالعلاقة:

$$U'_C = U_{C0} \frac{1}{2} (1 + \cos \psi) = \frac{554}{2} (1 + \cos 60)$$

$$U'_C = 415.5 \text{Volts}$$

$$I_{load} = \frac{U_C}{R_C} = \frac{415.58}{20} = 20.78 \text{A}$$

$$V_{imax} = V_m = 410\sqrt{2} = 579.82 \text{Volts}$$



الشكل (آ-12-4) شكل التوتر المقوم عند الزاوية 60 لمجموعة مقادة ، وشكل التوتر العكسي وتيار الحمل ، وتيار أحد الأطوار عند نفس الزاوية

مثال (13):

مجموعة تقويم تسلسلية مقادة S_3 ، تغذي حمل تحريضي صرف ومقاومة صغيرة 2 أوم ، توتر الخط لثانوي المحول تساوي 410 فولت، عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 30 درجة. بين ما يلي:

- 1- احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم على طرفي الحمل عند زاوية الإزاحة المقترحة. وارسم شكل التوتر العكسي للثريستور الأول الموجب.
- 3- احسب القيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد الثريستورات المستخدمة، وارسم شكل هذا التوتر عند الزاوية 90.

الحل:

1 - تعطى القيمة المتوسطة في مجموعات التقويم التسلسلية بالعلاقة:

$$U_{C0} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m$$

$$= \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts}$$

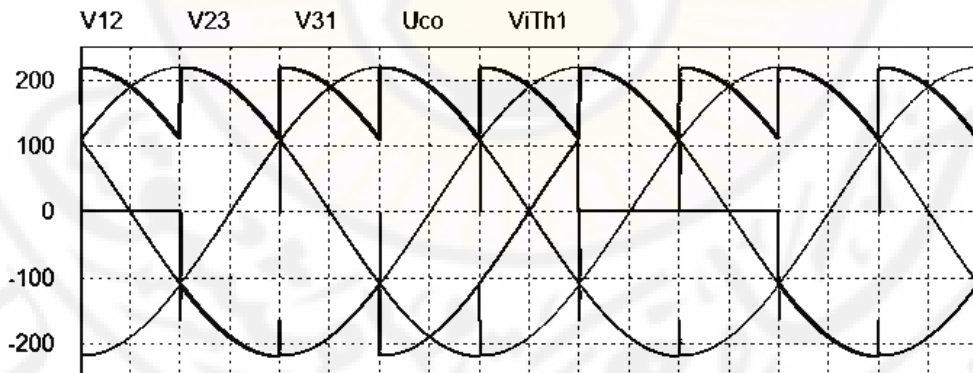
بما أن الجسر مقاد ولكنه محمل بحمل تحريضي فإن حساب القيمة المتوسطة تعطى بالعلاقة الناظمة التالية :

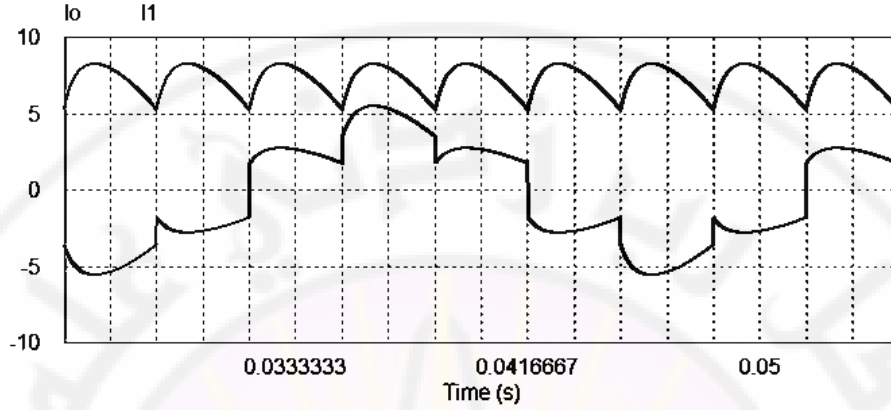
$$U'_C = U_{C0} \cdot \cos \psi = 553.975 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 479.756 \text{Volts}$$

$$U_{co} = \frac{3}{3.14} \times 410 \times \sqrt{2} = 553.975 \text{Volts}$$

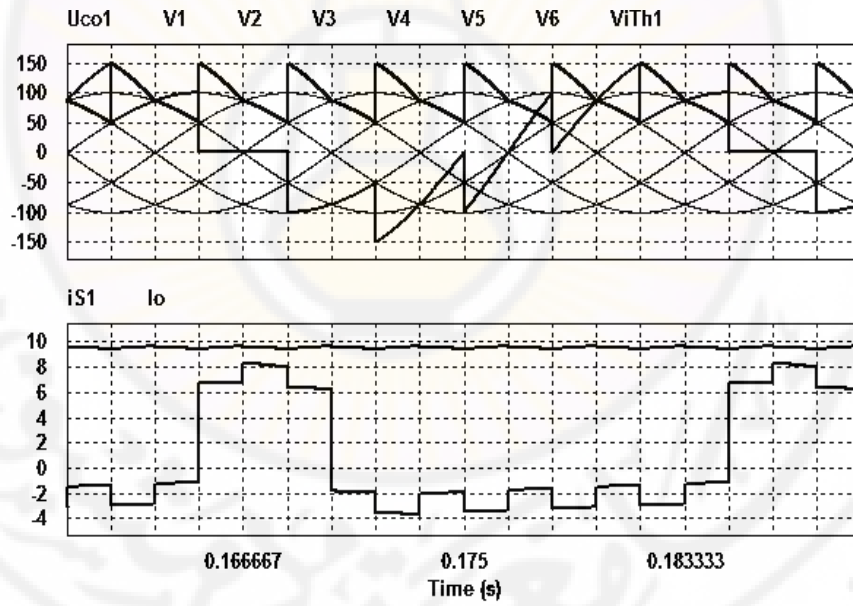
$$I_{load} = \frac{U_C}{R_C} = \frac{479.756}{2} = 289.875 \text{A}$$

$$V_{imax} = V_m = 410\sqrt{2} = 579.82 \text{Volts}$$





الشكل (آ-13-4) شكل التوتر المقوم عند زاوية تأخير بالطور 30 درجة ،
والتوتر العكسي على الثيرستور الأول-تيار الحمل و تيار أحد الأطوار



الشكل (ب-14-4) شكل التوتر المقوم عند زاوية تأخير بالطور 90 درجة
،والتوتر العكسي على الثيرستور الأول ، وشكل تيار الطور الأول و تيار الحمل

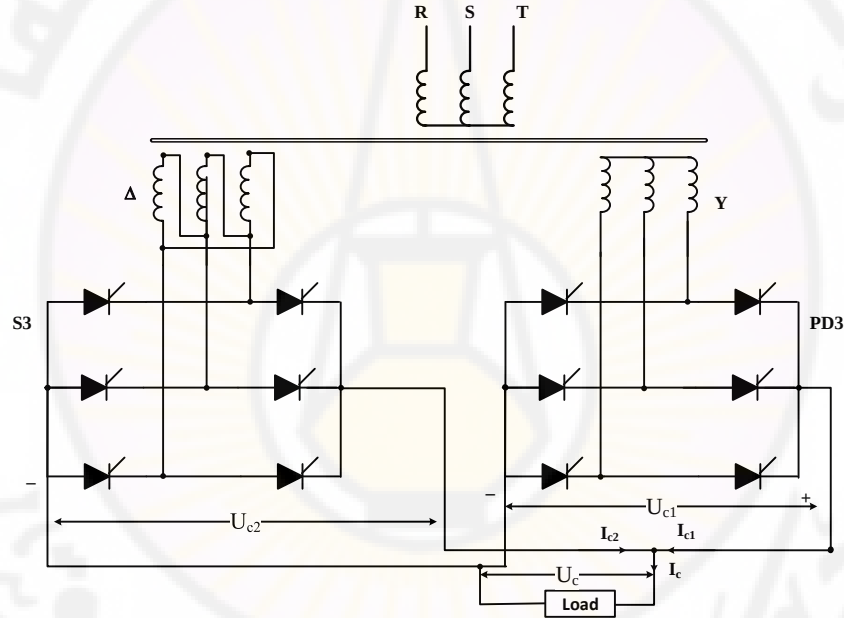
الفصل الخامس

5 - ربط مجموعات التقويم على التفرع وعلى التسلسل

مثال (1):

لديك جسر تقويم ثلاثي الطور مضاعف مغذى من محول وصلت ملفاته بشكل نجمي، ولدينا جسر آخر مضاعف ثلاثي الطور أيضاً وصلت ملفاته بشكل مثلثي. يتم ربط هذين الجسرين على التوازي، بين شروط الربط وشكل التوتر الكلي على الحمل. وارسم دائرة الاستطاعة الممكن استخدامها.

الحل:



الشكل (آ-1-5) دائرة الاستطاعة لجسرين مربوطين على التفرع.

بما أن الجسرين تم ربطهما على التفرع فإن توتر الحمل يساوي توتر أي جسر من الجسور كما أن تيار الحمل سوف يتوزع على الجسرين تبعاً لمنحني خواص

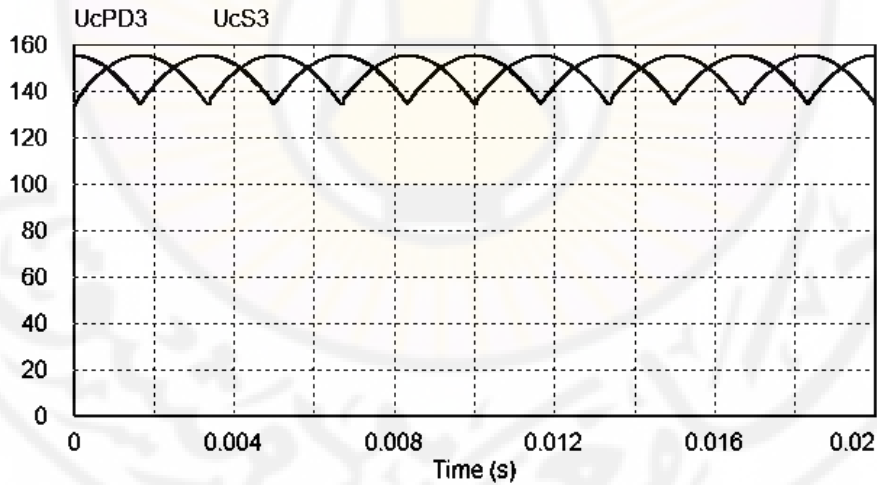
التحميل لكل جسر

$$U_C = U_{C1} = U_{C2}$$

$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$

1- مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة PD3، تعرفنا سابقاً إلى آلية عملها وشكل التوتر الناتج عند زاوية إزاحة تساوي الصفر، أو أكبر من ذلك. كما أننا درسنا المجموعات التسلسلية S3 و S6. لدى ربط مجموعتين على التفرع نجد أن كل مجموعة تعمل بشكل مستقل عن المجموعة الأخرى، وتعطي توتراً يساوي التوتر المتوسط الناتج عنها.

هذا وفي حال كان توتر أي مجموعة أكبر من توتر خرج المجموعة الثانية، فإن المجموعة ذات التوتر الأدنى سوف تتوقف عن التوصيل لأن توتر المهابط المشتركة لهذه المجموعة سيكون أكبر من توتر خرجها. وتبعاً لمنحني التحميل ولدى انخفاض توتر المجموعة الثانية سوف يعود الجسر الأول للتوصيل، وتغذية الحمل بالمشاركة مع المجموعة الأخرى.



الشكل (ب-1-5) توتر الجسرين، ومجموعهما هو توتر الخرج (مضاعفة عدد القيم)

- كل مجموعة تعطي توتراً بست قمم، لكن هذه القمم مزاحة بمقدار 30° عن بعضها البعض، ذلك بسبب الربط النجمي والمثلثي للجسور. وكما نعلم حتى يتساوى توتر الجسرين يجب أن يكون توتر الخط لملفات المحولين متساوياً. مجموعة التقويم PD3 تعتمد على توتر الطور والمجموعة S3 تعتمد على توتر الخط. أي أنه يتحقق مايلي:

$$\frac{2.q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m'$$

وبالتعويض عن $q=3$ نجد شرط تساوي توتر الجسرين هو أن يكون التوتر V_m' للمجموعة التسلسلية يساوي $\sqrt{3}V_m$ توتر الطور الأعظمي مضروباً بالثابت $\sqrt{3}$.

$$\frac{2 \times 3}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3}{\pi} \cdot V_m'$$

$$V_m \sqrt{3} = V_m'$$

مثال (2):

مجموعة تقويم تفرعية بسيطة مقادة $q=3$ ثلاثية الطور، ذات نقطة وسط، ربطت مجموعة تقويم مماثلة غير مقادة على التسلسل، بين آلية ربط هاتين المجموعتين على التسلسل، وارسم شكل التوتر المقوم الناتج وقيمة هذا التوتر، علماً أن توتر الطور في الثانوي $V_f=210V$.

الحل:

الشكل أدناه يوضح آلية ربط مجموعتين على التسلسل، نجد كيف أن مجموعة الملفات (V_1 و V_3 و V_5) أعطيت للمجموعة الاولى لتعطي التوتر المقوم U_{C1} ، وكيف أن مجموعة التوترات (V_2 و V_4 و V_6) أعطيت للمجموعة الثانية، وتعطي التوتر المقوم U_{C2} . توتر الخرج يساوي مجموع هذين التوترين، وشكل

التوتر الكلي يشابه التوتر الناتج عن مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة PD3. وعليه فإن:

$$U_{C1} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$U_{C1} = \frac{3}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \psi = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \psi$$

- التوتر الناتج عن المجموعة الثانية:

$$U_{C2} = \frac{q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$U_{C2} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m$$

$$U_C = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \psi$$

$$U_C = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos \psi)$$

توتر الخرج من نفس قيمة المجموعة التفرعية المضاعفة نصف المقادة.

- الأشكال التوضيحية تبين في الحالة الأولى عمل المجموعة الثانية عند $\psi=0$ ،

وعمل المجموعة نفسها عند $\psi=90^\circ$.

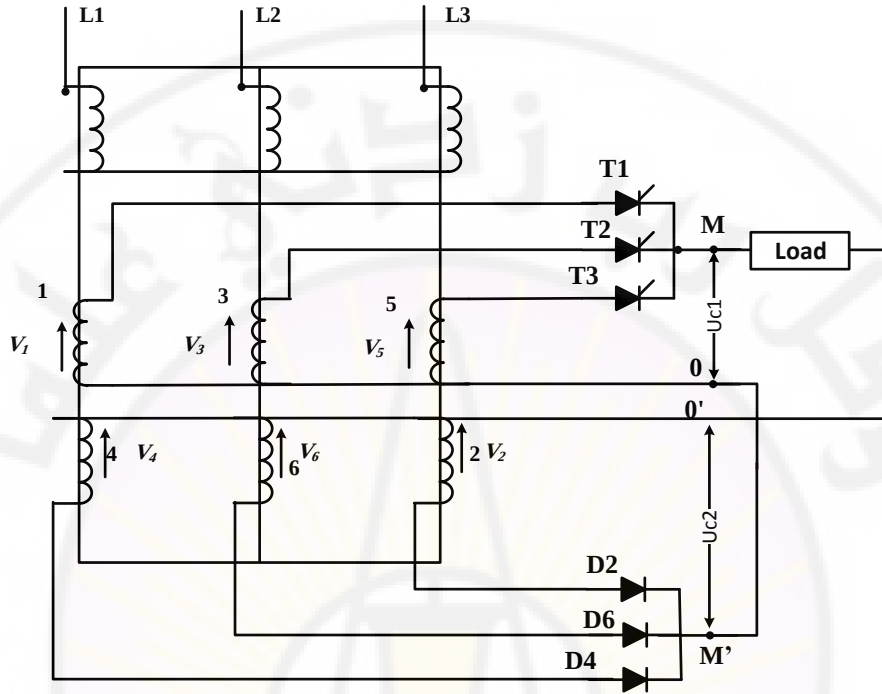
وبالتعويض نجد:

$$U_C = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \times 2 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} (210\sqrt{2}) \times 2 =$$

$$U_C = 486 \text{Volts.}$$

مع وجود إزاحة:

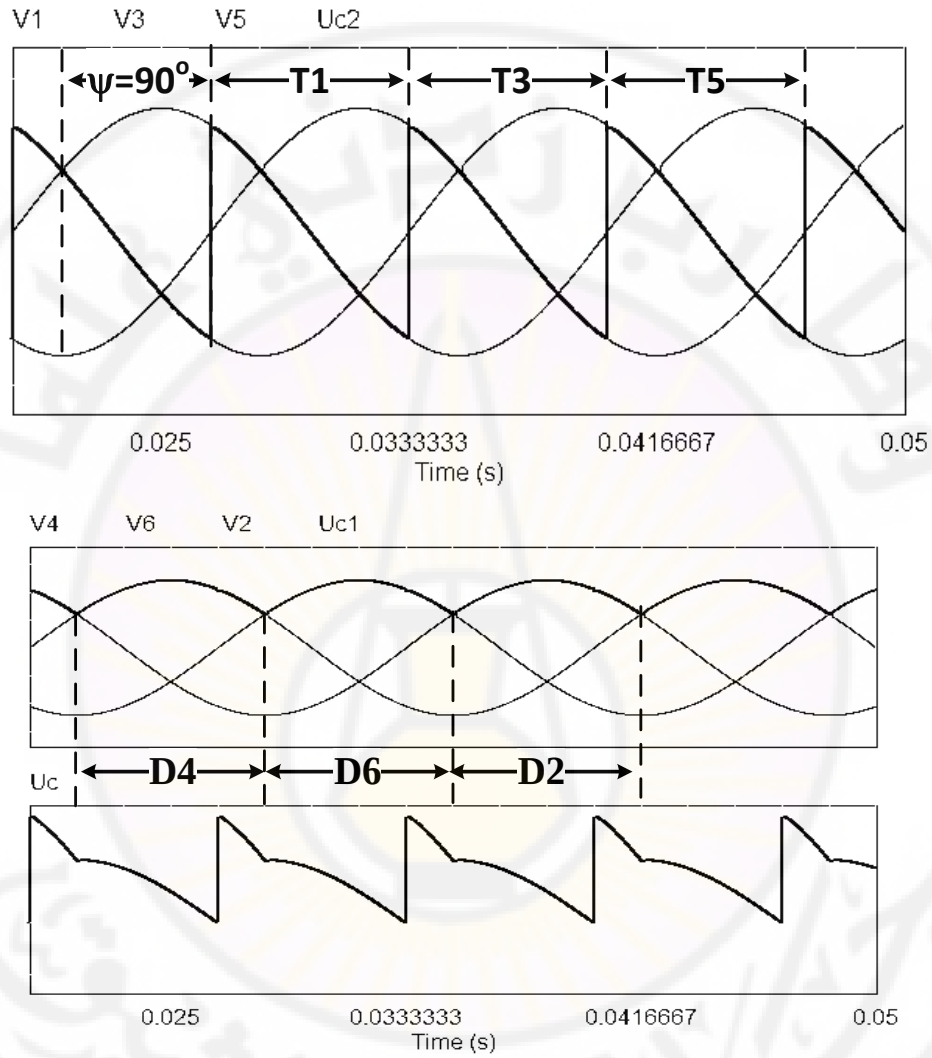
$$U_C = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} (210\sqrt{2}) = 245.5 \text{Volts.}$$



الشكل (آ-2-5) دائرة الاستطاعة لمجموعتين بسيطتين على التسلسل .

الشكل (ب-2-5) أدناه يوضح توتر خرج المجموعة الأولى مع إزاحة بالطور 90 درجة، وتوتر الجسر غير المقاد،

توتر الحمل يساوي مجموع توتر خرج الجسرين، ونرى أن شكل التوتر الكلي يشابه حالة جسر تقويم تفرعي مضاعف PD_3 ، عادة الغاية من تحقيق هذا النوع من الربط تأمين توتر خرج يبدأ من قيمة معينة ثابتة يؤخذ من خرج المجموعة غير المقادة، والحصول على توتر حمل آخر متغير يبدأ من القيمة صفر وصولاً للقيمة العظمى ،

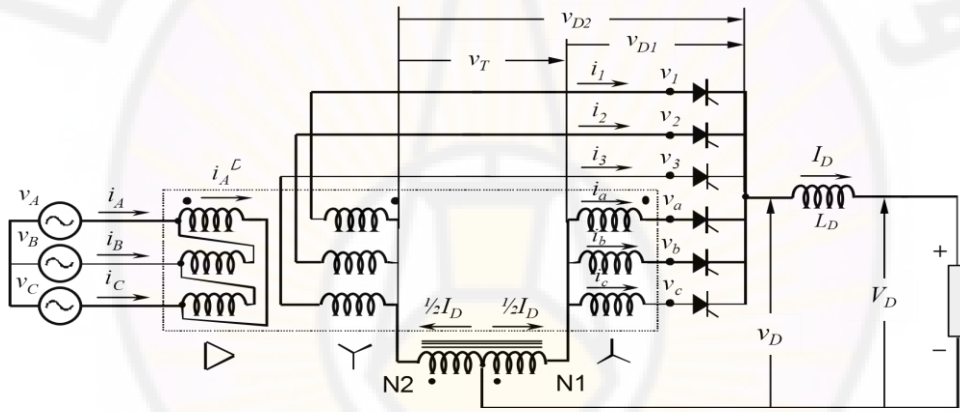


الشكل (س-2-5) عمل المجموعة كاملة عند زاوية إزاحة بالطور $\psi=90^\circ$.

مثال (3):

لدينا جسرين ثلاثيي الطور تفريحي بسيط تم ربطهما حسب الشكل نجمي مضاعف على التوازي مع ملف طور. إذا كان توتر الحمل 40 فولت و تيار الحمل 50A وتوتر ابتدائي المحول 415V (ربط مثلثي). هبوط التوتر على الديود الواحد 0.7V.

- 1- ارسم شكل التوتر المقوم الناتج وتيار كل ملف وعنصر تقويم.
- 2- حدد خواص عناصر التقويم المستخدمة، والمحول المستخدم، وملف الطور.



الشكل (آ-3-5) دائرة الاستطاعة للجسرين

الحل:

- بما أنه تم ربط جسرين تفرعين بسيطين على التفرع، فإن التوتر المتوسط المقوم الناتج عن هذا الجسر هو متوسط توتر الجسرين. نحن نعلم أن الجسر الثلاثي الطور التفرعي البسيط $q=3$ يعطي توتراً مقوماً ذي ثلاث قمم خلال الدور، هنا لدى ربط هذين الجسرين، سوف نحصل على توتر ذي ست قمم وبالتالي فإن عامل التعرّيج لتوتر الخرج سيكون أفضل وملف الطور يعمل على امتصاص فروقات التوتر اللحظية بين الجسرين.

- التوتر المتوسط المقوم يعطى بالعلاقة:

$$U_C = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_m$$

بما أن $U_C = 40V$ يمكن حساب توتر الطور في ثانوي المحول:

$$V_{Seff} = \frac{(40 + 0.7)2\pi}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = 34.8V$$

حسب الشكل (آ-3-5) بما أن عناصر التقويم موصلة على التوازي (الجسرين يحملان تيار الحمل) فإن تيار عنصر التقويم الواحد الأعظمي يساوي:

$$I_D = \frac{50}{2} = 25A$$

يمر هذا التيار في عنصر التقويم الواحد لفترة تساوي $\frac{T}{3}$ من الدور. لذا فإن التيار

الفعال لعنصر التقويم:

$$I_{Deff} = \frac{25}{\sqrt{3}} = 14.4A$$

كما أن التوتر العكسي على عنصر التقويم يساوي:

$$V_{i\max} = 2V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

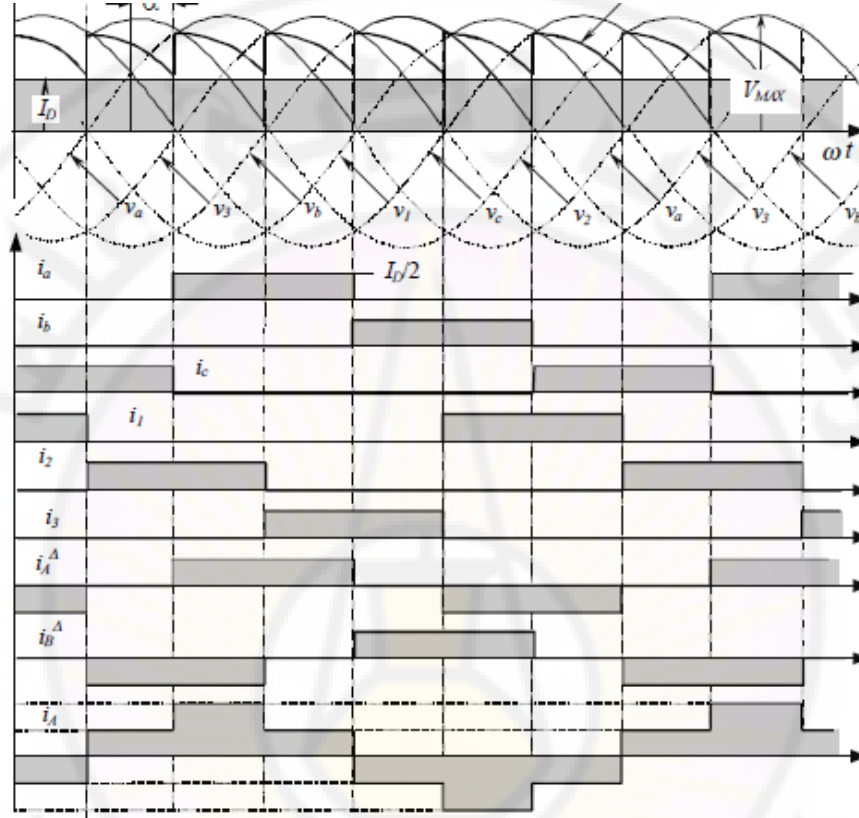
$$V_{i\max} = 2 \cdot \sqrt{2} V_{eff} \cdot \cos \frac{180}{6}$$

$$V_{i\max} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} V_{eff} = \sqrt{3} V_m =$$

$$V_{i\max} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \times 34.8 = 85.3Volts$$

- خواص محول التغذية:

- تيار الملف الثانوي الفعال يساوي تيار عنصر التقويم ويساوي: 14.4A.



الشكل (ب-3-5) التوتر المقوم الكلي، تيار الحمل، تيارات العناصر، تيار خط التغذية،

- نسبة التحويل للمحول: 415/34.8.

- مطال التيار الابتدائي الأعظمي:

$$I_p = 25 \frac{34.8}{415} = 2.1A$$

- القيمة الفعالة لتيار الابتدائي والناجح عن كل الملفات:

$$I_{Peff} = \left(\frac{(2.1)^2 + (2.1)^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.71A$$

- الاستطاعة الظاهرية لثانوي المحول كاملاً:

$$P_{Sapp} = 6 \times 34.8 \times 14.4 = 3.01KVA$$

- الاستطاعة الظاهرية لابتدائي المحول:

$$P_{Papp} = 3 \times 415 \times 1.71 = 2.13KVA$$

- توتر ملف الطور المتشكل هو عبارة عن الفرق اللحظي بين توتر طورين مزاحين عن بعضهما بـ 60 درجة وذلك خلال الـ 30 درجة الأولى. لذا يمكن القول أن توتر الملف يعطى بالشكل:

$$V_R = 34.8\sqrt{2}\sin\omega t$$

وعليه فإن المساحة الواقعة تحت هذا المنحني V_R للفترة 30° تساوي:

$$\chi = \int_0^{\pi/6} 34.8\sqrt{2}\sin\omega t d\omega t = 6.593$$

وكما أن المساحة تحت المنحني الجيبي ذي القيمة الفعالة V والذي يساوي دوره ثلاث أمثال الدور العادي خلال 30 درجة سوف يعادل:

$$y = \int_0^{\pi/6} V\sqrt{2}\sin 3\omega t d\omega t = 0.472V$$

ومنه يمكن حساب توتر ملف الطور خلال الدور أي أن:

$$6.593 = 0.472V$$

$$V = \frac{6.593}{0.472} = 13.968Volts$$

التيار المار في ملف الطور يساوي نصف تيار الحمل:

$$\frac{50}{2} = 25A.$$

وعليه فإن استطاعة ملف الطور الظاهرية تساوي:

$$13.968 \times 25 = 350V.A$$

مثال (4):

يتم تغذية حمل مستمر بتوتر 2000V، 300A باستخدام مقوم سداسي الطور (Six phase). ما هي خواص الثيرستورات المستخدمة (أو الديودات)، وما هي توترات الأطوار الثانوية للمحولات المستخدمة، وذلك عند وصل جسرين مضاعفين على التسلسل ثم وصلهما على التفرع. أهمل هبوطات التوتر على عناصر التقويم.

الحل:

- الشكل (آ-4-5) يوضح طريقة ربط الجسرين على التسلسل وهنا توتر الخرج يساوي مجموع توتر الجسرين

$$U_C = U_{C1} + U_{C2}$$

وتيار الحمل I_L يمر في كلا الجسرين عدد قمم التوتر المقوم للجسر الأول ست قمم، وعدد القمم للجسر الثاني ست قمم، لكن بما أنه يوجد انزياح 30° بين توترات الأطوار الموصلة بشكل Y, Δ فإن قمم التوترات المقومة ستكون مزاحة بـ 30° ومجموعهما سيكون توتراً مقوماً ذي (12) رتبة.

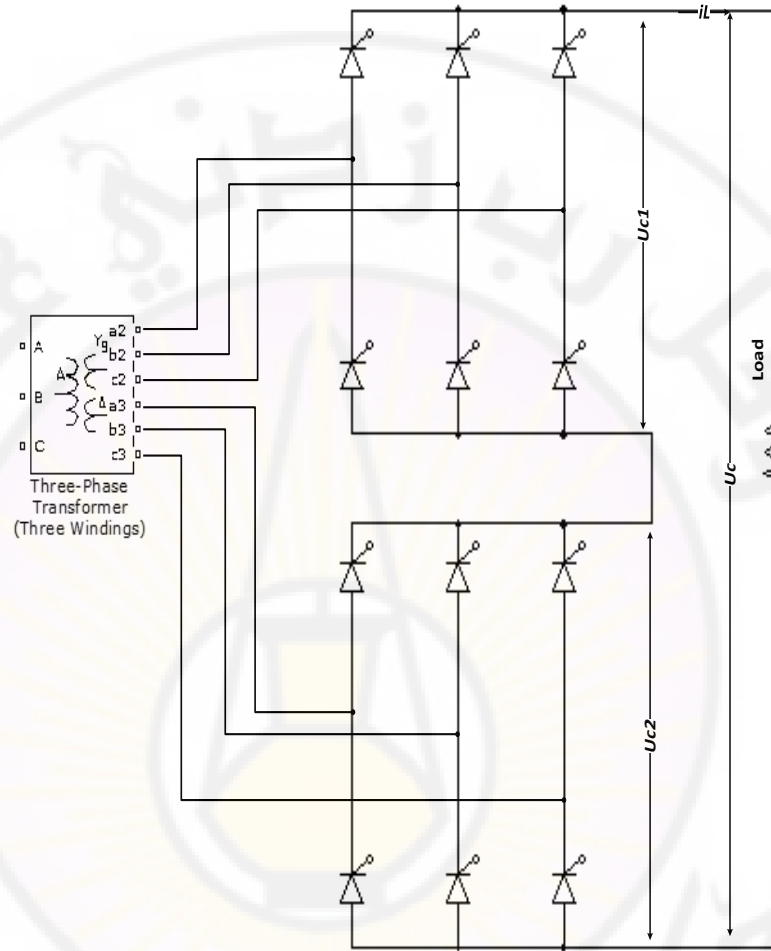
- التوتر المقوم الناتج من كل جسر إذاً يساوي:

$$\frac{2000}{2} = 1000V$$

ويعطى التوتر لكل جسر بالعلاقة:

$$U_{C1} = \frac{2.q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$

$$V_m = \sqrt{2} V_{eff} \text{ التوتر الأعظمي للطور}$$



الشكل (آ-4-5) ربط تسلسلي لمجموعات التقويم

$Q = 3$ عدد الأطوار. وعليه:

توتر الخط الأعظمي: $V_{mL} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} V_{eff}$.

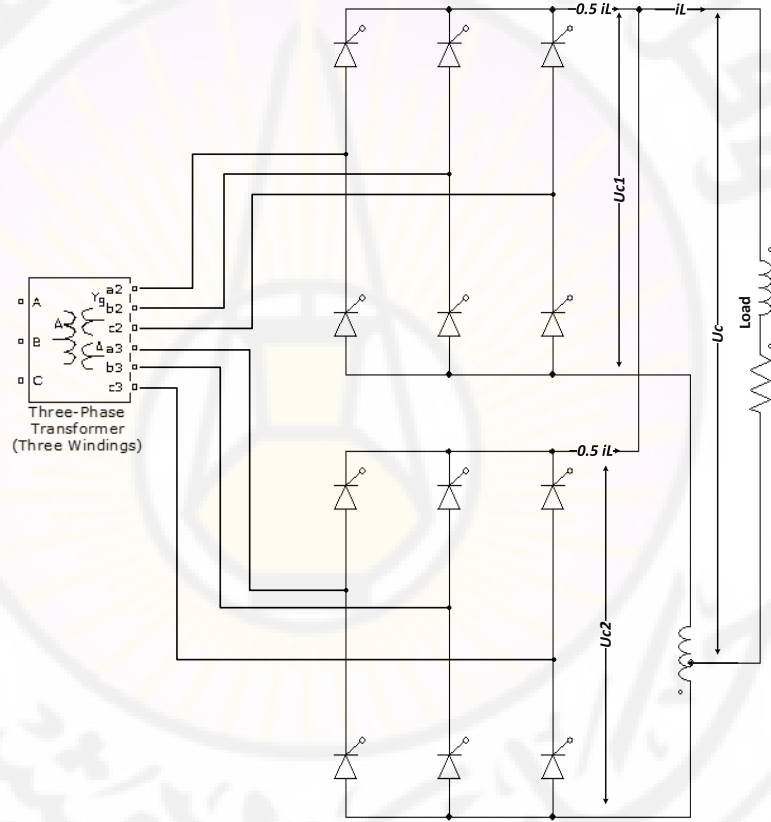
وعليه:

$$U_{c1} = \frac{2 \times 3}{\pi} V_m \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$U_{C1} = \frac{3}{\pi} V_{mL}$$

توتر الجسر الثاني الموصل بشكل مثلثي يعطى كما نعلم أيضاً بالعلاقة:

$$U_{C2} = \frac{q}{\pi} V'_m$$



V'_m : هي توتر الطور الأعظمي، لكن بما أن المحول موصول بشكل مثلثي فإن هذا التوتر يساوي توتر الخط ويساوي أيضاً توتر الخط للمحول الموصول نجمي. أي أن كل جسر من هذين الجسرين سيعطي توتراً مساوياً للآخر ويعطى بالعلاقة:

$$U_{C1} = U_{C2} = \frac{3}{\pi} V_{mL}$$

بالتعويض:

$$1000 = \frac{3}{\pi} V_{mL}$$

توتر الخط الأعظمي:

$$V_{mL} = 1000 \times \frac{\pi}{3} = 1047V$$

أي للمحول الموصول نجمي سيكون توتر الطور الواحد:

$$\frac{1047}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = 427.5V = 428V$$

- التوتر العكسي الأعظمي لعناصر التقويم يعطى أيضاً بالعلاقة:
في حالة جسر مضاعف:

$$V_{i\max} = 2.V_m \cos \frac{\pi}{2q}$$

$$V_{i\max} = 2 \cdot \sqrt{2} \times 427.5 \times \cos \frac{180}{6}$$

$$V_{i\max} = 2 \cdot \sqrt{2} \times 427.5 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1047V$$

وهو التوتر العكسي المتشكل على عناصر الجسر الموصل نجمي أو مثلثي. لأننا نعلم أنه عند وصل المحول مثلثي، يعطى التوتر العكسي عندئذ بالعلاقة:

$$V_{i\max} = V_{mL} = 1047V$$

- كل ثيرستور أو ديود يحمل تيار الحمل لفترة $\frac{T}{q}$ من الدور وبما أن تيار الحمل

300A عندئذ التيار الفعال للثيرستور:

$$I_{eff} = \frac{I_l}{\sqrt{3}} \text{ ويساوي } \frac{300}{\sqrt{3}} = 173A$$

- لدى وصل ملفات المحول بشكل مثلثي توتر الطور الفعال هو توتر الخط الفعال ويساوي:

$$\frac{1047}{\sqrt{2}} = 740V$$

- لدى ربط مجموعات التقويم على التفرع شكل (ب-4-5)، عندئذ كل جسر عليه أن يقدم توتر الحمل الكامل 2000 فولت، وكل جسر بالمقابل سوف يقدم نصف تيار الحمل. لذا في هذه الحالة، توتر الخط الأعظمي للمحولات سيكون مساوياً:

$$U_C = 2000 = \frac{3}{\pi} V_{mL}$$

$$V_{mL} = 2000 \frac{\pi}{3} = 2094V$$

عندئذ توتر الطور الفعال للمحول الموصول نجمي سيكون:

$$V_{pheff} = \frac{2094}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = 855Volts$$

و توتر الطور الفعال للمحول الموصول مثلثي سيكون:

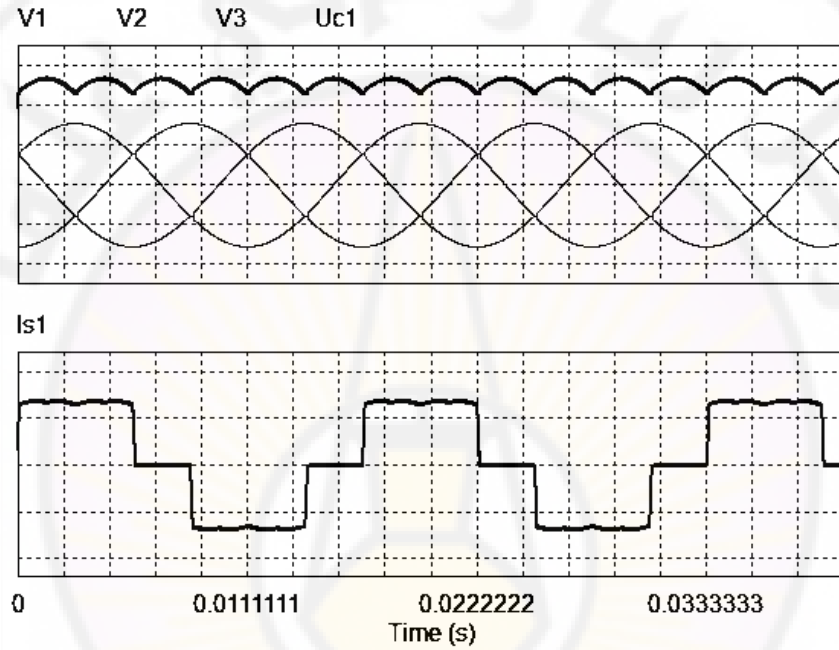
$$V_{pheff} = \frac{2094}{\sqrt{2}} = 1481V$$

مثال (5):

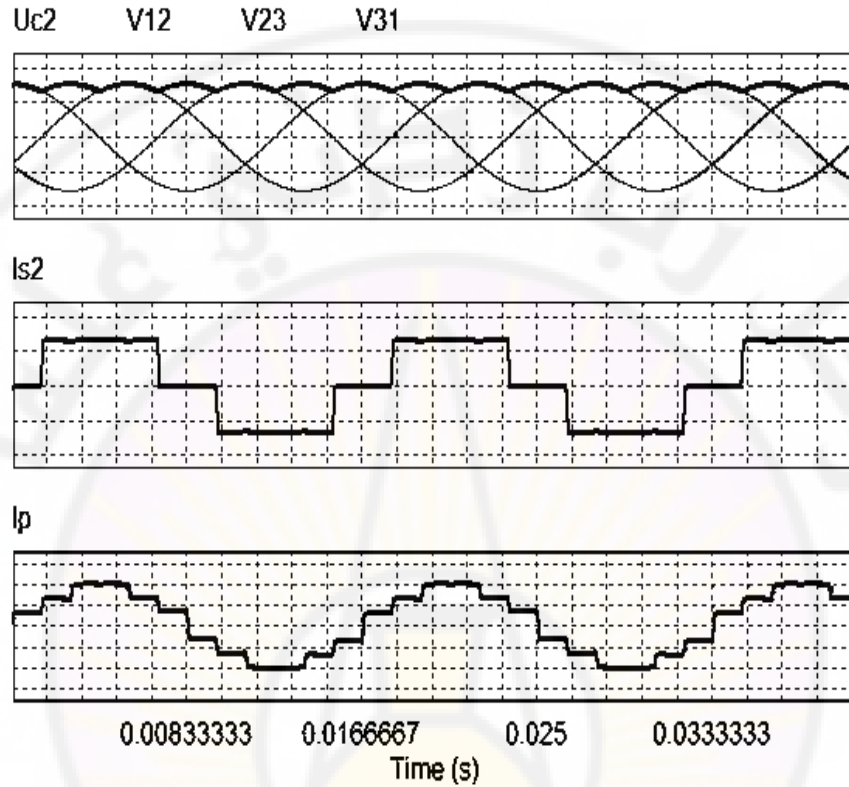
في المثال رقم 4 / تم ربط جسرين على التسلسل أو على التفرع للحصول على تيار الحمل 300A وتوتر حمل 2000V. ارسم شكل التوتر المقوم الناتج عن ربط الجسرين على التسلسل، وكذلك ارسم شكل تيار الطور في ملفات المحول

الموصول بشكل نجمي، وتيار الطور في ثانوي المحول الموصول دلتا. وبما أن ملفات الثانوي مغذاة من ملف ابتدائي وحيد. ارسم شكل تيار الملف الابتدائي

الحل:



الشكل (آ-4-5) تيار الطور في حال الوصل النجمي



الشكل (ب-4-5) تيار الطور في حال الربط المثلثي، وتيار الابتدائي في الحقيقة لدى ربط الجسور على التسلسل على كل جسر ان يتحمل كامل تيار الحمل لأن تيار الحمل الكامل يمر في كلا الجسرين .

