إلكترونيات القدرة الكهربائية ١

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعـــــة دمشـــق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

إلكترونيات القدرة الكهربائية ١

الدكتور المهندس هاشم ورقوزق
أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

جامعة دمشق

١٤٢٥-١٤٢٦ هـ
٢٠٠٤-٢٠٠٥م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الأول :	١٥
١-١ مقدمة	١٧
١-٢ تصنيف المبدلات الساكنة	١٨
١-٣ تطور عناصر أنصاف النواقل	٢١
١-٤ خواص الثيرستور والديود	٢٤
١-٥ الخواص الساكنة للثيرستور	٢٧
١-٦ الخواص الديناميكية للثيرستور	٢٩
١-٧ تأثير معدل تغير التيار عند الإشعال	٣٣
١-٨ تأثير معدل تغير التوتر في المصعد dv/dt	٣٣
١-٩ خواص البوابة	٣٦
١-١٠ قيادة البوابة أو القاعدة :	٣٩
١-١٠-١ البوابة المقادة بالتوتر .	
١-١٠-٢ البوابة المقادة بالتيار	٤٠
١-١١ دارات توليد النبضات (القيادة والقدح) للثيرستور وللترانزستور	٤٥
١-١٢ نماذج الدوائر توليد النبضات	٤٧
١-١٢-١ استخدام عنصر TCA785 لتوليد النبضات	٤٩
١-١٣ توليد قطار نبضات	٥٠
١-١٤ نقل وعزل النبضات	٥١
١- استخدام لاقط ذي أثر هول	٥٢
٢- عازل ضوئي ذي إشارة تمثيلية	٥٣
٣- المحولات النبضية	٥٤

١-١٥ شروط العمل النظامي	٥٧
١-١٦ دارات القيادة :	٥٨
١-١٦-١ مقدمة	
١-١٦-٢ دارات الإزاحة بالطور للثيرستور .	٥٩
١-١٦-٣ المبدأ الأساسي في عمليات الإزاحة بالطور	٦٠
١-١٦-٤ القيادة الشاقولية الخطية .	
١-١٦-٥ القيادة الشاقولية بتقاطع التجيب	٦١
١-١٧ دارات القيادة للجسور الأحادية الطور	٦٢
١-١٧-١ كيف يمكن قدح جسر أحادي الطور (تفرعي مضاعف) PD_2 مكون من أربعة ثيرستورات	٦٦
١-١٧-٢ قيادة جسر ثلاثي الطور تفرعي P_3	٦٧
١-١٧-٣ قيادة جسر كريتنر ، تفرعي مضاعف PD_3 ثيرستوري	٦٨
الفصل الثاني : مجموعات التقويم التفرعية البسيطة	٧١
٢-١ مقدمة	٧٣
٢-٢ عناصر التقويم والمقومات	٧٣
٢-٣ أسلوب التقويم	
٢-٣-١ المقومات ذات الاتجاه الموجب	٧٥
٢-٣-٢ المقومات ذات الاتجاه السالب	
٢-٣-٣ ملاحظات	
٢-٤ طرق التقويم الثلاث للثيرستور	٧٧
٢-٥ المجموعات ذات التقويم التفرعي البسيط (مجموعات غير مقادة)	٧٨
٢-٥-١ دراسة التوترات والتيارات	٧٨
٢-٥-٢ طريقة عمل مجموعة التقويم	٧٩
٢-٥-٣ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم	٨٠

٢-٦ التوتر العكسي والتيار المباشر للمقومات .	٨٣
٢-٧ التيار المستمر وعامل الاستخدام للمقومات	٨٨
٢-٨ التيار وعامل الاستطاعة لملفات المحول الثانوي	٨٩
٢-٩ التيار وعامل الاستطاعة في ملفات المحول الابتدائي	٩٠
٢-٩-١ علاقة الأمبير لفة المستخدمة للدارات المغناطيسية أحادية الطور	
٢-٩-٢ تطبيق على المجموعات ذات التوصيل التفرعي البسيط (P_2)	٩١
٢-٩-٣علاقة الأمبير لفة المستخدمة للدارات المغناطيسية ذات ثلاث أطوار	٩٢
٢-٩-٤ تطبيق على المجموعات الثلاثية P_3	٩٥
٢-١٠ دراسة هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي	٩٦
٢-١٠-١ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق	٩٧
٢-١٠-٢ زاوية التطابق	٩٩
٢-١٠-٣ هبوط التوتر $\Delta_1 U_c$ خلال فترة التطابق	١٠١
٢-١٠-٤ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر	١٠٢
٢-١١ عمل مجموعة التقويم باستخدام زاوية تأخير في الطور (استخدام الثيرستور)	١٠٥
٢-١١-١ عمل مجموعات عند إزاحة بالطور (المجموعات المقادة) – شكل الموجة واتجاه التوتر المقوم .	١٠٦
٢-١١-٢ زاوية التأخير $\psi < \frac{\pi}{2}$ (حالة مقوم)	١٠٧
٢-١١-٣ زاوية التأخير $\psi > \frac{\pi}{2}$ (حالة معرج -عاكس)	١٠٨
٢-١١-٤ ملاحظات	١١٠
٢-١١-٥ القيمة المتوسطة للتوتر المقوم في المجموعات المقادة	١١١