مثال (6)

لدينا جسر تقويم ربط بشكل تفرعي مضاعف توتر الطور الواحد 210 فولت ، ربط على التفرع مع جسر تقويم ربط بشكل تفرعي مضاعف أيضاً توتر الطور فيه 230 فولت ,إذا كان تيار الحمل 40 أمبير بين كيف سيتوزع التيار بين الجسرين .

الحل :

- بداية يمكن حساب التوتر المتوسط المقوم الناتج عن كل جسر عند حالة عدم وجود إزاحة بالطور ،او بتعبير آخر يلزم حساب توتر اللاحمل لكل جسر تقويم.
- يعطى التوتر المقوم للجسر الأول بالشكل :

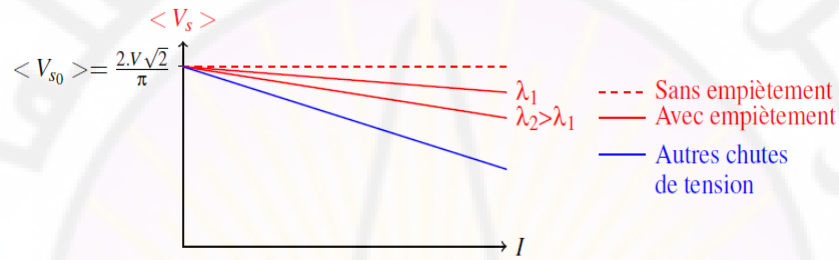
$$U_{C0} = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$
$$= \frac{2 \times 3210 \times \sqrt{2}}{\pi} \times 0.866$$
$$U_{C0} = 2.33 \times 210 = 489.975V$$

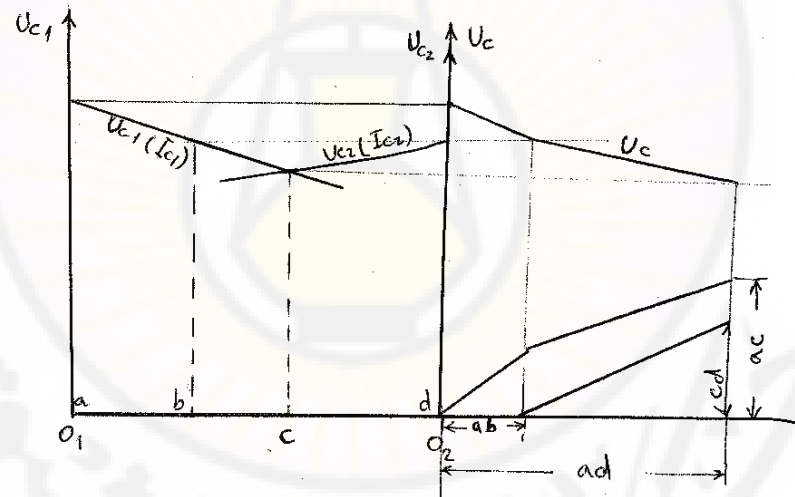
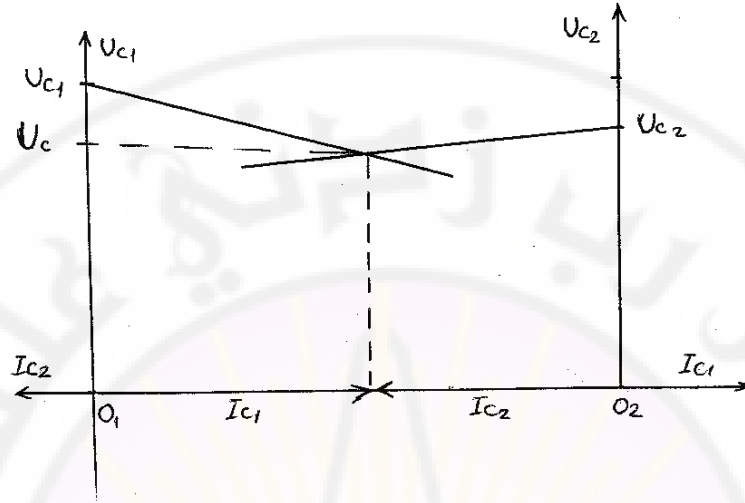
- يعطى التوتر المتوسط المقوم للجسر الثاني بالشكل :

$$U_{C0} = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}$$
$$= \frac{2 \times 3230 \times \sqrt{2}}{\pi} \times 0.866$$
$$U_{C0} = 2.33 \times 230 = 535.9V$$

بالنظر للتوتر المقوم الناتج عن كل جسر ،نلاحظ ان الجسر الثاني سوف يعطي توتر مقوم أكبر من توتر الجسر الأول لذا لدى ربط الجسرين ببعضهما سوف يتم حجز الجسر الاول ويجبر الجسر الثاني على تقديم تيار الحمل والذي قد يكون أكبر من تياره الاسمي ويجب الانتباه لهذه الظاهرة ،عادة يلزم معرفة علاقة التوتر بتيار الحمل ويجب أن يتساوى ميل هذين الجسرين حتى يقدم كل جسر تياراً يساوي تيار الجسر الآخر (في الكتاب النظري تم عرض وبيان توزيع الحمل حسب ميل كل منحني وخواصه الخارجية). الشكل أدناه يوضح منحنى الخواص

الخارجية لكل جسر وتغير التوتر مع تيار الحمل، ونرى كيف يتحمل أحد الجسور تيار الحمل كاملاً إلى أن ينخفض التوتر هذا الجسر ليصبح مساوياً لتوتر الجسر الثاني عندئذ يدخل الجسر الثاني بتغذية الحمل ويتوزع التيار على الجسرين حسب ميل منحنى الخواص لكل منهما، والشكل أدناه (5-5) يوضح هبوطات التوتر في جسر التقويم .





الشكل (6-5) منحنى توتر الخرج والحمل، توزيع التيار بين الجسرين في حال

عدم تساوي توتر الاحمل

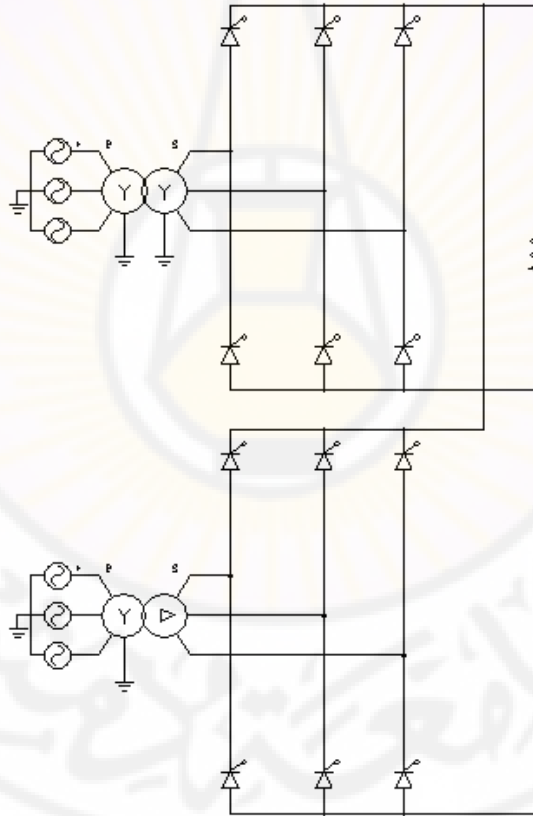
مسألة (7) :

تم ربط مجموعتين PD3, S3، ربط على التفرع وعلى التسلسل، وتم قدح العناصر الثيرستورية عند الزاوية 45، بفرض أن توتر الخط للمحول 230 فولت ،

ارسم شكل التوتر المقوم الناتج في كل حالة ،وتيار الطور لكل مجموعة ،وتيار الحمل .

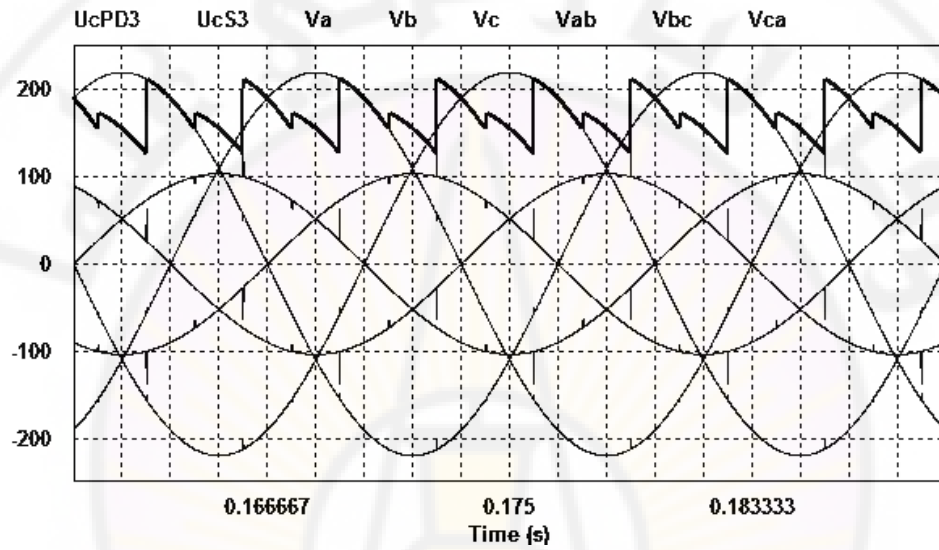
الحل :

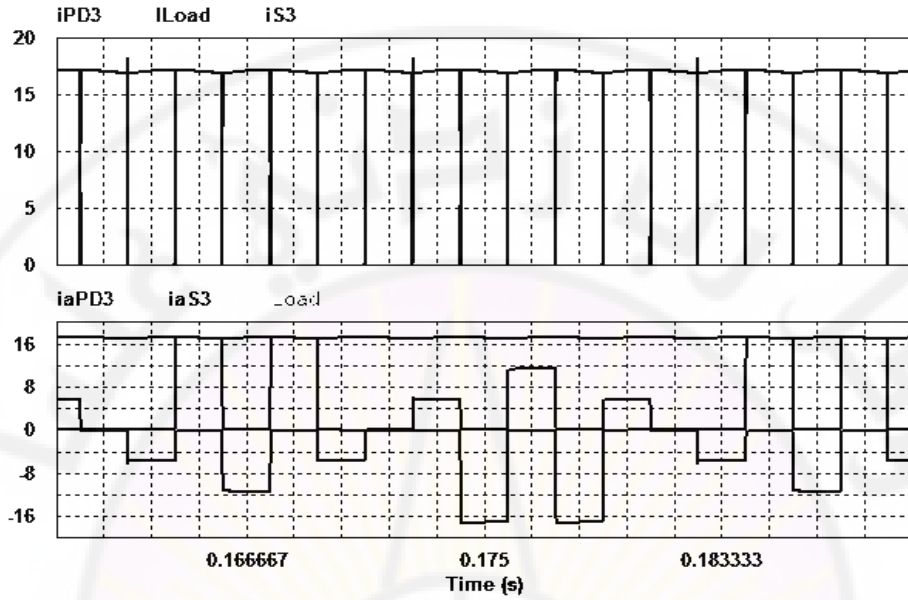
الشكل (آ-5-7) أدناه يوضح شكل التوتر المقوم الكلي الناتج عن المجموعة المربوطة على التسلسل وتيار الحمل والذي يبدو مستمر وكذلك التيار المار في كل طور من اطوار المحول .



الشكل (آ-5-7) ربط المجموعات على التفرع

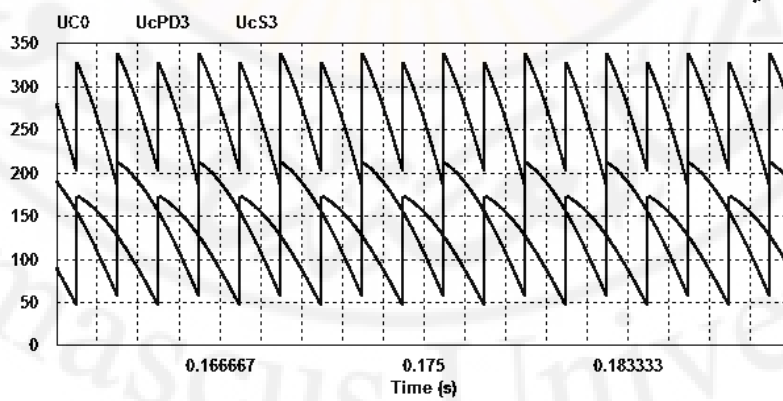
- الأشكال الواردة الشكل (ب-7-5) ادناه توضح شكل التوتر المقوم على الحمل عند الربط التفرعي، كما تظهر تيار الحمل وتيار الطور لكل مقوم .

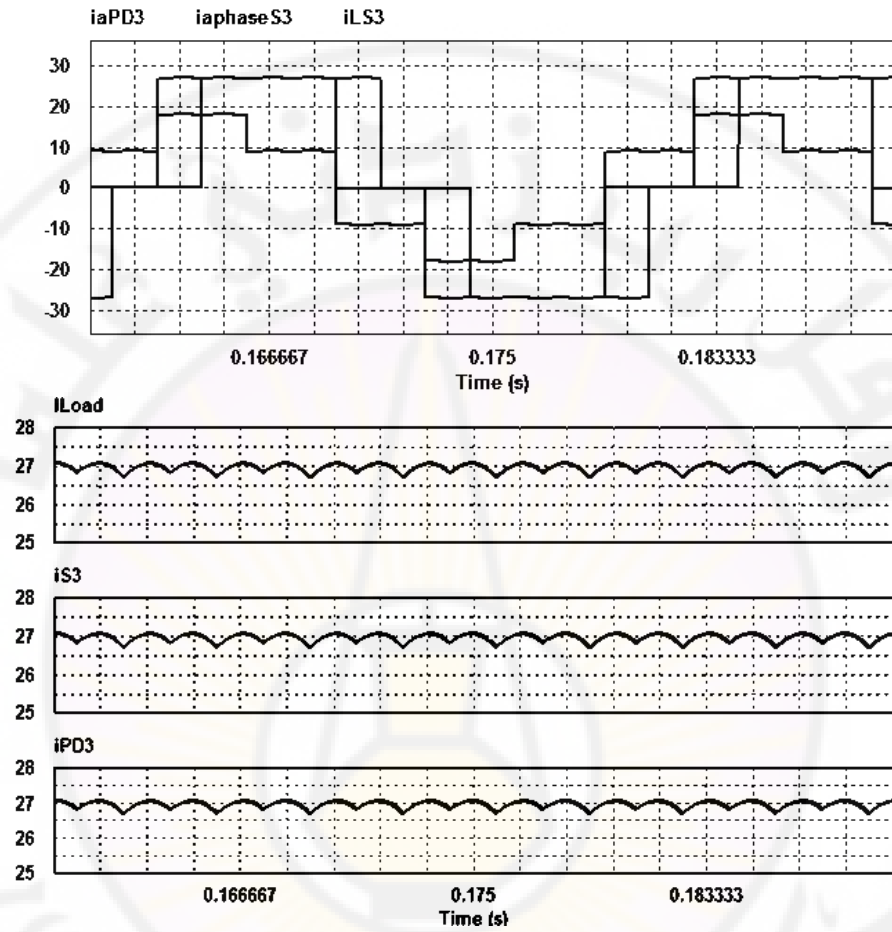




الشكل (ب-7-5) توتر الحمل للمجموعة المرتبطة على التوازي وتيار الطور لكل مقوم وتيار الحمل الكلي

2 - لدى ربط المجموعتين على التسلسل نلاحظ ارتفاع توتر الخرج كونه يساوي مجموع التوترين كما نلاحظ تحسن في تيار الحمل وتيار المحول المغذي





الشكل (س-7-5) توتر الحمل للمجموعة المرتبطة على التسلسل وتيار كل مقوم ، وتيار الحمل الكلي



الفصل السادس

سادساً- جسور التقويم التفرعية المضاعفة
ذات الاتجاه المزدوج للتيار

Dual Converters



مثال(1):

مبدل تيار مضاعف والتبديل عن طريق الحمل:

Current- Source Inverter or Load Commutation (Load commutated Converter)LCC

الشكل (آ-1-6) أدناه يبين دائرة محرك تزامني مغذى من مبدل تيار مضاعف (DUAL- Converter) حيث يتم تبديل التوصيل للعناصر الثيرستورية في الجسر العاكس (Inverter) عن طريق توترات المحرك V_{AN} , V_{BN} , V_{CN} التي ستتولد فيه بعد أن يكتسب سرعة دوران أولية. وهذا ممكن لأن المحرك التزامني يمكنه العمل عند عامل استطاعة متقدم (Leading Power Factor). هذا النوع من المحركات يستخدم في الأحمال الصناعية الكبيرة جداً. ممانعة التبديل L_C لكل طور في الشكل (ت-2-6) تمثل الممانعة فوق العابرة (Sub transient inductance) للمحرك التزامني وذلك نظراً لقصر فترة التبديل. أمواج توترات الخطوط مبينة بالشكل (ء-5-6) . يلاحظ أن تبديل التيار في الشكل (س-4-6) من الثيرستور T_5 إلى الثيرستور T_1 سوف يحدث عندما يصبح توتر الخط V_{AC} موجباً وإن زاوية الإزاحة بالطور α هنا أكبر من 90° و $(\beta = \pi - \alpha)$ زاوية التقدم. وبما أنه في الرسم تم اعتماد توترات الخطوط. فإن التيار المار في الطور A ، عند تطبيق نبضة القدح $90^\circ > \alpha$ ، سيكون تياراً سالباً.

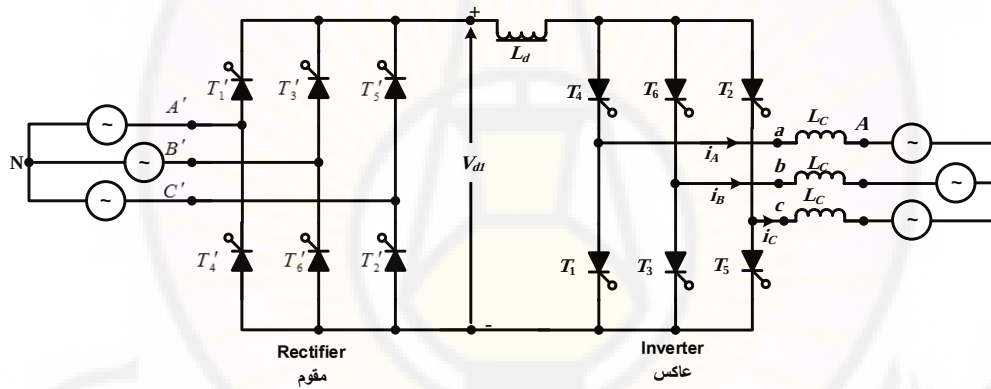
كما نعلم يجب استخدام نبضات قدح عريضة لا تقل عن 120° ، وكل 60° درجة يتم التبديل بين العناصر أو يحدث تبديل في الجسر الثيرستوري المستخدم.

- للتوضيح من أجل $90^\circ > \alpha$ ، في الشكل (س-4-6) ، وبفرض أن العناصر T_5 و T_6 كانت موصلة، وعندئذ سيكون توتر الحلقة المستمر DC-Link V_d يساوي V_{CB} . لدى توصيل T_1 عند الزاوية α ، وعند تيار مستمر I_d ثابت، خلال هذه الفترة،

توتر الخط الموجب V_{AC} يخفض التيار i_{T5} حتى يصل الصفر، كما يرفع من تيار الثيرستور i_{T1} حتى يصل للقيمة I_d ، خلال الفترة الزمنية u ، والتي تمثل فترة التطابق وزاوية التطابق. الآن وقد تم إطفاء T_5 ، يستمر T_1 و T_6 بالتوصيل ويصبح توتر الحلقة المستمر مساوياً $V_d = V_{AB}$.

- وعليه يمكن تبديل التيار في ملفات المحرك من طور إلى آخر ، بمتابعة التبديل في عناصر الجسر.

بما أن القيمة المتوسطة للتوتر المستمر V_d سالب والتيار I_d دائماً موجب فإن الاستطاعة ستجري من الحلقة المستمرة إلى الآلة. ولذا ستعمل كمحرك.



الشكل (آ-1-6) دائرة المبدل حيث يتم تبديل العناصر عن طريق الحمل LCI

لدى التدقيق في عمل المبدل العاكس والذي يعمل عند إزاحة بالطور أكبر من 90 درجة وأصغر من 180 نجد في الشكل (ب-3-6) أن التوترات الناتجة عن المهابط المشتركة أصبحت سالبة، والتوترات الناتجة عن المصاعد المشتركة أصبحت موجبة. وتوتر الجسر الكامل المعكوس U_{C2} ، وهو التوتر المقابل للتوتر القادم من جسر التقويم V_{d1} .

- من الدارة المكافئة في الشكل (س-4-6) لدينا:

$$i_{T1} + i_{T5} = I_d \quad \dots\dots(1)$$

$$L_C \frac{di_{T1}}{dt} - V_{AC} - L_C \frac{di_{T5}}{dt} = 0 \quad \dots\dots(2)$$

بما أن I_d ذي قيمة ثابتة وبإجراء تفاضل للعلاقة (1) نجد:

$$\frac{di_{T5}}{dt} = -\frac{di_{T1}}{dt} \quad \dots\dots(3)$$

بالتعويض من العلاقة (3) في العلاقة (2) أعلاه:

$$\frac{di_{T1}}{dt} = \frac{V_{AC}}{2L_C}$$

وحيث أن:

$$V_{AB} = \sqrt{3}(\sqrt{2}V)\sin\omega t \quad \dots\dots(5)$$

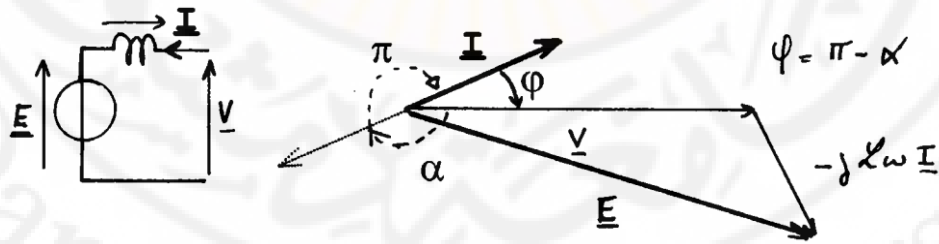
فإن:

$$V_{AC} = \sqrt{3}(\sqrt{2}V)\sin(\omega t - 60^\circ)$$

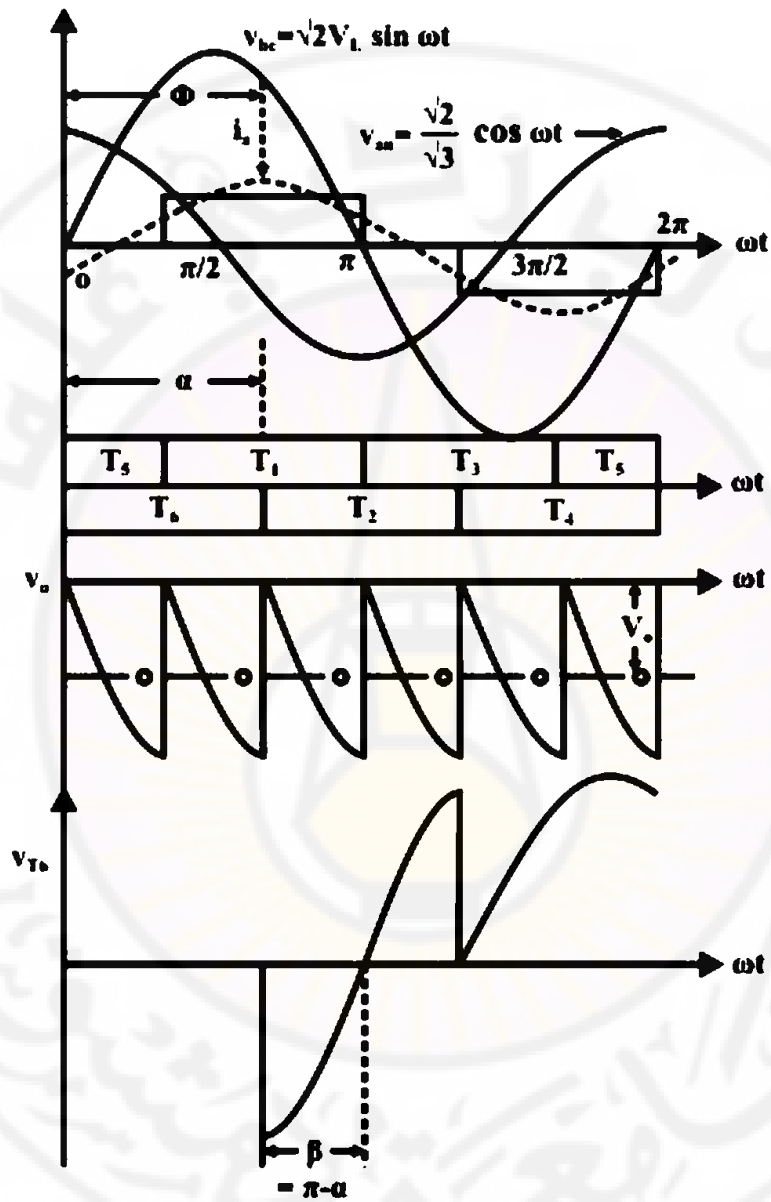
توتر حلقة التوتر المستمر يمكن التعبير عنها عندئذ بالشكل:

$$V_d = -L_C \frac{di_{T1}}{dt} + V_{AB} = V_{AB} - 0.5V_{AC} \quad \dots\dots(7)$$

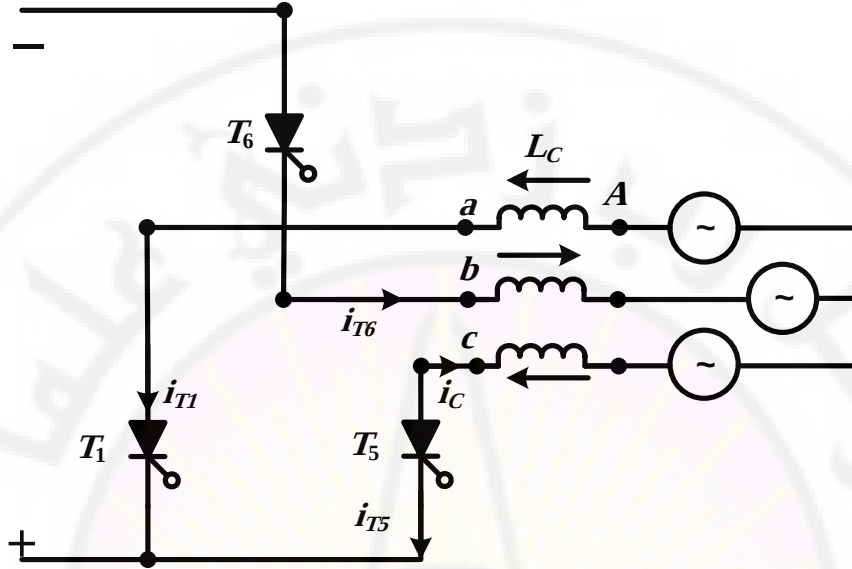
عند $i_{T5} = I_d$, $i_{T5} = 0$, $\omega t = \alpha + u$



الشكل (ت-2-6) مخطط شعاعي للتوتر المطبق والقوة المحركة العكسية وتيار المحرك



الشكل (ب-3-6) توتر خرج المبدل، وتيارات الأطوار المارة بملف المحرك



الشكل (س-4-6) الدارة المكافئة خلال فترة التبديل بين T_5 و T_6 دائماً موصل خلال التبديل.

عند انتهاء فترة التطابق من العلاقة (4) نجد:

$$I_d = \frac{1}{2\omega L_c} \int_{\alpha + \frac{\pi}{3}}^{\alpha + \frac{\pi}{3} + u} V_{AC} d(\omega t) \quad \dots\dots\dots(8)$$

بالتعويض عن V_{AC} من العلاقة (6) يكون لدينا:

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + u) = \frac{2\omega L_c I}{\sqrt{6}V} \quad \dots\dots\dots(9)$$

وبما أن:

$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad \dots\dots\dots(10)$$

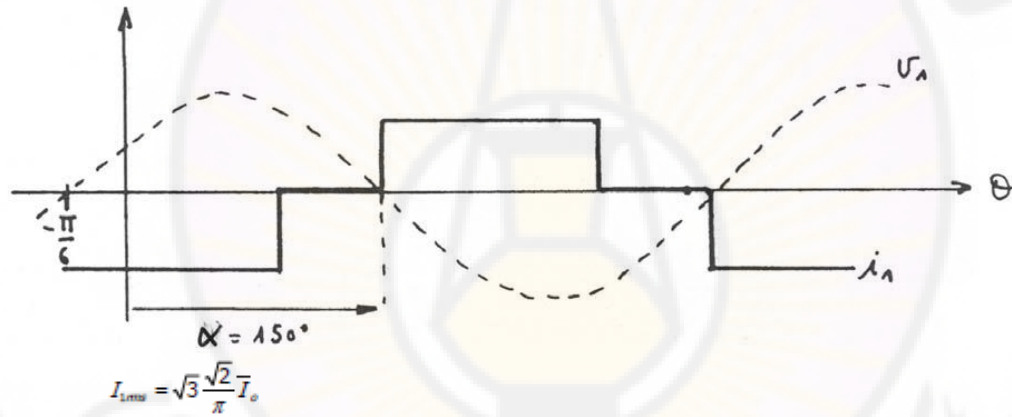
بالتعويض في (9) نجد:

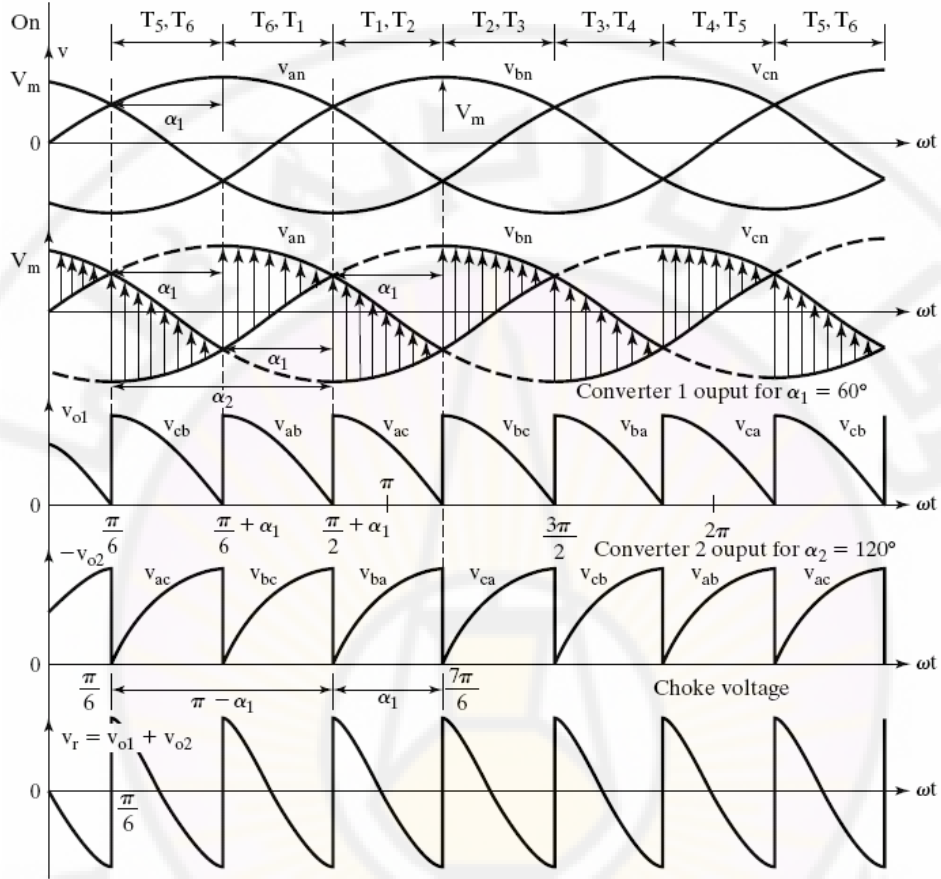
$$\cos(\beta - u) - \cos\beta = \frac{2\omega L_C}{\sqrt{6}V} I_d \quad \dots\dots\dots(11)$$

وعليه يمكن تحديد زاوية الأمان:

$$\gamma = \beta - u \quad \dots\dots\dots(12)$$

- الشكل (ت-2-6) يوضح موجة التوتر والتيار للمحرك التزامني وذلك عند عامل استطاعة ϕ المعطاة بـ $(\beta - 0.5u)$ المتقدمة. الآلة تعمل في هذه الحالة عند عامل استطاعة متقدم. كما سيحدث تشوه في موجة التوتر المتناوب نتيجة فترات التطابق التي تحدث عند كل تبديل لعناصر الجسر .





الشكل (ء-5-6) أشكال موجة التوتر والتيار للمحرك التزامني تبعاً لزاويا التأخير α .

- تيار المحرك يعطى بالعلاقة:

$$I_{rms} = \sqrt{3} \frac{\sqrt{2}}{\pi} \bar{I}_d = I_s = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$$

والقيمة الفعالة له هي:

$$I_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_d$$

والتوتر لحلقة التوتر المستمر يعطى بالشكل:

$$V_d = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{3}}^{\alpha + \frac{2\pi}{3}} V_{AB} d(\omega t) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V \cos \alpha$$

وبمراعاة هبوط التوتر الناتج عن التطابق توتر الحلقة المستمرة يساوي:

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} \omega L_c I_d$$

- التطبيق العملي: محرك تزامني 6MW، 6600V، ست أقطاب 60Hz ثلاثي الطور. موصول بشكل نجمي. ذي ممانعة تزامنية 10ohms. الممانعة فوق العابرة sub transient reactance تساوي 2ohms. مقاومة المتحرض مهملة. غذي من جسر مضاعف بقيادة ذاتية (DUAL Converter).

يتم التحكم بالتحريض للمحافظة على تدفق ثابت. تعمل الآلة عند زاوية تبديل Commutation-Lead angle تساوي 55°. بإهمال الاحتكاك، مفاهيم النواة. احسب زاوية الأمان γ . عامل الاستطاعة، الاستطاعة المقدمة، العزم وذلك عندما تعمل الآلة عند تيار متحرض اسمي والسرعة الاسمية.

الحل:

- توتر الطور للمحرك:

$$V = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3810.6V$$

- السرعة الاسمية:

$$n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{ r.p.m}$$

$$\text{or } \omega_s = 125.7 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \text{ r.p.m}$$

- التيار الفعال للمتعرض:

$$I_{rms} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6600} = 524.9A$$

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{rms} = \sqrt{\frac{3}{2}} \times 524.9 = 642.9A$$

$$I_s = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = \frac{\sqrt{6}}{\pi} 642.9 = 501.3A$$

- توتر مرابط الآلة عند السرعة الاسمية، سيكون مساوياً للقيمة الاسمية (Rated).

لأن الآلة تعمل عند تدفق أو فيض ثابت. ومن العلاقات (11) و (12) نجد:

$$\cos \gamma - \cos 55^\circ = \frac{2 \times 2}{\sqrt{6} \times 3810.6} \times 642.9 = 0.2755$$

$$\cos \gamma = 0.8491 \Rightarrow \gamma = 31.9^\circ$$

وعليه فإن:

$$u = \beta - \gamma = 55 - 31.9^\circ = 23.1^\circ$$

$$\phi = \beta = 0.5u = 55 - 11.5 = 43.45^\circ$$

وعليه: فإن عامل الاستطاعة هو:

$$0.726$$

الاستطاعة المقدمة:

$$\sqrt{3} \times 6600 \times 501.3 \times 0.726 = 4.16MW$$

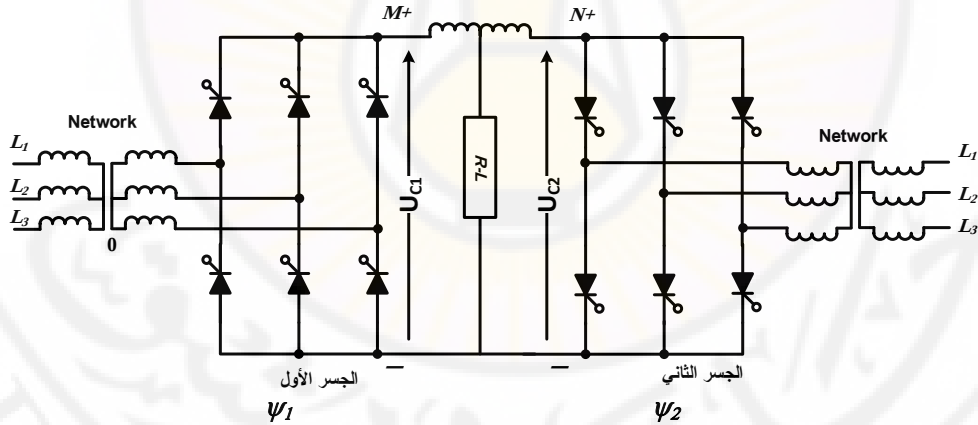
العزم:

$$T = \frac{4.16 \times 10^6}{125.7} = 33.1 \times 10^3 N.m$$

مثال (2):

اشرح آلية عمل مجموعات التقويم التعريج ذات الاتجاه المزدوج للتيار (DUAL CONVERTER) في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار، بفرض أن المجموعة المستخدمة تفرعية مضاعفة ثلاثية الطور، وارسم دائرة الاستطاعة. إذا كان الحمل محرك تيار مستمر، ما هي وضعيات العمل للمحرك في هذه الإحداثيات. تطبيق: بفرض أن المجموعة المستخدمة أحادية الطور وأن توتر الطور الواحد 100 فولت، والحمل المطبق أومي بمقاومة 10 أوم بين لنا قيمة تيار الحمل وشكل التوتر على الحمل وشكل التوتر على ملف الطور وشكل التيار المار في كل جسر من الجسور المستخدمة.

الحل:

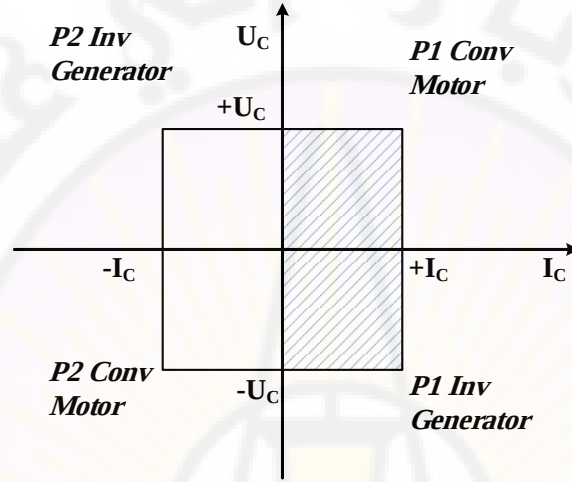


الشكل (أ-2-6) مجموعة التقويم التعريج ذات الاتجاه المزدوج للتيار PD3+

PD3

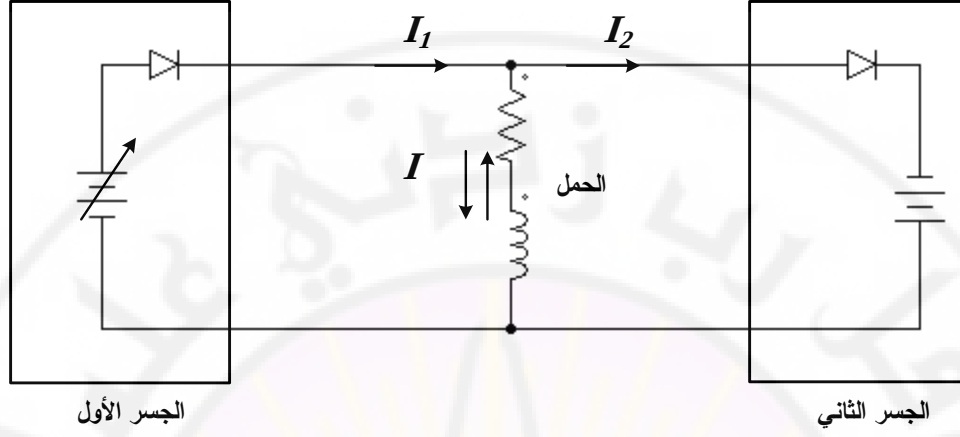
يتكون النظام من جسرين مقادين PD3 أو PD2 أو P3، يعمل النظام حسب مبدأ التيار الدائر أو دون تيار دائر. كل جسر يعمل في ربعين من إحداثيات التوتر

والتيار، وبالتالي فإن النظام يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار. وإذا كان الحمل أومياً أو تحريضياً فإن كلا الجسرين سوف يعملان في ربعين. وإذا كان الحمل محركاً فإنه سيعمل كمحرك أو كمولد وسوف يدور في اتجاهين.