٢-١١-٦ التيارات وعوامل الاستطاعة	١١٣
٢-١١-٧ حالات مختلفة لمجموعات التقويم التفرعية البسيطة	١١٥
٢-١١-٨ دراسة هبوط التوتر عند زاوية تأخير في الطور	١١٨
٢-١١-٩ ملاحظات	١٢١
أمثلة محلولة : مثال /1/ - مثال/2/	١٢٢
الفصل الثالث : مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة (PD)	١٣٣
٣-١ دراسة التوترات والتيارات .	١٣٣
٣-١-١ طريقة عمل المجموعة	١٣٤
٣-١-٢ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم .	١٣٥
٣-١-٣ التوتر العكسي والتيار المباشر المار .	١٤٠
٣-٢ التيار وعامل الاستطاعة الثانوي	١٤٢
٣-٣ التيار وعامل الاستطاعة الابتدائي	١٤٣
٣-٣-١ تطبيقات على المجموعة التفرعية المضاعفة PD_2	
٣-٣-٢ تطبيقات على المجموعة التفرعية المضاعفة PD_3	١٤٤
٣-٤ هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي	١٤٦
٣-٤-١ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق وزاوية التطابق	
٣-٤-٢ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر	١٤٨
٣-٥ عمل مجموعة التقويم مع تأخير في زاوية الطور	١٤٩
٣-٥-١ استخدام الثيرستور لـ (2q) طوراً .	١٤٩
٣-٥-٢ استخدام q ثيرستوراً و q ديوداً .	١٥٣
٣-٥-٣ التيار وعامل الاستطاعة للملف الثانوي	١٥٥
٣-٦ مجموعات التقويم أحادية الطور - نصف مقادة	١٥٩
٣-٦-١ جسر أحادي الطور متناظر	١٥٩
٣-٦-٢ جسر أحادي الطور غير متناظر	١٦٢

٣-٧ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق في مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة	١٦٤
٣-٨ ملاحظات عامة على مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة	١٦٥
٣-٩ مسائل عامة	١٦٨
الفصل الرابع مجموعة التقويم التسلسلية (s)	١٧٥
٤-١ دراسة التوترات والتيارات	١٧٨
٤-١-١ طريقة عمل المجموعة	١٧٩
٤-١-٢ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم	١٨٢
٤-١-٢-١ حالة عدد الأطوار زوجي	١٨٣
٤-١-٢-٢ حالة عدد الأطوار فردي	١٨٦
٤-٢ التوتر العكسي والتيار المباشر في عناصر التقويم	١٨٩
٤-٢-١ الشكل العام والقيمة العظمى للتوتر العكسي	١٨٩
٤-٢-٢ التيار وعامل الاستطاعة الثانوي .	١٩١
٤-٣ التيار وعامل الاستطاعة في الطرف الابتدائي	١٩٥
٤-٣-١ تطبيق على المجموعة S3	١٩٥
٤-٣-٢ التيار المباشر وعامل الاستخدام لعناصر التقويم	١٩٧
٤-٤ هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي .	١٩٧
٤-٤-٢ زاوية التطابق	٢٠٢
٤-٤-٣ هبوط التوتر $\Delta_1 U_c$	٢٠٣
٤-٤-٤ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر	٢٠٤
٤-٥ عمل المجموعة عند زوايا تأخير في الطور	٢٠٥
٤-٥-١ استخدام (2q) ثيرستوراً	
٤-٥-٢ استخدام (q) ثيرستوراً و(q) ديوداً .	٢٠٧
٤-٦ مسائل عامة	٢١١