الشكل (ب-2-6) وضع كل مبدل في الاحداثيات الأربعة، ووضع آلة التيار المستمر

- مجموع زوايا الإزاحة بالطور للجسرين يساوي 180 درجة: $\psi_1 + \psi_2 = 180^\circ$
 إذا عمل الجسر الأول كمقوم، يعمل الجسر الثاني كعاكس، في هذه الحالة مهبط الجسر الأول الذي يعمل كمقوم ستكون موجبة، وسوف تربط إلى مصاعد الجسر الثاني ذي القطبية الموجبة لأنه يعمل عند زاوية إزاحة أكبر من 90° (عاكس). إذاً كل جسر يمكن تمثيله بمنبع تيار ذي اتجاه واحد مع قوة محركية كهربائية متغيرة. التيار في الحمل يمكن أن يأخذ اتجاهين، ويمكن أن يتم استجراره من كلا الجسرين، لكن كل جسر سوف يحافظ على اتجاه تيار وحيد ويعطي توتر موجب وسالب تبعاً لزاوية الإزاحة بالطور التي يعمل عندها. والدارة المكافئة للنظام هي كما في الشكل أدناه:



الشكل (س-2-6) الدارة المكافئة للنظام

تطبيق :

$$U_{C1} = \frac{2q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$U_{C1} = \frac{2 \times 2}{3.14} \times 100\sqrt{2} \times \cos 30 = 153.57 \text{ Volts}$$

$$U_{C2} = U_{C1} \quad U_C = 153.57 \text{ Volts}$$

$$I_C = \frac{153.57}{10\Omega} = 15.357 \text{ Amper}$$

- لمعرفة كيف تم رسم شكل توتر الحمل U_C ، نبين أنه يتم رسم خرج الجسر الأول P_1 ببساطة عند الزاوية المطلوب العمل عندها ولتكن هنا $\psi = 30^\circ$. لكن في المجموعة التفرعية المضاعفة أحادية الطور، نرسم مباشرة التوتر الكلي للتأني V_m ، وبعد اكتساب الخبرة في الأمثلة السابقة يسهل علينا رسم U_{C1} . - التوتر U_{C2} الناتج عن الجسر الثاني والذي يعمل كعاكس، هو توتر سالب، لكن بما أنه موصول بشكل مقلوب، فإن المصاعد المشتركة سيكون توترها موجب والمهابط المشتركة ذات توتر

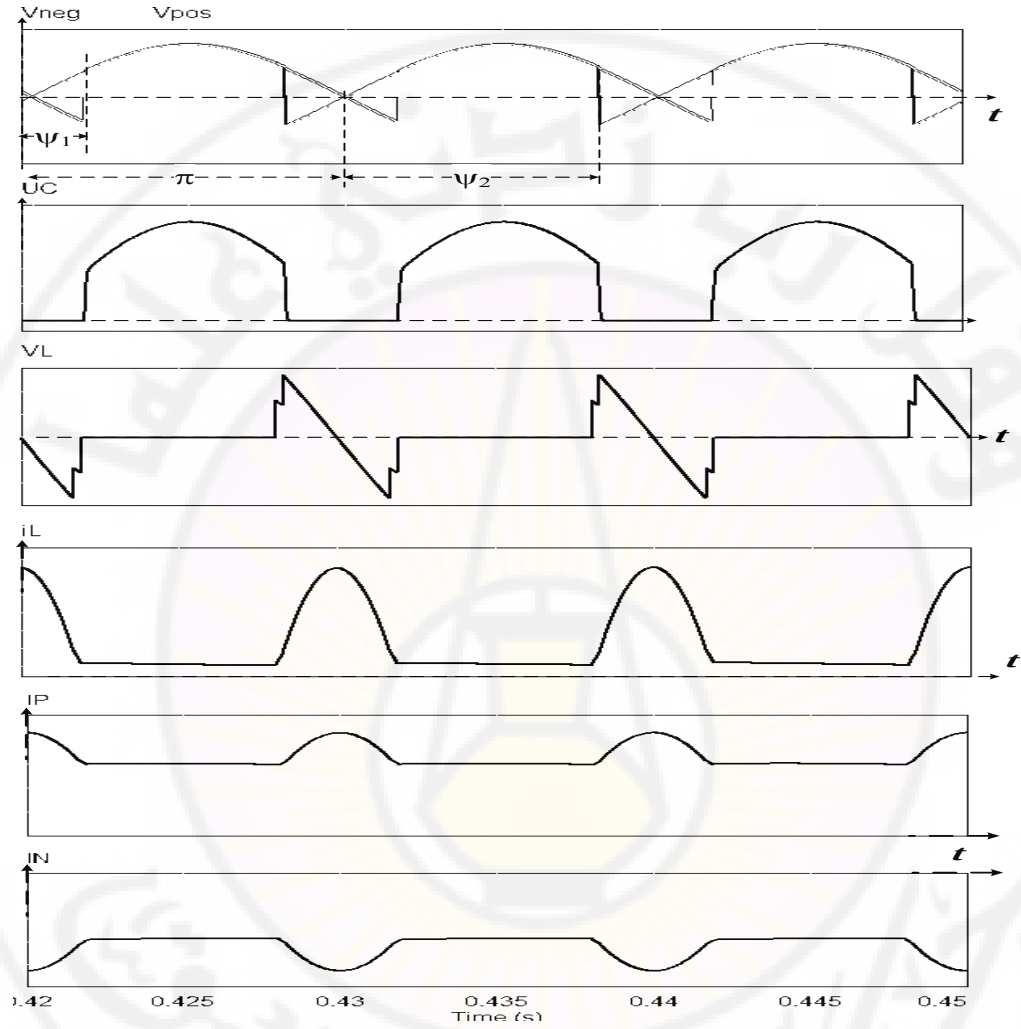
سالب. وكى لا نرسم التوتر U_{C2} فى الجهة السالبة تحت محور السينات، ونعود لقلبه، يمكن التحايل على الرسم، بأن نبدأ من حيث يجب إجراء الإزاحة بالطور، وهنا نبدأ من الصفر، ونأخذ 180 درجة ثم نضيف زاوية الإزاحة للجسر الثانى ψ_2 ، ونطبق نبضة القذح على التوتر U_1 وبذلك نحصل على التوتر المقوم الناتج عن عمل (Th_1 و Th_2'). ثم يمكن رسم التوتر الناتج عن عمل (Th_1 و Th_2) بتطبيق النبضة على V_2 .

- بعد الحصول على U_{C1} و U_{C2} ، كما هو الرسم فى الصفحة أعلاه، نجمع هذين التوترين جبرياً ونقسمه على (2) فنحصل على توتر الحمل الذى يختلف كلياً عن كلا التوترين. وهو موجب إذا كانت $0 < \psi_1 < 90$ وسالب إذا كانت $90 < \psi_1 < 180$. ولا توجد مركبات توتر سالبة بشكل جزئى كما اعتدنا فى مجموعات التقويم العادية.

- لرسم توتر ملف الطور $V_M - V_N$ نطرح التوترين $U_{C1} - U_{C2}$ فنحصل على توتر ملف الطور والذى يتغير تبعاً لزاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الجسرين. ويكون أكبر ما يمكن عندما تكون $\psi_1 = \psi_2 = 90^\circ$.

- التيار الدائر i_C ناتج أصلاً عن فرق التوتر اللحظى المطبق على ملف الطور والذى يمثل الفروقات اللحظية بالتوتر بين الجسرين. لذا فإنه يبدأ من الصفر ويزيد عندما يمر توتر ملف الطور بالصفر يصل التيار الدائر للقيمة العظمى، وعندما يصبح توتر ملف الطور سالباً يتناقص حتى يعود للقيمة صفر.

- تيار الجسر الموجب هو مجموع التيار الدائر وتيار الحمل.



الشكل (6-2-ء) توتر كل جسر وتوتر الخرج، توتر ملف الطور
والتيار الدائر، تيار كل جسر

مثال (3):

ما هو المبدل المضاعف ذي الاتجاه المزدوج للتيار DUAL Converter، عدد لنا التطبيقات الهندسية الشهيرة له.

اعتمد في الشرح حالة جسر تقويم تفرعية مضاعفة أحادية الطور، توتر ثانوي المحول المستخدم يساوي 200 فولت وزاوية الإزاحة بالطور للجسر الأول اعتبرها 30 درجة.

عند هذه الشروط احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم على طرفي الحمل الأومي المقدر قيمته بـ 10 أوم.

ارسم شكل التوتر المقوم الناتج على الحمل وشكل توتر ملف الطور، وارسم شكل التيار الدائر. وما هي قيمة تيار الحمل المار.

الحل:

- إن مجموعات التقويم التفرعية البسيطة والمضاعفة المقادة P3 و PD2 و PD3 عندما تربط رأساً على عقب ويطبق عليها زوايا إزاحة بالطور متكاملة $\psi_1 + \psi_2 = 180^\circ$ يمكن أن تعمل كمبدل مضاعف DUAL CONV. وعندئذ فإن تيار الحمل يصبح حراً للمرور في أي جسر من الجسور ومهما كانت زاوية الإزاحة بالطور. يزود كل جسر بملف طور لتحديد وإنقاص التيار الدائر.

- أهم التطبيقات:

- 1- قيادة محركات التيار المستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار. Four quadrant Operation
- 2- نقل الطاقة الكهربائية عالية التوتر المستمر High Voltage Direct Current.
- 3- المبدلات الالكترونية، مبدل التردد Cyclo Converter لقيادة المحركات التزامنية بطيئة السرعة.
- 4- القيادة الذاتية للمحركات التزامنية. Self Control Synchronous Motors.

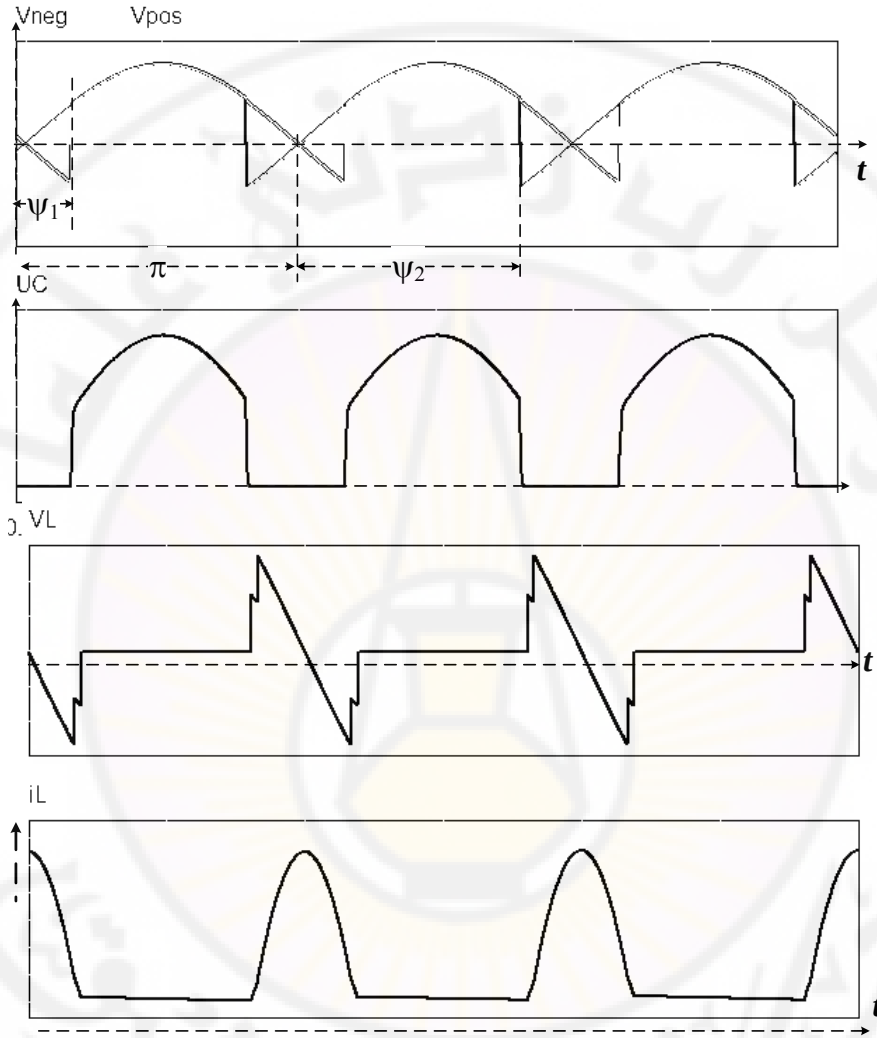
5- تنظيم وقيادة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف، التغذية المضاعفة (Double fed induction. Generator) سواء للمحركات أو المولدات.

$$U_C = \frac{(U_{C1} + U_{C2})}{2}$$

$$U_{C1} = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos 30 = \frac{2 \times 2}{3.14} \times \left(\frac{200}{2} \right) \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$U_C = 156 \text{Volts.}$$

$$I_C = \frac{156}{10} = 15.6 \text{Amper.}$$



الشكل (3-6) توترات الجسور، توتر الحمل، توتر ملف الطور، التيار الدائر

مثال (4):

يراد قيادة سيارة كهربائية ذات محرك باستطاعة 8HP عند توتر 110 فولت مستمر، في كافة الاتجاهات (أمام، خلف، صعود، هبوط، توقف) ما هو النظام الذي تقترحه

للقيام بذلك، ارسم النظام، وبين آلية العمل، وما هي علاقة التوتر بزوايا الإزاحة بالطور لهذا النظام.

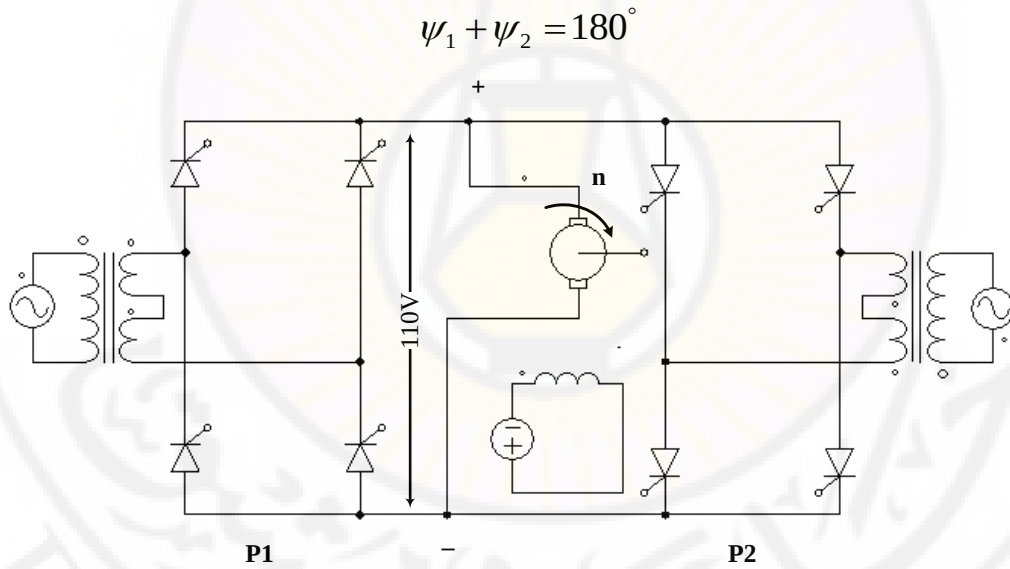
الحل:

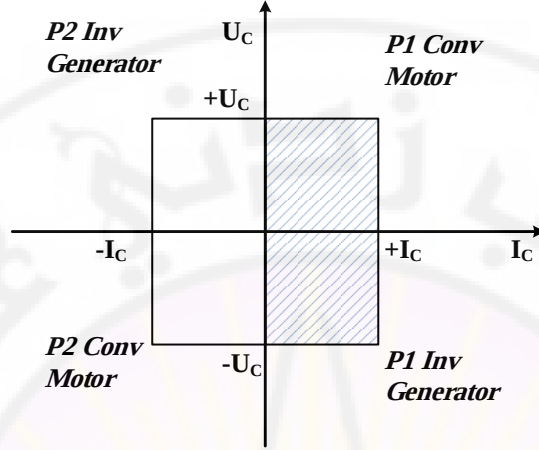
توتر السيارة 110V

$$P = 8 \times 0.746 = 5.968 \text{ KW.}$$

$$I_c = \frac{5.968}{110} = 54.255 \text{ Amp.}$$

- لقيادة السيارة نحتاج لمجموعة تقويم تعريج ذات اتجاه مزدوج للتيار مع تغذية ملف التحريض بشكل مستقل.





الشكل (4-6) دائرة الاستطاعة، وضع الآلة في الاحداثيات الأربعة

حتى يدور المحرك وتسير السيارة للأمام يجب أن يعمل الجسر P_1 كمقوم. ويمر تيار موجب ويطبق توتر موجب. للعمل بعكس الاتجاه يعمل P_2 كمقوم. ويمر تيار سالب ويطبق توتر سالب. في كلا الحالتين لدى تجاوز السرعة أو الرغبة بالوقوف يعمل الجسر الثاني المناظر كعاكس ويأخذ القدرة من المتحرض ويحقنها في الشبكة.

القيم التطبيقية:

بما أنه يراد تأمين توتر متحرض مستمر لا يقل عن 100V من جسر أحادي الطور فإننا يمكن تأمين مثل هذا التوتر من ملف ثانوي ذي توتر متناوب قادر على إعطاء توتراً مقوماً أكبر من 110V حتى نتمكن من زيادة السرعة وتغطية المفاقيد، والعلاقة التالية يمكن بها تحديد توتر الطور الثانوي وبفرض أننا سنولد توتراً مستمراً بحدود 150 فولت:

$$U_c = 150V = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$

$$150 = \frac{2 \times 2}{\pi} \left(\frac{V_m}{2} \right) \times 1 \times \cos 0$$

توتر الثانوي الأعظمي:

$$V_m = \frac{150 \times \pi}{2} = 235.5V$$

والتوتر الفعال لثانوي المحول يساوي: 166.5V.

يمكن دائماً التحكم بالتوتر المقوم لقيادة المحرك بدءاً من السرعة صفر.

- استطاعة المحول الممكن استخدامه تساوي:

$$VS = V_s . I_s$$

تيار المحرك المستمر $I_C = 54.255Amp.$ وعليه فإن

تيار الملف الثانوي:

$$I_s = I_C \sqrt{\frac{2}{2}} = I_C$$

والاستطاعة الظاهرية للمحول المستخدم يمكن أن تكون بحدود:

$$S = 166.5 \times 54.255 = 9033VA$$

$$S = 9KVA$$

وهي قيمة مقبولة مبدئياً لأن الجسور ستعمل عند زوايا إزاحة بالطور مختلفة ويلزم هنا محولين، محول لكل جسر أحادي مستخدم.

مثال (5):

قارن بين الربط التفرعي لمجموعات التقويم، وربط مجموعات التقويم رأس إلى عقب (DUAL CONVERTYER). بين ميزة كل نوع، ومجال استخدامها.

الحل:

الأشكال التالية توضح طريقة ربط الجسور على التفرع، وطريقة ربطها بشكل جسور مضاعفة (DUAL CONVERTER).

1- ربط جسرين على التفرع P_3+P_3 متغذيان من محول واحد:

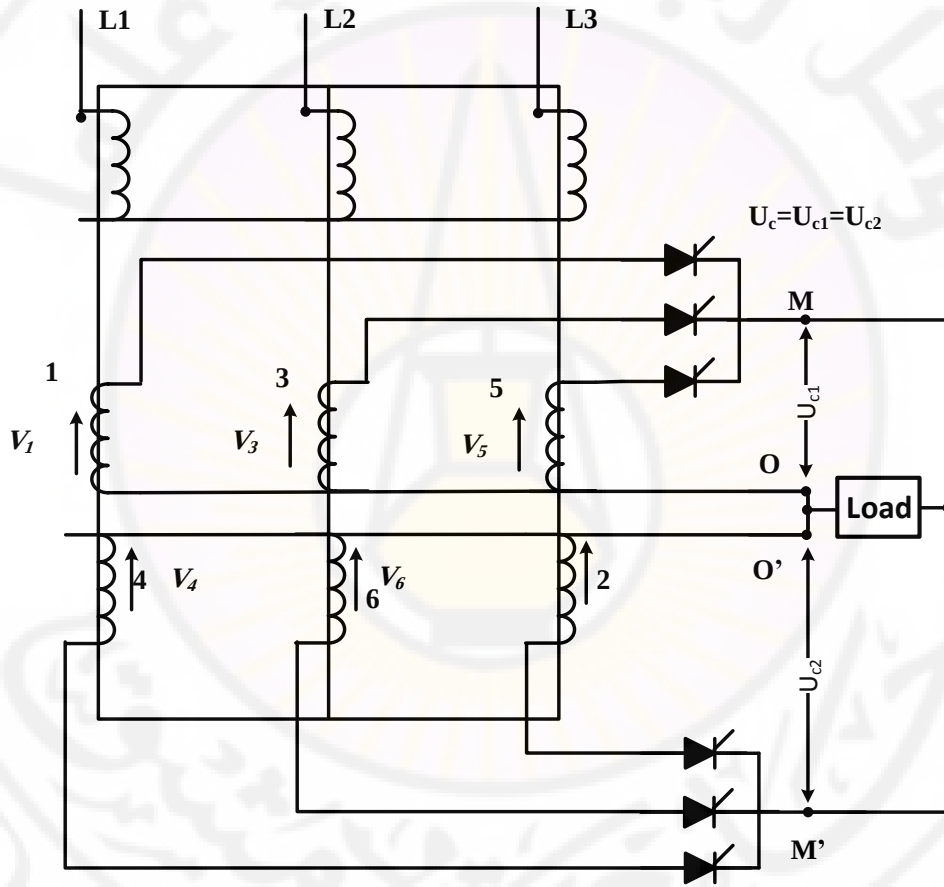
$$U_C = U_{C1} = U_{C2}$$

2 - ربط جسرين بشكل جسر مضاعف ذي اتجاه مزدوج للتيار (DUAL Converter):

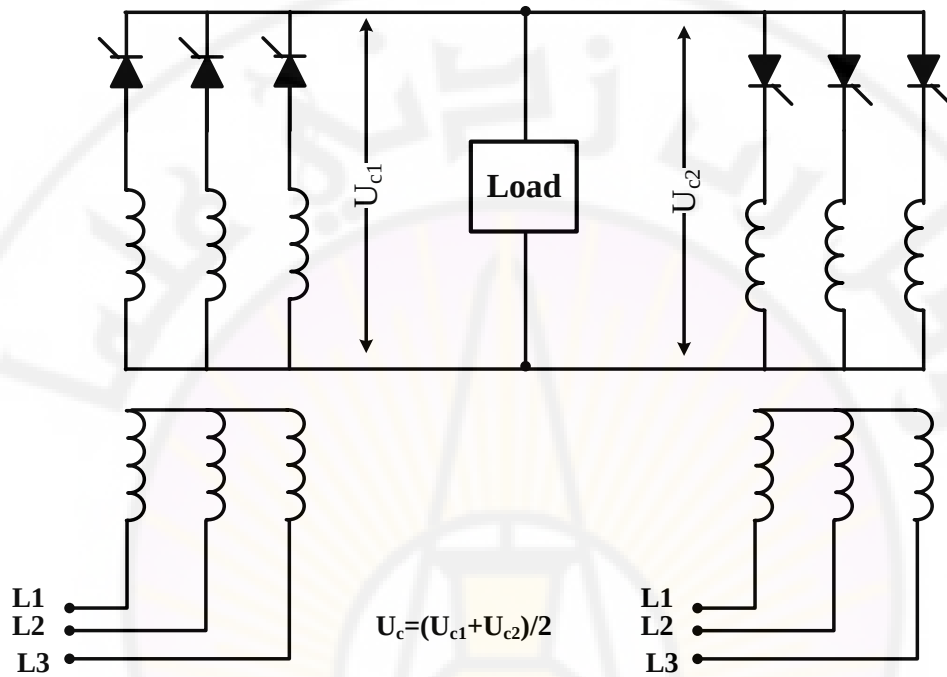
$$U_C = \frac{U_{C1} + U_{C2}}{2}$$

- أ - خواص مجموعات التقويم التفرعية :
 - إمكانية العمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار
 - كل جسر قادر على العمل كمقوم أو كعاكس وليس بالضرورة أن يعمل أحدهما كمقوم والآخر كعاكس
 - الجسور قد تكون من النوع المقاد او نصف المقاد
 - في حال تساوي توتر الجسرين يشارك كلا الجسرين بتقديم تيار الحمل ،وفي حال عدم تساوي توتر اللاحمل يقف الجسر ذي التوتر المنخفض عن العمل ريثما يهبط توتر خرج الجسر الثاني
 - لا يوجد تيار دائر بين الجسرين
- ب - خواص المجموعات المضاعفة ذات التيار المزدوج :
 - إمكانية العمل في الأحداثيات الأربعة للتوتر والتيار
 - على كل جسر أن يعمل كمقوم أو كعاكس ولا يمكن أن يعمل سوى بزوايا إزاحة تكاملية
 - الجسور يجب ان تكون مقادة فقط

- عند العمل النظامي أحد الجسور سيعمل على تقديم تيار الحمل والجسر الآخر سوف يمرر تيار دوائر فقط وذلك في المجموعات ذات التيار الدائر
- توتر الحمل يساوي متوسط توتر الجسرين
- يمكن تشغيل الجسور بدون تيار دوائر بنظام رقمي متقدم



الشكل (آ-5-6) ربط جسرين على التفرع - مهابط الجسر الأول مع مهابط الجسر الثاني.



الشكل (ب-5-6) جسر مضاعف ذي اتجاه مزدوج للتيار (DUAL Converter)
مثال (6):

يراد تشغيل محرك تيار مستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار، (محرك تيار مستمر يستخدم لتحريك مقص في خط إنتاج للقضبان الحديدية) التوتر الاسمي للمتحرّض /780/ فولت، توتر التحريض للمحرك 400 فولت، مقاومة المتحرّض $R_a = 0.3$ أوم، وحثية ملف التحريض كانت $L = 0.24H$ (هنري). استطاعة المحرك كانت تساوي 660 كيلو وات. يستخدم في المعمل شبكة توتر 6.6 كيلو فولت. استناداً لذلك بين:

- 1- ما هي الأنظمة الممكن استخدامها لتأمين التغذية لهذا المحرك، اشرح أحد هذه الأنظمة وارسمه، وبين لنا آلية العمل المقترحة في الإحداثيات الأربعة بين حالة المحرك ووضع الجسر الثيرستوري المستخدم.
- 2- بفرض أن أحد الجسور المستخدمة في النظام المقترح من قبلكم (استخدم جسراً أحادي الطور، توتر الملف الثانوي يساوي 860 فولت قيمة فعالة) يعمل عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 30 درجة كهربائية. في هذه الحالة ما هي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج على طرفي المتحرض، وارسم شكل هذا التوتر عندئذ.
- 3- ما هي سرعة الدوران للمحرك سواءً عند اللاحمل (تيار صفري) أو عند الحمل الكامل، علماً بأن $E=0.424N$.
- 4- اعتبر أن الجسر الأحادي الطور السابق يعمل بمفرده، وحمل بحمل أومي صرف قدره 1000 أوم، وأن زاوية الإزاحة كانت 150 درجة كهربائية، عندئذ: ما هو شكل التوتر العكسي المتشكل على أحد الثيرستورات الموجبة المستخدمة، أيضاً ارسم شكل التيار المار في الملف الثانوي. اذكر القيم الفعالة للتوتر العكسي الأعظمي المتشكل على أحد الثيرستورات.

الحل:

- 1- الأنظمة الممكن استخدامها:
 - أ- نظام العمل في الإحداثيات الأربعة بدون تيار دائر Without circulating current.
 - ب- نظام العمل في الإحداثيات الأربعة مع تيار دائر With circulating current.



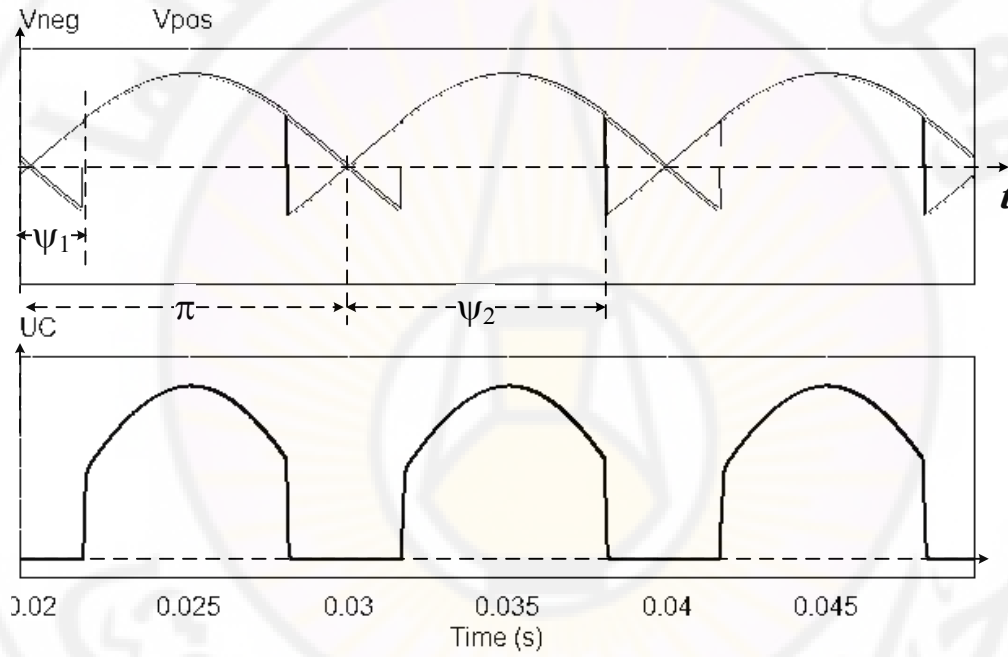
الشكل (ب-6-6) دائرة الاستطاعة

$$\psi_2 = 150^\circ$$

$$\psi_1 = 30^\circ$$

$$U_C = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi_1$$

$$= \frac{2 \times 2}{\pi} \sqrt{2} \left(\frac{860}{2} \right) \cdot 1 \cdot \cos 30 = 670.88 \text{ Volts}$$



الشكل (س-6-6) توترات الجسور، وتوتر الخرج

3- سرعة الدوران: $E=0.424N$

أ- القوة المحركة الكهربائية عند اللاحمل هي القيمة التي يرتفع إليها توتر المحرك حتى يصل إلى قمم التوتر المتناوب المطبق وذلك باعتبار أن زاوية الإزاحة في الطور عندئذ تساوي الصفر.

قيمة توتر الطور الفعال $V=860$ فولت وعليه $V_m=1216.22$ فولت ←

$$E = 1216.22 = 0.424N$$

$$N = 2868.45r.p.m$$

ب- عند الحمل الكامل:

$$E = U_C - I_a \cdot R_a$$

$$R_a = 0.3\Omega, \quad I_a = \frac{660}{780V} = 846.15A$$

$$E = 780 - 846.15 \times 0.3$$

$$E = 780 - 253.8 = 526.15Volts.$$

$$E = 526.16 = 0.424N$$

$$N = 1240.9r.p.m \text{ دورة في الدقيقة.}$$

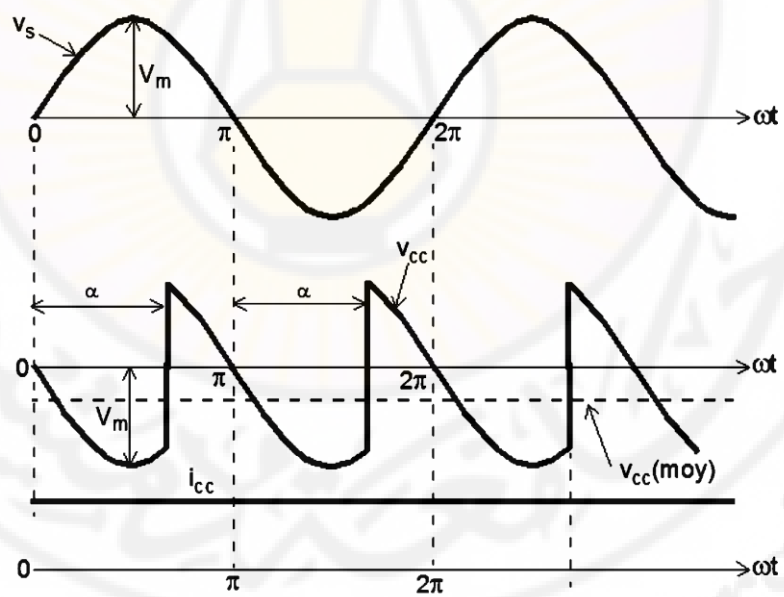
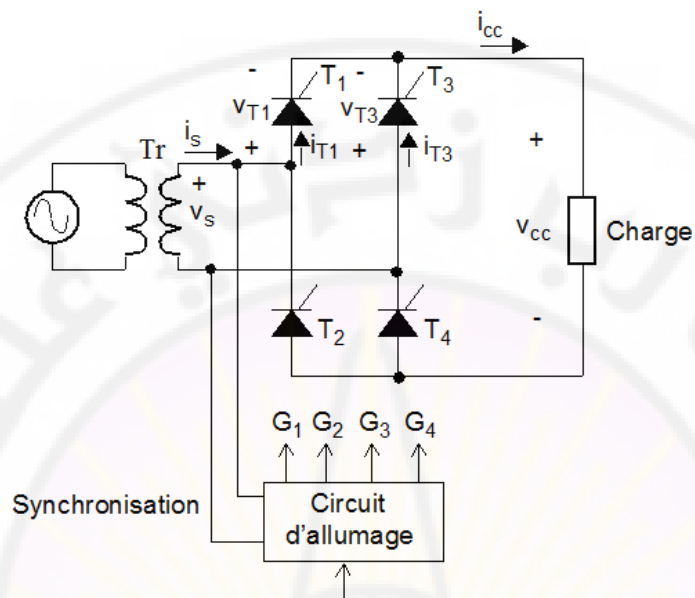
4- إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور $\psi=150^\circ$ ، التوتر العكسي الاعظمي يعطى بالعلاقة:

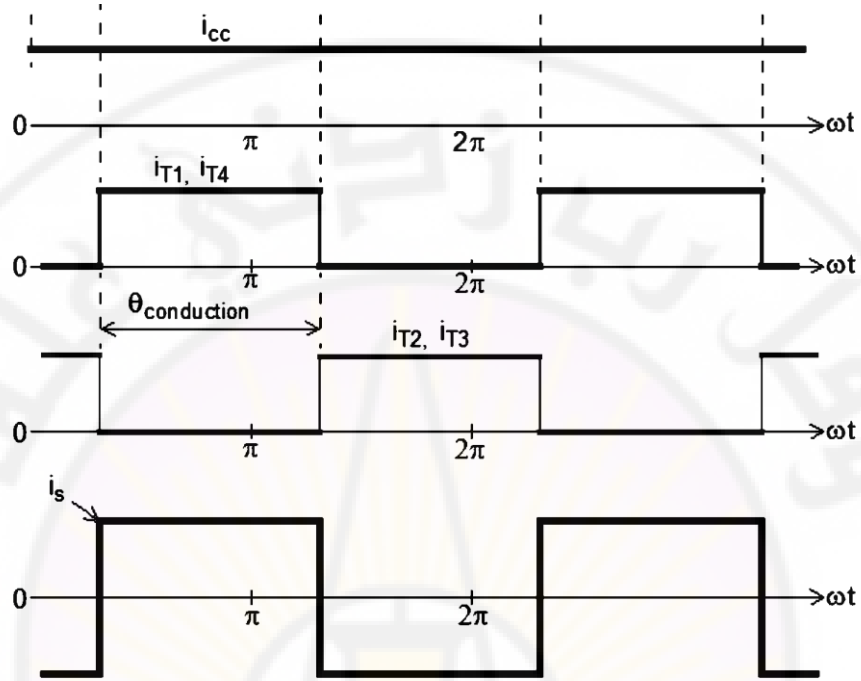
$$V_{i\max} = 2V_m$$

$$V_{i\max} = 2 \cdot \left(\frac{860\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$V_{i\max} = 1216.22Volts$$

$$V_{iTh_1} = V_1 - (V_M - V_0)$$





الشكل (ء-6-6) توتر أحد الجسور الأحادية الطور ،التوتر العكسي ، تيار الثانوي

مثال (7):

محرك تيار مستمر استطاعة 20 كيلو وات، ذي توتر تشغيل اسمي 440 فولت، السرعة الاسمية 1500 دورة في الدقيقة. مزود بمنظم سرعة، يراد تشغيله في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار بنظام التشغيل ذي التيار الدائر. استخدم جسور تقويم ثلاثية الطور تفرعية مضاعفة، بناءً عليه بين لنا ما يلي:

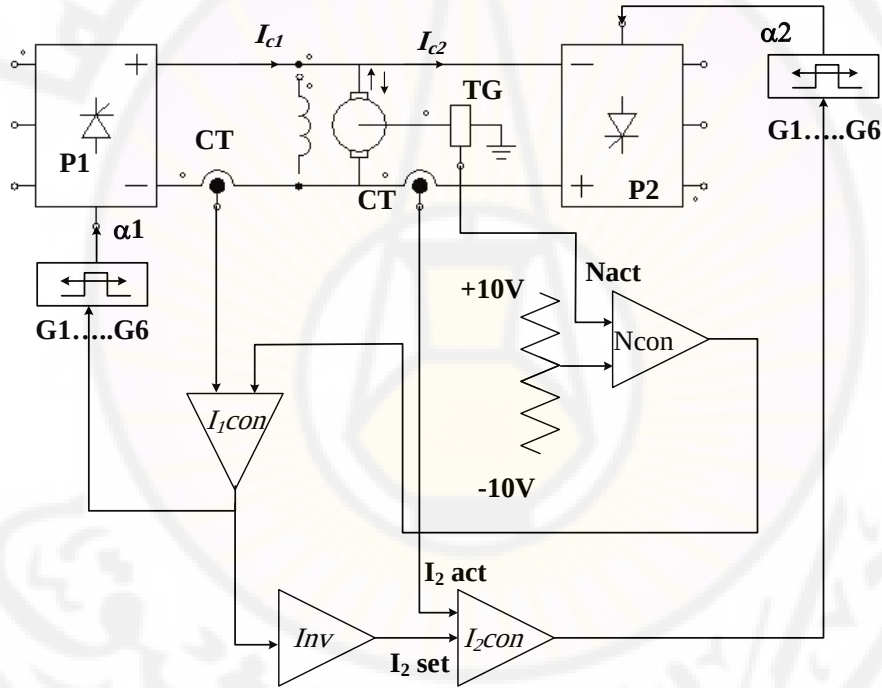
1- ارسم مخطط تشغيل المحرك باستخدام نظام العمل بالتيار الدائر. اشرح آلية عمل النظام.

2- بين لنا قيم توتر الطور والخط الممكن اعتمادها في ثانوي وابتدائي المحول المقترح لتغذية المحرك، ما هي زاوية الإزاحة بالطور المعتمدة.

- 3- حدد استطاعة المحول الممكن اعتماده لتغذية هذا المحرك.
- 4- بفرض زاوية الإزاحة للجسر الأول كانت /45/ درجة، ارسم لنا شكل التوتر الناتج عن أحد الجسور المستخدمة، وارسم شكل تيار الطور الأول وما هي عندئذ زاوية عامل الاستطاعة الناتجة في ثانوي المحول، فسر لنا كيف استنتجت ذلك.

الحل:

1- مخطط تشغيل المحرك باستخدام نظام العمل بالتيار الدائر:



الشكل (آ-7-6) مخطط تشغيل المحرك باستخدام نظام العمل بالتيار الدائر

2- التوتر الممكن اعتماده لابتدائي وثانوي المحول:

$$U_c = \frac{2.q}{\pi} . V_m . \sin \frac{\pi}{q} . \cos \psi$$

بفرض أن:

$$\Psi=0$$

ومنه:

$$q=3 \quad \cos \psi = 1$$

$$440 = \frac{2 \times 3}{\pi} \times 0.866 \times V_m = 1.65398 V_m$$

بما أن هذا التوتر أقل من 380 أو 410 فولت فإن اختيار توتر الثانوي بالقيمة (410) سوف يقدم لنا توتراً مقبولاً على خرج الجسر وسوف يجعل الجسر يعمل عند زاوية إزاحة جيدة. وبناءً عليه يمكن اعتبار أن توتر الطور في الثانوي :

$$V_{ph} = 236 \text{Volts}$$

توتر الابتدائي توتر الشبكة:

$$V_{Line} = 410 \text{Volts}$$

$$U'_C = 553 \text{V}, \quad \cos \psi' = 0.795$$

زاوية التشغيل المقترحة عند الحمل الكامل:

$$\psi' = 37.28^\circ$$

3- استطاعة المحول:

$$I_C = \frac{20000}{440} = 45.45 \text{A}$$

$$I_S = I_C \sqrt{\frac{2}{q}} = 37.109 \text{A} = I_C \sqrt{\frac{2}{3}}$$

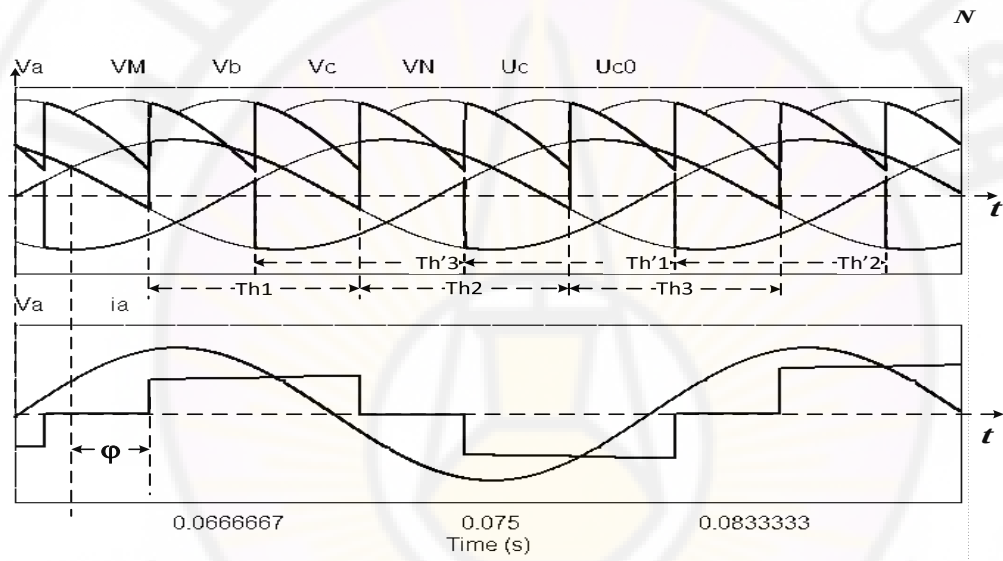
$$P = \sqrt{3} \cdot V_S \cdot I_S = \sqrt{3} \times 410 \times 37.109 = 26.353 \text{KVA}$$

أي أن استطاعة المحول يجب أن لا تقل عن هذه القيمة.