الفصل الخامس طرق توصيل مجموعات التقويم	٢١٣
٥-١ وصل المجموعات على التسلسل	٢١٥
٥-١-١ الوصل التسلسلي لمجموعتي تقويم تفرعيتين ثلاثيتي الطور P_3+P_3	٢١٦
٥-١-٢ الوصل التسلسلي لمجموعتي تقويم ثلاثية الطور مضاعفة PD_3 مع مجموعة تقويم ثلاثية الطور تسلسلية S_3	٢١٩
٥-١-٣ ملاحظات	٢٢٢
٥-٢ التوصيل التفرعي لمجموعات التقويم	٢٢٤
٥-٢-١ الشروط العامة للوصل التفرعي	٢٢٥
٥-٢-٢ توزيع التيار بين مجموعتي تقويم تعطيان التوتر نفسه المقوم على الفراغ	٢٢٦
٥-٢-٣ تأثير فرق التوتر عند الفراغ في عمل المجموعة	٢٢٨
٥-٣ وصل عناصر التقويم على التفرع	٢٢٩
٥-٤ وصل عناصر التقويم على التسلسل	٢٣١
٥-٥ مسائل عامة	٢٣٤
الفصل السادس : مجموعات التقويم التعريج (DUAL Converter)	٢٣٧
٦-١ مبدأ عمل مجموعات التقويم التعريج ذات الاتجاه المزدوج للتيار	٢٣٩
٦-١-١ نظرية عمل المجموعات ذات التيار الدائر	٢٤٣
٦-١-٢ عمل المجموعة مقوم – معرج أحادية الطور عند اللاحمل	٢٤٤
٦-١-٣ التشغيل تحت الحمل ، تيار الحمل مستمر	٢٤٧
٦-٢ استخدام مجموعات التقويم التعريج (DUAL Converter) لقيادة محركات التيار المستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار	٢٥١
٦-٣ مبدأ حساب ملف الطور	٢٥٥
٦-٣-١ المجموعة (رأس عقب) ذات محول وحيد ثلاثي الطور وأربع	٢٥٥

ممانعات	
٦-٣-٢ المجموعة (رأس – عقب) المكونة من محولتين ثلاثيتين الطور وممانعتين أو من محول وحيد ذي ثانويين	٢٥٧
٦-٤ -أ حساب التيار الدائر من أجل مجموعة تقويم – تعريج ثلاثية الطور	٢٦٠
٦-٤-ب حساب التيار الدائر من أجل مجموعة تقويم راس عقب أحادية الطور	٢٦٢
٦-٥ نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر	٢٦٣
٦-٥-١ الاستطاعة الردية المستجرة بواسطة الجسور عند العمل كمقوم	٢٦٧
٦-٥-٢ حالة عمل الجسور كعاكس	٢٦٨
٦-٥-٣ قيادة المبدلات في خطوط النقل بالتيار المستمر	٢٦٩
الملحق رقم /١/ دوائر الديود والتقويم	٢٧٥
الملحق رقم /٢/ تذكرة عن الأنظمة العابرة	٢٨٥
الملحق رقم /٣/ تبريد الثيرستور	٣٠٣
الملحق رقم /٤/ تذكير بالقيم الدورية غير الجيبية	٣١١

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة عامة

وضع هذا الكتاب لطلبة ، كليات الهندسة الكهربائية ، السنوات الأخيرة ، والمهندسين المتخرجين حتى يجدوا بين أيديهم المبادئ والعلوم الأساسية اللازمة لتصميم التركيبات المكونة من أنصاف النواقل (ديود أو ثيرستور) وتنفيذها .

إن دراسة دارات أنصاف النواقل (ديود – ثيرستور) ترتبط بعلم الطاقة الكهربائية لإمكان تحملها استطاعات كبيرة وتشغيلها عند توترات مرتفعة ، كما أنها من ناحية أخرى ترتبط بعلم الإلكترونيات بسبب تقنية تصنيع هذه العناصر والدوائر الثانوية اللازمة للقيادة والإقلاع . هذه الازدواجية في التخصص ، غالباً ما كانت مهملة ، ولا تلقى العناية الواجب إبداؤها لمثل هذا المجال ، ونظراً لانتشار التطبيقات العملية لعلم الثيرستور واستخدامه في أغلب أنظمة القيادة والتحكم الآلي فقد بدأ منذ فترة في الجامعات والمدارس العليا العناية به وتدريسه في صفوفها .

في هذا الكتاب ، قد يبدو مدهشاً ، عدم تطرقنا لدراسة فيزيائية عمل الثيرستور وطريقة تصنيعه بشكل مفصل واسع ، ذلك حتى يتسنى لنا المجال للخوض في تركيباته ودوائره ، ونماذج استخدامه في الحياة الصناعية ، وبالتالي إعطاء الطالب أكبر قدر من العلوم العملية المباشرة . لكن مع ذلك حاولنا في الفصل الأول إعطاء بعض الأفكار عن خواص وميزات الثيرستور وطريقة قدحه وتشغيله .

لابد من الإشارة إلى أن عملية التحكم بتشغيل الثيرستور وطريقة تصنيعه وخواصه تتطور بسرعة فائقة . ونحن في هذا الكتاب حاولنا عرض أسلوب التقويم (التحويل من التوتر المتناوب إلى التوتر المستمر) مهما كانت طريقة توصيل محول التغذية ، نجمي أو مثلثي ، كما أننا عالجنا حالات عمل جسور تقويم تفرعية بسيطة ، وحالات عمل جسور تقويم تفرعية مضاعفة أو تسلسلية . كما أننا توسعنا في آلية عمل المجموعات المرتبطة على التفرع ، والمجموعات ذات الاتجاه المزدوج للتيار لأن هذه المجموعات هي نهاية تطبيقات علم إلكترونيات القدرة على آلات التيار المستمر . وفي أنظمة نقل

الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر . كما أن هذا الفرع من العلم له تطبيقات عديدة سوف نرجع لها في الكتاب الثاني لإلكترونيات القدرة الكهربائية .

العلاقات الرياضية الواردة ، قابلة للتطبيق مهما كان نوع الثيرستور أو الديود المستخدم، تزداد أيضاً هذه العلاقات صحة كلما اقترب الثيرستور أو الديود إلى الحالة المثالية وذلك بفضل تقدم تكنولوجية التصنيع .

إن دراسة تركيب يحتوي على أنصاف النواقل (ثيرستور) هي دائماً صعبة ومعقدة ، وهي تبدو أحياناً سلسة سهلة ، وأحياناً أخرى مستحيلة مغلقة ، ولقد استخدمنا هنا الأسلوب العادي الكلاسيكي ، إنما كان موجهاً بحيث يصل الطالب إلى النتيجة دون عناء كبير ، وقد تظهر الاستحالة أحياناً والعودة لوضع فرضيات معينة لدى دراسة الحالات العابرة لمجموعات التقويم ، ودراسة عملية التحويل من التيار المستمر إلى التيار المتناوب ، وهذا الموضوع سيطرق إن شاء الله في الكتاب الثاني ، وكيف ستطبق داراته على المحركات التحريضية .

مجموعات التقويم المدروسة هي النماذج الأساسية المستخدمة في كل التركيبات الصناعية ، ويستطيع الطالب بالاعتماد على هذه الأسس الوصول إلى تصميم المجموعة المطلوبة واختيارها تبعاً لظروف التشغيل والغرض المطلوب وبناءً عليه ، ناقشنا غالباً حالة كون الحمل على خرج الجسور تحريضي ، كما أننا تطرقنا لحالة كون الحمل أومي . إنما لابد من الإشارة إلى أن العلاقات الناظمة للقيمة المتوسطة للحمل الأومي هي تقريبية وذلك لتسهيل عملية تقدير القيمة المتوسطة للتوتر المقوم . كما أننا اعتمدنا التحليل ورسم أشكال التوتر المقوم والتوتر العكسي لإيصال الطالب لحالة فهم آلية العمل وعدم حفظ العلاقات الرياضية كونها سهلة النسيان.

نأمل أن يساعد هذا الكتاب الطلبة في تفهم هذا العلم والاستفادة منه في التطبيقات الهندسية الحديثة .

المؤلف

الأستاذ الدكتور المهندس هاشم ورقوزق

الفصل الأول

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١-١ مقدمة

الإلكترونيات هي مجموعة التقانات الكهربائية المستخدمة للوصول لمعالجة الإشارات بأنواعها ، الصورة (تلفزيون) الكلام (الاتصالات) ، ومحاولة حذف التشويش الحاصل خلال عمليات الإرسال والاستقبال . بينما إلكترونيات القدرة الكهربائية هي مجموعة المهارات التي تسمح بالاستفادة من مصادر تغذية قائمة (منبع قدرة) لتغذية أحمال غير قادرة على استجرار تلك القدرة من المنابع بشكل مباشر ، لذا نحتاج لعمليات التنظيم والتحكم بالتوتر والتيار والتردد حسب متطلبات الحمل والغاية من استخدامه .

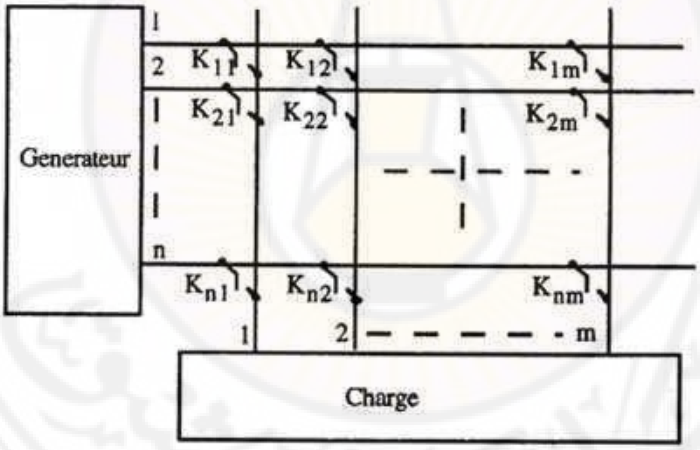
- مثلاً في أنظمة شحن المدخرات ، يجب تحويل التوتر المتناوب ذي التردد 50Hz إلى توتر مستمر مقارب لتوتر المدخرات وتمرير تيار باتجاه واحد في هذه المدخرات حتى تشحن .

نرى أن المنبع كان توتراً متناوباً ذي قيمة متوسطة تساوي الصفر بينما باستخدام الشاحن أمكننا الحصول على توتر ذي قيمة متوسطة موجبة يستطيع أن يحقن قدرة في المدخرة ويخزنها ، مثل هذه الأنظمة تعمل إذاً على تحويل التوتر المتناوب الجيبي أو غير الجيبي إلى توتر مستمر ، وتعطي للحمل تياراً ذا اتجاه وحيد ، بينما نعلم أن تيار المنبع هو تيار متناوب ذو اتجاهين . ويطلق على هذه الأنظمة المقومات أو أنظمة التبديل من التيار المتناوب إلى التيار المستمر (AC-DC-Converter) .