زاوية عامل الاستطاعة

$$\varphi = \frac{T}{4} - \frac{T}{2q} + \psi = 30 + 45 = 75^\circ$$

هذه الزاوية ذات قيمة كبيرة لذا دائماً يجب زيادة استطاعة محول التغذية حتى يتمكن من تقديم استطاعة الحمل عند زوايا إزاحة بالطور كبيرة.
 كما أن كبر φ يستلزم تحسين عامل الاستطاعة في الدخل.
 4- شكل التوتر المقوم الناتج عند أحد الجسور P_1 عندما يعمل عند $\psi=45^\circ$:



الشكل (ب-7-6) توتر أحد الجسور عند إزاحة 45 درجة، توتر وتيار أحد الأطوار

مثال (8):

ما هي العلاقة بين زاوية الإزاحة بالطور φ الناشئة بين تيار الطور المار والتوتر المطبق، وزاوية التأخير في القدح ψ المطبقة على جسور التقويم.

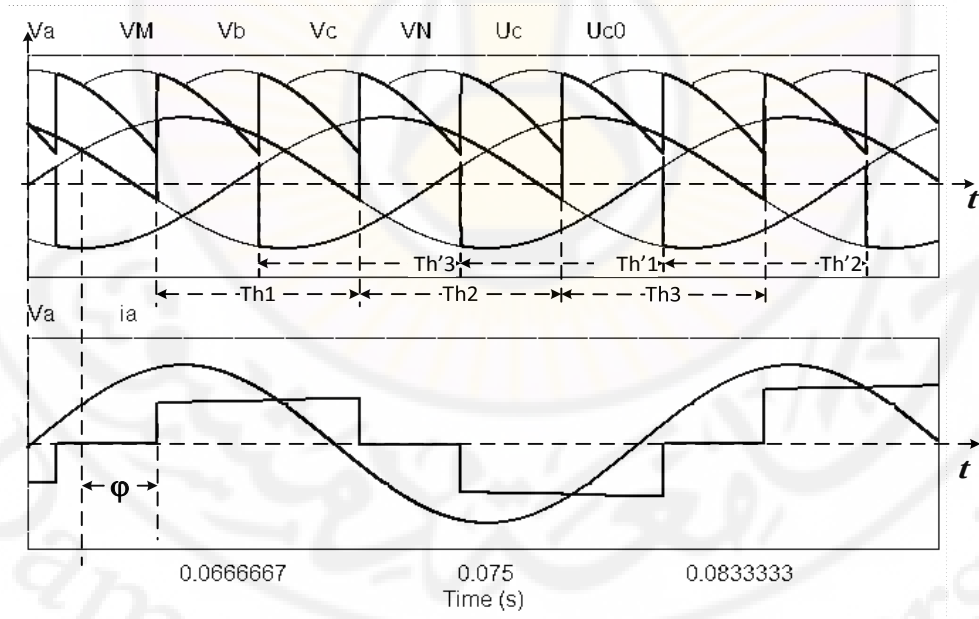
الحل:

إن الزاوية بين تيار الطور وتوتر الطور تعتمد في جسور التقويم على قيمة زاوية الإزاحة بالطور ψ وتعتمد على نوعية الجسر وعدد الأطوار لمحول التغذية. في الجسور الأحادية $\varphi = \psi$ لكن في الجسور الثلاثية الطور $\left(\varphi = \psi + \frac{T}{4} - \frac{T}{2q} \right)$.

وفي حال كون الابتدائي موصول بشكل مثلثي والثانوي موصول بشكل نجمي عندئذ توتر الابتدائي يكون متقدماً عن توتر الثانوي بـ 30° . وهذا ما يخفف من الزاوية φ في الشبكة المغذية أي أن زاوية عامل الاستطاعة في الابتدائي عندئذ تكون مساوية فقط لزاوية التأخير في الطور المطبقة تقريباً $\varphi = \psi$.

$$\left(\varphi = \psi + \frac{T}{4} - \frac{T}{2q} \right)$$

N

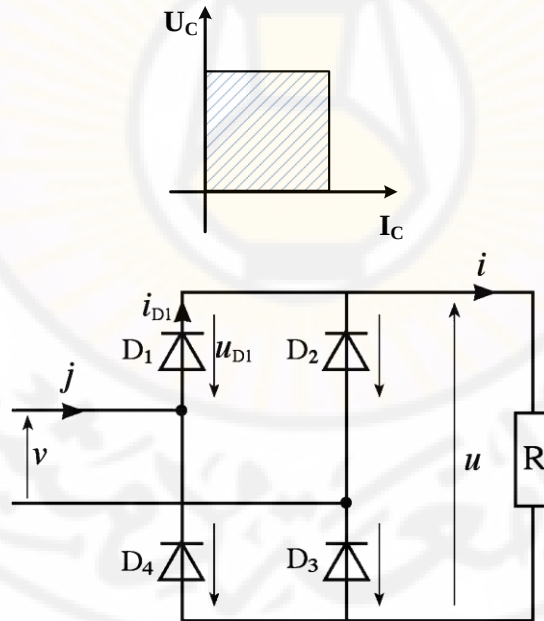


الشكل (6-8) توتر الطور، وتيار الطور، وزاوية الطور

مثال (9):

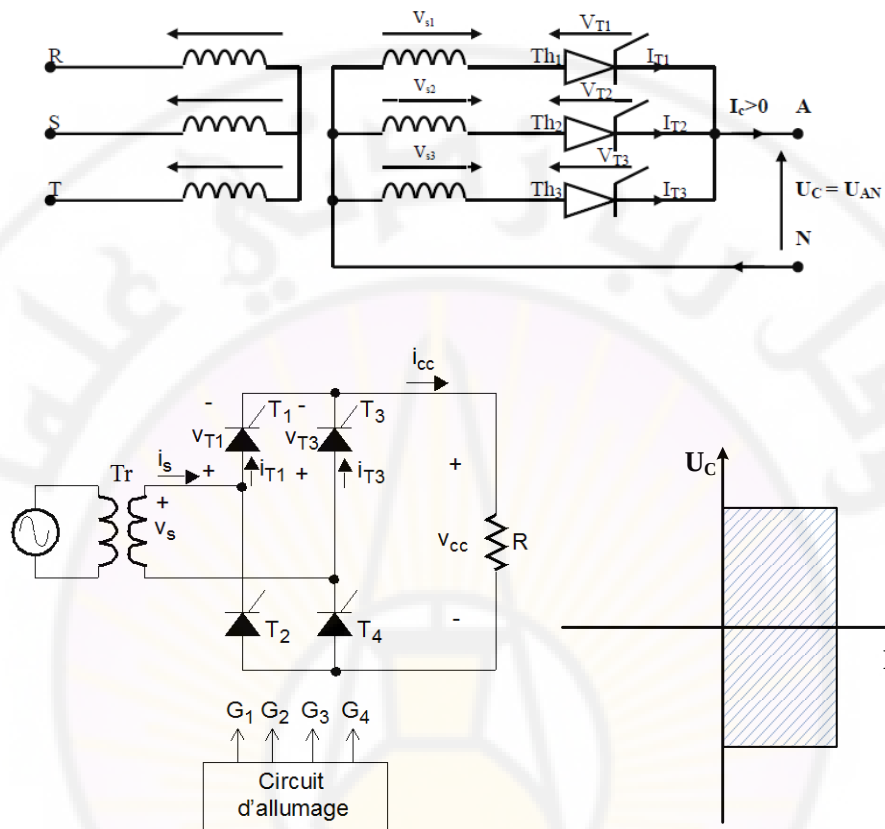
ما هي الجسور الواجب استخدامها للعمل في الحالات التالية وما هي التطبيقات العملية لكل حالة والفرق بينها:

- ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار.
 - ربعين من إحداثيات التوتر والتيار.
 - أربعة أرباع من إحداثيات التوتر والتيار.
- الحل: 1-** العمل في ربع واحد من الإحداثيات: يمكن تحقيقه باستخدام جسر نصف، مقاد أو جسر غير مقاد. كما أن طبيعة الحمل تؤثر على شكل التوتر المتوسط الناتج، ولدى كون الحمل أومي لا تظهر مركبات توتر سالبة ولا يمكننا الحصول على توتر محصل سالب .



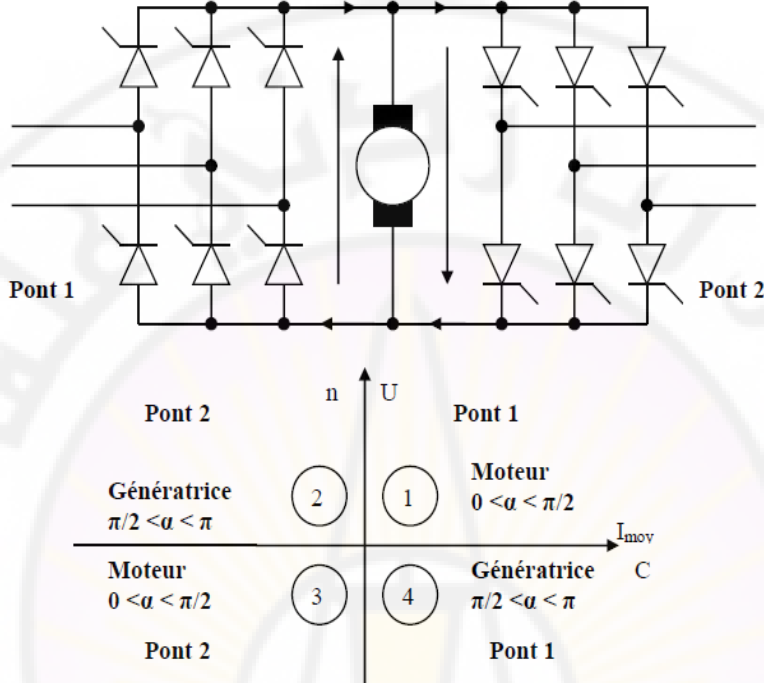
الشكل (آ- 9-6) العمل في ربع واحد، جسر نصف مقاد أو غير مقاد

2- العمل في ربعين من الإحداثيات: جسر مقاد أحادي أو ثلاثي.



الشكل (ب- 9-6) العمل في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار
3- أربعة أرباع: جسرين مقادين مربوطين رأس عقب.

2. Fonctionnement dans les quatre quadrants de la MCC :



الشكل (ت- 9-6) العمل في أربعة أرباع من إحداثيات التوتر والتيار
مثال (10):

ما هي شروط العمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار وكيف يمكن تحقيق ذلك، بدون تيار دائر.

الحل:

1- شرط العمل في الإحداثيات الأربعة استخدام جسر من الثيرستور مقادة وعندئذ تعمل هذه الجسور عند الحمل التحريضي أو الحمل الأومي بنفس الأسلوب، والتوتر الناتج هو دائماً متوسط التوتر في كلا الجسرين. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام قيادة ذات تيار دائر باستخدام منظم سرعة + منظم تيار لكل جسر، وتاكوميتر وتوتر مرجعي. التيار يدور بين الجسرين دون توقف.

أو باستخدام قيادة بدون تيار دائر وعندئذ تطبق نبضات القدح على أحد الجسور وتفصل عن الجسر الثاني، وعندما تطبق على الجسر الثاني تكون الزاوية مساوية للزاوية المكملة أي يجب دائماً اعتماد: $\psi_1 + \psi_2 = 180^\circ$

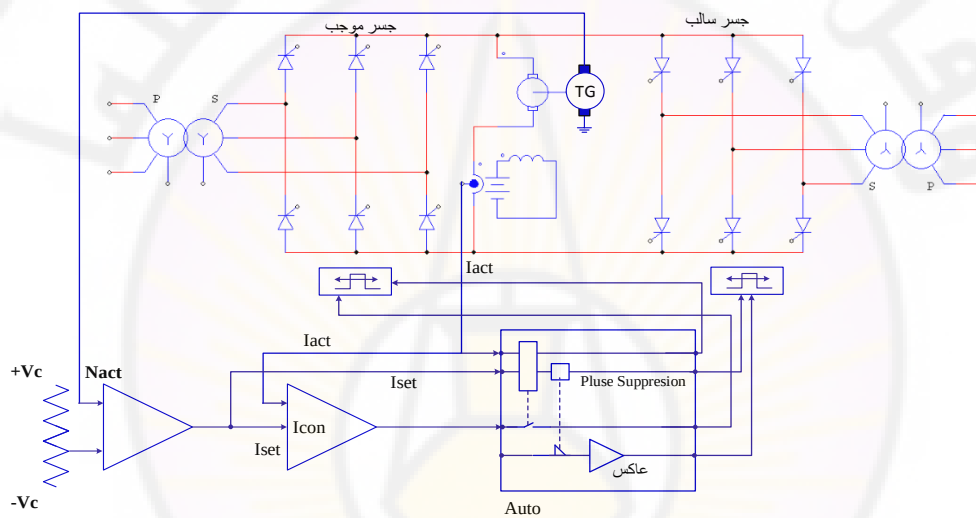
التيار دائماً حر للدوران في أي جسر.

والشكل أدناه يوضح أحد أنظمة القيادة بدون تيار دائر.

الشكل (9-6) دائرة القيادة لجسر مضاعف ذي اتجاه مزدوج للتيار بدون تيار دائر.

- نستخدم هنا منظم سرعة واحد، ومنظم تيار، ومحول التيار يوضع على التسلسل مع الحمل، كما يلزم نظام الكتروني للإغلاق الآلي (Auto reclose).

- بعد مقارنة السرعة الحقيقية بالسرعة المطلوبة، باستخدام منظم سرعة الكتروني نحصل في خرج المنظم على إشارة I_{Set} تمثل التيار المرجعي، وتمثل السرعة المطلوب العمل عندها. ندخل I_{Set} إلى منظم التيار ($I_{Cont.}$) ونقارنه بالتيار الحقيقي المار في المحرك (الحمل)، ونحصل على إشارة قيادة للنضبات (إزاحة النبضات) تتناسب مع



الشكل (9-6) دائرة القيادة لجسر مضاعف ذي اتجاه مزدوج للتيار بدون تيار دائر.

- نستخدم هنا منظم سرعة واحد، ومنظم تيار، ومحول التيار يوضع على التسلسل مع الحمل، كما يلزم نظام الكتروني للإغلاق الآلي (Auto reclose).

- نستخدم هنا منظم سرعة واحد، ومنظم تيار، ومحول التيار يوضع على التسلسل مع الحمل، كما يلزم نظام الكتروني للإغلاق الآلي (Auto reclose).
- بعد مقارنة السرعة الحقيقية بالسرعة المطلوبة، باستخدام منظم سرعة الكتروني نحصل في خرج المنظم على إشارة I_{Set} تمثل التيار المرجعي، وتمثل السرعة المطلوب العمل عندها. ندخل I_{Set} إلى منظم التيار ($I_{Cont.}$) ونقارنه بالتيار الحقيقي المار في المحرك (الحمل)، ونحصل على إشارة قيادة للنبضات (إزاحة النبضات) تتناسب مع

سرعة الدوران المطلوبة وتيار الحمل. لكن حتى نتمكن من معرفة أي الجسور يجب أن يوصل، وأيهما يجب أن ينتظر، نستخدم نظام الإغلاق الآلي (Auto reclose). مبدأ العمل لهذا المنظم هو أنه يرى التيار الحقيقي والتيار الاسمي I_{Set} . وعندما يكون التيار موجباً (أي قادم من الجسر الموجب) فإنه باستخدام بوابات منطقية يمرر تيار منظم التيار (خرج منظم التيار) ويطبقه على دائرة توليد النبضات للجسر الأول حتى يعمل الجسر عند زاوية إزاحة بالطور مناسبة لسرعة الدوران المطلوبة والعزم المطبق. وبالوقت نفسه عن طريق البوابات المنطقية يرسل توتر حجز لبوابات الجسر الأول ليؤكد نقله لحالة الوصل وغالباً ما تكون هذه الإشارات عبارة عن توتر ($+5V$ أو 0). - في الحالة الثانية إذا انعكس تيار المحرك لأي سبب من الأسباب، فإن خرج منظم التيار (I Controller) سوف ينعكس، وبما أن نظام الإغلاق الآلي يرى هذا التغيير، فإنه سيعمل مباشرة على حذف نبضات القرح من على الجسر الأول، وإطلاق نبضات القرح للجسر الثاني السالب حتى يتمكن تيار الحمل السالب من المرور في هذا الجسر، وبالتالي تشغيل الجسر السالب عند نفس التوتر الذي كان يعمل عنده الجسر الموجب قبل تغيير التيار اتجاهه. ولتحقيق ذلك فإن خرج منظم التيار الداخل للمنظم هذا يمر عبر عاكس ثم يطبق على دائرة توليد النبضات للجسر السالب، كما أنه يرسل إشارة لتأكيد تشغيل الجسر السالب، وإيقاف الجسر الموجب.

مثال (11):

تم تشكيل جسر مضاعف (مجموعة تقويم تعريج ذات اتجاه مزدوج للتيار) DUAL Converter من جسرين كل منهما تقرعي بسيط عدد أطواره ثلاثة، توتر الخط 400 فولت. حمل بمقاومة قدرها 20 أوم، زاوية الإزاحة بالطور للجسر الموجب كانت 120 درجة وزاوية الإزاحة بالطور للجسر السالب 60 درجة. احسب ماييلي:

1- ما هي القيمة المتوسطة لتوتر الحمل عند الزوايا المبينة أعلاه، وارسم شكل التوتر المطبق على الحمل.

2- ارسم شكل التوتر المتشكل على ملف الطور وشكل التيار الدائر.

3- ما هي قيمة تيار الحمل، ارسم التيار المقدم من كل جسر من الجسور المعتمدة.

الحل:

$$V_{Ph} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230.94 \text{Volts.}$$

$$U_C = \frac{U_{C1} + U_{C2}}{2}$$

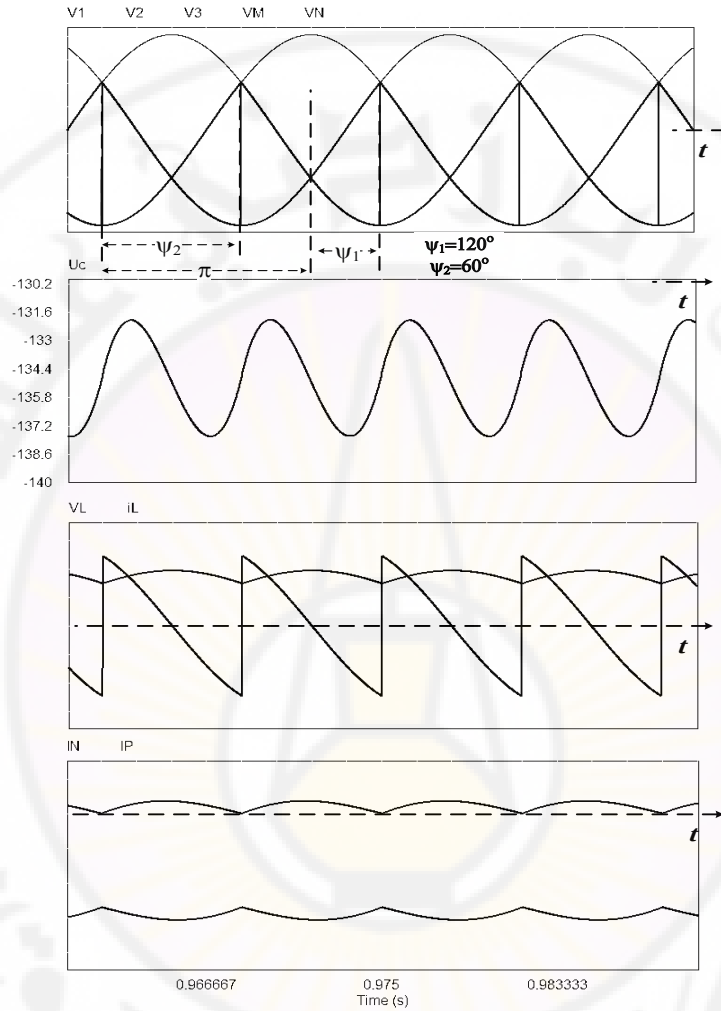
$$U_{C1} = U_{C2} = \frac{q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \psi$$
$$= \frac{3}{3.14} \times 230.94 \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.5$$

$$U_{C1} = U_{C2} = 135.12 \text{Volts}$$

$$U_C = 135.12 \text{Volts.}$$

$$I_C = \frac{135.12}{20} = 6.755 \text{Amp.}$$

- الجسر السالب يقدم تيار الحمل مضافاً له التيار الدائر، لأنه يعمل كمقوم. بينما في هذه الحالة يقدم الجسر الموجب فقط التيار الدائر لأنه يعمل كعاكس.



الشكل (6-11) توتر الطور، وتيار الطور، وزاوية الطور التوترات والتيارات لدى عمل الجسر التفرعي البسيط ثلاثي الطور بنقطة وسط $q=3$.



الفصل السابع

سابعاً: قيادة محركات التيار المستمر



مثال (1):

- عمل جسور التقويم كعاكس (معرج غير مستقل).

تم استخدام جسر أحادي الطور مقاد، مكون من أربعة ثيرستورات لتغذية محرك تيار مستمر، ذي تحريض مستقل، حسب الشكل (أ-1-7) أدناه. يمكن إبطاء سرعة دوران المحرك بتأخير زوايا القذح. لفرملة هذا المحرك والمحافظة على اتجاه دورانه يمكن ذلك بعكس قطبية تيار التحريض، مما يسبب انعكاس قطبية القوة المحركة الكهربائية العكسية، ومباشرة يتم بزيادة زاوية الإزاحة بالطور لتصبح أكبر من 90° ، نطلق على φ زاوية بدء التوصيل للثيرستورات وتساوي $(\varphi = \pi - \theta)$.

- الدارة المكافئة مبينة بالشكل (b-) وبناءً عليه بين ما يلي :

1- بين أن محرك التيار المستمر (ذي قوة محركية كهربائية ثابتة E) يمكن أن يعيد لمنبع التيار المتناوب نبضات تيار إذا تم قذح العناصر الثيرستورية $(1+3)$ ثم $(2+4)$ بالتناوب عند زاوية تأخير θ .

- سنفرض أن حثية المحرك L ذات قيمة كبيرة $L=0.05H$.

- القوة المحركة الكهربائية العكسية التي تتغير مع سرعة الدوران، تبقى تقريباً ثابتة ضمن مجال زمن محدود.

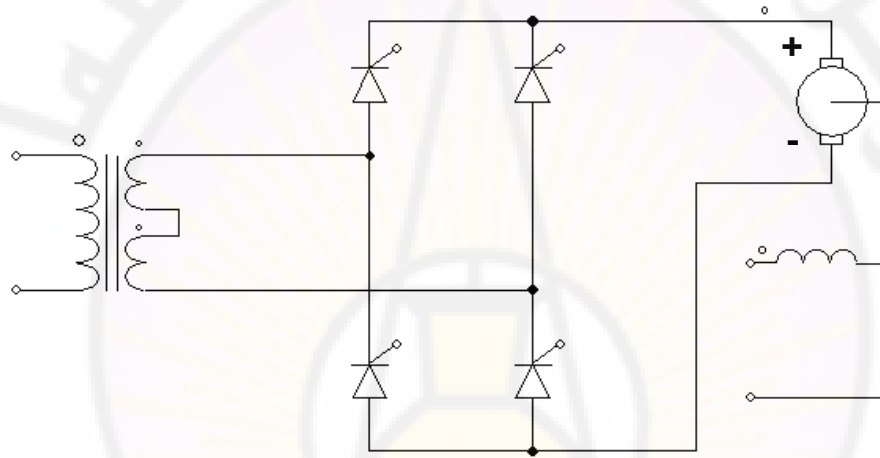
- ضع العلاقة النازمة للتيار $i(t)$ ، والشروط اللازمة ليتوقف هذا التيار من المرور من تلقاء نفسه (إغلاق) أو (حجز) لحظي للثيرستورات، مما يسمح بإعادة تشغيلها (قذحها) من جديد. ضع $x=\omega t$.

2- احسب فترة استمرار نبضات التيار عند $E=7.8V$ و $\theta=150^\circ$ ، منبع التغذية $V_{eff}=127V$ و $50Hz$.

احسب كمية التيار المستعادة (recooperated) عند كل نبضة والقيمة المتوسطة للتيار القادم من المحرك.

3- عند $\theta = 120^\circ$ ، احسب قيمة E للحصول على فترة توصيل تساوي 180° . احسب عندئذ عامل استطاعة المنبع.

4- ما هي القيمة العظمى لـ E والتي تسمح بتوليد تيار متناوب جيبي.



الشكل (آ-1-7) دائرة الاستطاعة للمحرك



الشكل (ب-1-7) الدارة المكافئة للحمل

الحل:

1- مبدأ استعادة القدرة:

سنأخذ مبدأ الزمن اللحظة التي تنتقل فيها الثيرستورات (1+3) للتوصيل ، مما يمكننا من رسم الشكل (س-1-7) أدناه. توتر الخرج يعطى بالشكل:

$$v = V \sin(x + \theta) = V \sin(x + \pi - \varphi) = -V \sin(x - \varphi)$$

حيث:

$$V = V_{eff} \sqrt{2} = 180V.$$

مرور التيار في الثيرستورين يسمح بكتابة قانون أوم للدائرة التي يمر بها التيار:

$$v + E = L \frac{di}{dt} = L \omega \frac{di}{dx}$$

$$L \omega \frac{di}{dx} = E - V \sin(x - \varphi)$$

بالتكامل:

$$L \omega i = \int [E dx - V \sin(x - \varphi) dx]$$

$$L \omega i = E x + V \cos(x - \varphi) + C$$

يتم تحديد ثابت التكامل C من أجل $i(0)=0$ ومنه $C = -V \cdot \cos \varphi$.

$$L \omega i = E x - V [\cos \varphi - \cos(x - \varphi)]$$

$$i = \frac{E}{L \omega} x - \frac{V}{L \omega} [\cos \varphi - \cos(x - \varphi)] \dots \dots (1)$$

يمكن رسم هذه العلاقة (1) في المنحني أدناه والمكون من تيار خطي + تيار جيبي مزاح، مجموعهما يعطي التيار المار في العناصر الثيرستورية.

$$x_A = 2\varphi + E$$

- في النقطة A، يتم إطفاء الثيرستورات. التيار I يأخذ القيمة العظمى من أجل:

$$E = V \sin(x - \varphi)$$

$$Ex - V[\cos \varphi - \cos(x - \varphi)] = 0$$
$$x = \frac{V}{E} [\cos \varphi - \cos(x - \varphi)]$$
[illegible]

430

2- التطبيق الرقمي:

طول فترة التوصيل هي $x=2\varphi+E$ ، وذلك بفرض أن E قيمة صغيرة أمام φ . وعليه يمكن تبسيط العلاقة (1) بالشكل:

$$x - \varphi = \varphi + E$$

وعليه

$$i = \frac{E}{L\omega} x - \frac{V}{L\omega} [\cos \varphi - \cos(\varphi + E)]$$

المقدار:

$$\cos \varphi - \cos(\varphi + E) \approx E \cdot \sin \varphi$$

وعليه

$$i = \frac{E \cdot K - V \cdot E \cdot \sin \varphi}{L\omega}$$

شرط انعدام التيار أن يكون:

$$E \cdot K - V \cdot E \cdot \sin \varphi = 0$$

وعليه

$$2\varphi + E = \frac{V}{E} E \cdot \sin \varphi$$

$$E = \frac{2\varphi}{\frac{V}{E} \sin \varphi - 1}$$

- عند $V=180V$ ، $\varphi=30^\circ$ ، $\sin \varphi=0.5$ ، $E=7.8V$ ، $E=0.1rad$

3- عند تيار متناوب مستمر غير متقطع:

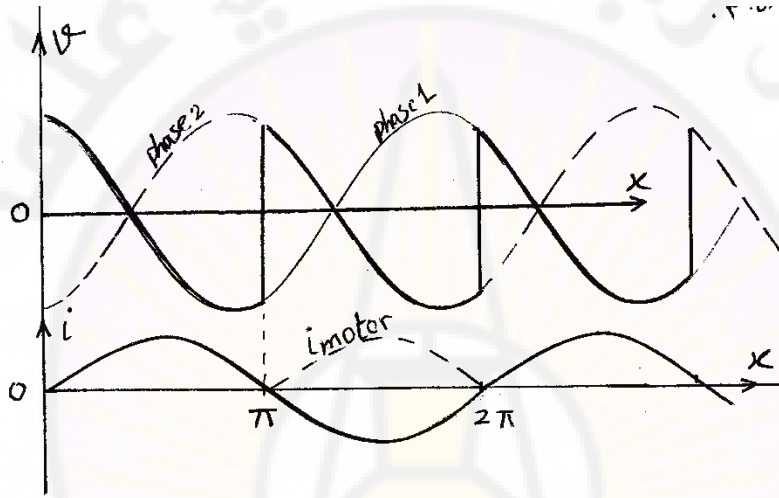
$\theta = 120^\circ$ إذا $\varphi=60^\circ$.

$$2\phi + E = 180^\circ \Rightarrow E = 60^\circ; \quad x = \pi$$

$$E \cdot \pi = V(\cos 60^\circ - \cos 120^\circ) = V(0.5 + 0.5) = V$$

$$E = \frac{V}{\pi} = \frac{180}{\pi} = 57.3V$$

والشكل (7-1-ع) يمثل هذه الحالة:



الشكل (7-1-ع) التيار القادم من المحرك ذي الأقطاس الجيبية

- التيار القادم من المحرك عبارة عن أقطاس يمكن اعتبارها جيبية، وهو لم يعد تياراً متقطعاً كما سبق. هذا ونظراً لتناوب الثيرستورات بالتوصيل فإن تيار المنبع يصبح ذا مركبات موجبة وسالبة ويصبح متناوباً. والمنبع يُحقن بتيار متناوب مزاح بزاوية 60° . وعليه فإن الاستطاعة

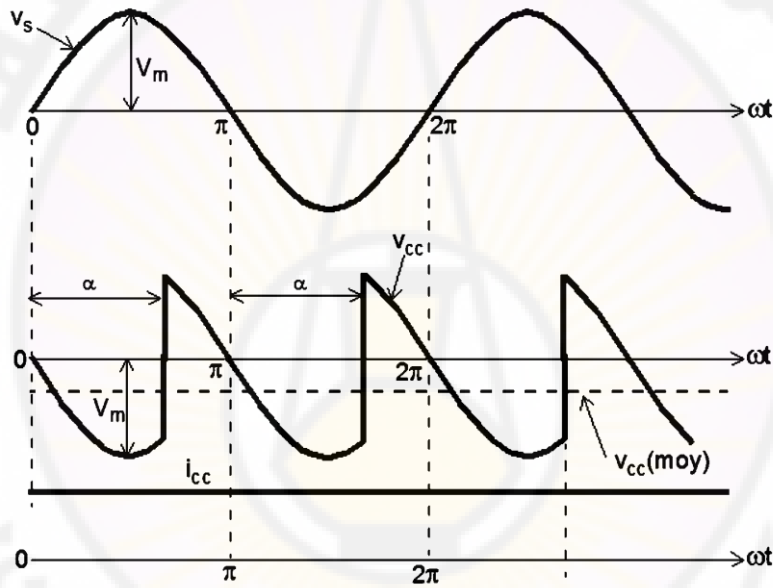
$$P = S \cdot \cos \phi$$

من الشكل (7-1-ع) نرى أن التيار يبدو معاكساً للتوتر وهذا هو الصحيح لأننا نحقق التيار في المنبع.

4- للحصول على قيمة عظمى لـ E يكفي أن نجعل $\phi = 0$

$$E = 2 \frac{V \cdot \cos \varphi}{\pi} = \frac{2}{\pi} V = 115V$$

أي أن بدء تخفيض سرعة المحرك يجب أن تبدأ من هذه القيمة ثم يتم تخفيض الزاوية θ كلما تناقصت قيمة E . كما يمكن التعبير عن عكس اتجاه الاستطاعة بالشكل المبين أدناه تور خرج سالب و تيار محرك موجب,



الشكل (ك-1-7) حقن التيار في المنبع

مثال (2):

تم ربط مقوم ثلاثي الطور مقاد على منبع ثلاثي ذي توتر 415V، وممانعة (reactance) تساوي $0.3\Omega/ph$ ومقاومة $0.05\Omega/ph$. يعمل المقوم كعاكس عند زاوية تقدم $\beta = 35^\circ$. احسب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم (للمولد). واحسب زاوية التطابق وزاوية الإطفاء (extinction) عند مرور تيار 60A نفرض أن هبوط التوتر لكل ثيرستور 1.5V.

الحل:

- عند العمل كعاكس يعطى التوتر المتوسط بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{2q.V_m}{\pi \times 2} \sin \frac{\pi}{q} [\cos \beta + \cos(\beta - \gamma)]$$

وعند العمل كمقوم يعطى التوتر المتوسط بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{2q}{\pi} V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha - \frac{q \cdot \omega \cdot L \cdot I_l}{2\pi}$$

وعليه فإن:

- هبوط التوتر الناتج عن التطابق:

$$\begin{aligned} \Delta U_C &= \frac{2 \cdot q}{2\pi} L \cdot \omega I_l \\ &= \frac{6 \times 0.3 \times 60}{2\pi} = 17.2V \end{aligned}$$

- هبوط التوتر على عناصر التقويم:

$$2 \times 1.5 = 3V$$

- هبوط التوتر على مقاومة التغذية:

$$2 \times 0.05 \times 60 = 6V$$

(ضربت بـ 2 لأن التيار دائماً يمر بخطين).

عند زاوية تقدم $\beta = 35^\circ$ وباعتبار $\gamma = 0$ (أي بدون تطابق).

$$U_{av} = \frac{2 \times 3}{2 \times \pi} \cdot \frac{415\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sin \frac{180}{3} (\cos 35 + \cos 35)$$

$$U_{av} = 459.1V$$

القيمة الناتجة أعلاه دون مراعاة هبوط التوتر، لذا كي يعمل الجسر كمولد يجب أن

تحذف من هذه القيمة كافة هبوطات وهي:

$$U_C = 459.1 + 17.2 + 3 + 6 = 485.3V$$

- تحسب زاوية التطابق من العلاقة:

$$1 - \cos \gamma = \frac{I_2 \cdot \omega \cdot I_C}{V_m \cdot \sin \frac{\pi}{q}} = \frac{0.3 \times 60}{\frac{415}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

هذه الزاوية هي عند $\alpha = 0$ لكن عند

$$\alpha = 180 - 35$$

$$\alpha = 145^\circ$$

عندئذ تحسب زاوية التطابق من العلاقة:

$$\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{2\omega L \cdot I_L}{\sqrt{3}V_{\max}} = \frac{\omega L \cdot I_L}{V_m \sin \frac{\pi}{q}}$$

وعليه عندئذ

$$\cos(145) - \cos(145 + \gamma) = \frac{0.3 \times 60}{\frac{415}{\sqrt{2}} \sqrt{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$$\gamma = 6.7^\circ$$

- بناء عليه فإن زاوية الإطفاء (extinction) تساوي:

$$35 - 6.7 = 28.3^\circ$$

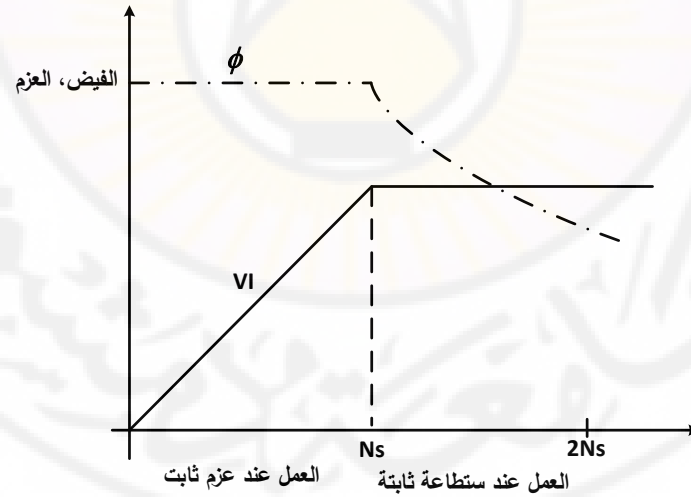
مثال (3):

1 - اشرح لنا كيف يمكن تشغيل محرك التيار المستمر عند عزم ثابت، وعند استطاعة ثابتة، ما هي المتحولات والقيم الممكن العمل عليها. ارسم الخواص الناتجة عندئذ.

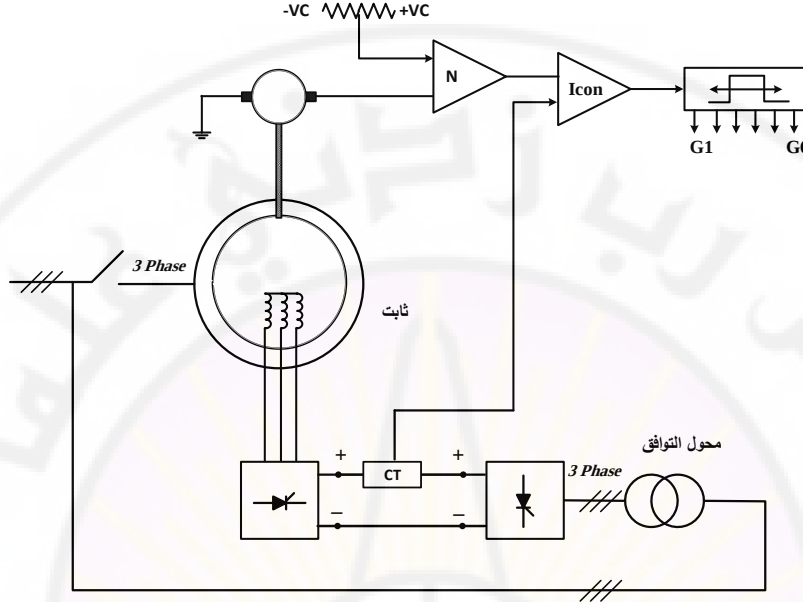
2- كيف يمكن تحقيق منبع توتر متناوب ذي توتر وتردد متغيرين باستخدام مجموعات تقويم تبديل، وما هي المجالات العملية لتطبيق مثل هذه الأنظمة، هل هذا النظام يختلف عن النظام المستخدم لقيادة المحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف. بين أوجه الخلاف إن وجدت وارسم الدارة والوحدات الواجب استخدامها لقيادة المحركات ذات الدائر الملفوف.

الحل:

1- مجموعات التقويم تؤمن إمكانية تغذية محرك التيار المستمر للعمل عند عزم ثابت وعند استطاعة ثابتة بإجراء تحكم بزاوية الإزاحة بالطور يمكن تغيير توتر المتحرض وتياره وبالتالي تقديم التوتر والتيار اللازمين للمحرك حتى يعمل عند عزم ثابت، وذلك عند تيار تحريض ثابت. عندما يصل المحرك للسرعة الاسمية يمكن الآن تغيير توتر التحريض وعندئذ تزداد السرعة ويمكن أحياناً الوصول لسرعات تعادل مثلين أو ثلاثة أمثال السرعة الاسمية.



الشكل (آ-2-7) خواص العزم السرعة لمحرك التيار المستمر



الشكل (ب-2-7) دائرة القيادة للمحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف

2- يمكن تحقيق منبع توتر متناوب ذي توتر وتردد متغيرين باستخدام مجموعات التقويم، ثم على خرج هذه المجموعة نضع معرج، باستخدام التحكم بزاوية الإزاحة بالطور نتحكم بالتوتر المتوسط المقوم، وبتغيير زمن القرح وفترات القرح للجسر المعرج نتحكم بتردد المعرج.

خرج هذا النظام يستخدم لقيادة المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي.

- هذا النظام يختلف جذرياً عن النظام الذي يعمل على التحكم بسرعة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف. هنا نستخدم نظام (مقوم- معرج) بينما في النظام الثاني نستخدم (DUAL Converter) مجموعات التقويم التعريج ذات الاتجاه المزدوج للتيار. ويمكن للطلاب شرح أوجه الخلاف المتعددة:

1- من ناحية البنية.

2- من ناحية طريقة الفصل والوصل لعناصر القطع.

3- من ناحية آلية العمل (معرج) أو مجموعات تقويم تعريج تعمل كعاكس أي لا تقوم بتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب بل تعمل على عكس اتجاه الاستطاعة، بحيث تأخذ الاستطاعة من الحمل وتحققها بالمنبع.

مثال (4): قيادة محرك التيار المستمر عند تيار حمل دائم

الشكل (7-3-آ) يبين جسر تقويم أحادي الطور مقاد، يغذي محرك تيار مستمر ذي تحريض مستقل. تم تمثيل المتحرض بدارته المكافئة R_a مقاومة المتحرض و L_a حثية المتحرض، و E قوة محرقة كهربائية عكسية (back emf).