- نرى في الأنظمة الإلكترونية المستخدمة لقيادة المحركات التحريضية ، أن هذه المحركات تحتاج إلى توتر متناوب وتيار متناوب ، وللعمل على تغيير سرعة هذه المحركات تحتاج إلى إجراء تغيير دائم في التوتر والتردد ، تدخل هنا إلكترونيات القدرة الكهربائية للعمل على تحويل التوتر المتناوب ذي التوتر الثابت والتردد الثابت إلى توتر متناوب ذي توتر متغير وتردد متغير والأنظمة المستخدمة في هذه الحالة هي المعرجات أو Inverters ، (DC-AC Converter) أي أننا نحتاج إلى تحويل التوتر المتناوب إلى توتر مستمر باستخدام المقومات ثم تحويل التوتر المستمر إلى توتر متناوب باستخدام المعرجات . لتحقيق مثل هذه العمليات نحتاج إلى قواطع إلكترونية

(غير خطية) تسبب أقل هبوط توتر ، وتعمل بسرعة عالية عند الوصل والفصل أو ما نطلق عليه عمليات التبديل (Commutation) .

لهذه الغاية سوف نستخدم الثيرستور والترانزستور والديود . وسوف يتم ترتيب هذه العناصر الإلكترونية ضمن جسور مختلفة أحادية الطور أو ثلاثية الطور أو أكثر من ذلك تغذي أحمالاً قد تكون أيضاً أحادية الطور أو ثلاثية الطور . إن كل قاطع هو حلقة فصل ووصل بين المنبع والحمل يشترك مع غيره من القواطع لتغذية الحمل لذا فإن المبدلات الساكنة هذه (القواطع المستخدمة ساكنة ليس فيها جزء ميكانيكي) سوف تحتوي على (m x n) قاطع حيث m عدد الأطوار و n عدد مداخل الأحمال . ولكل قاطع يمكن أن نرمز له بـ KiJ أي يصل بين المدخل i والمخرج J .



Structure générale d'un convertisseur statique.

الشكل (1-1) البنية العامة لمبدل ساكن

١-٢ تصنيف المبدلات الساكنة :

نسمي المبدلات الساكنة تبعاً لطبيعة المنبع والحمل المرتبط به (تيار مستمر أو تيار متناوب) ، وتبعاً لاتجاه نقل الاستطاعة . ويوجد عموماً أربعة أنواع من المبدلات الساكنة :

- **المقومات** : هي جسور أو مبدلات تغذي أحمالاً ذات تيار مستمر بدءاً من منابع ذات تيار متناوب AC-DC Converters .
- **المعرجات** : هي جسور أو مبدلات تغذي أحمالاً ذات تيار متناوب بدءاً من منابع ذات تيار مستمر DC-AC Converters(Inverters) .
- **المقطعات** : هي جسور أو مبدلات تغذي أحمالاً ذات تيار مستمر بدءاً من منابع تيار مستمر ذات توترات مخالفة وكأنه يشبه محول تيار مستمر Chapper or DC-DC Converters .
- **مبدلات التردد** : هي مبدلات تغذي أحمالاً متناوبة ذات تردد عمل f_2 بدءاً من منابع توتر متناوبة ذات تردد f_1 (تردد الشبكة) .

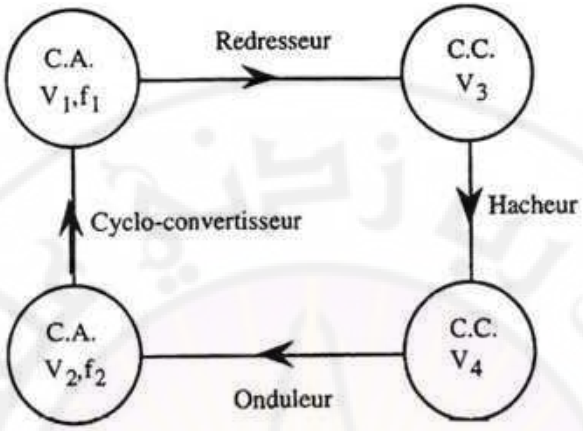
Cyclo-Converter or AC-AC Converters

وللربط بين هذه الأنظمة والأحمال يمكن تشكيل الشكل (1-2) المبين أدناه . حيث الرمز (C.A) يشير إلى منبع أو حمل ذي تيار متناوب بتوتر V_1 أو (V_2) وبتردد f_1 أو f_2 .

والرمز (C.C) يشير إلى منبع حمل أو منبع ذي تيار مستمر بتوتر V_3 أو (V_4) .