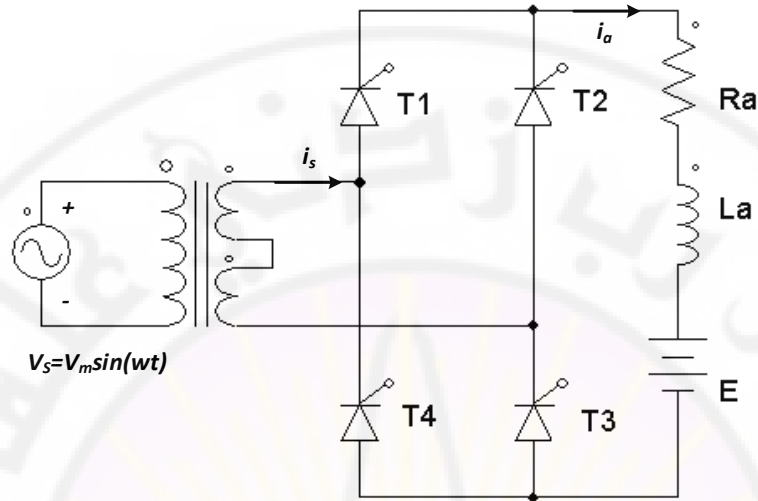
- الشكل (7-3-ب) يبين توترات المنبع ونبضات القدح للثيристورات (T_3+T_1) التي ستعمل عند الزاوية α وتتغير α من 0 حتى π ، والثيристورات (T_4+T_2) التي ستعمل عند الزاوية $(\pi+\alpha)$ وتتغير حتى 2π .

- سيتم معالجة عمل النظام عند تيار متواصل دائم (Continuous conduction mode) زاوية الإزاحة بالطور المطبقة α يمكن أن تكون أكبر أو اصغر من γ التي تمثل زاوية التقاطع بين التوتر الخطي للمنبع والقوة المحركة الكهربائية العكسية أي أن:

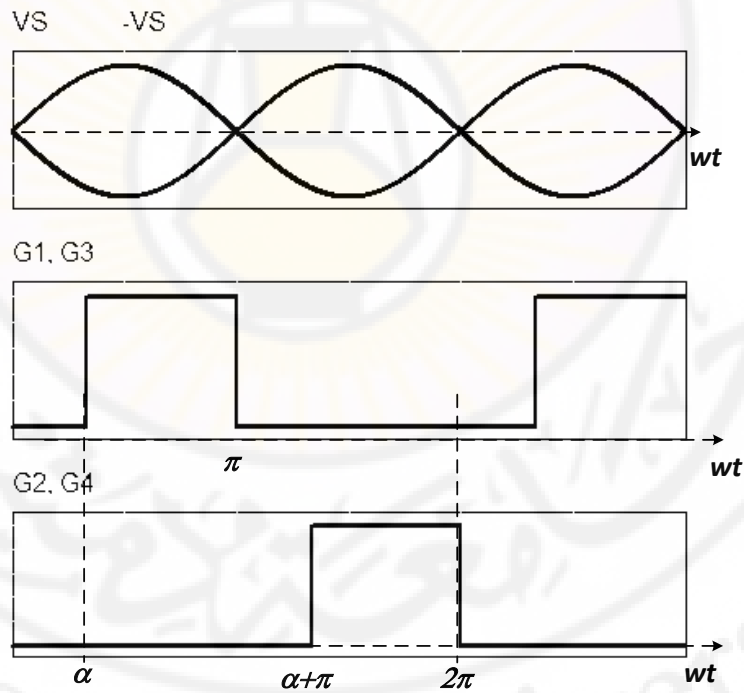
$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{E}{V_m} \right)$$

V_m : القيمة العظمى لتوتر المنبع.

من أجل الحالة التي عندها $\alpha < \gamma$ أشكال الأمواج مبينة بالشكل (a-) وهنا توضح آلية العمل وتوترات الخرج. وهنا يمكن قدح وتمرير تيار في الثيристورات T_1 و T_3 لأن $i_a > 0$ مع أن $V_s < E$ وكذلك الأمر بالنسبة للثيристورات للذراع الثاني (T_4-T_2).



الشكل (آ-7-3) جسر التقويم ونبضات القذح

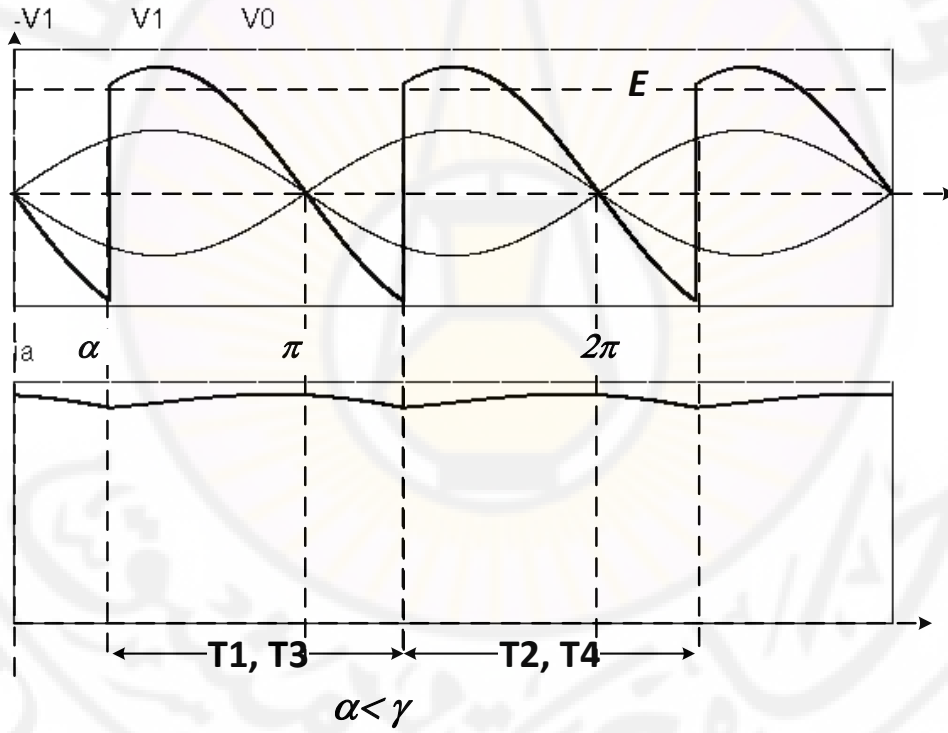


الشكل (ب-7-3) نبضات القذح، توتر المنبع

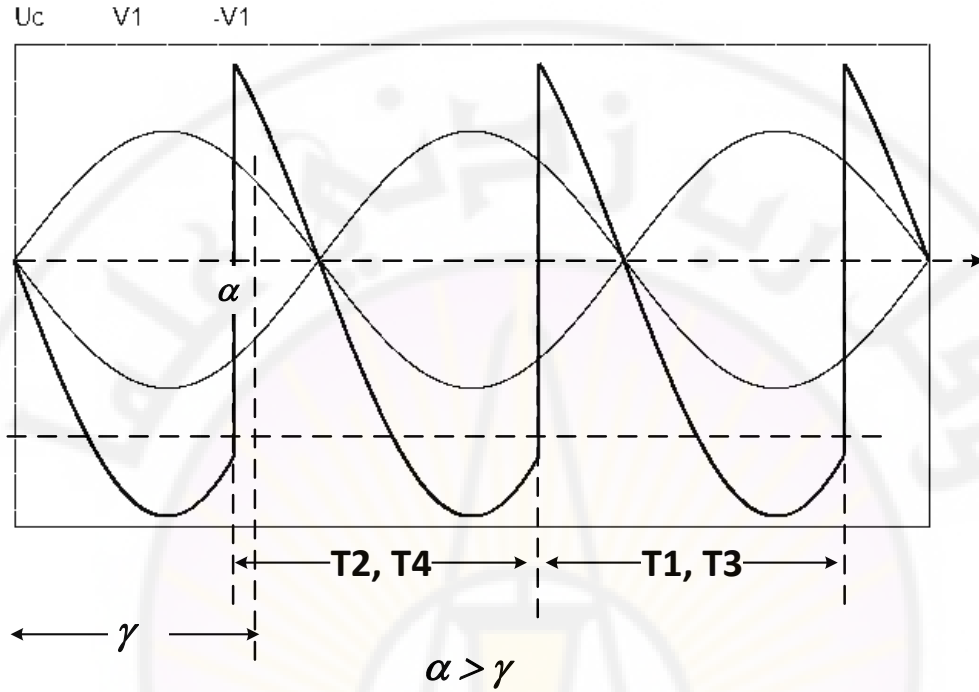
- في حالة $\alpha < \gamma$ كما في الشكل أعلاه، الآلة تعمل كمحرك والتيار $i_a > 0$ مع أن $V_s < E$ في بعض الفترات.

خلال فترة توصيل (T_1 و T_3) أي خلال الزمن $\alpha < \omega t < \pi + \alpha$ يمكن وضع معادلة الفولت-أمبير التالية:

$$V_a = E + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad \dots\dots(1)$$



الشكل (آ-3-7) حالة العمل كمحرك ، توتر الجسر الذي يعمل كمقوم.



الشكل (ب-3-7) حالة العمل كمولد ،الجسر يعمل كعاكس.

بضرب جداء الطرفين في العلاقة (1) أعلاه بـ $(i_a \Delta t)$ حيث Δt فترة زمنية صغيرة نجد:

$$V_a i_a \Delta t = E i_a \Delta t + i_a^2 R_a \Delta t + L_a i_a \left(\frac{di_a}{dt} \right) \Delta t \quad \dots\dots(2)$$

المعادلة أعلاه ومكوناتها تصلح للتعبير عن القدرة المقدمة أو المستهلكة في عناصر النظام.

الشكل (ب-3-7) يوضح حالة عمل الآلة كمولد أو فرملة حيث:

$$\gamma' = \pi - \gamma = \pi - \sin^{-1} \frac{E}{V_m} \quad \dots\dots(3)$$

α يمكن أن تكون أكبر أو أصغر من γ' .
 - خلال فترة عمل T_1 و T_3 ، في العلاقة (1) أعلاه يمكن التعبير عن E بالصيغة
 $E = K_m \omega_m$ وعليه نجد:

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_m \omega_m = V_m \sin \omega t \quad \dots\dots(4)$$

كما أنه خلال نصف الدور الثاني من الموجة الجيبية حيث العناصر T_2 و T_4 في حالة عمل سيكون لدينا المعادلة من الشكل:

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_m \omega_m = -V_m \sin \omega t \quad \dots\dots(5)$$

ω : $2\pi f$: تردد المنبع.

ω_m : $2\pi f_m$: تابع السرعة الدائر.

K_m : ثابت القوة المحركة الكهربائية العكسية.

- حل المعادلة (4) أعلاه خلال الفترة (α) إلى $(\pi + \alpha)$ نجد:

$$i_a(\omega t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \psi) - \frac{K_m \omega_m}{R_a} + K_1 e^{-t/Z_a} \quad \dots\dots(6)$$

حيث:

$$Z = [R_a^2 + (\omega L_a)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad K_1: \text{ ثابت}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L_a}{R_a} \right), \quad \tau_a = \frac{L_a}{R_a}$$

- بالنظر إلى المركبة الأولى من المعادلة (6) الجانب الأيمن نجد أنه يكافئ التيار الناتج عن التوتر المتناوب، كما أن الجزء الثاني يدل على تيار ناتج عن القوة المحركة الكهربائية العكسية. والجزء الثالث الأسّي ناتج عن المجموع العابر للمركبة

المتناوبة للمنبع والقوة المحركة الكهربائية العكسية. وفي الحالة الدائمة (Steady State) على كل حال لدينا:

$$i_a(\alpha) = i_a(\pi + \alpha) \quad \dots\dots(7)$$

- التدفق يعتبر ثابت. عزم المحرك يعتمد فقط على مركبة التيار المستمر لتيار المتحرض. حيث أن المركبة المتناوبة تولد عزوم نبضية ذات متوسط عزم يساوي الصفر. لذا فإن عزم المحرك يعطى بالعلاقة:

$$T_a = K_m \cdot I_a \quad \dots\dots(8)$$

- لإيجاد القيمة المتوسطة لـ I_a عند حالة العمل المستقرة، يمكن استخدام العلاقة التالية:

القيمة المتوسطة لتوتر المحرك V_a = القيمة المتوسطة لهبوط التوتر على R_a + القيمة المتوسطة لهبوط التوتر على L_a + القوة المحركة الكهربائية العكسية.
حيث:

$$V_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad \dots\dots(9)$$

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha \quad \dots\dots(10)$$

التوتر الاسمي للمحرك سيكون مساوياً للقيمة المتوسطة العظمى للتوتر V_a أي القيمة عند $\alpha = 0$ وهي $\left(\frac{2V_m}{\pi} \right)$.

- القيمة المتوسطة لهبوط التوتر على R_a يعطى بالعلاقة:

$$= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} R_a i_a(\omega t) d(\omega t) = R_a I_a \quad \dots\dots(11)$$

- القيمة المتوسطة لهبوط التوتر على L_a يعطى بالعلاقة:

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} L_a \left(\frac{di_a}{dt} \right) d(\omega t) = \frac{\omega}{\pi} \int_{i_a(\alpha)}^{i_a(\alpha+\pi)} L_a i_a \\
&= \frac{\omega L_a}{\pi} [i_a(\pi + \alpha) - i_a(\alpha)] = 0 \quad \dots\dots(12)
\end{aligned}$$

بالتعويض في العلاقة الأساسية نجد:

$$V_a = R_a I_a + K_m \omega_m \quad \dots\dots(13)$$

عند التشغيل المستمر لمحرك التيار المستمر المغذى من مقوم نجد أن:

$$I_a = \frac{(2V_m / \pi) \cos \alpha - K_m \omega_m}{R_a} \quad \dots\dots(14)$$

بتعويض التيار I_a في معادلة العزم (8) وبعد تحسين العلاقة نجد:

$$\omega_m = \frac{2V_m}{\pi K_m} \cos \alpha - \frac{R_a}{K_m^2} T_a \quad \dots\dots(15)$$

وهي العلاقة بين السرعة والعزم عند الاستقرار. السرعة عند اللاحمل المثالية ω_{m0} عند كون تيار المتحرض مساوٍ للصفر وعليه:

$$\omega_{m0} = \frac{V_m}{K_m} \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \quad \dots\dots(16)$$

$$\omega_{m0} = \frac{V_m \sin \alpha}{K_m} \quad \frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi \quad \dots\dots(17)$$

- من أجل عزوم أقل من القيم الاسمية، يعمل النظام عندئذ تحت نظام تيار حمل

متقطع (غير مستمر) Discontinuous Conduction Mode.

حيث تظهر فترات انعدام لتيار المتحرض، مع وجود تيار في فترات أخرى.

- في حالة تيار حمل مستمر، عندئذ خواص تشغيل السرعة- العزم تكون خطوط

مستقيمة متوازية، ميل هذه الخطوط يعتمد على قيمة المقاومة R_a للمتحرض.

أحياناً نضيف مرشحاً في دائرة المتحرض لتخفيض فترة مرور أو حدوث التيار المتقطع مع أن مثل هذه الإضافة سوف تسبب زيادة في المفايد، وزيادة في ثابت الزمن τ للمتحرض، مع بعض الضجيج (Noise) والكلفة وحجم نظام القيادة المصمم.

مثال (5):

لدينا محرك تيار مستمر 3-hp، 220V، 1800r.p.m، تحريض تفرعي مستقل، مقاد عبر جسر تقويم أحادي الطور مقاد مغذى من منبع توتر متناوب 230V عند 60Hz. بفرض أن مردود المحرك 88%، مع وجود مرشح كافٍ في خرج الجسر لمحاولة تمرير تيار حمل مستمر عند أي عزم مطبق أكبر من 25% من العزم الاسمي، علماً أن مقاومة المتحرض تساوي 1.5Ω .

a- حدد زاوية التأخير (الإزاحة) للحصول على العزم الاسمي للمحرك عند سرعة دوران 1200r.p.m.

b- احسب زاوية التأخير بالطور من أجل عزم فرملة اسمي عند سرعة - 1800r.p.m.

c- مع حثية متحرض تساوي 30mH، احسب عزم المحرك عند $\alpha=60^\circ$ وسرعة دوران 500r.p.m. اعتبر أن تيار المحرك مستمر.

d- ما هي زاوية التأخير بالطور الموافقة لعزم يساوي 35N.m وسرعة دوران 480r.p.m. افرض تيار حمل مستمر.

الحل:

a- التوتر الأعظمي لتوتر المنبع

$$V_m = \sqrt{2} \times 230 \rightarrow V_m = 325.27V$$

- تيار المحرك:

$$I_a = \frac{3 \times 746 (W / hp)}{0.88 \times 220} = 11.56 A$$

- القوة المحركة الكهربائية العكسية للمحرك عند السرعة الاسمية للدوران 1500r.p.m

$$E = 220 - (11.56 \times 1.5) = 202.66 V$$

- السرعة الزاوية لدوران المحرك

$$\omega_m = 188.57 \text{ Rad / s}$$

- ثابت القوة المحركة الكهربائية العكسية:

$$K_m = \frac{E}{\omega_m} = \frac{202.66}{188.57} = 1.075$$

- من أجل التشغيل عند تيار دائم حسب العلاقة:

$$U_C = E + I_a R_a$$

$$\frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha = K_m \omega_m + I_a R_a$$

عند العزم الاسمي: $I_a = 11.56 A$.

- القوة المحركة الكهربائية العكسية عند سرعة دوران 1200r.p.m هي:

$$E_1 = \frac{1200}{1800} \times 202.66 = 135.11 V$$

وعليه بالتعويض في العلاقة أعلاه نجد:

$$\frac{2 \times 325.27}{\pi} \cos \alpha = 135.11 + 11.56 \times 1.5 = 152.45$$

$$\cos \alpha = \frac{152.45 \times \pi}{2 \times 325.27} = 0.7365$$

$$\alpha = 42.6^\circ$$

b- عند سرعة دوران معكوسة عن الأولى 1800r.p.m- ستكون القوة المحركة الكهربائية العكسية مساوية لما سبق $E = -202.66V$ ومنه نجد حسب العلاقة أعلاه:

$$\frac{2 \times 325.27}{\pi} \cos \alpha = -202.66 + 11.56 \times 1.5 = -185.32$$

$$\cos \alpha = \frac{-185.32 \times \pi}{2 \times 325.27} = -0.8953$$

$$\alpha = 153.5^\circ$$

c- من النتائج السابقة وجدنا أن $K_m = 1.075$ السرعة الزاوية للمحرك عند سرعة دوران 500r.p.m تساوي:

$$\omega_m = \frac{500 \times 2\pi}{60} = 52.38 \text{ Rad / s}$$

باستخدام العلاقة:

$$\omega_m = \frac{2V_m}{\pi K_m} \cos \alpha - \frac{R_a}{K_m^2} \cdot T_a$$

$$52.38 = \frac{2 \times 325.27}{\pi \times 1.075} \cos \alpha - \frac{1.5}{(1.075)^2} \times T_a$$

$$T_a = 23.82 \text{ N.m}$$

d- دائماً $K_m = 1.075$ ، من العلاقة أدناه:

$$\omega_m = \frac{2V_m}{\pi K_m} \cos \alpha - \frac{R_a}{K_m^2} \cdot T_a$$

$$\frac{480 \times 2\pi}{60} = \frac{2\pi \times 325.27}{\pi \times 1.075} \cos \alpha - \frac{1.5}{(1.075)^2} \times 35$$

$$\cos \alpha = 0.497 \Rightarrow \alpha = 60.2^\circ$$

مثال (6) :

لنأخذ نفس مواصفات المحرك السابق 3-HP، توتر المتحرض 220V، سرعة الدوران 1800r.p.m. مقاومة المتحرض 1.5Ω ، حثية المتحرض $l=30\text{mh}$ ، غذي المحرك عن طريق جسر تقويم ثلاثي الطور ثيرستوري مقاد. غذي الجسر من منبع ثلاثي الطور ذي تردد 60 هرتز. أوجد ما يلي:

a- أوجد توتر المنبع المتناوب المستخدم لتغذية الجسر للحصول على التوتر الاسمي للمحرك.

b- عندما يعمل المحرك عند تيار حمل دائم، احسب سرعة دوران المحرك الموافقة لزاوية إزاحة بالطور $\alpha=60^\circ$ وعزم $T_a=25\text{N.m}$.

c- لنعمل على جعل المحرك يجر حملاً ذا عزم ثابت وغير تابع لسرعة الدوران. القيمة الدنيا لعزم الحمل 1.2N.m . احسب الممانعة الواجب إضافتها مع دائرة المتحرض للحصول على تيار حمل دائم وذلك لكافة نقاط العمل. مع العلم أن

$$T_{an} > 0.006 \text{ وأن } 1.5\text{Rad} = \psi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L_a}{R_a}\right)$$

جميع النقاط على المستوى $T_{an} - \omega_{mn}$ سوف تقع على يمين الحدود، وذلك ضمن حالات تيار حمل مستمر ومتقطع.

الحل:

a- من العلاقة النازمة لتوتر خرج جسر التقويم التفرعي المضاعف يمكن حساب التوتر المطبق على المحرك:

$$U_C = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$U_C = \frac{2 \times 3}{\pi} \cdot V_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos \alpha = \frac{3\sqrt{3}}{2} V_m \cos \alpha$$

باعتبار $\alpha=0$ وأن توتر الخرج المطلوب هو 220 عندئذ:

$$220 = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos \alpha$$

$$V_{m(\text{Line-Line})} = 230.5V$$

b- باعتماد العلاقة النازمة لسرعة الدوران والتوتر المطبق والقوة المحركة العكسية نجد:

$$\omega_m = \frac{3V_{m\text{Line}}}{\pi K_m} \cos \alpha - \frac{R_a}{K_m^2} T_a$$

$$\omega_m = \frac{3 \times 230.5 \times \cos 60}{\pi \times 1.075} - \frac{1.5}{(1.075)^2} \times 25 = 69.9 \text{ Rad / s}$$

$$\omega_m = 69.9 \text{ Rad / s} = 69.9 \times \frac{60}{2\pi} = 667 \text{ r.p.m}$$

c- من العلاقة النازمة لحساب العزم الاسمي:

$$T_{an} = I_{an} = \frac{\pi R_a}{3V_m} (I_a) = \frac{\pi R_a}{3V_m} \cdot \frac{T}{K_m}$$

$$= \frac{\pi \times 1.5}{3 \times 230.5} \times \frac{1.2}{1.075}$$

- المستقيم $T_m = 0.0076$ هو من جهة اليمين وذلك من أجل:

$$\psi = 1.5 \text{ Rad} = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R_a}$$

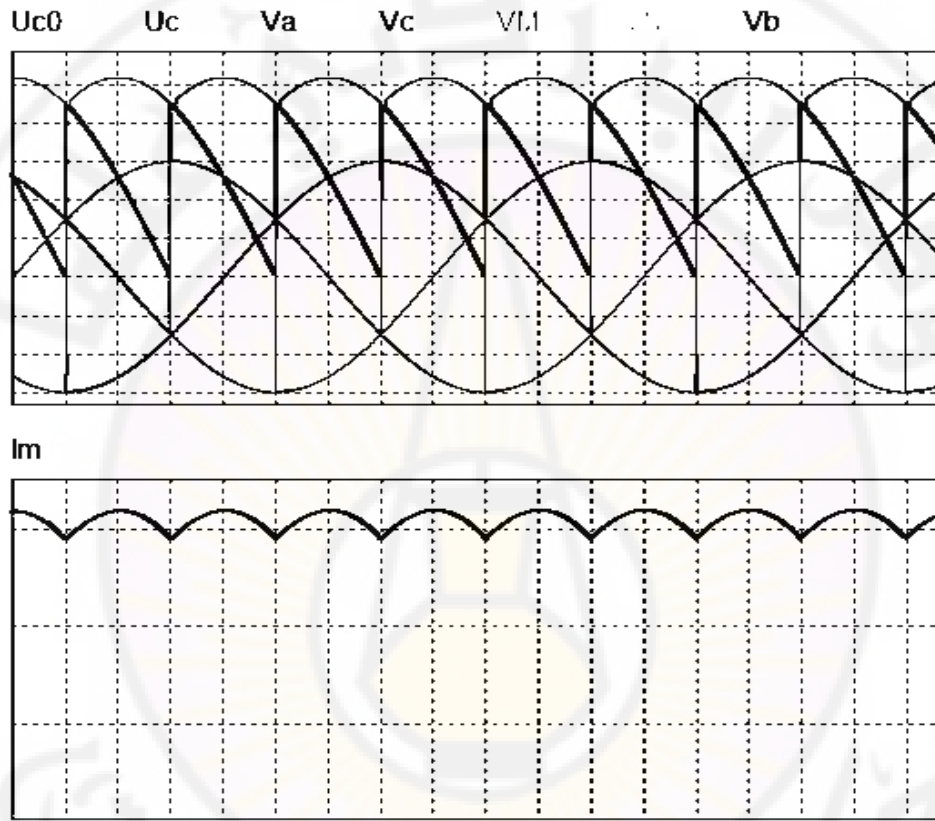
وعليه فإن:

$$L_a = \frac{R_a}{\omega} \tan \psi$$

$$L_a = \frac{1.5}{2\pi \times 60} \tan 85.9 = 55.5 \text{ mH}$$

الحثية الإضافية الواجب إضافتها تساوي:

$$55.5 - 30 = 25.5mH$$



الشكل (4-7) توتر الخرج المطبق على المحرك - تيار المحرك

مثال (7):

يتم تغذية محرك تيار مستمر، ذي تحريض مستقل باستخدام مقوم أحادي الطور نصف مقاد. توتر التغذية المتناوب 240V - نبضات القذح طبقت متأخرة 110° . تيار المتحرض يستمر بعد 50° من لحظة انعدام التوتر.

احسب سرعة دوران من أجل عزم مطبق قدره 1.8N.m مع العلم أن ثابت العزم-
التيار للمحرك هو عند 1.0N.m/A. افرض أن مقاومة المتحرض 6Ω أهمل مفاقيد
المقوم.

الحل:

لدى رسم شكل التوتر المقوم الناج عن جسر التقويم نصف المقاد. عند زاوية إزاحة
قدرها 110° نجد أن القوة المحركة الكهربائية العكسية سوف ترى على الشكل لفترة
قدرها:

$$110 - 50 = 60^\circ.$$

حيث أن التوتر المقوم على طرفي المحرك سيكون منعدياً لفترة قدرها 50° وهي الفترة
التي يستمر التيار المرور فيها، بعد انعدام التوتر المقوم الموجب وبدء عمل الديود
الحر.

- والقيمة المتوسطة للتوتر على طرفي المحرك تساوي:

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{110}^{180} 240\sqrt{2} \sin \theta d\theta + E \pi \frac{60}{180} \right]$$

$$= 71.1 + 0.333E$$

- التيار المتوسط يساوي:

$$I = \frac{1.8N.m}{1.0N.m/A} = 1.8A$$

- من العلاقة:

$$E = U_{av} - I.R$$

$$= 71.1 + 0.333E - 1.8 \times 6 = 90.43V$$

- ومن علاقة الاستطاعة الكهرومغناطيسية:

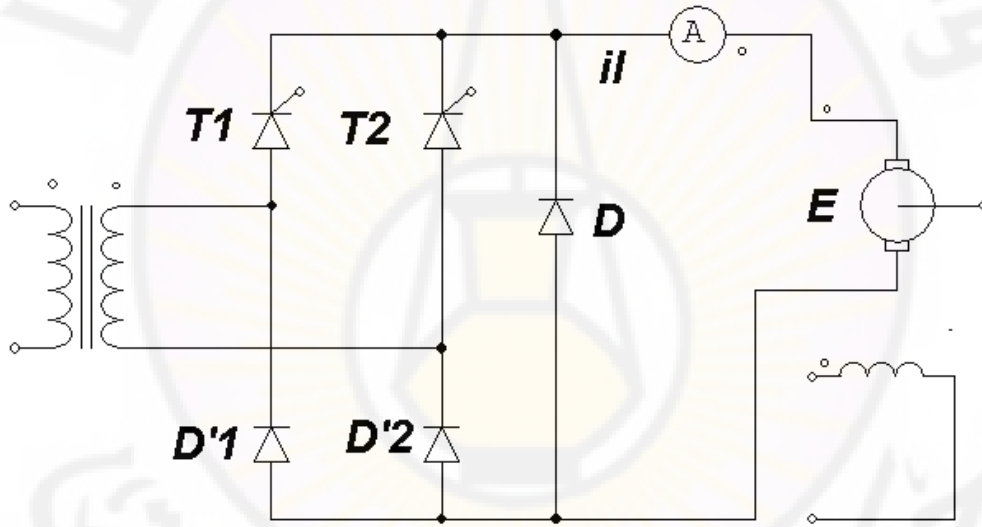
$$TN = E.I \Rightarrow N = \frac{E.I}{T} = \frac{E.I}{C.I} = \frac{E}{C}$$

أي أن:

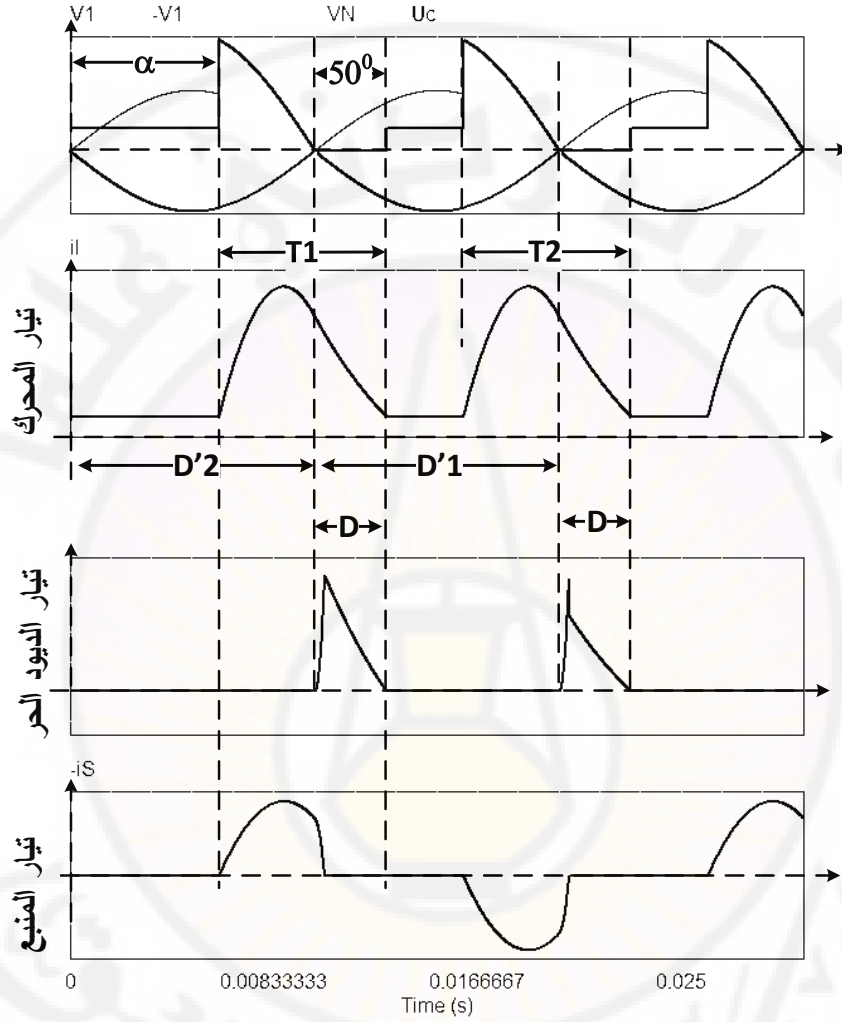
$$N = \frac{E}{(C) \text{ ثابت العزم}}$$

$$N = \frac{E}{C} = \frac{90.43(V)}{1.0(V / rad / s)} = 90.43 rad / s = 864 tr / min$$

$$\text{ثابت العزم } C = K_2 \phi = \frac{T}{I} = \left[\frac{N.m}{A} \right], \quad \frac{(V)}{\left(\frac{Rad}{s} \right)} = \frac{E}{N} = C$$



الشكل (آ-5-7) دائرة الاستطاعة



الشكل (ب-5-7) - توتر خرج الجسر والتوتر على طرفي المحرك - تيار المحرك

،الديود الحر ،المنبع

$$\left(\frac{\text{Rad}}{\text{s}} \times \frac{60}{2\pi} = \text{rev / min} \right)$$

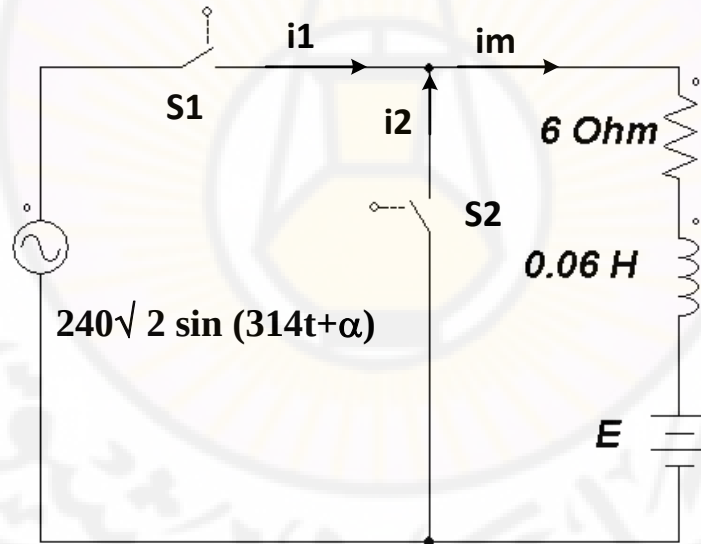
ملاحظة: لدينا التحويل التالي :

مثال (8):

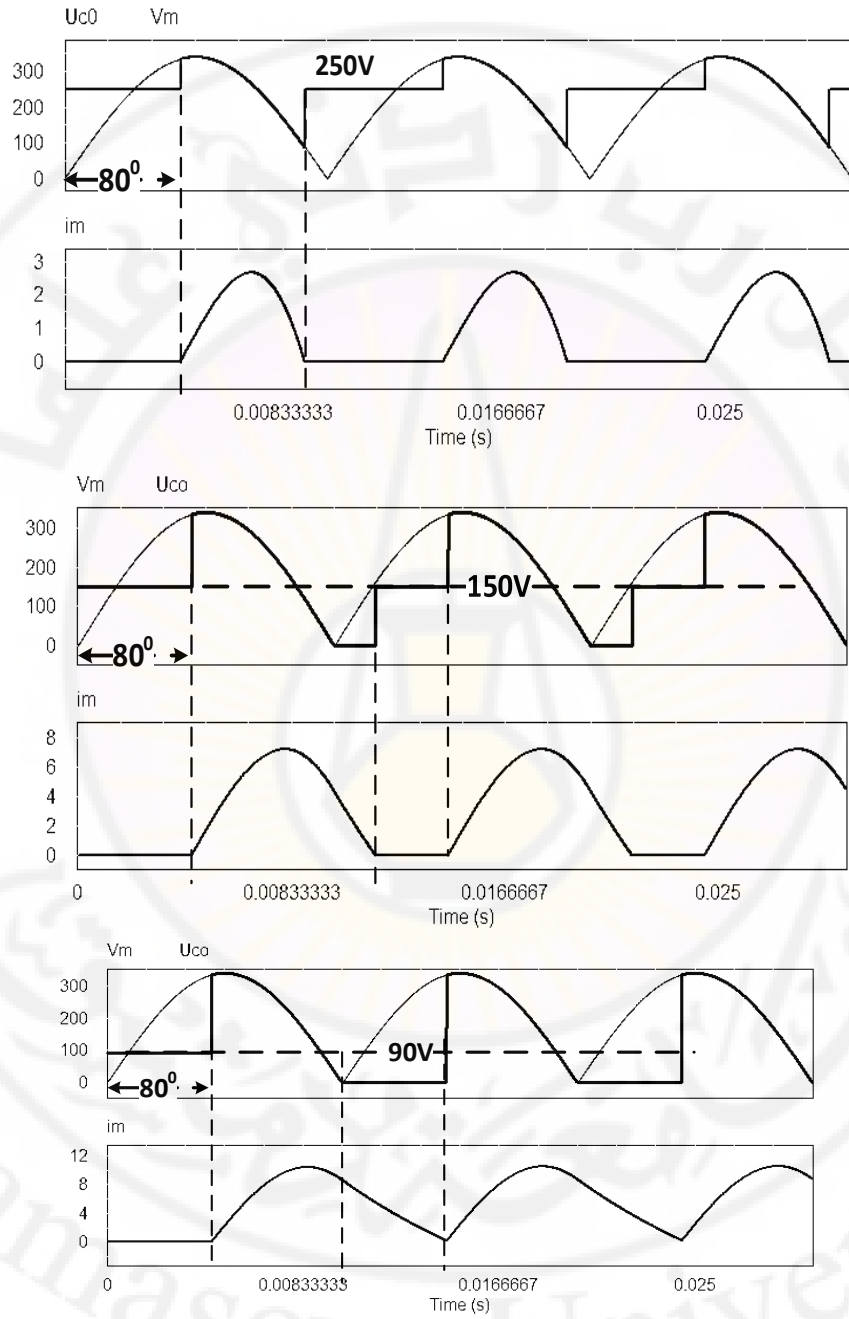
لنأخذ محرك تيار مستمر صغير ذي تحريض مستقل يغذى الجسر من منبع توتر متناوب 240V- 50Hz، الجسر المعتمد أحادي الطور نصف مقاد. ممانعة المتحرض 0.06H، المقاومة 6Ω . ثابت العزم $C=0.9\text{N.m/A}$ أو (V/Rad/s) . من أجل تنظيم السرعة تم إجراء تأخير في إزاحة النبضات بمقدار 80° وكانت القوة المحركة الكهربائية العكسية تساوي 150V. حدد عندئذ القيمة اللحظية لتيار المتحرض. احسب العزم المتوسط والسرعة. أهمل المفاقيد كافة.

- أعد حساب ما سبق عند قوة كهربائية محرك عكسية 90V, 250V.

الحل:



الشكل (آ-6-7) الدارة المكافئة للمحرك والقواطع ،



الشكل (ب-6-7) التوتر والتيار للمحرك عند مختلف حالات التشغيل ،

- تطور ونشوء تيار المتحرض يأخذ عدة مراحل. وبالعودة للشكل (ب-6-7) أعلاه نجد، أنه عند قدح الثيرستور، يبدأ الجسر بحقن التيار i_1 في المتحرض، يبدأ التيار i_1 بالتزايد بدءاً من القيمة صفر، وبشكل متقطع كل نصف دور. عندما يصل توتر الجسر للقيمة صفر يقف تيار الجسر i_1 ويبدأ من نفس القيمة مرور التيار i_2 وذلك بواسطة الديود الحر. وبالشكل (أ-6-7) هذا يعبر عنه بفتح القاطع S_1 وإغلاق القاطع S_2 . التيار i_2 سيتناقص حتى ينعدم. المرحلة الثالثة هنا هي حالة عدم وجود تيار، لاعتبارنا أن تيار الحمل غير مستمر.

- لإيجاد التيار i_1 ، التيار الكلي هو مجموع المركبة المتناوبة في حالة العمل الدائم، والمركبة المستمرة في حالة العمل الدائم، والمركبة المتناقصعة الآسية التي تحقق شروط التشغيل الأولية عند $i_1=0$ و $t=0$.

- الممانعة المتناوبة (Impedance alternative) (عند تيار متناوب):

$$Z_{ac} = 6 + j2\pi \times 50 \times 0.06 = 19.78 \angle 1.263^\circ \Omega$$

- الممانعة المستمرة (عند تيار مستمر):

$$Z_{dc} = 6\Omega$$

- التيار المتناوب في الفترة الدائمة الأولى:

$$= \frac{240\sqrt{2}}{19.78} \sin(2\pi \times 50t + 1.396 - 1.263)^*$$

- التيار المستمر في الفترة الدائمة:

$$= \frac{-150}{6} = -25A$$

وعليه فإن التيار i_1 :

$$i_1 = 17.16 \sin(2\pi \times 50t + 0.133) - 25 + Ae^{-t/T}$$

عند $t=0$ من بدء التشغيل (80 درجة من بدء الموجة المتناوبة). ثابت الزمن للنظام

$$T = \frac{0.06}{6} = 0.01s \text{ عند } t=0, i_1=0 \text{ والثابت } A=22.7 \text{ وبالنتيجة:}$$

$$i_1 = 17.16 \sin(2\pi \times 50t + 0.133) - 25 + 22.7e^{-100t}$$

عند توتر معدوم:

$$t = \frac{180 - 80}{360} \times \frac{1}{50} = 0.00555 \text{ sec}$$

والتيار

$$i_1' = 4.39A$$

التيار i_2 يمر في الدارة المغلقة المكونة من E، L، R. وعليه عند $t=0$

$$i_2 = 4.39A$$

التيار i_2 يتكون من مركبة مستمرة تساوي $\frac{-150}{6}$ ومن مركبة أسية متناقصة توافق

الشروط عند $i_2 = 4.39A$ وعند $t=0$.

$$i_2 = -25 + 29.39e^{-100t}$$

هذا التيار المتناقص ينعدم عند $t=0.001618 \text{ sec}$ ، أي ما يعادل 29° بعد انعدام التوتر. الشكل (ب-6-7) يوضح أشكال التوترات.

- يتم حساب التيار المتوسط من معادلات التيارات، أو بطريقة أسهل، لدى حساب

U_{av} وبمعرفة $E=150V$ ، عندئذ $E = U_{av} + I_{av}R$ ، ومنه $I_{av} = 3.22A$.

$$\text{وعندئذ العزم المتوسط} = 3.22 \times 0.9 = 2.89 N.m$$

$$\text{والسرعة تساوي } \frac{150}{0.9} = 166.7 \frac{Rad}{s} \text{ أو ما يعادل } 1592 \text{ tr/min}$$

- من أجل القوة المحركة الكهربائية العكسية E التي تساوي 250V.

$$i_1 = 17.16 \sin(2\pi \times 50t + 0.133) - 41.67 + 39.39e^{-100t}$$

هذا التعبير للتيار i_1' ينعدم من أجل $t=0.000474$ s أو 85.3° أي بعد إقلاع الثيرستور. والديود الحر عندئذ لا يعمل. الشكل (c) يمثل أشكال الأمواج.

- التيار $I_{av}= 0.804$ A والعزم يساوي 0.724 N.m والسرعة تساوي 2653 -tr/min.

- من أجل قوة محرك كهربائية عكسية $E=90V$. وبفرض أن التيار غير مستمر. ومن أجل $t=0$ عند بداية كل مرحلة للتيار i_1, i_2 ، نجد أن:

$$i_1 = 17.16 \sin(2\pi \times 50t + 0.133) - 15 + 12.72e^{-100t}$$

و

$$i_2 = -15 + 23.65e^{-100t}$$

التيار i_2 يتناقص وينعدم خلال (0.455) ثانية، أي 82° ، بعد انعدام التوتر.

- الثيرستور الثاني يبدأ بالتوصيل عند 80° ، أي أن تيار المتحرض متقطع عند $i_1=0.263A$ وعند لحظة قدح الثيرستورات، معادلة التيارات هي:

$$i_1 = 17.16 \sin(2\pi \times 50t + 0.133) - 15 + 12.99e^{-100t} \quad A$$

$$i_2 = -15 + 23.80e^{-100t} \quad A$$

التيار المتوسط $I_{av}=6.13A$ والعزم $T=552N.m$ والسرعة $N=955$ tr/min.

مثال (9):

حسب بيانات المثال السابق لمحرك التيار المستمر الصغير (مثال (7)) تم إدخال قيادة بدارة عكسية مغلقة وذلك للمحافظة على سرعة دوران ثابتة 1000 tr/min وذلك حتى يصل العزم إلى $4N.m$.

بين مجال تغيير زوايا الإزاحة بالطور اللازم تطبيقه بدءاً من حالة الإقلاع عند اللاحمل مراعيًا كون بقاء السرعة ثابتة.

الحل:

من طرق الحل التي اعتمدناها في المسائل السابقة (6) (7) يمكن التعبير عن القوة المحركة الكهربائية العكسية بالشكل:

$$E = 1000(tr / \min) \times \frac{2\pi}{60} \left(\frac{Rad}{\min} \right) \times C$$

C: ثابت العزم والذي يساوي

$$C = K_2 \cdot \phi \left(\frac{N.m}{A} \right)$$

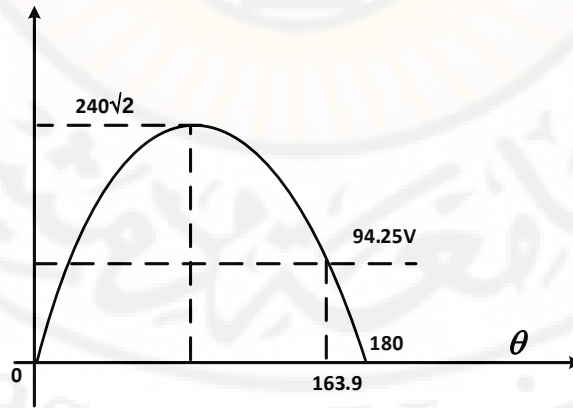
$$C = (V / Rad / s)$$

$$E = 1000 \times \frac{2\pi}{60} \times 0.9 = 94.25V \quad \text{ومنه نجد :}$$

- زاوية تقاطع هذه القوة المحركة الكهربائية العكسية مع موجة التوتر المطبق على الجسر أو توتر خرج الجسر المقوم تعطي الزاوية:

$$\arcsin \frac{94.25}{240\sqrt{2}} = 163.9^\circ$$

عند هذه الزاوية يتساوى التوتر المطبق على المحرك $(240\sqrt{2})$ بالقوة F.C.E.M وذلك لأن المحرك يدور بالفراغ عند سرعة $(1000)r.p.m$.



الشكل (7-7) تقاطع موجة التوتر المتناوب بالقوة المحركة الكهربائية العكسية

- عند عزم معدوم اللاحمل تكون الزاوية 163.9° كافية بدون احتكاك ومفاقيد لتدوير المحرك، ويجب مرور تيار في المتحرض لاستمرار دوران المحرك. ولدى اختيار زاوية للإقلاع أقل قليلاً من 163.9° ، وعندئذ يمكن حساب فترة مرور تيار المتحرض، بطريقة مماثلة للمثال السابق (8) ويمكن أيضاً حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم U_{av} . ومنه تحسب المفاقيد

$$I_{av} \cdot R = U_{av} - E$$

ومن هذه القيم نحسب العزم.

عملية الحساب تعطي النتائج التالية:

- إذا فرضنا أن زاوية الإزاحة التي سنبداً عندها إقلاع المحرك هي 150° فإن العزم سيكون 0.04 N.m وعند زوايا أخرى:

140° العزم يساوي 0.2 N.m

130° العزم يساوي 0.58 N.m

120° العزم يساوي 0.2 N.m

110° العزم يساوي 1.83 N.m

100° العزم يساوي 2.79 N.m

90° العزم يساوي 3.92 N.m

- من النتائج الواردة أعلاه، نرى أن العزم المقدم من المحرك يتناسب مع قيمة زاوية التأخير بالطور، وبالتالي من U_{av} ومن I_{av} التيار المار في المتحرض وفترة مروره. لذا فإن نظام القيادة بدارة مغلقة عكسية ضروري للحفاظ على سرعة ثابتة عند تغيرات مختلفة للحمل المطبق على المحرك.

مثال (10):

غذي محرك التيار المستمر ذي التحريض المستقل ذي الممانعة $0.05H$ ومقاومة 2Ω وثابت عزم $1.0N.m/A$ ($V/Rad/s$) من جسر تقويم أحادي الطور نصف مقاد. توتر التغذية لهذا الجسر $240V$ ، $50Hz$.
ارسم خواص العزم - السرعة للمحرك وذلك حتى يصل العزم إلى $12N.m$ وذلك عند زاوية إزاحة بالطور ثابتة وتساوي 90° .

الحل:

- على الفراغ، العزم اللازم للمحرك المثالي يساوي الصفر. هذا يعني أن تيار الدخل معدوم، والقوة المحركة الكهربائية العكسية تساوي القيمة العظمى لتوتر الدخل المطبق عند الزاوية 90° (إزاحة بالطور) أي أن

$$F.C.E.m = 240\sqrt{2} = 339.4V$$

- عند هذا التوتر، وعند اللاحمل (الفراغ) يدور المحرك بسرعة تساوي حسب العلاقة:

$$N = \frac{E}{C} = \frac{339.4}{1.0} = 339.4 \left(\frac{Rad}{s} \right)$$
$$N = 339.4 \times \left(\frac{60}{2\pi} \right) = 3243tr / min .$$

هذا وقد لا يصل المحرك لهذه السرعة بسبب الاحتكاك.

- لتحديد النقاط في منحنى الخواص المطلوب رسمه، نختار قيم E ، $F.c.e.m$ ونجري عمليات حسابية مشابهة للمثال (7و8) للحصول على التيار المتوسط والعزم. تبعاً للعمليات الحسابية، فإن التيار متقطع طالما أن E أكبر من $94.5V$. وبالتالي فإن شكل موجة التوتر على طرفي المحرك تصبح مساوية لحالة الحمل العادي (Passive).

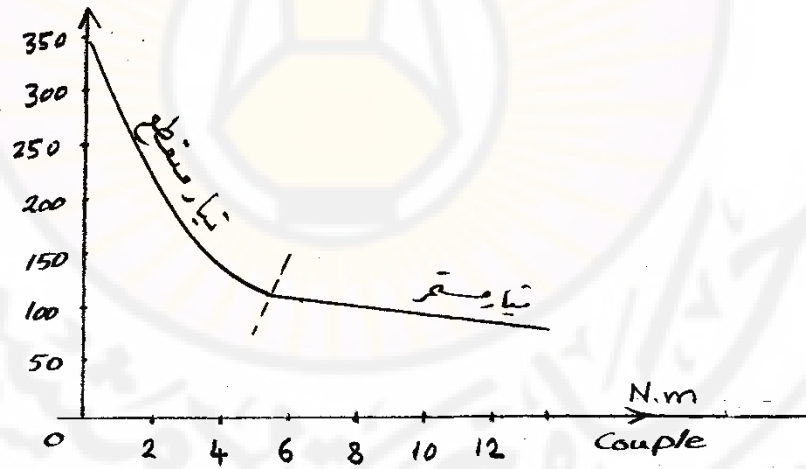
- عند التيار المتقطع بفرض أن $U_{av}=108.04V$ و $U_{av}=E+I_{av}.R$ يمكن حساب I_{av} وعليه:

إذا كان العزم $10N.m$ ، $I_{av}=\frac{10}{1.0}=10A$ ، $E=88.04V$ و السرعة

$$N=\frac{E}{1.0}\left(\frac{Rad}{s}\right) \text{ وتساوي: } 88.04 \times \frac{60}{2\pi} = 841.1tr/min$$

- الشكل (7-8) يمثل منحنى تغير العزم والسرعة كتابع للعزم الصافي.

- عندما ينتهي التيار من أن يكون متقطعاً (In interrupt). تفقر السرعة بشكل بسيط عند تزايد العزم. وهذا مشابه لحالة تغذية المحرك ببطارية. في نظام قيادة ذي حلقة مغلقة (تغذية عكسية)، يتغير الكسب بشكل كبير تبعاً لكون تيار المحرك مستمر أو متقطع (Discontinuous).



الشكل (7-8) علاقة السرعة بالعزم عند تيار دائم وتيار متقطع

مثال (11): غذي محرك التيار المستمر، ذي التحريض المستقل من منبع 240V، 50Hz، عبر مقوم أحادي الطور مقاد. مواصفات المتحرض: الممانعة 0.05H، ومقاومته 2Ω . ثابت العزم (V/Rad/s) 1.0N.m/A. مع إهمال مفايد الجسر، ارسم أشكال الأمواج لتوتر الخرج و تيار المتحرض عندما تكون زاوية الإزاحة 60° وسرعة دوران المحرك 150rad/s. احسب العزم. واحسب زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها على الجسر عندما يزداد العزم بمقدار 50%، مع عدم تغيير السرعة. ارسم أشكال الأمواج للتوتر والتيار الجديدة.

الحل:

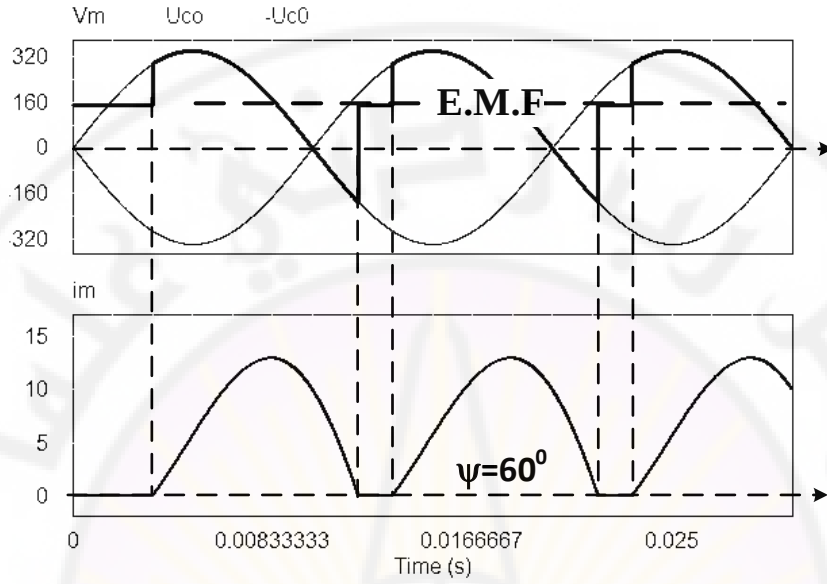
حسب ما تم ذكره في المثال السابق (9) معادلة تيار المحرك تعطى بالشكل:

$$i = 21.43 \sin(2\pi \times 50t - 0.397) - 75 + 83e^{-40t} \text{ A}$$

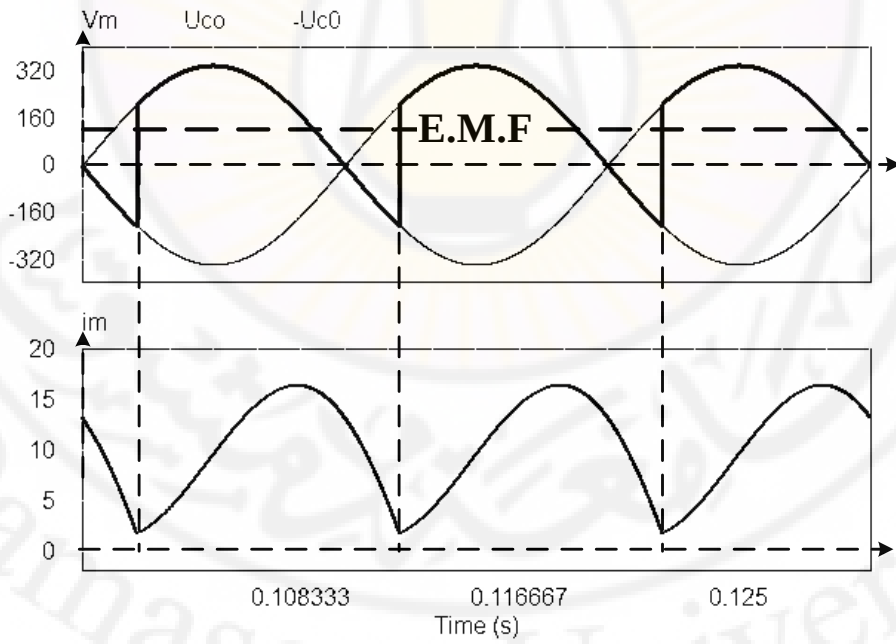
عند تيار متقطع و $i=0$ عند لحظة القدح.

- في الدارة المقادة، يرى المحرك توتر التغذية المرسوم في الشكل (7-10-آ) حيث

ينعدم تيار المحرك I في اللحظة 0.00859s أي ما يعادل 155° درجة بعد بدء مرور التيار. وهنا لا ينعدم التوتر المقوم المطبق على المحرك لأن الجسر مقاد. وعليه:



الشكل (آ-10-7) التوتر على طرفي المحرك عند تيار محرك متقطع



الشكل (آ-10-7) التوتر والتيار عند تيار حمل مستمر

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{60}^{(60+155^\circ)} 240\sqrt{2} \cdot \sin\theta \cdot d\theta + \frac{150\pi(180-155)}{180} \right]$$

$$U_{av} = 163.9V$$

والتيار المتوسط يساوي:

$$I_{av} = \frac{163.9 - 150}{2} = 70A$$

$$T = 7.0 \times 1.0 = 7.0N.m$$

والعزم عندئذ:

- لدى زيادة العزم بمقدار 50% من العزم القائم 7N.m يصبح العزم المطلوب $10.5N.m = 7 \times 1.5$. زيادة العزم بهذا الشكل تجعل تيار المتحرض مستمراً والشكل (ب-10-7) يوضح شكل التوتر والتيار عندئذ.

هذه الحالة تبدو وكأن الجسر المقاد يغذي حمل تحريضي صرف. وهذا العزم البالغ 10.5N.m يستجر تيار من الجسر يعادل

$$\frac{10.5}{1.0} = 10.5A.$$

وبما أننا نعمل عند نفس سرعة الدوران فإن F.C.E.M ستكون مساوية:

$$E = 150 \times 1.0 = 150V$$

والتوتر المتوسط عندئذ يساوي:

$$U_{av} = E + I.R$$

$$= 150 + 10.5 \times 2 = 171V$$

من هذا التوتر المتوسط يمكن حساب زاوية الإزاحة بالطور حيث:

$$U_{av} = \frac{2.q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha$$

$$171 = \frac{2 \times 2}{\pi} \cdot \frac{240}{2} \sqrt{2} \cos \alpha$$

ومنه: $\alpha = 37.7^\circ$

- معادلة التيار يمكن إعادة كتابتها بالشكل:

$$i = 21.43 \sin(2\pi 50t = 0.786) - 75 + 92.04e^{-40t} \text{ A}$$

عند لحظة قدح الثيرستور عند الزمن $t=0.01\text{s}$ يكون تيار $i=1.87\text{A}$ وهي لحظة $t=0$ لبدء قدح الثيرستور.

مثال(12):

تم تشغيل جسر التقويم الأحادي الطور المقاد كعاكس في فترة استعادة القدرة من المحرك الذي يدور عند سرعة 150rad/s . احسب العزم من أجل زاوية تقدم في القدح $\beta=30^\circ$.

ارسم أشكال أمواج التوتر والتيار.

أهمل مفايد المبدل وممانعة التغذية.

- حدد زاوية التقدم المطلوبة من أجل عزم قدره 11N.m عند بقاء سرعة الدوران 150 rad/s . ارسم أشكال الأمواج.

الحل:

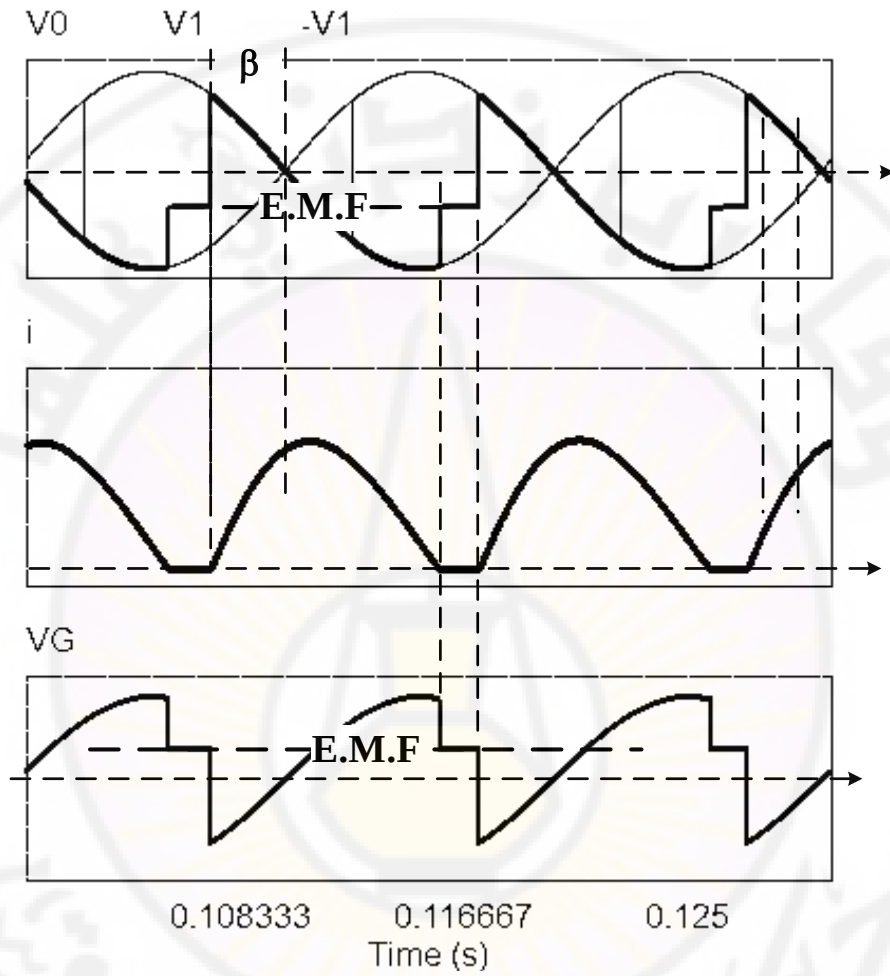
V_0 : التوتر على طرفي المبدل.

V_G : التوتر الناتج عن المولد.

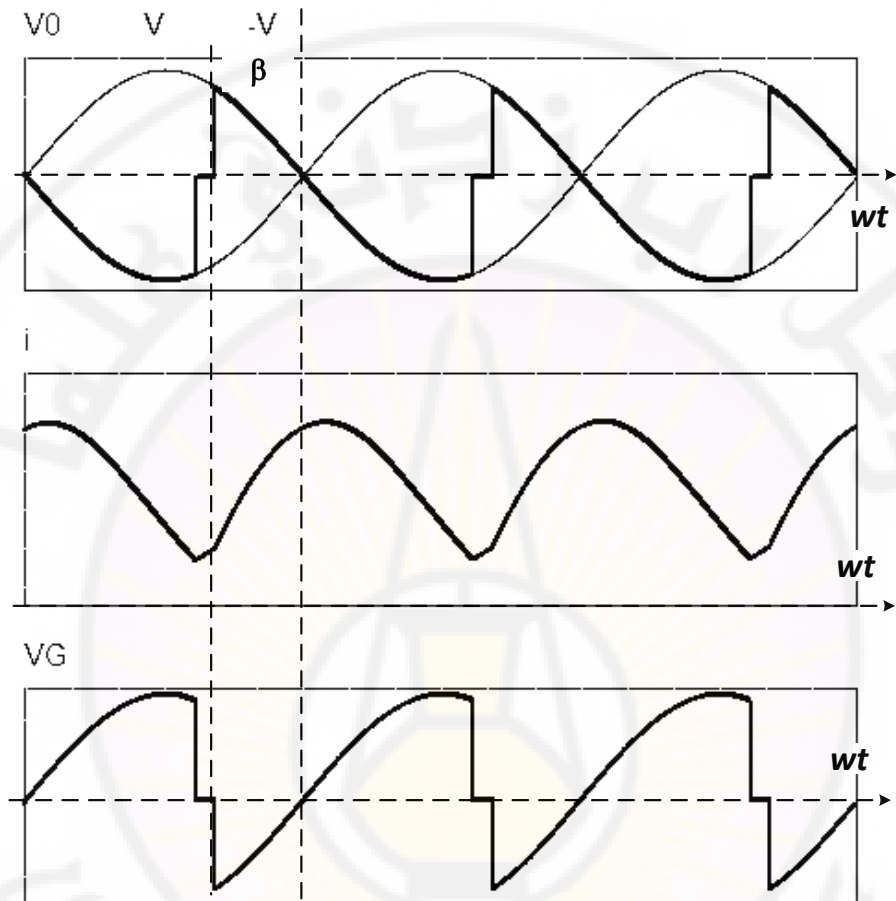
- لنفرض أن التيار متقطع عند زاوية تقدم $\beta=30^\circ$ ، القيمة المتوسطة تعطى بالشكل:

$$U_{av} = \frac{2}{\pi} \times 240\sqrt{2}\cos 30 = 187\text{V}$$

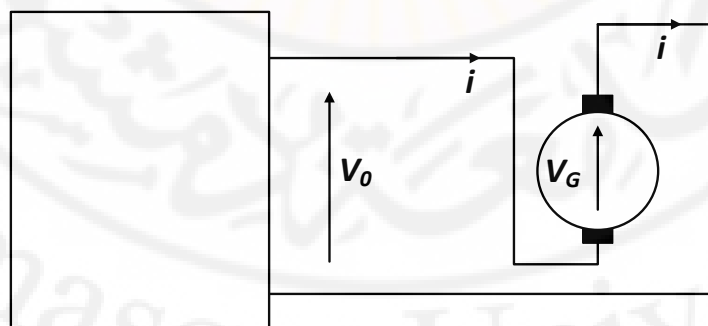
- بما أن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم أكبر من E (E.c.e.m) البالغة 150V فإن تيار المحرك سيكون متقطعاً. الشكل (a-) يمثل أشكال التوتر والتيار عندئذ.



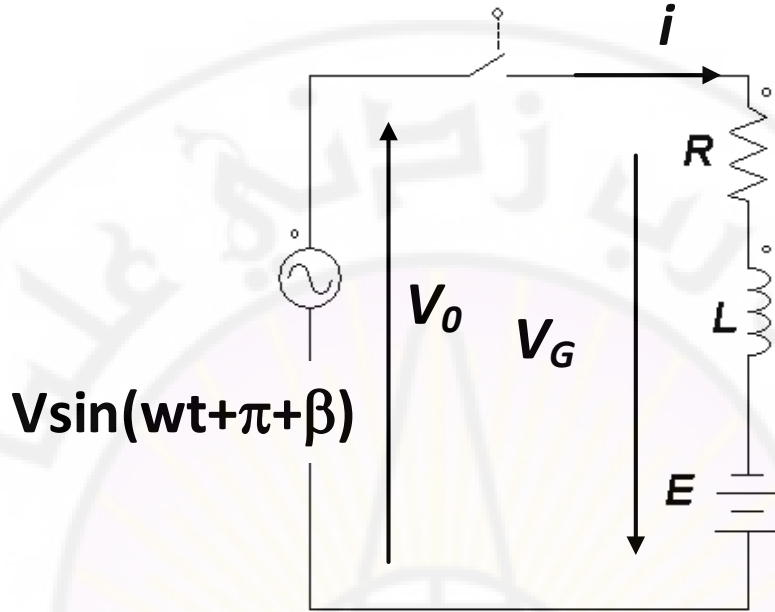
الشكل (آ-11-7) عمل الجسر كعاكس واسترداد القدرة عند تيار متقطع



الشكل (ب-7-11) عمل الجسر كعاكس واسترداد القدرة ،وتيار دائم



الشكل (س-7-11) الدارة المكافئ



الشكل (ء-11-7) الدارة المكافئة

- يمكن تمثيل التوتر أيضاً بعد عكس القيم بـ 180° ، واعتبار V_G توتر المولد كأساس. لأنه عادة التوتر V_0 الناتج عن الجسر هو توتر سالب، لأن زاوية الإزاحة أكبر من 90° والجسر مقاد.

في الشكل (C-) قمنا بتمثيل الجسر العاكس الذي يعطي التوتر V_0 والمحرك الذي يعمل كمولد V_G (تعاكس V_0).

- لحساب التيار I بفرض عند $t=0$ لحظة قذح الثيرستور، وبالعودة للدارة المكافئة (d-) وبنفس طريقة حل المسائل السابقة لدينا:

$$i = 21.43 \sin \left(2\pi 50t + \pi - \frac{\pi}{6} - 1.444 \right) + \frac{150}{2} + A e^{-40t}$$

حيث القيمة 1.444 راديان هي الإزاحة المقابلة لوجود L و R في الحمل عند التردد 50 هرتز.

يمكن حساب الثابت A عند $i=0$ و $t=0$ ومنه:

$$i = 21.43\sin(2\pi 50t + 1.174) + 75 - 94.77e^{-40t} \text{ A}$$

هذا التيار ينعدم خلال 0.00659s أي عند 118.6° .

$$U_{av} = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-30}^{88.6} 240\sqrt{2}\sin\theta.d\theta + \frac{\pi(180-118.6)150}{180} \right]$$

$$U_{av} = 142.1V$$

ومنه التيار المتوسط:

$$I_{av} = \frac{150 - 142.1}{2} = 3.95A$$

هذا التيار يعطي العزم المساوي 3.95N.m.

- بفرض زيادة العزم إلى 11N.m، مما يجعل التيار غير متقطع.

- باستخدام العلاقة:

$$U_{av} = \frac{q.V_{max}}{2\pi} \sin \frac{\pi}{q} [\cos\beta + \cos(\beta - \gamma)]$$

وعليه من أجل $\gamma=0$

$$U_{av} = \frac{2 \times 240\sqrt{2}\cos\beta}{\pi} = 150V - (11 \times 2)$$

- زاوية التقدم $\beta=53.7^\circ$ و

$$i = 21.43\sin(2\pi 50t + 0.761) + 75 - 89.65e^{-40t} \text{ A}$$

ومنه نجد أن هنالك تيار $i=0.13A$ عند لحظة قدح الثيرستورات. وهذا يحقق عدم

انقطاع تيار الحمل.

مثال (13):

تم تغذية محرك تيار مستمر ذي تحريض مستقل عبر مقوم جسري أحادي الطور

نصف مقاد. توتر منبع التغذية المتناوب ذي توتر خط 220V و 50Hz.

مواصفات المحرك هي: الممانعة $0.012H$ ، المقاومة 0.72Ω ، ثابت المتحرض $2V/rad/s$ ($N.m/A$). بإهمال مفاكيد الجسر وممانعة منبع التغذية. بين خواص العزم- السرعة حتى الوصول للقيمة $60N.m$ وذلك عند زوايا إزاحة بالطور ثابتة وتساوي:

$$1- \alpha = 30^\circ$$

$$2- \alpha = 90^\circ$$

$$3- \alpha = 150^\circ$$

ارسم أشكال الأمواج للتوتر والتيار للحالات السابقة.

الحل:

عند القيم الصغيرة للعزم، تيار المتحرض يكون منقطعاً الشكل (أ-12-7) يمثل أشكال التوتر والتيار. طريقة حساب جريان التيار مماثلة للأمثلة السابقة وعليه نجد:

- الممانعة للتيار المتناوب:

$$= 0.72 + j2\pi 50 \times 0.012 = 3.838 \angle 1.382^\circ \Omega$$

- قيمة التيار المتناوب:

$$= \frac{220\sqrt{2}}{3.838} = 81.06A$$

- ثابت الزمن:

$$\frac{L}{R} = \frac{0.012}{0.72} = \frac{1}{60} s$$

1- الشكل (ب-) يمثل توتر المتحرض عند تيار غير منقطع، والقيمة المتوسطة لتوتر الخرج يعطى بالعلاقة:

$$U_{av} = \frac{3}{2\pi} V_{Line, max} (1 + \cos \alpha)$$

$$U_{av} = \frac{3}{2\pi} 220\sqrt{2}(1 + \cos \alpha) = 227.2V \text{ نجد: } \alpha = 30^\circ$$

من أجل قوة محرك كهربائية عكسية أكبر من القيمة المتوسطة تلك 280V مثلاً. سيكون التيار غير مستمراً (متقطعاً). أي أنه عند السرعة $\frac{280}{2} = 140 \text{ rad/s}$ فإن

معادلة التيار بعد الإقلاع للعناصر الثيرستورية ($t=0$) وعليه:

$$i = 81.06 \sin \left(2\pi 50t - 1.382 + \frac{\pi}{2} \right) - \frac{280}{0.72} + Ae^{-60t}$$

وبالتعويض: $i=0$ عند $t=0$ ومنه الثابت $A=373.7$.

- خلال الزاوية 30° (الزمن $t = \frac{1}{600} \text{ s}$). التوتر يصبح ذي موجة جيبية، انظر

الشكل (a-). ومعادلة التيار تصبح من الشكل:

$$i = 81.06 \sin \left(2\pi 50t - 1.382 + \frac{\pi}{3} \right) - \frac{280}{0.72} + Ae^{-60t}$$

مع اعتبار $t=0$ في بداية تلك الفترة.

حسب المعادلة وبالتعويض $t = \frac{1}{600}$ و $i = 2.21A$ وباعتبار قيمة I عند $t=0$ من

المعادلة العامة أعلاه نجد قيمة الثابت الجديدة $A=414.7$.

هذا التيار ينعدم عند الزمن $t=0.00469 \text{ s}$ أي خلال 84.4° . أي الفترة الكلية لمرور التيار تساوي

$$84.4 + 30 = 114.4^\circ$$

والشكل (a-) يمثل شكل الموجة لهذه الحالة.

$$U_{av} = \frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{90^\circ}^{120^\circ} 220\sqrt{2}\sin\theta.d\theta + \int_{60^\circ}^{114.4^\circ} 220\sqrt{2}\sin\theta.d\theta + \frac{280\pi(120-114.4)}{180} \right] = 282.4V$$

- من القيمة المتوسطة وبالعلاقة $U_{av} = E + I.R$ نجد:

$$U_{av} = \frac{(282.4 - 280)}{0.72} = 3.34A$$

هذا التيار يولد عزمًا قدره: $3.34 \times 2 = 4.68N.m$

- التيار يكون مستمرًا قبل أن يصل العزم للقيمة $10N.m$. الشكل (ب-12-7) يمثل شكل موجة التوتر المقوم. من العلاقة:

$$U_{av} = E + RI_{av}$$

$$I_{av} = \frac{T}{2} \quad \text{ومن العلاقة :}$$

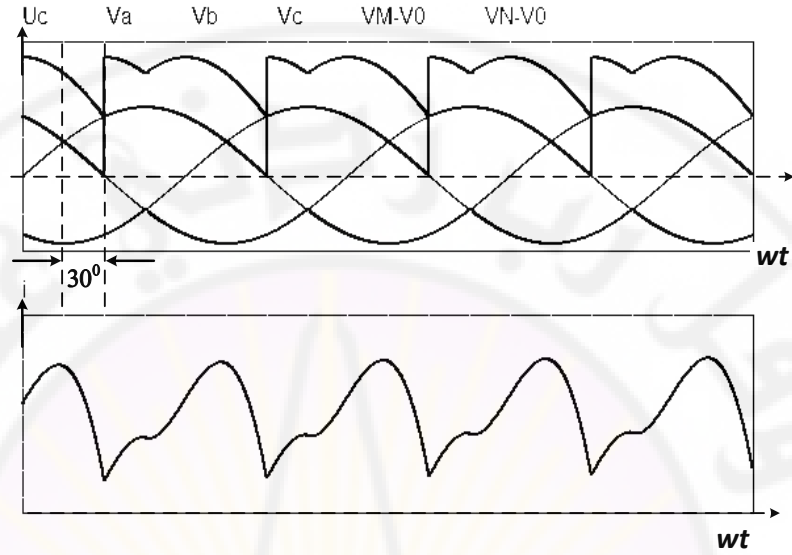
$$U_{av} = 277.2V \quad \text{نجد أن :}$$

$$N = \frac{E}{2} \quad \text{وأن السرعة تساوي :}$$

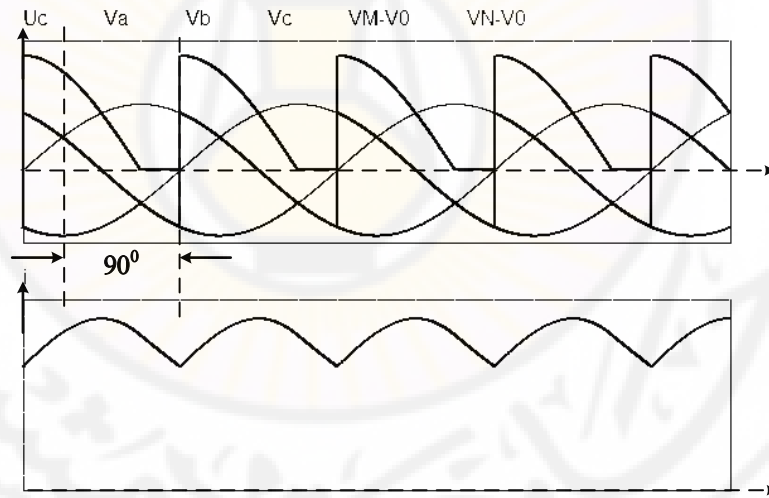
السرعة مرتبطة بالعزم T بالعلاقة:

$$138.6 - 0.18T (rad/s)$$

عند $T=10N.m$ السرعة تساوي $136.8rad/s$ وعند $T=60N.m$ السرعة تساوي $127.8rad/s$.



الشكل (أ-12-7) توتر الحمل عند زاوية إزاحة 30 درجة



الشكل (ب-12-7) توتر الحمل ،وعند زاوية إزاحة 90 درجة

(ii) الشكل d- يمثل شكل موجة التوتر للمتعرض من أجل تيار متقطع. القيمة المتوسطة للتوتر تساوي 148.6V. وإن أية قوة محرك كهربائية (سرعة) أكبر من تلك القيمة تعطي تياراً متقطعاً.

بفرض أن $E=200V$ أو (100rad/s) وعندئذ:

$$i = 81.06\sin(2\pi 50t + 0.189) - 277.8 + 262.6e^{-60t} \quad A$$

ينعدم هذا التيار عند $t=0.00477s$. أي خلال 85.8° درجة. الشكل (b-) يمثل هذه الحالة. والقيمة المتوسطة للتوتر $U_{av}=205.1V$ و $I_{av}=7.14A$ والعزم يساوي $T=14.29N.m$.

(iii) الشكل (2-41-d) يمثل شكل موجة توتر المتحرض عند تيار متقطع. وعندئذ $U_{av}=19.9V$ عند السكون (الوقوف) السرعة معدومة، و $E=0$ و $I_{av} = \frac{19.9}{0.72} = 27.64A$ والعزم $T=55.3N.m$ وهو ذو قيمة أصغر من القيمة المحددة بـ $(60) N.m$.

- لنفرض مثلاً وجود f.c.e.m بالقيمة $30V$ (15rad/s) . لدى توصيل الجسر يكون لدينا:

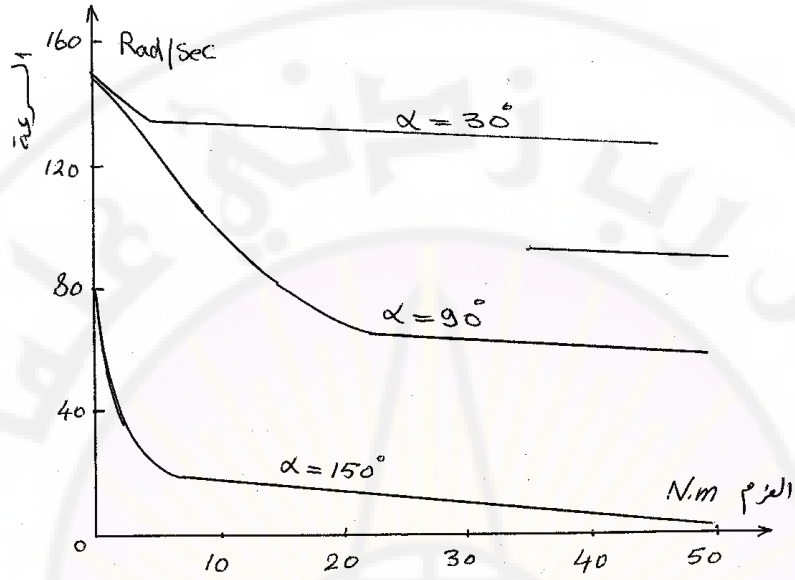
$$i = 81.06\sin(2\pi 50t + 1.236) - 41.66 - 34.89e^{-60t} \quad A$$

ينعدم التوتر خلال 30° $(t=0.00166s)$. والتيار يساوي $6.38A$. وهذه القيمة هي التي تنشأ في بداية المرحلة حيث التوتر يساوي الصفر، وذلك عند توصيل الديود الحر.

$$i = -41.66 + 48.05e^{-60t} \quad A$$
 معادلة التيار تكتب بالشكل:

عند $t=0$ ، وفي بداية تلك الفترة حيث أن التوتر معدوم، فإن التيار سينعدم خلال زمن وقدره $t=0.00238s$. أي ما يعادل 42.8° درجة. الشكل (8-26-c) يمثل شكل الأمواج، للتوتر الذي يساوي $31.7V$ والتيار المساوي $I_{av}=2.38A$ والعزم المكافئ $T=4.75N.m$.

- الشكل (7-13) يمثل منحني خواص العزم- السرعة للحالات السابقة.



الشكل (7-13) منحنى خواص العزم - السرعة للحالات السابقة.

مثال (14):

منبع ذي توتر 16KV مستمر ذي مقاومة داخلية 1Ω ، ويعطي تيار 900A إلى جسر ثلاثي الطور مقاد ذي توتر 12KV يعمل كعاكس Inverter احسب ما يلي:

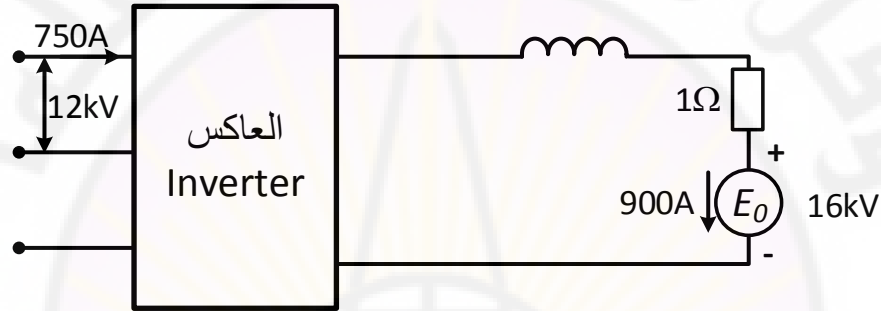
- التيار المستمر المار في كل ثيرستور.
- ما هو التوتر المستمر المولد من قبل العاكس.
- ماهي زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها.
- القيمة الفعالة المتناوبة لتيار الخط.
- الاستطاعة الردية المستجرة من قبل العاكس.

الحل:

a- كل ثيرستور من عناصر جسر التقويم يتحمل تيار الحمل لفترة تعادل $\frac{T}{q}$ من

الدور، وبما أننا نعلم القيمة العظمى لتيار المنبع المستمر، يمكننا عندئذ تحديد تيار

$$I = \frac{I_d}{q} = \frac{I_d}{3} = 300A \quad \text{الثيرستور:}$$



الشكل (14-7) دائرة الاستطاعة

b- تؤثر خرج الجسر المستمر يجب أن يكون أصغر من توتر المنبع المستمر حتى يمكن مرور تيار المنبع البالغ 900 أمبير. وهنا جسر التقويم يعمل كعاكس أي أنه يأخذ القدرة من المنبع المستمر ويحقنها في الشبكة ذات التوتر المتناوب. يمكن حساب توتر خرج جسر التقويم الذي يعمل كعاكس من العلاقة:

$$U_C = E_0 - I_d \cdot R$$

$$U_C = 16000 - 900 \times 1 = 15100V$$

c- لحساب زاوية الإزاحة بالطور يمكن اعتماد علاقة توتر الخرج المعروفة:

$$U_C = 1.35 V_{mLine} \cos \psi$$

$$15100 = 1.35 \times 12000 \times \cos \psi$$

$$\cos \psi = 0.932$$

$$\psi = 21.2^\circ$$

هذه الزاوية هي زاوية الإزاحة فيما لو عمل الجسر كمقوم، وبما أنه يعمل كعاكس فإن الزاوية ستكون:

$$\beta = 180 - 21.2 = 158.8^\circ$$

d- القيمة الفعالة لتيار الخط المتناوب تعطى بالعلاقة:

$$I = 0.816I_d \\ = 0.816 \times 900 = 734A$$

e- الاستطاعة المستمرة المستهلكة من قبل العاكس:

$$P = U_C \cdot I_d \\ = 15100 \times 900 = 13.6MW$$

هذه الاستطاعة المحسوبة ذات قيمة سالبة لأن العاكس يمتص الاستطاعة المستمرة (absorb) لذا:

$$P = -13.6MW$$

- الاستطاعة الردية المستهلكة من قبل العاكس هي:

$$Q = P \tan \beta \\ Q = -13.6 \tan 158.8 = 5.27MVAR$$

عملياً، الاستطاعة الردية الفعلية المستهلكة تكون أكبر من القيمة المحسوبة بسبب إهمال ظاهرة التظابق.