أي أن المقوم (Converter) ذي التوتر V_1 والتردد f_1 يمكن أن يغذي حمل تيار مستمر (C.C) عند توتر V_4 بدءاً من منبع تيار مستمر (C.C) ذي توتر V_3 . بالمقابل المعرج (Inverter) يستطيع أن يغذي حمل متناوب (C.A) عند توتر V_2 وتردد f_2 بدءاً من منبع توتر مستمر (C.C) ذي توتر V_4 . وإن مبدل التردد Cyclo Converter يعمل على الربط بين منبع متناوب (C.A) ذي التوتر والتردد V_2 و f_2 وحمل متناوب V_1 و f_1 .

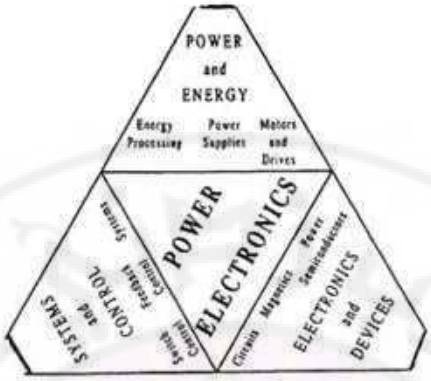
أي أن مجموعة المبدلات الساكنة يمكن أن تشكل حلقة مغلقة كل منها يمكن أن ينظم التوتر والتردد .



Classement des convertisseurs statiques.

الشكل (2-1) تصنيف المبدلات الساكنة

مما سبق نرى أن إلكترونيات القدرة الكهربائية هي العلم الذي يشكل حلقة وصل بين مختلف العلوم الحديثة فهو يشكل بنية أساسية في أنظمة القدرة الكهربائية (Power and energy) . محركات – وحدات تغذية – معالجة أنظمة القدرة . كما هو أساس في الأنظمة والتحكم (Systems and Control) وعمليات الحقن العكسي وتنظيم عمليات الفصل والوصل والقيادة . وهو القلب لعلم الإلكترونيات والعناصر الإلكترونية Electronics and devices ، أنصاف النواقل ، المغنطة والمواد المغناطيسية والتحكم بها كذلك الدارات الإلكترونية وقيادتها . والشكل أدناه (3-1) يبين فكرة عن هذه المواضيع وأين تقع تطبيقات علم إلكترونيات القدرة الكهربائية .



الشكل (1-3) تطبيقات علم إلكترونيات القدرة

١-٣ تطور عناصر أنصاف النواقل :

Developpement of Power Semiconductor devices

منذ نهاية عام 1957 بدء ظهور الثيرستور Silicon-Controlled Rectifer (SCR) تطورت صناعة أنصاف النواقل وأخذ الثيرستور العادي دوره بالاستخدام في التطبيقات الصناعية بدءاً من عام 1970 .كما ظهرت منذ ١٩٧٠ أنواع مختلفة من عناصر الاستطاعة لأنصاف النواقل وأصبحت تجارية ويمكن تصنيف ستة أنواع :

١- ديودات الاستطاعة Power diods .

٢- الثيرستور Thyristors .

٣- ترانزستور متعدد القطبية Power bipolar Junction BJT .

٤- موسفت Power Mosfet .

٥- ترانزستور متعدد القطبية ذي البوابة المعزولة Insulated-get bipolar transistors IGBT .

٦- ترانزستور الاستطاعة التحريضي Static Induction Transistors SIT .

كما يمكن تصنيف الثيرستور إلى تسع أنواع :

a) ثيرستور التبديل القسري Forced-Commuted Thyristor .

b) ثيرستور التبديل عن طريق التغذية Line-Commuted Thyristor .

c) ثيرستور فصل عن طريق البوابة (GTO) Gate-Turn -off - Thyristor .

d) ثيرستور فصل ببوابة مساعدة (GAAT) (Gate-Assisted Turn -off - Thyristor

e) ثيرستور الوصل العكسي (RCT) (ترياك) Reverse-Conducting Thyristor .

f) ثيرستور التحريض الساكن (SITH) Static-Induction Thyristor .

g) ثيرستور التفعيل الضوئي Light-Activated Silicon Controller Rectifier (LASER).

h) ثيرستور موس المقاد (MCT) Mos-Controller Thyristor .

k) ترانزستور التحريض الساكن Static-Induction transistors

– يمكن أيضاً تصنيف الديود إلى ثلاثة أنواع :

a- ديود عادي General purpose .

b- ديود سريع high speed .

c- ديود شوتكي Schottky .

– الديودات العادية متوفرة حتى توتر 3000V وتيار 3500A . ومعدل الديودات السريعة تصل إلى 3000V و1000A ، ديود شوتكي يصل لمعدل 100V و300A .

هبوط التوتر على الديود لا يتجاوز (0.5V إلى 1.2V) فولت .

الجدول رقم (1) يبين معدل التوتر والتيار لأنصاف النواقل بمختلف أنواعها كما يبين زمن التبديل بالميكروثانية والمقاومة عند التوصيل .

جدول رقم (1-1) يبين معدل ومواصفات أنصاف النواقل ذات الاستطاعة

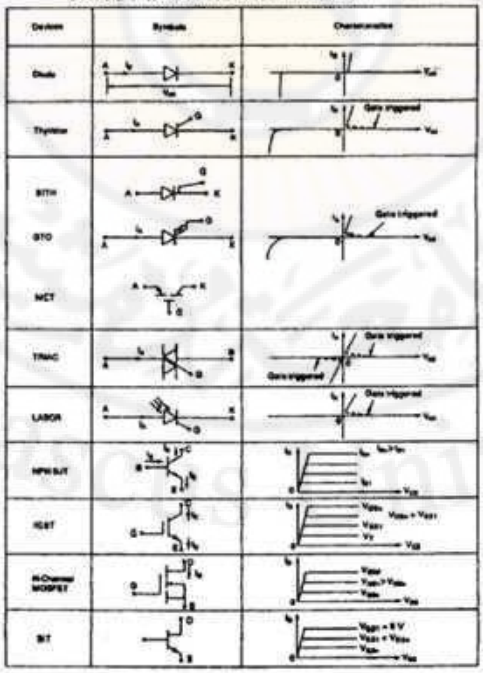
TABLE 1.1 RATINGS OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Type		Voltage/current rating	Upper frequency (Hz)	Switching time (μs)	On-st resista (Ω)
Diodes	General purpose	5000 V/5000 A	1k	100	0.16
	High speed	3000 V/1000 A	10k	2–5	1m
	Schottky	40 V/60 A	20k	0.23	10m
Forced-turned-off thyristors	Reverse blocking	5000 V/5000 A	1k	200	0.25
	High speed	1200 V/1500 A	10k	20	0.47
	Reverse blocking	2500 V/400 A	5k	40	2.16
	Reverse conducting	2500 V/1000 A	5k	40	2.1n
	GATT	1200 V/400 A	20k	8	2.24
	Light triggered	6000 V/1500 A	400	200–400	0.53
TRIACs		1200 V/300 A	400	200–400	5.57
Self-turned-off thyristors	GTO	4500 V/3000 A	10k	15	2.5n
	SITH	4000 V/2200 A	20k	6.5	5.75
Power transistors	Single	400 V/250 A	20k	9	4m
		400 V/40 A	20k	6	31m
		630 V/50 A	25k	1.7	15m
	Darlington	1200 V/400 A	10k	30	10m
SITs		1200 V/300 A	100k	0.55	1.2
Power MOSFETS	Single	500 V/8.6 A	100k	0.7	0.6
		1000 V/4.7 A	100k	0.9	2
		500 V/50 A	100k	0.6	0.4
IGBTs	Single	1200 V/400 A	20k	2.3	60m
MCTs	Single	600 V/60 A	20k	2.2	18m

كما أن الجدول رقم (1-2) يبين الرموز والخواص العامة لأنصاف النواقل المستخدمة في إلكترونيات القدرة .

جدول رقم (1-2)

CHARACTERISTICS AND SYMBOLS OF SOME POWER DEVICES



١ – ٤ خواص الثيرستور والديود :

كلمة ثيرستور (thyristor) أخذت من اللاتينية وهي مكونة من مقطعين (ثيرا) و(ستور) أي مضخم ساكن . ويسمى باللغة الإنكليزية (SCR)(Silicon-Controlled-Rectifier) .

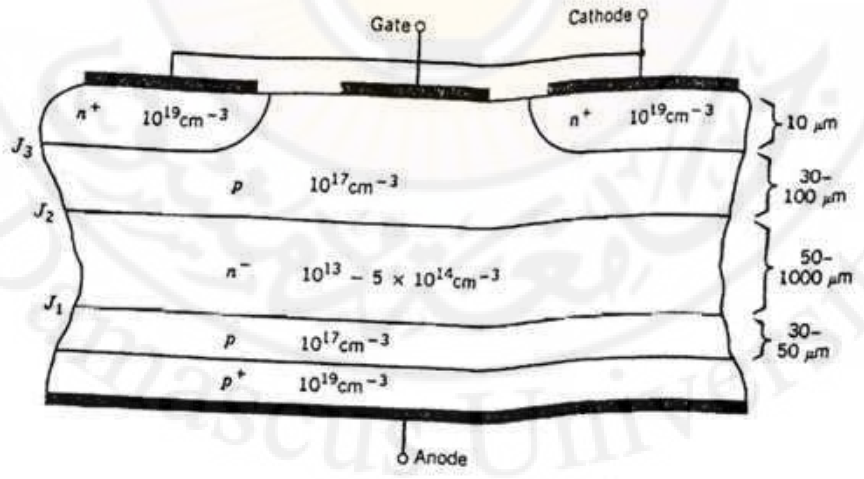
أي المقوم السلكوني المقاد .