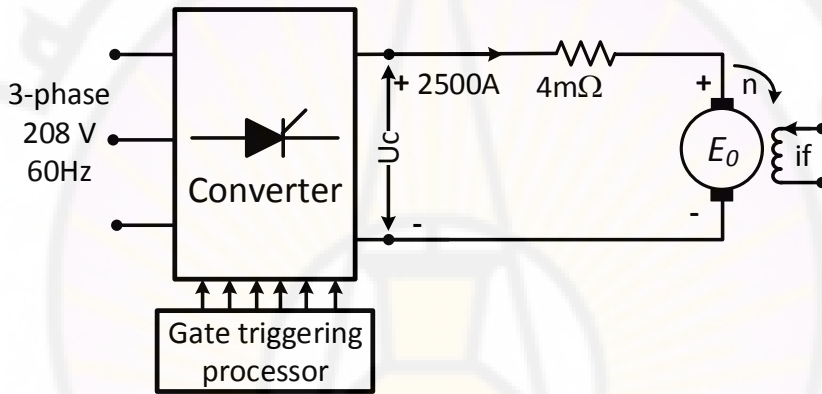
مثال (15):

محرك تيار مستمر باستطاعة 1200r/min, 250V, 750HP وصل إلى جسر تقويم ثلاثي الطور مضاعف مقاد، يغذى الجسر من منبع توتر متناوب توتر الخط الأعظمي 280 فولت، تردد 60 هرتز، تيار المتحرض الكامل 2500 أمبير ومقاومة المتحرض $4m\Omega$. احسب ما يلي:

a- ما هي زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها على الجسر للعمل عند التوتر الاسمي للمحرك.

b- ما هي زاوية الإزاحة بالطور الواجب تطبيقها حتى يقدم المحرك عزمه الاسمي عند سرعة دوران 400r/min.

الحل:



الشكل (7- 15- آ) دائرة الاستطاعة المعتمدة

a- عند الحمل الكامل، على الجسر أن يقدم التوتر الاسمي للمحرك 250V مستمر.

$$U_C = 1.35 \cos \psi V_{Lm}$$

$$250 = 1.35 \times 208 \times \cos \psi$$

$$\cos \psi = 0.84 \Rightarrow \psi = 27^\circ$$

- بما أن مقاومة المتحرض الداخلية 4mΩ فإن هبوط التوتر على المقاومة عند التيار الاسمي سيكون مساوياً:

$$IR = 2500 \times 0.004 = 10V$$

وعليه فإن القوة المحركة الكهربائية العكسية (counter-emf) عند السرعة 1200 دورة/الدقيقة.

$$E_0 = 250 - 10 = 240V$$

لأنه في المحرك لدينا: $U_C = E_0 + I.R$

b- لتوليد العزم الاسمي عند السرعة 400r/min، على تيار المتحرض أن يبقى مساوياً التيار الاسمي 2500A، وعندئذ يجب حساب القوة المحركة الكهربائية العكسية عندئذ.

توتر خرج الجسر حتى يدور المحرك عند السرعة 400 هو:

$$U_C = E_0 + I.R$$

$$E_0 = \frac{400}{1200} \times 240 = 80V \quad \text{لذا فإن } E_0 \text{ تساوي:}$$

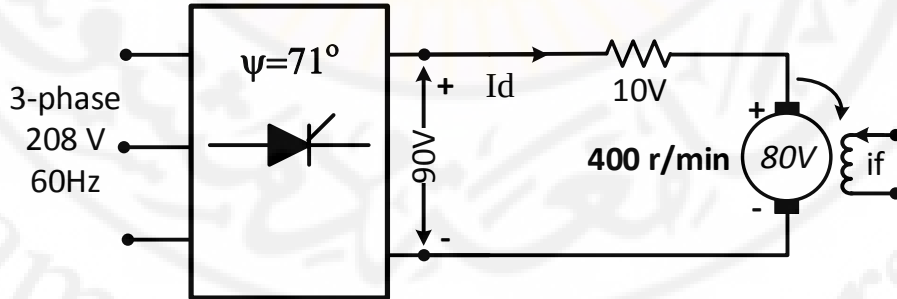
$$U_C = 80 + 10 = 90V \quad \text{وعليه:}$$

- أي أن الجسر يجب أن يقدم 90 فولت، وعندئذ يمكن تحديد زاوية الإزاحة بالطور الجديدة:

$$U_C = 1.35V_{Lm} \cos \psi$$

$$90 = 1.35 \times 208 \cos \psi$$

$\psi = 71^\circ$ ، والشكل (ب-15-7) يوضح التيارات والتوترات لدارة الاستطاعة.



الشكل (ب-15-7) يوضح التيارات والتوترات لدارة الاستطاعة.

مثال (16):

بالنظر إلى المثال السابق، احسب الاستطاعة الردية المستهلكة من قبل المقوم عندما يدور المحرك تحت العزم الكامل وسرعة 400 دورة/دقيقة.

الحل:

الاستطاعة المستهلكة من قبل المحرك هي:

$$P = E_d \cdot I_d = U_C \cdot I_d = 90 \times 2500 = 225KW$$

بإهمال مفاقد المقوم يمكن اعتبار أن الاستطاعة المقدمة من المنبع تساوي أيضاً 225KW. عندئذ يمكن حساب الاستطاعة الردية المستجرة من الشبكة حيث:

$$Q = P \tan \psi$$

$$= 225 \tan 71^\circ = 653KVAR$$

ملاحظة:

بمقارنة قيمة الاستطاعة الردية المستهلكة عند زاوية إزاحة بالطور كبيرة بالاستطاعة الفعالة، نلاحظ أن الاستطاعة الردية أكبر بكثير (عدة مرات) من الاستطاعة الفعالة. عندئذ لا بد من استخدام مكثفات تحسين عامل استطاعة خط التغذية. هذا وإذا كانت عملية تغيير السرعة غير مطلوبة بشكل دائم. يمكن خفض توتر المحول أو استخدام محول ذاتي لتحقيق ذلك.

مثال (17):

محرك التيار المستمر في الشكل (16-7) يغذى كما نرى من جسري تقويم موصلين رأس-عقب، نظام مضاعف التغذية (DUAL Converter).

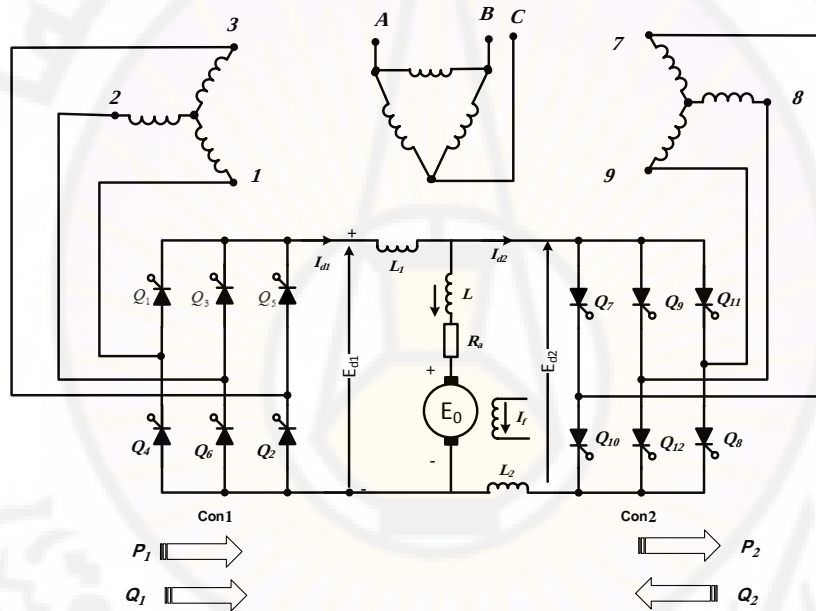
التوتر الاسمي للمحرك 450V عند تيار متحرض 1500A. المقوم الأول يعطي

تيار $I_{d1} = 1800$ أمبير، بينما يستهلك المقوم الثاني تيار قدره 300A.

إذا كان توتر خط التغذية لكل مقوم يساوي 360V. احسب وبين ما يلي:

- a- التوترات المستمرة الناتجة عن كل مبدل وآلية القرح، زوايا القرح.
- b- الاستطاعة الفعلية المستجرة من شبكة التوتر المتناوب.
- c- زوايا القرح اللازم اعتمادها لكل جسر.
- d- الاستطاعة الردية المستجرة من الشبكة العامة.

الحل:



الشكل (7-16) جسور التقويم المرتبطة رأس عقب ومحولات التغذية

a- الاستطاعة المقدمة من جسر التقويم الأول:

$$P_1 = E_{d1} \cdot I_{d1} = 450 \times 1800 = 810 \text{ KW}$$

- الاستطاعة المستجرة من الجسر الثاني الذي يعمل كعاكس هي:

$$P_2 = E_{d2} \cdot I_{d2} = 450 \times 300 = 135 \text{ KW}$$

أي أن توتر الجسرين متساوٍ ويساوي توتر المحرك. هنا لا يتم التحكم بزوايا الإزاحة بالطور عن طريق E_0 ، إنما عادة بمقارنة تيارات الجسور I_{d1} و I_{d2} .

b- الاستطاعة الفعالة المستجرة من خط التغذية هي:

$$P = P_1 - P_2$$

$$P = 810 - 135 = 675kW$$

ملفات ثانوي المحول الأول (1, 2, 3) تعطي الاستطاعة الأكبر 810kW، بينما ملفات الثانوي (7, 8, 9) تتلقى من المقوم الذي يعمل كعاكس استطاعة حقن قدرها 135kW. أي أن الاستطاعة الصافية لهذا المحول المستجرة من الشبكة بدون مفايد تساوي 675kW.

c- يمكن تحديد القيمة الأولية لزوايا الإزاحة بالطور للجسر الأول من العلاقة:

$$E_{d1} = 1.35V_{Lm} \cos \alpha_1$$

$$450 = 1.35 \times 360 \times \cos \alpha_1$$

$$\cos \alpha_1 = 0.926 \Rightarrow \alpha_1 = 22.2^\circ$$

- بما أن توتر خرج الجسر الثاني تساوي الجسر الأول، فإن زاوية الإزاحة α_2 للجسر الثاني يجب أن تكون الزاوية المكملة لـ α_1 ، حيث أن الجسر الثاني يعمل كعاكس.

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_1$$

$$\alpha_2 = 180 - 22.2 = 157.8^\circ$$

- بفرض أنه أمكن تثبيت التيار I_{d2} ، هذا يتطلب تغييراً طفيفاً في α_1 وبالتالي E_{d1} لإحداث تغيير كبير في I_{d1} . وذلك لأن I_{d1} يأتي من فرق التوتر بين E_0 و E_{d1} مقسوماً على المقاومة الصغيرة للمتعرض R_a . هذا التغيير الكبير في I_{d1} سوف يولد تغييراً كبيراً أيضاً في تيار المتعرض I .

بالأسلوب نفسه ، تغير بسيط في α_2 (عند تيار I_{d1} ثابت) سوف يولد تغيراً كبيراً في I_{d2} وبالتالي في تيار المتحرض.

لذا، مع أن القيم التقديرية التقريبية لـ α_1 , α_2 تعتمد بشكل أساسي ورئيسي على قيمة E_0 والتي بدورها تعتمد على سرعة الدوران للمحرك. لكن القيم النهائية الدقيقة لـ α_2 , α_1 توضع استناداً لقيمة التيار I . وهذا يفسر لماذا نلجأ إلى قيم التيارات I_{d1} و I_{d2} والتحكم بها.

d- الاستطاعة الردية المستجرة من المقوم الأول:

$$Q_1 = P_1 \tan \alpha_1$$

$$= 810 \times \tan 22.2^\circ = 331kVAR$$

- الاستطاعة الردية المستجرة من المقوم الثاني:

$$Q_2 = P_2 \tan \alpha_2$$

$$= -135 \times \tan 157.8^\circ = 55kVAR$$

وبالنتيجة فإن الاستطاعة الردية المستجرة من خط التغذية الثلاثي الطور هي:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$= 331 + 55 = 386kVAR$$

- نلاحظ أنه لدى حساب الاستطاعة الفعالة قمنا بطرح الاستطاعات

$$P = P_1 - P_2$$

بينما لدى حساب الاستطاعة الردية قمنا بجمع الاستطاعات الردية

$$Q = Q_1 + Q_2$$

وذلك لأن الجسور المرتبطة بالشبكة، المقومات أو العواكس تستهلك دائماً استطاعة ردية وتأخذها من الشبكة (ثانوي المحول المرتبط إليه جسر التقويم أو العاكس).

مثال (18):

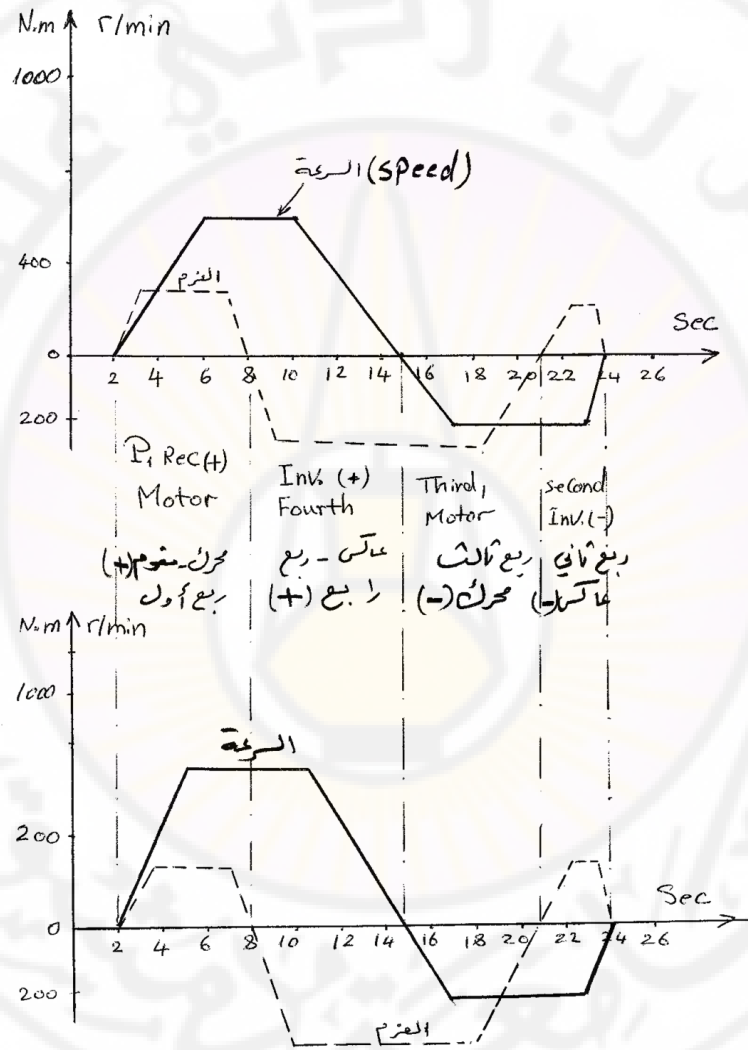
لدينا محرك تيار مستمر صناعي، يطلب منه تقديم خواص عزم- سرعة حسب الشكل (17-7) واستخدم لهذه الغاية محرك تيار مستمر ذي تحريض مستقل. تمت القيادة باستخدام مبدل مضاعف (Back- to- Back) تقاد هذه المبدلات دون تيار دائر، حدد حالة كل مبدل خلال فترة الدراسة 26 ثانية. وحدد أيضاً قطبية آلة التيار المستمر في كل حالة. نعتبر أن السرعة والعزم يكونان موجبين عند دوران الآلة باتجاه عقارب الساعة.

يتم تحليل عمل الآلة باعتماد منحنيات العزم- السرعة ضمن الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار. لذا يجب الانتباه للحظة مرور السرعة أو العزم بالقيمة صفر. هذه الفترات تعني الانتقال من ربع إلى آخر وتغير في ظروف التشغيل. وترى أن الأزمنة التالية هي حالات تبديل: (2, 8, 15, 21, 25) ثانية.

ثم رسم خطوط شاقوليه منقطة لتحديد مناطق العمل، وندقق هل السرعة والعزم موجبين أو سالبين خلال كل فترة أو مرحلة. وبالنظر لكون الإشارة موجبة أو سالبة نستطيع تحديد وضعية المحرك وفي أي ربع يعمل، مثلاً، خلال الفترة من 2S إلى 8S كل من السرعة والعزم موجب، وعليه فإن الآلة ستعمل كمحرك في الربع الأول من إحداثيات التوتر والتيار.

- من ناحية أخرى، خلال الفترة الزمنية (25- 21) ثانية، السرعة سالبة والعزم موجب، مما يعني وجوب العمل في الربع الثاني.

- بفرض أن السرعة الموجبة (دوران في اتجاه عقارب الساعة) هذا يعني توتر متحرض موجب شكل (18-7) ومنه يمكن تحديد اتجاه التيار الواجب مروره في المحرك وبالتالي جسور التقويم. وأيضاً معرفة أي الجسور يعمل كمقوم وأيهما سوف يعمل كعاكس (استرداد القدرة).

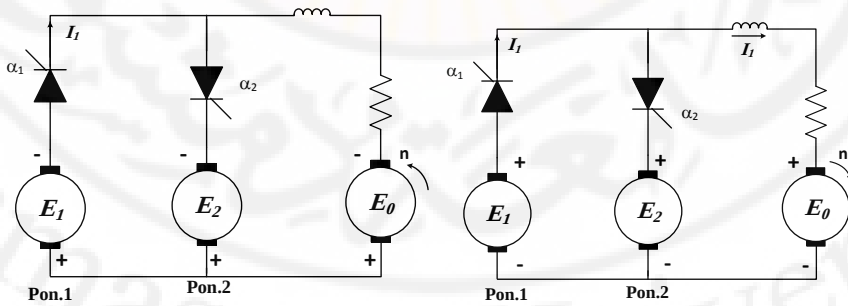


الشكل (7-17) منحنيات الزمن - السرعة، الزمن العزم للمحرك في كلتا الحالتين

الحل :

- بأخذ الفترة بين (21- 25) ثانية، الآلة تعمل كمولد، لذا أحد الجسور سيعمل كعاكس، لكن أي منهما؟ للإجابة على السؤال، ننظر مباشرةً إلى قطبية توتر المولد (المتحرض). بما أن السرعة سالبة عندئذ، فإن قطبية المتحرض سالبة كما في الشكل (ب-18-7) التيار يمر خارجاً من النهاية الموجبة للمتحرض، لأن الآلة مولد. وهنا الجسر الأول فقط هو القادر على تمرير هذا التيار (حسب اتجاهه). وبنفس الطريقة يمكن تحديد عمل كل مبدل في كل فترة من الفترات. والجدول التالي يوضح هذه المراحل:

المرحلة (S)	المبدل الأول	المبدل الثاني
2 - 8	مقوم (Rectifier)	متوقف Off
8 - 15	متوقف	عاكس (Inverter)
15 - 21	متوقف	مقوم
21 - 25	عاكس	متوقف



الشكل (ب-18-7)

الشكل (أ-18-7)

مثال (19):

- حتى نتمكن من تخفيض الاستطاعة الردية التي يستهلكها محرك التيار المستمر عند الإقلاع، نضيف عادةً عند الإقلاع ديود حر لجسر التقويم.
- بفرض أنه لدينا محرك تيار مستمر ذي الخواص التالية:
- الاستطاعة الاسمية 100 Hp، التوتر الاسمي 240 V، التيار الاسمي 320 A، مقاومة المتحرض $25 \text{ m}\Omega$ ، ممانعة المتحرض 1.7 mH .
- استخدم جسر تقويم تفرعي مضاعف ثلاثي الطور لقيادة هذا المحرك، غذي الجسر من منبع ثلاثي الطور توتر الخط 184 V، تردد 60 Hz. بين ما يلي:
- a- المطلوب أن يكون المحرك ساكناً ومع تطبيق التوتر عليه، حدد زاوية الإزاحة بالطور عندئذ الواجب تطبيقها على عناصر الجسر الثيرستورية.
- b- حدد الاستطاعة الردية التي يستجرها الجسر من الشبكة وقارنها بالاستطاعة الفعلية.
- c- ارسم شكل توتر الخرج عند هذه الحالة وحدد تيار التغذية الفعال.
- d- أضف ديود حر على خرج الجسر، وبين أثر ذلك على قيمة التوتر المقوم.
- e- ما هو تيار المحرك عند زاوية الإزاحة السابقة، وكيف يمكن العودة لإيقاف المحرك. ارسم شكل التوتر المقوم عند زاوية الإزاحة الجديدة.

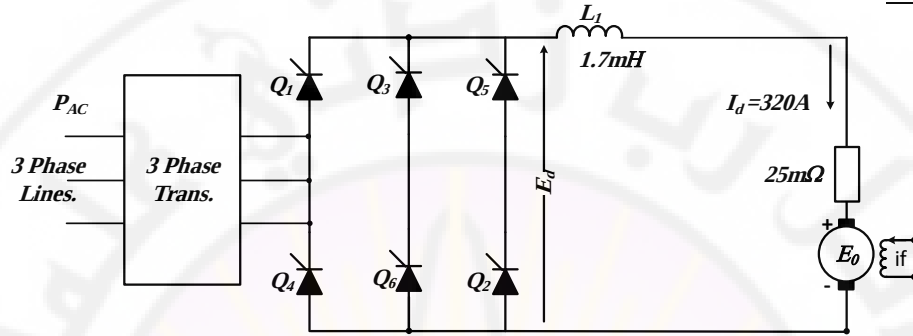
الحل:

- a- عندما يكون المحرك في حالة سكون (Stale) فإن التوتر المقوم الذي يجب تطبيقه على المحرك E_d سوف يعوض هبوط التوتر على مقاومة المتحرض فقط، أي سوف يعادل:

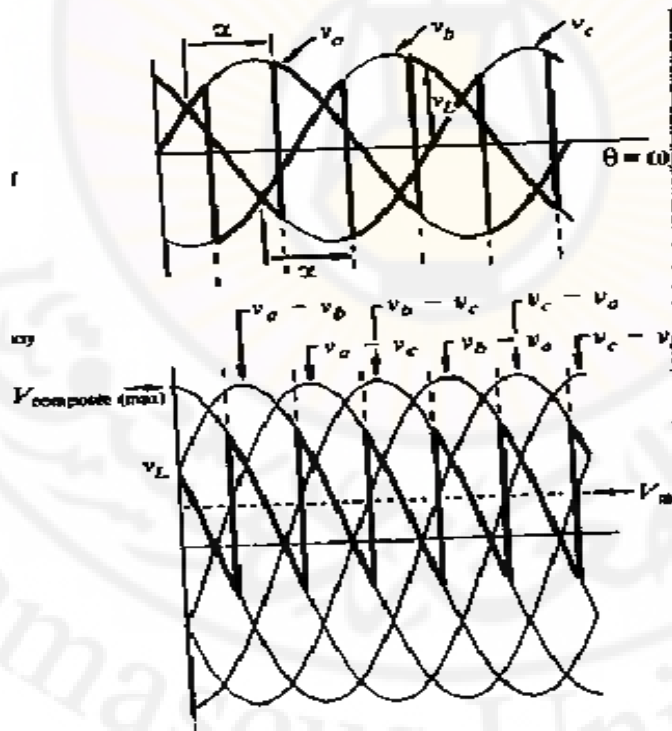
$$E_d = I_d R = 320(A) \times 25(m\Omega)$$

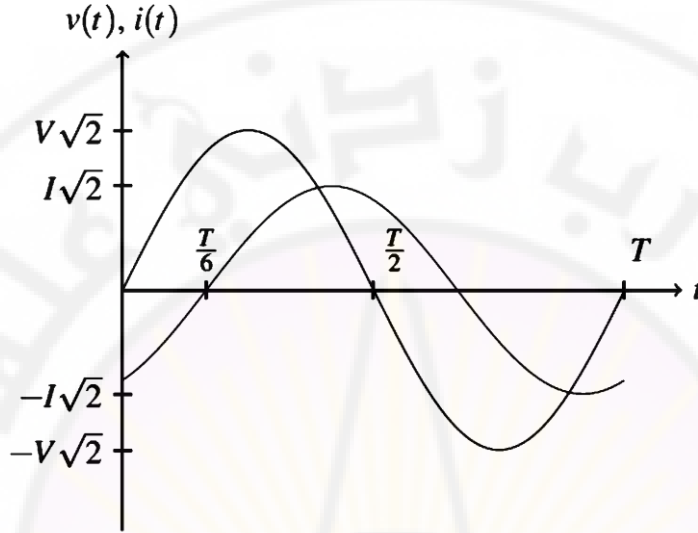
$$E_d = 8V$$

-b



الشكل (آ-19-7) دائرة الاستطاعة المقترحة للنظام





الشكل (ب-19-7) التوتر والتيار عند إزاحة بالطور أصغر من 88.15 درجة وهذه الزاوية تكبر مع زيادة زاوية التأخير بالطور للجسر المقاد وهذا يفسر الحاجة للاستطاعة الردية الكبيرة .

حتى يستطيع جسر التقويم تقديم هذا التوتر الصغير القيمة نحتاج لزاوية إزاحة بالطور كبيرة ويمكن حسابها من العلاقة:

$$E_d = 1.35V_L \cos \alpha$$

$$8 = 1.35 \times 184 \times \cos \alpha$$

$$\alpha = 88.15^\circ$$

b- الاستطاعة الفعالة P المتناوبة التي يستجرها المقوم هي الاستطاعة اللازمة للمتعرض وعليه:

$$P = E_d . I_d = 8 \times 320 = 2560 \text{ Watt}.$$

- الاستطاعة الردية Q المستهلكة من المنبع هي:

$$Q = P \tan \alpha = 2560 \tan 88.15^\circ$$

$$Q = 79.25 \text{ kVAR}$$

بمقارنة الاستطاعة الردية المستهلكة مع الاستطاعة الفعلية نلاحظ أن الاستطاعة الردية تساوي 31/ مرة الاستطاعة الفعالة المستجرة.

c- الشكل المرسوم (ب-19-7) يوضح شكل التوتر المقوم والتيار الخط I_a . من الشكل نلاحظ أن التيار I_a يتأخر عن توتر الطور في الثانوي بزاوية تصل إلى (88) درجة كهربائية. وهذا سبب استرجار هذا الكم من الاستطاعة الردية. - القيمة الفعالة لتيار الخط تحسب من العلاقة:

$$I = 0.816 I_d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_d$$

$$I = 0.816 \times 320 = 261 \text{ A.}$$

d- بالنظر إلى شكل التوتر المقوم الناتج على طرفي المحرك عند الزاوية $\alpha = 88.15^\circ$ نجد أن شكله مثلثي تتراوح قيمته العظمى من 137 V إلى -123 V، والقيمة المتوسطة 8V فقط. كي نستطيع حذف المركبة السالبة نضيف ديود حر على طرفي الحمل وبالنظر إلى الشكل (ب-18-7) الذي يوضح شكل موجة التوتر المقوم بعد إضافة الديود، نلاحظ حذف المركبة السالبة، وأن تيار الحمل انقسم إلى جزأين. لأن الديود يقسم التيار عبر الحمل ولا يمر التيار خلال فترة توصيل الديود بالملف الثانوي.

* عندئذ القيمة المتوسطة للتوتر سوف ترتفع، ولحساب هذه القيمة يجب تطبيق العلاقة النازمة للتوتر المقوم في حال وجود ديود حر (أو حمل أومي صوف). وتحسب العلاقة من:

$$E_d = 1.35 V_{Lm} [1 - \cos(120 - \alpha)]$$

$$E_d = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{2} (1 + \cos \alpha) \quad \text{أو العلاقة:}$$

$$V_m = \sqrt{2} \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}} \quad \text{حيث:}$$

q: عدد الأطوار.

V_{Lm} : توتر الخط الأعظمي.

$1.35 = 3\sqrt{2} / \pi$: ثابت.

بالعودة للثوابت السابقة نجد:

$$E_d = 1.35 \times 184 [1 - \cos(120 - 88.15^\circ)]$$

$$E_d = 1.35 \times 184 [1 - \cos 31.85^\circ] = 37.4V$$

c- تيار المتحرض عندئذ يحسب بالشكل:

$$I = \frac{37.4}{0.025} = 1496A$$

نلاحظ أن قيمة التيار عندئذ كبيرة جداً وهي أكبر خمس مرات من التيار الاسمي

وهذا غير مقبول. وكي نخفض توتر الخرج للقيمة 8V يجب زيادة زاوية الإزاحة

بالطور. وتحسب الزاوية الواجب العمل عندها بالعلاقة:

$$E_d = 1.35E [1 - \cos(120 - \alpha)]$$

$$8 = 1.35 \times 184 [1 - \cos(120 - \alpha)]$$

$$0.9678 = \cos(120 - \alpha)$$

$$120 - \alpha = \arccos 0.9678 = 14.6^\circ$$

وعليه فإن زاوية الإزاحة الجديدة ستكون: $\alpha = 105.4^\circ$

- الشكل (س-19-7) يوضح شكل التوتر عند زاوية الإزاحة الجديدة (105.4°). تيار الخط I_a موضح في الشكل ويمكن حساب قيمته الفعالة حسب القيم المبينة بالشكل السابق:

$$I_{a(eff)} = 320 \sqrt{\frac{(4 \times 14,6)}{360}} = 128.9A$$

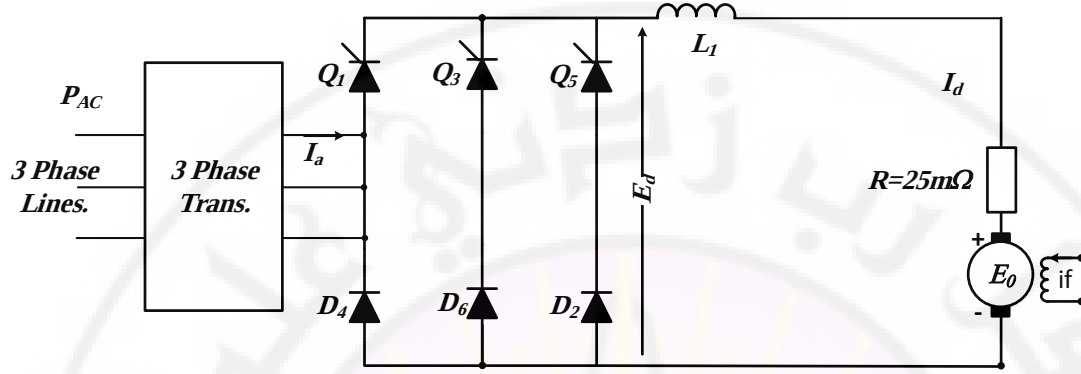
نرى أن تيار الخط أقل من الحالة قبل إضافة الديود الحر، مع مرور نفس تيار الحمل في المحرك. يمكن حساب الاستطاعة الردية عندئذ تبعاً لزاوية الإزاحة.

مثال (20):

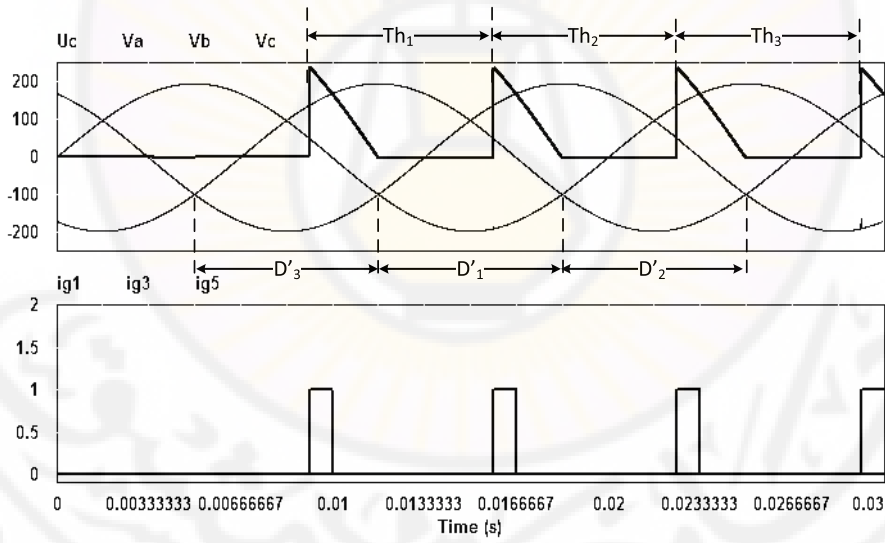
يراد قيادة محرك التيار المستمر ذي الاستطاعة الاسمية 100Hp، وتوتر اسمي 240V، تيار المتحرض الاسمي 320A، مقاومة المتحرض $25m\Omega$ ، حثية المتحرض 1.7mH، توتر المنبع 184V. لهذه الغاية استخدم جسر تقويم ثلاثي الطور نصف مقاد ثيرستوري حسب الشكل شكل(أ-20-7). بفرض أنه طبق خرج الجسر على المحرك لكن لا نريد تدويره أي بقاءه ساكناً. عند هذه الحالة بين لنا ما يلي:

- ماهي زاوية الإزاحة بالطور ليعمل الجسر دون أن يدور المحرك.
- ارسم شكل تيار الطور عندئذ. وحدد زاوية الإزاحة.
- استطاعة الدخل الفعالة اللازمة عندئذ. وكذلك الاستطاعة الردية.
- القيمة الفعالة لتيار الخط I .

الحل:



الشكل (آ-20-7) دائرة الاستطاعة



الشكل (ب-20-7) التوتر المقوم عند زاوية إزاحة 135 درجة كهربائية

الشكل أعلاه يوضح شكل توتر الخرج للجسر عند $\alpha = 135^\circ$ ، كما تم تحديد لحظات القدح للعناصر الثيرستورية .

- كما ذكرنا في مسألة سابقة، عند السكون توتر خرج المقوم يجب أن يغطي هبوط التوتر على مقاومة المتحرض عند التيار الكامل، ويحسب كما في العلاقة:

$$E_d = R.I = 0.025 \times 320 = 8 \text{Volts}$$

- في حالة الجسر نصف المقاد يعطى التوتر المتوسط المقوم عندئذ بالعلاقة:

$$E_d = 0.675V_{Lm}(1 + \cos \alpha)$$

حيث:

E_d : التوتر المستمر المقوم (V).

V_{Lm} : توتر الخط المتناوب الأعظمي.

α : زاوية الإزاحة بالطور، ويجب هنا لتطبيق هذا القانون أن تقع $60^\circ < \alpha < 180^\circ$.
0.675: ثابت العلاقة النظرية وهو ناتج عن: $[(1.5\sqrt{2})/\pi]$.

a- للحصول من الجسر الثلاثي الطور نصف المقاد على توتر خرج 8V يجب أن تكون α مساوية:

$$E_d = 0.675V_{Lm}(1 + \cos \alpha)$$

$$8 = 0.675 \times 184(1 + \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = -0.936$$

$$\alpha = 159.32^\circ$$

b- من الشكل الذي يعطي شكل التوتر المقوم والتيار الطور نجد أن فترة استمرار تيار الخط في النصف الموجب تساوي: $(180 - 159.32^\circ)$. تبدأ نبضة التيار بالظهور عند الزاوية 159.32° وتنتهي عند الزاوية 180° . كما أن النبضة السالبة للتيار تبدأ عند الزاوية 279.32° وتنتهي عند الزاوية 300° . هذا يعني أن التيار I_a يمر بالقيمة صفر عند الزاوية ϕ_0 . والتي تساوي:

$$\phi_0 = \frac{1}{2}(159.32 + 300) = 229.66^\circ$$

بالنتيجة تحصل قيمة التيار I_a الموجبة عند الزاوية $139.66^\circ = (229.66 - 90)$
وعليه فإن زاوية الإزاحة: $\phi_d = (139.66 - 60) = 79.66^\circ$

وعامل الإزاحة PF سيكون مساوياً: $\cos \phi_d = 0.179$

c- الاستطاعة الفعالة المقدمة من المنبع الثلاثي الطور تساوي: $P = 2.56kW$
والاستطاعة الردية المستهلكة تساوي:

$$Q = P \tan \phi_d = 2.56 \tan 79.66^\circ$$

$$Q = 14kVAR$$

الاستطاعة الردية المستجرة هنا أقل فيما لو كان الجسر مقاد بشكل كامل، وأقل من
حالة استخدام ديود حر على خرج الجسر المقاد.

d- القيمة الفعالة لتيار الخط تعطى بالشكل:

$$I_d^2 \times 20.68^\circ \times 2 = I^2 \times 360^\circ$$

$$I = 0.339 I_d = 0.339 \times 320 = 108.4A$$



الفصل الثامن

ثامناً - مسائل عامة



مثال (1):

عمل الجسور المضاعفة المقادة والمحرك التزامني:

محرك تزامني ثلاثي الطور باستطاعة 200KW، 480V، 60Hz، 450r/min، ربط إلى نظام جر حسب الشكل (1-8) المكون من جسور تقويم تعريج ذات اتجاه مزدوج للتيار مضاعفة، قيادة ذاتية (self-controlled). توتر المنبع الثلاثي الطور 600V، 60Hz.

- يدور المحرك عند السرعة 535r/min. توتر تغذية المحرك الفعال للخط 511V، ويستجر المحرك تيار 239A عند عامل استطاعة 95%. مردود المحرك 93% مع إهمال المفاقيد في المبدلات المستخدمة. ضمن هذه الشروط احسب ما يلي:

- a- ما هو تردد التوتر المغذي لثابت المحرك عندئذ.
- b- ما القيمة الأساسية لمركبة تيار الثابت.
- c- ما قيمة التيار المستمر المار في حلقة التوتر المستمر.
- d- زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الجسر الثاني (α_2).
- e- توتر الجسر الثاني من جهة حلقة الربط المستمرة E_d .
- f- ما قيمة زاوية الإزاحة بالطور للجسر الأول (α_1).
- g- ما قيمة الاستطاعة الردية الواجب تقديمها للجسر الأول.
- h- ما الاستطاعة الميكانيكية المقدمة من قبل المحرك التزامني عندئذ.

الحل:

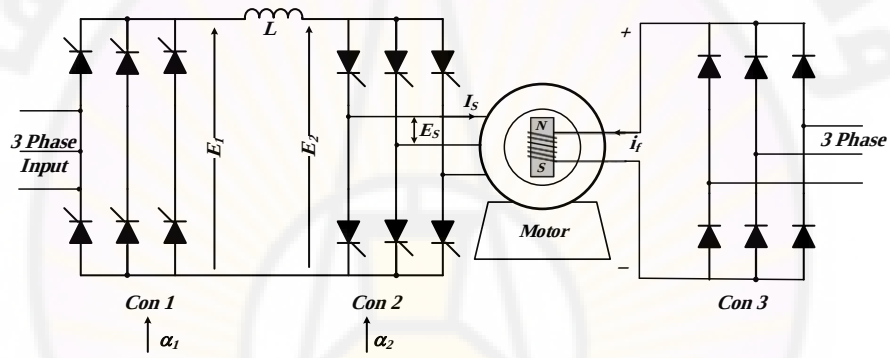
A - تردد التوتر المراد تطبيقه على ثابت المحرك التزامني يتناسب مع سرعة الدوران، السرعة الاسمية لهذا المحرك 450r/min عند تردد 60Hz. وعليه فإن

التردد عند السرعة 535r/min التي يعمل عندها المحرك يمكن الحصول عليها عند تردد آخر يعطى من النسبة بين سرعتين لأن عدد الأقطاب ثابت.

$$f = \frac{535}{450} \times 60(\text{Hz}) = 71.3\text{Hz}$$

b - المركبة الأساسية لتيار الثابت تعطى بدلالة تيار الخط المغذي للمحرك

$$I_F = 0.955I_S = 0.955 \times 239 = 228\text{A} \quad .(I_S)$$



الشكل (1- 8) دائرة الاستطاعة للنظام

c- تيار حلقة التيار المستمر:

$$I_d = \frac{I_F}{0.78} = \frac{228}{0.78} = 293\text{A}$$

$$I_S = \frac{\sqrt{2}I}{\sqrt{3}} \Rightarrow I = I_S \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$$

$$I = I_S \times 1.228 = 293.4\text{A}$$

d- زاوية الإزاحة بالطور للجسر الثاني (α_2):

عامل الاستطاعة للجسر 0.95 هذا يعني أن:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= -\text{arcCos} 0.95 \\ &= 180^\circ - 18.2^\circ = 161.8^\circ \end{aligned}$$

e- توتر حلقة التيار المستمر E_2 : $E_2 = 1.35V_{Lm} \cos \alpha_2$ وعلیه: $V_{Lm} = 511V$

$$E_2 = 1.35 \times 511 \times \cos 161.8^\circ = -655 \text{Volts}$$

f- بإهمال هبوط التوتر على الممانعة التسلسلية L في حلقة التوتر المستمر نلاحظ أن $E_1 = E_2 = 655V$ وعلیه فإن زاوية الإزاحة للجسر الأول سوف تحسب من العلاقة: $E_1 = 1.35V_{Lm} \cos \alpha_1$ V_{Lm} توتر خط التغذية من المنبع بالقيمة العظمى.

$$E_1 = 1.35 \times 600 \times \cos \alpha_1$$

$$\alpha_1 = \arccos 0.808 = 36.0^\circ$$

g- الاستطاعة الفعالة المقدمة للجسر الأول:

$$P = E_1 I = 655 \times 293 = 192 \text{KW}$$

الإزاحة بالطور (power factor) للمبدل (الجسر) الأول:

$$PF = \cos \alpha_1 = \cos 36.0^\circ = 0.809 = 80.9\%$$

- الاستطاعة الظاهرية المستجرة من قبل الجسر الأول:

$$S = 192 \text{KW} / 0.809 = 237 \text{KVA}$$

- الاستطاعة الردية المستجرة من قبل الجسر الأول:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{(237)^2 - (192)^2} = 139 \text{KVAR}$$

h- الاستطاعة الميكانيكية المقدمة من قبل المحرك:

$$P_m = P_{ele} \times \eta = 192 \text{KW} \times 0.93 = 179 \text{KW} = 240 \text{HP}$$

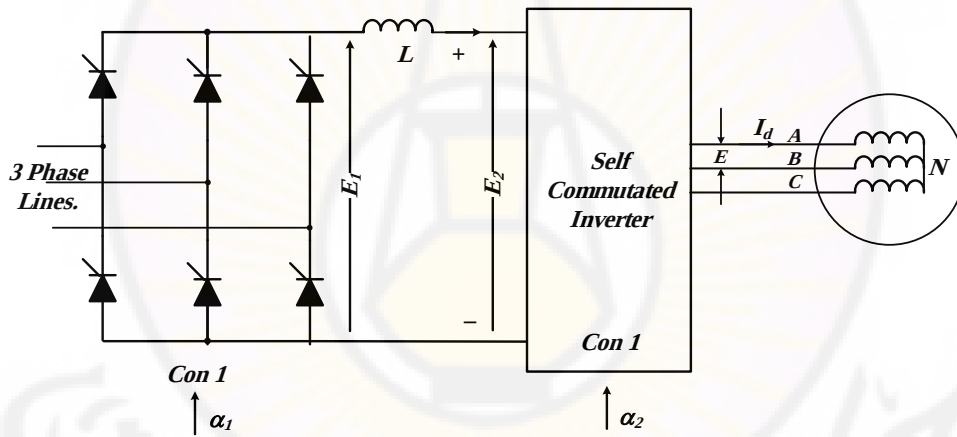
مثال (2):

محرك تحريضي باستطاعة 40HP، سرعة دوران 1165r/min، 460V، 60Hz. ثلاثي الطور. يغذى من مبدل ذي تردد متغير يغذى بدوره من منبع تيار (جسر تقويم مقاد). مردود المحرك 88%. ومردود المعرج 99.4%. دائرة الاستطاعة حسب الشكل (8-2). احسب ما يلي:

a- الاستطاعة المستمرة المقدمة للمبدل الثاني Conv₂.

b- تيار حلقة التيار المستمر (DC link).

c- التوتر المستمر الناتج عن المبدل الأول E₁.



الشكل (8- 2- آ) دائرة الاستطاعة

الحل:

a- الاستطاعة الفعالة المستجرة من قبل المحرك تعطى بالشكل:

$$P = \frac{40 \times 746}{0.88} = 33.9KW$$

وعليه فإن الاستطاعة المستجرة من قبل المبدل الثاني (العاكس) هي:

$$P_2 = \frac{33.9}{0.994} = 34.1KW$$

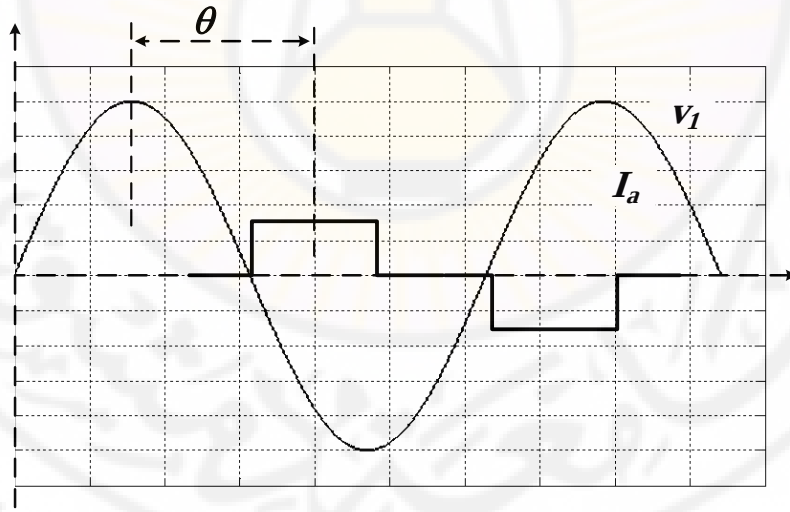
b- القيمة الفعالة لكامل تيار الحمل 52A، (حسب اللوحة الاسمية). هذا يعني أن التيار I_a سيكون حسب الشكل (ب-2-8). وعليه فإن تيار حلقة التيار المستمر يمكن حسابها بشكل تقريبي من العلاقة:

$$I_a = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_d \Rightarrow$$

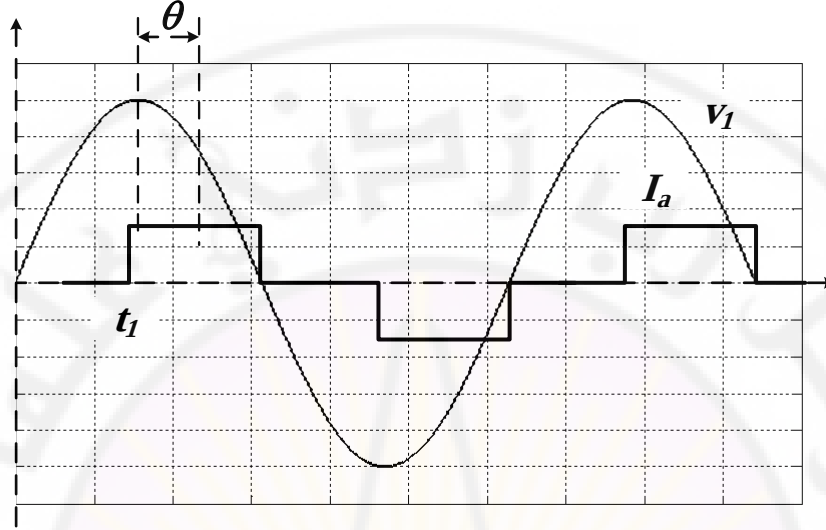
$$I_d = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} I_a = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \times 52 = 66.7A \quad \text{or: } \frac{52}{0.78} = 66.7A$$

c- توتر خرج الجسر الأول E_1 يساوي التوتر E_2 ومنه:

$$E_1 = \frac{P_2}{I_d} = \frac{34.1 \times 10^3}{66.7} = 511V$$



الشكل (س-2-8) توتر وتيار المولد



الشكل (ب-2-8) توتر وتيار المحرك

مثال (3) :قيادة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف

محرك تحريضي دائر ملفوف حسب الشكل (8-3) باستطاعة 30KW ، 40HP ، 460V ، 60Hz ، 1170r/min عدد أزواج الأقطاب 3. توتر الخط عند دائر مفتوح يساوي 400V . مقاومة الحمل $R_0 = 0.5\Omega$. إذا كان تردد المقطع 200Hz . احسب الزمن T_a حتى يستطيع المحرك تقديم عزم قدرة /200Nm/ عند السرعة 900r/min .

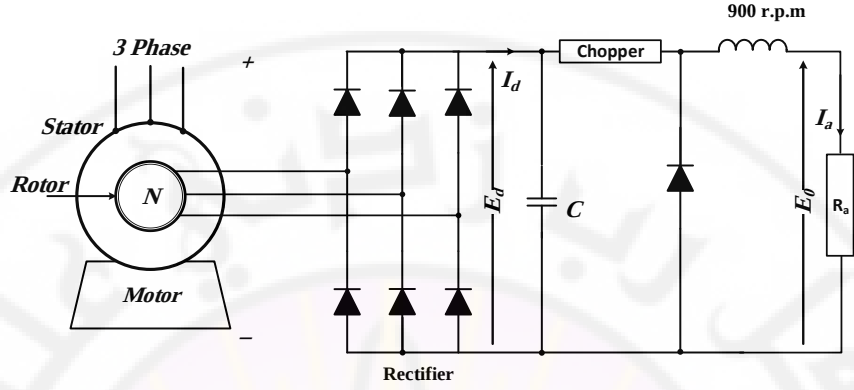
الحل:

- السرعة التزامنية لهذا المحرك:

$$n_s = \frac{60 f}{P} = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \text{ r.p.m}$$

الانزلاق عند سرعة العمل المعطاة:

$$S = (n_s - n) / n_s \\ = (1200 - 900) / 1200 = 0.25$$



شكل (3-8) التحكم بسرعة محرك تحريضي ذي دائر ملفوف باستخدام مقاومة في الدائر ومقطع الكتروني.

- يمكن حساب توتر طور الدائر عند السرعة 900 دورة/دقيقة بالشكل:

$$E = SE_{0C}$$

$$E = 0.25 \times 400 = 100V$$

بناءً على ذلك يمكن حساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج للجسر غير المقاد:

$$E_d = 1.35E = 1.35 \times 100 = 135V$$

- بما أننا نعلم قيمة العزم الذي يقدمه الدائر، فإنه بالإمكان حساب الاستطاعة P_r المقدمة من الدائر:

$$T = 9.55 \frac{P_r}{n_s}$$

$$200 = 9.55 \frac{P_r}{1200}$$

$$\frac{60}{2\pi} = \text{ثابت (9.55)}$$

$$P_r = 25130 \text{ Watt}$$

جزء من استطاعة الدائر تذهب كمفايد حرارية في ملفات الدائر

$$P_{jr} = SP_r = 0.25 \times 25130$$

$$P_{jr} = 6282W$$

- الاستطاعة المقدرة بـ 6282 وات فعلياً تبدد في مقاومة الدائر R_0 . وهي من الواضح أنها تساوي الاستطاعة الناتجة عن المقوم غير المقاد والتي تعادل $E_d.I_d$. وعليه:

$$E_d I_d = P_{jr}$$

$$135.I_d = 6282$$

$$I_d = 46.5A$$

-المقاومة الظاهرية في دخل المقطع أو التي يراها المقطع تبلغ:

$$R_d = \frac{E_d}{I_d} = \frac{135}{46.5} = 2.9\Omega$$

-إن المقاومة المعطاة $R_0=0.5\Omega$ وبتطبيق العلاقة المعروفة لحساب المقاومة الظاهرية على خرج جسر التقويم والتي تتغير حسب دور المقطع التفرعي:

$$R_d = \frac{R_0}{D^2}$$

D: دور المقطع التفرعي.

نجد:

$$0.5 = 2.9 \times D^2$$

$$D = 0.415$$

وعليه فإن زمن توصيل المقطع:

$$T_a = \frac{D}{F} = \frac{0.415}{200}$$

$$T_a = 2.08ms$$

- إذا طلب منا حساب سعة نبضات تيار المكثف الموضوع في الشكل فإنه يمكن القول:

- التيار I_0 المار في المقاومة R_0 ثابت ومستقر ويعطى من العلاقة:

$$I_0^2 R_0 = P_{jr} \Rightarrow I_0^2 \times 0.5 = 6282$$

$$I_0 = 112A$$

أي أن المكثف سيقدم نبضات تيار بمطال 112A. عرض النبضة (2.08ms) بمعدل تكرار 200 نبضة في الثانية. المقوم يعمل على شحن دائم للمكثف بتيار شحن 46.5 أمبير.

مثال (4):

محرك تحريضي دائر ملفوف، يعمل على تدوير مضخة طاردة مركزية (centrifugal pump) عند سرعات متغيرة. توتر الشبكة 4160V (توتر الخط). استطاعة المحرك 3000HP، 4000V، 60Hz، 8 pole. توتر الدارة المفتوحة للخط 1800V.

تم إضافة محول ثلاثي الطور في الدارة حسب الشكل (4-8) بنسبة 4160V/480V ليوافق بين توتر العاكس والشبكة العامة.

إذا كان المطلوب من المحرك تقديم استطاعة ميكانيكية في الدائر 800kW عند سرعة دوران 700 r/min احسب ما يلي:

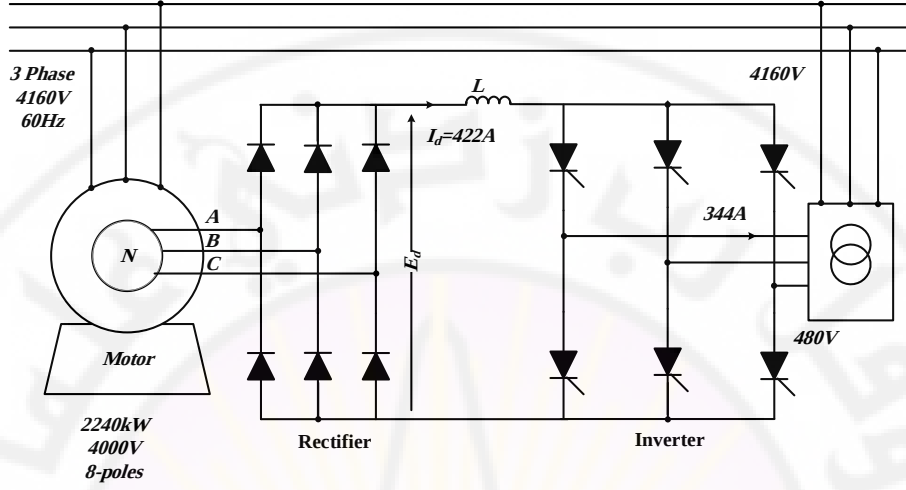
a- الاستطاعة الناتجة عن الدائر.

b- توتر الدائر، وتوتر الحلقة (DC-Link).

c- تيار الحلقة المستمر I_d وتيار الدائر.

d- زاوية الإزاحة بالطور (القدح) للجسر الذي يعمل كعاكس (Inverter).

e- تيارات الخطوط في ابتدائي وثانوي المحول المستخدم T.



الشكل (8-4) دائرة القيادة لمحرك تحريضي ذي دائر ملفوف

الحل:

a- السرعة التزامنية تعطى بالعلاقة:

$$n_s = 120 f / p = 120 \times 60 / 8$$

$$n_s = 900 \text{ r/min.}$$

- الانزلاق عندئذ:

$$S = (n_s - n) / n_s$$

$$S = (900 - 700) / 900 = 0.222$$

- الاستطاعة الميكانيكية المقدمة من الدائر:

$$p_m = 800 = p_r (1 - S)$$

$$800 = p_r (1 - 0.222)$$

وعليه فإن الاستطاعة المحولة للدائر P_r تساوي:

$$P_r = 1028 \text{ kW}$$

- الاستطاعة الكهربائية المستخلصة من الدائر:

$$P_{jr} = S.P_r$$

$$= 0.222 \times 1028 = 228kW$$

وعليه فإن الاستطاعة P_{jr} تؤخذ من الدائر ويعاد حقنها عن طريق المحول إلى الشبكة وهذا يذكرنا بمبدأ عمل النظام، وهو عدم إضاعة القدرة في الدائر. تعمل الجسور على استرداد القدرة من الدائر وحقنها في الشبكة عن طريق العاكس، وبالتالي فإن المحرك سوف يستجر فقط الاستطاعة الميكانيكية P_m اللازمة لإدارة الحمل، والعاكس هنا كما نرى جسر تقويم ثيرستوري مقاد عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من 90° حتى يمكن للاستطاعة الانتقال من جهة الحمل إلى جهة المنبع.

b- يمكن حساب توتر الخط للدائر من العلاقة:

$$E = SE_{0C}$$

$$E = 0.222 \times 1800 = 400V$$

وعليه فإن توتر الحلقة المستمرة (DC- Link):

$$E_d = 1.35E = 1.35 \times 400 = 540V$$

c- تيار الحلقة المستمر:

$$I_d = \frac{P_{jr}}{E_d}$$

$$I_d = \frac{22800}{540} = 422A$$

$$I_R = 0.816I_d = 0.816 \times 422 = 344A \text{ عندئذ: القيمة الفعالة لتيار الدائر}$$

d-

$$E_2 = 1.35E_T \cos \alpha$$

$$540 = 1.35 \times 480 \times \cos \alpha$$

$$\alpha = 33.5^\circ$$

وعليه فإن زاوية الإزاحة:

$$\beta = (180 - \alpha) \\ = 180 - 33.5 = 146.5^\circ$$

-e التيار في كل طور له قيمة عظمى (422A). و القيمة الفعالة له إذاً:

$$I = 344A$$

و تيار الابتدائي الفعال:

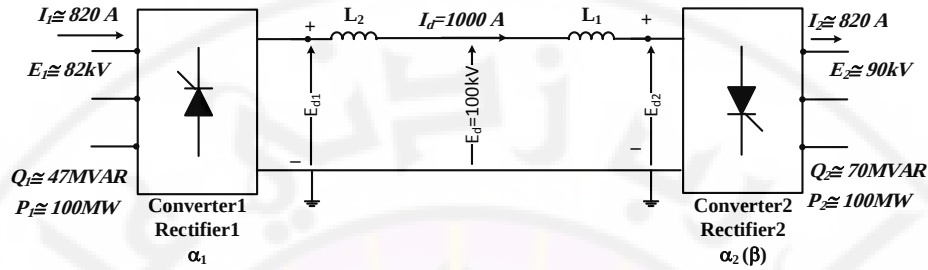
$$I = \frac{480}{4160} \times 344 = 40A$$

مثال (5): نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر عالي التوتر:

باستخدام مجموعات التقويم التعرّيج ذات الاتجاه المزدوج للتيار (DUAL Converter) أو ما يطلق عليها أحياناً (Back-to-Back) المبدلات المرتبطة رأس إلى عقب يتم نقل الطاقة الكهربائية. بالنظر إلى الشكل (أ-5-8) اشرح آلية نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر. اعتبر أن $\alpha_1 = 25^\circ$ و $\alpha_2 = 155.0^\circ$. مع إهمال التطابق ارسم شكل التوتر المقوم على طرفي كل جسر E_{1G} و E_{2G} بين ما هو مفهوم زاوية التقدم β (angle of advance). ما هو التيار الفعال المار في كل شبكة من شبكات التوتر المتناوب. بفرض أن خط النقل يحمل تيار مستمر وقدره 1000A وأن التوتر المتوسط للخط $E_d = 100KW$. ما هي الاستطاعة المستمرة المنقولة. ما هي الاستطاعة الردية المستجرة من الشبكة في كل جهة.

الحل:

- نظام النقل بالتيار المستمر يتكون بشكل أساسي من خط النقل بالتيار المستمر والذي يصل بين شبكتي توتر متناوب، ليس بالضرورة تساوي التوترات والترددات فيها وتزامنها.



الشكل (آ-5-8) الهيكل العام لنظام نقل قدرة بالتيار المستمر عال التوتر

على طرفي الخط يوجد جسرا تقويم من الثيرستور (مقادين)، يمكن تشغيل أحدهما كمقوم (Rectifier) بينما يتم تشغيل الثاني كعاكس (INVERTER) وذلك بالتحكم بزوايا الإزاحة بالطور

$0 < \alpha_1 < 90$ و $90 < \alpha_2 < 180$. أو يمكن القول أن زاوية التقدم للجسر العاكس هي $(\beta = 180 - \alpha_2)$.

- الجسر الأول يعمل كمقوم (Rectifier) ويعطي التوتر المستمر E_{d1} ومهابطه موجبة ويساوي:

$$E_{d1} = 1.35 E_1 \cos \alpha_1$$

ويحقق الاستطاعة في خط النقل. يعمل الجسر الثاني المرتبط بالشبكة الثانية كعاكس نطلق عليه بالانكليزية (Inverter) ويعمل حسب نظام التبديل عن طريق خط التغذية المتناوب (Line Commutated) وهو ليس معرجاً حقيقياً، إنما هو عاكس، يأخذ الاستطاعة المستمرة من الحمل (الذي هو هنا خط النقل) ويرسلها إلى الشبكة الثانية باتجاه E_2 .

- كما يمكن بالمقابل إعادة تشغيل الجسر الأول (Converter 1) كعاكس وتشغيل الجسر الثاني (Converter 2) كمقوم. عندئذ يستجر الجسر الثاني

الاستطاعة من الشبكة 2 وبحقنها في خط النقل المستمر، ويعمل الجسر الأول العاكس على استرجار هذه الاستطاعة من خط النقل وحقنها في الشبكة E_1 . قيمة الاستطاعة المتداولة هذه تتناسب وفرق التوتر بين الجسرين والمقاومة المكافئة.

$$I_d = \frac{E_d - E_{d2}}{R_{eq}}$$

$$E_d = 1.35E_2 \cos \alpha_2$$

- بما أن التوتر الذي تعمل عنده الجسور ذو قيمة عالية High Voltage، فإن أي ثيرستور من ثيرستورات الجسر الواحد البالغ عددها كما نعلم ستة عناصر) لأن الجسر هو جسر كريتز ثلاثي الطور ذي ست قمم في الدور الواحد) فإن هذه الثيرستورات سوف لن تتحمل توترات المنبع الأمامية والعكسية. لذا يتم ربط عدة ثيرستورات على التسلسل لتشكل وحدة واحدة تمثل الثيرستور الواحد في الجسر. هذه الوحدة أو الكتلة من العناصر ، تتحمل التوتر الأمامي والعكسي المتشكل وقد يبلغ عدد الثيرستورات الموصلة على التسلسل ضمن الكتلة الواحدة ، 50 عنصر أو 100 عنصر.

- عملياً نضيف ممانعة تنعيم على خرج كل جسر (smoothing inductor) L_1 و L_2 لحذف مركبات التوتر العابرة اللحظية Ripples ولحصول على توتر ناعم E_d . وتتحمل هذه الممانعات فرق التوتر بين E_{d1} و E_d . كما أنها تحد من مرور التيار الدائر بين الجسرين في الأنظمة ذات التيار الدائر .

- في هذا التطبيق بفرض أن تيار خط النقل 1000A وتوتر الخط المستمر V 100K وأن $\alpha_1 = 25^\circ$ و $\beta = 35^\circ$ ويمكن وضع ما يلي:

1- توتر الدخل المتناوب للشبكة الأولى حتى نحصل من الجسر الأول على توتر قدره 100KV مستمر هو:

$$E_d = 1.35E_1 \cos \alpha$$

$$100KV = 1.35E_1 \cos 25$$

$$E_1 = 82KV$$

أيضاً بالنسبة للجسر الثاني:

$$E_d = 1.35E_2 \cos \beta$$

$$100KV = 1.35E_2 \cos 35$$

$$E_2 = 90KV$$

- إذا كان توتر الشبكات المتناوبة معروف يمكن عندئذ حساب التوتر المقوم الناتج من كل جسر وعندئذ يحسب التوتر المتوسط المقوم ويحسب التيار على أساس الفرق بين توتر الجسرين.

$$I_d = \frac{(E_{d1} - E_{d2})}{R}$$

- بما أن تيار الخط المستمر 1000A فإن:

$$I_1 = I_2 = 0.816I_d$$

$$= 0.816 \times 1000 = 820A$$

- الاستطاعة المنقولة في خط النقل:

$$P = E_d \cdot I_d$$

$$P = 100KV \times 1000A = 100MW$$

$$Q_1 = P \tan \alpha_1$$

$$Q_1 = 100(MW) \tan 25^\circ = 47MVAR$$

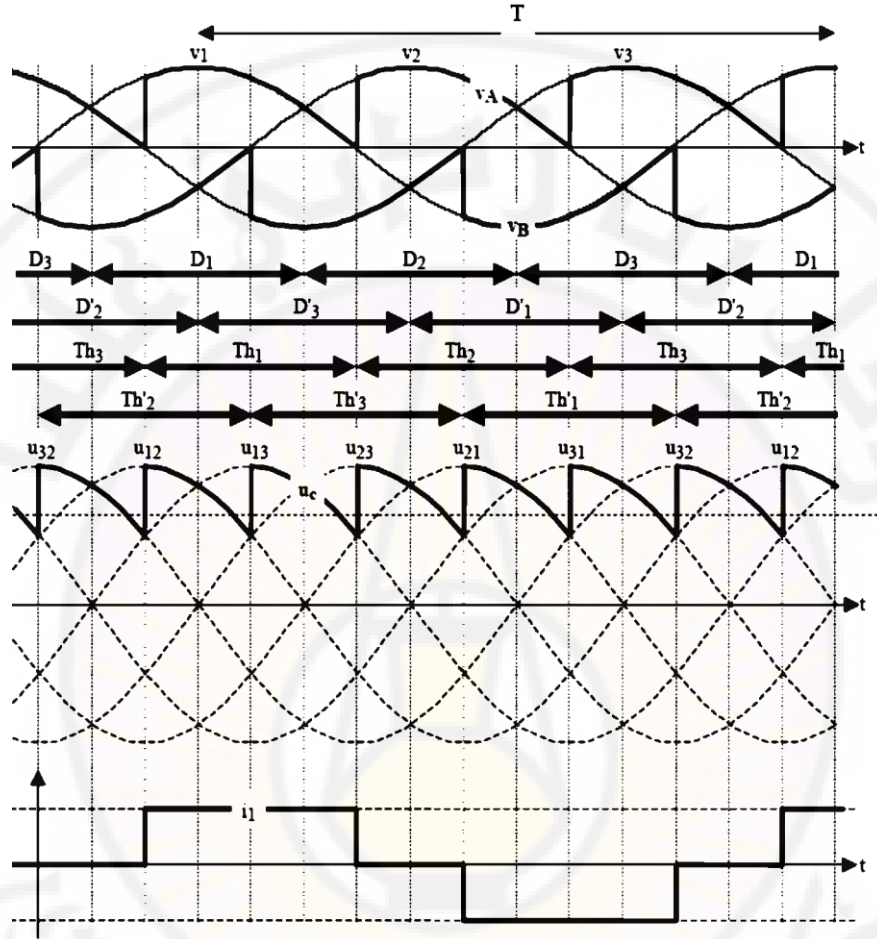
$$Q_2 = P \tan \beta$$

$$= 100(MW) \tan 35^\circ = 70MVAR$$

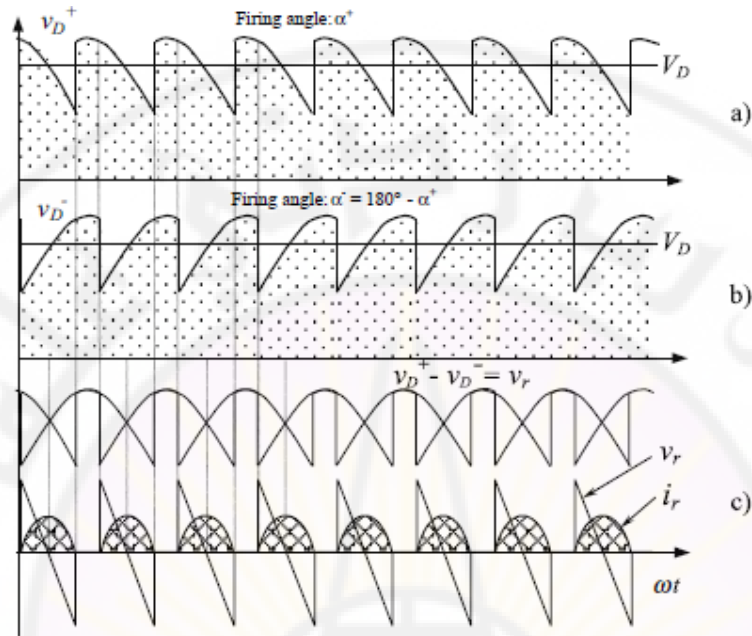
في الأشكال التالية نظهر شكل توتر وتيار خرج الجسر الذي يعمل كمقوم ،ثم نظهر كيف يعمل الجسرين سوية ،توتر الجسر العاكس رسم فوق توتر الجسر المقوم ومتوسط التوترين هو توتر الخرج المطبق على الحمل مهما كان نوع الحمل اومياً او تحريضياً أو خط نقل . هذا وغن الفرق بين توتر الجسرين هو التوتر المطبق على ملف الطور الذي يوضع بين الجسرين لتخفيف التيار الدائر ،هذا التوتر المثلثي الشكل يولد التيار الدائر بين الجسرين ويظهر بالشكل المظلل ،التيار الدائر هذا يدور بين الجسرين ولا يمر في الحمل ويجب ان يكون ذي قيمة أصغرية وتستخدم مجموعات التقويم التعريج بدون تيار دائر لتلافي هذا التيار . كما يظهر الشكل الأخير تفصيل عمل الجسر الموجب عند زاوية إزاحة أصغر من 90 درجة مع التطابق وكذلك شكل التوترات عند إزاحة أكبر من 90 مع التطابق .

- ملاحظة :

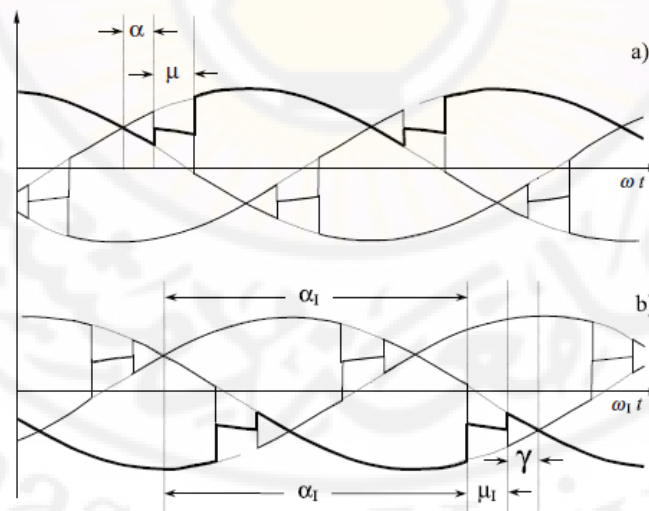
في الشكل أعلاه وضع تتابع عمل عناصر التقويم قيما لو كانت غير مقادة من الديود ،وتوتر الخرج رسم على توترات الخطوط لتوضيح آلية العمل قيما لو تم استخدام توتر الخط عوضاً عن توترات الأطوار .



الشكل (ب-5-8) يوضح شكل التوتر الناتج عن الجسر الذي يعمل كمقوم .



الشكل (ب-5-8) التوتر المقوم الناتج عن كل جسر، وجمع التوترين وتوتر ملف الطور والتيار الدائر الناتج



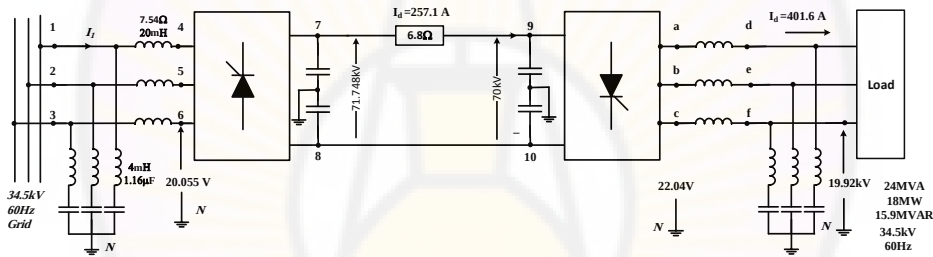
الشكل (س-5-8) يوضح التطابق في الاتجاه الموجب والسالب

مثال (6): نظام نقل تيار مستمر عالي التوتر خفيف:

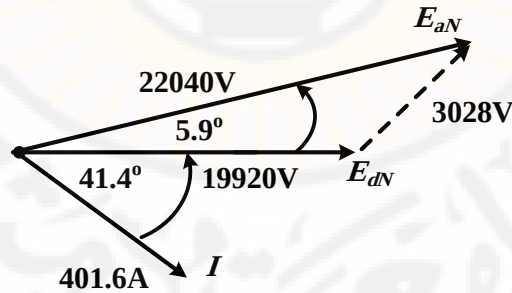
Light HVDC Transmission System

الشكل (6-8) يمثل خط نقل بالتيار المستمر عال التوتر، النظام يتكون من شبكتين ثلاثيتي الأطوار تبعدان عن بعضهما 40km. استخدم كابل أرضي لخط النقل 70kV (+35kV, -35kV) (توتر خط- حياضي أو التوتر بين المصاعد والمهابط للجسر) مقاومة الخط الكلية 6.8Ω . التوتر المتناوب في كلا الطرفين 34.5kV، 60Hz، 3Ph. الحمل في أحد الأطراف يستجر استطاعة 24MVA عند عامل استطاعة متأخر 0.75.

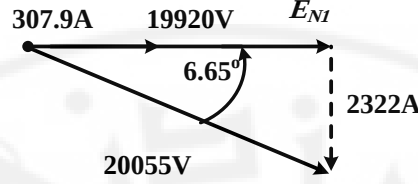
الحل:



الشكل (أ-6-8) خط نقل بالتيار المستمر



الشكل (ب-6-8) مخطط شعاعي



الشكل (س-6 -8) مخطط شعاعي

في هذا المثال سوف نفرض النقاط الأساسية اللازمة لمعرفة آلية تبادل الاستطاعة من الشبكة المتناوبة إلى الحمل، وذلك بناءً على المعلومات الأساسية المعطاة.
- بما أن الحمل يستجر استطاعة فعلية 24MVA عند $\cos\phi = 0.75$ فإن الاستطاعة الفعالة المستجرة تعادل:

$$P_{active} = 0.75 \times 24 = 18MW$$

والاستطاعة الردية المستهلكة من قبل الحمل تساوي:

$$Q = \sqrt{(24)^2 - (18)^2} = 15.9MVAR$$

- القيم التي وضعت على الشكل (a-) يمكن استنتاجها كما يلي:

1- توتر الخط عند الحمل المتناوب أعطي في البيانات أنه 34.5kV فهو بين E_{de} . لذا فإن توتر الطور يساوي:

$$E_{dN} = \frac{34500}{\sqrt{3}} = 19920V$$

2- التيار المتناوب I_a المستجر من قبل الحمل يحسب من البيانات:

$$I_a = \frac{S}{E_{de} \sqrt{3}} = \frac{24 \times 10^6}{34500 \times \sqrt{3}} = 401.6A$$

3- زاوية عامل الاستطاعة للحمل بين تيار الخط I_a وتوتر الطور E_{dN} تساوي:

$$\theta_a = \arccos 0.75 = 41.4^\circ$$

4- المحارضة التسلسلية المضافة على خرج الجسر الثاني 20mH، الغاية منها استرجار الاستطاعة من الجسر وحقنها في الشبكة أو الحمل المتناوب. لذا يجب أن يكون التوتر E_{aN} متقدماً على التوتر E_{dN} على طرفي كل محارضة. وبناءً عليه يمكن حساب:

- الممانعة (Reactance) عند التردد 60Hz للحثية $L_1 = 20\text{mH}$ تعادل:

$$x = 2\pi f L_1 = 2\pi \times 60 \times 20 \times 10^{-3} = 7.54\Omega$$

- نحن نعلم قيمة توتر الطور E_{dN} لذا يمكن حساب قيمة E_{aN} ومن القيم السابقة:

$$E_{aN} = 19920 + j \times 7.54(\Omega) \times 401.6 \angle -41.4^\circ$$

$$E_{aN} = 21.923 + j \times 2271 = 22040 \angle 5.9^\circ$$

أي أن التوتر في الطور E_{aN} يتقدم عن التوتر في نهاية المحارضة E_{dN} وعليه سيمر التيار من (a إلى d)، وكذلك الاستطاعة. وعليه فإن توتر الخط على طرفي الجسر مباشرة سيكون:

$$E_{ab} = 22.04 \times \sqrt{3} = 38.175\text{kV}$$

5- الاستطاعة المستمرة المستجرة من قبل المبدل الثاني هي 18MW. والتوتر المستمر على طرفي المبدل الثاني من جهة خط النقل المستمر بين النقطتين (9-10) تساوي:

$$E_H = 1.35 \times 38.175 \times \sqrt{2} \approx 70\text{kV}$$

$$E_H = 72.66\text{kV}$$

وبما أن المكثفات تشكل نقطة وسط N فإن توتر كل خط:

$$E_d = E_{gN}$$

$$E_d = E_{gN} = \frac{70000}{2} = 35\text{kV}$$

- التيار المستمر المستجر من قبل المبدل الثاني عندئذ:

$$I_d = \frac{3p}{E_H} = \frac{18 \times 10^6}{70000} = 257.1A$$

6- أعطيت مقاومة الكابل لكلا الخطين بـ 6.8 أوم وبحساب هبوط التوتر على مقاومة الخط يمكن حساب قيمة توتر الإرسال القادم من المبدل الأول. التوتر المستمر بين (7-8) للمبدل الأول تحسب بالشكل:

$$E_{78} = 70000 + 6.8 \times 257.1 = 71.748V$$

والتوتر المستمر بالنسبة لنقطة الوسط سيكون:

$$E_{7N} = \frac{71.748}{2} = 35.874KV$$

7- نعلم أن توتر الشبكة المتناوبة يساوي 34.5KV، وتوتر الطور عندئذ يساوي $34.5/\sqrt{3} = 19.92KV$. وكما نعلم تيار الخط المستمر 157.1A. أي يمكن حساب الاستطاعة المستمرة المقدمة من الجسر الأول لخط النقل وتعادل:

$$P = 257.1 \times 71.748 = 18.4MW$$

هذه الاستطاعة الفعالة تستجر من قبل المبدل الأول.

- يمكن حساب التيار القادم من شبكة التوتر المتناوب حيث لدينا:

$$I_1 = \frac{S}{E\sqrt{3}} = \frac{18.4 \times 10^6}{34.500 \times \sqrt{3}} = 307.9A$$

حتى يمكن استرجار الاستطاعة من الشبكة وحقنها في المبدل الأول تم أيضاً إضافة محارضة تسلسلية بين (1-4) وكذلك لباقي الخطوط الثلاث. وبناءً عليه يمكن حساب الفاقد على هذه المحارضة ومعرفة التوتر على مدخل الجسر الأول مباشرة.

- التوتر بين خط وحيادي بين (4,N) للمبدل الأول:

$$E_{4N} = E_{1N} - E_{14} = 19920 - j \times 2322V = 20.055 \angle -6.65^\circ$$

القيمة 2322 هي هبوط التوتر على المحارضة:

$$E_{14} = 7.54 \times 307.9 = 2322V$$

المخطط الشعاعي (c) يوضح العلاقة بين هذه التوترات. ونرى أن زاوية الإزاحة بين E_{1N} و E_{4N} للمبدل الأول تساوي $\theta_1 = 6.65^\circ$ وعليه فإن توتر الخط بين (6-4-5) سيكون:

$$E_{LL} = 20055\sqrt{3} = 34735V$$

8- الدارة المهتزة L_2C_2 في كلا طرفي خط النقل المتناوب، مؤلفة بالنسبة للتردد الحامل f_C . إذا تم اختيار نسبة تردد الحامل بالنسبة للتردد الأساس $mf = \frac{f_C}{f} = 39$. فإن تردد الحامل سيكون:

$$f_C = 39 \times 60 = 2340Hz$$

L_2 و C_2 مؤلفة عند هذا التردد، أكبر وأصغر تردد خط سيكون هو:

$$f_{H1} = (2340 + 2 \times 60) = 2460Hz$$

$$f_{H2} = (2340 - 2 \times 60) = 2220Hz$$

تردد التوافقيات هذه قريب من التردد الحامل 2340Hz.

- انتهى بعون الله تعالى -

References:

- 1- Ramshaw, Power Electronics. Smei-Swiches, University of Watrloo-Canada. Chapman&mall
- 2- -MOHAN&UNDELAND, Power Electronics converter applications, and design, 2nd New York Wily-1995.
- 3- Theadore wildi ELECTRICAL Machines.
- 4- R.VISINTINI ELECTRA SYNCHROTRON LIGHT LABORATORY, TRIEST, ITALY
- 5- George G. Karady & Keith Holbert- ch9. Introduction to Motor Control and Power Electronics 1/22/2015
- 6- ALI Keyhani OHIO STATE , Lecture 25 , Department of Electrical Engineering , The Ohio Stat University
- 7- D. Hart, Introduction to power electronics, pub prentice- Hall 1997. ISBN 0023511826, Lecture 19 : INVERTERS
- 8- D. BAREILLE , Lycee SANT –CRICQ, Elaboration de la Commend de la machine synchrone autopilote alimentee par un onduleur de courant.
- 9- - Mc –ET3 IUT de Tours, Departement GE11- 2ieme annee, Gradateurs monophasés et triphasés.
- 10- Juan Dixon, Santiago CHILE, Chapter 12 , Three- phase controlled rectifiers
- 11- Burak OZPINECI, Leon M Tolbert. University of Tennessee Knoxville, TN 37996-2100 Cycloconverters.
- 12- Michel Bornand , Problemes d’électronique avec leur solutions- EYROLLES-1990
- 13- Robert PARRET, MARCEL IVANCS , Elements de Genie electrique- HERMES-1994
- 14- R. Champrade , Electronique de Puissance-Commande des Motors a’courant continu- EYROLLES-1981
- 15- CYRIL W LANDER . Electronique de Puissance –EDISCIENCE 1994
- 16- G. SEQUIER , L’électronique de Puissance- DUNOD- 1979
- 17- ROBERT CHAUPRADE , & Francis Milsant, Electronique de Puissance. 2- Commande des Motors a’courant alternatif- EYROLLES-1981,

- 18- Philippe BARRADE , Electronique de Puissance.Methodologie et convertisseurs elementaires –Presses polytechnique et universitaires ROMANDES 2006
- 19- Chapter 3 ,Les Redresseurs Commande`s -2011,Electronique de puissance ,Ecole National d`Inginieurs de souisse ENISO
- 20- - ECE 8830- Electric Drives. Topic 9 ,Current Fed Inverters ,Spring 2004

المدقق العلمي :

1- الأستاذ الدكتور مصطفى الحزوري

2- الأستاذ الدكتور نديم مخول

3- الأستاذ المساعد عبدالله ساميز

المدقق اللغوي :

الأستاذ الدكتورة لميس داود