الثيرستور عنصر نصف ناقل من مادة السيليسيوم ، ذي طبقات أربع متناوبة PNPN مزود بإلكترود للتحكم (Gat) ، والطبقة الأولى نوع (P) تشكل طبقة المصعد (Anode) ، والطبقة الأخيرة نوع N تشكل طبقة المهبط Anode ، الطبقة الداخلية P هي طبقة التحكم أو القيادة ومرتبطة بالبوابة والطبقة N الداخلية هي طبقة الحجز الشكل (1-4) يوضح الطبقات والوصلات الثلاث الناجمة عن هذه الطبقات حيث :

Jc: وصلة القيادة

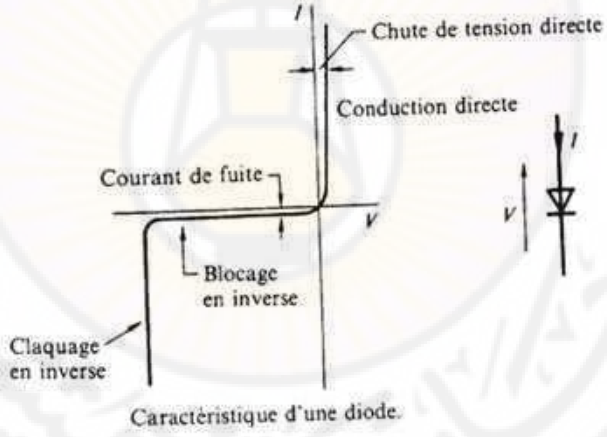
J_A : وصلة المصعد .

J_k: وصلة المهبط .



شكل (1-4) طبقات الثيرستور الأربعة

خواص التشغيل للثيرستور عند بوابة مفتوحة تختلف عن خواص الديود .الشكل (5-1) يبين خواص الديود ، حيث يلاحظ أن الديود ينتقل لحالة التوصيل عند تـوتر مصـعد موجب قد لا يتجاوز (0.3-0.6) فولط تبعاً لنوعية نصف الناقل (جرمانيوم أو سيليتيوم) وبعد أن ينتقل الديود للتوصيل ، تصبح علاقة التيار مع التوتر علاقة خطية ، حتى أنه يمكن في حالة اليود اعتبار أن التوصيل مباشر عند أدنى توتر موجب .بالنسبة للتوتر ذي القطبية المعاكسة لا ينتقل الديود للتوصيل إلا بعد أن يرتفع التوتر لقيمة توتر الخرق العكسي ولكل ديود توتر خرق عكسي يختلف تبعاً لأبعاد وحجم البلورات المكونة له .



شكل (5-1) خواص الديود

بالعودة للثيرستور عند بوابة مفتوحة (عدم تطبيق نبضة على البوابة) نجد بالنظر للشكل (6-1) أنه عند تطبيق توتر مصعد موجب ، سوف لن يمر تيار موجب في الثيرستور ، يبقى الثيرستور حاجزاً (Blocked) ويستمر في حالة الحجز حتى يصل التوتر الموجب المطبق عليه إلى قيمة توتر الخرق الأمامي Forward break over votage .

قيمة تيار التسريب الأمامي المار في هذه الحالة ، صغير ومن رتبة الميلي أمبير ، ولا يمكن اعتبار هذا التيار تياراً مصعداً لأنه أقل بكثير من تيار الاستمرار بالإشعال Ih (holding Current) .

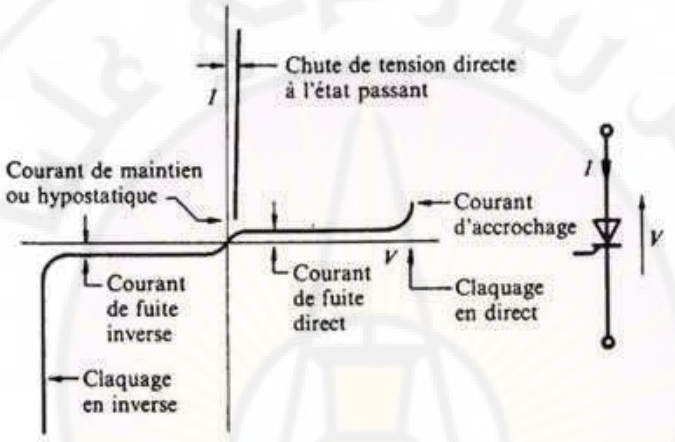
قيمة توتر الخرق الأمامي التي ينتقل عندها الثيرستور للتوصيل من رتبة عدة مئات من الفولت ، وذلك حسب خواص الثيرستور وحجم بلوراته . يوجد حالياً ثيرستورات تستطيع أن تحجز توتر أمامي يصل إلى V(5800) فولط . وتستطيع تمرير تيار يصل إلى A(1-1500)أمبير . بعد أن ينتقل الثيرستور للتوصيل تصبح خواص التوتر والتيار خطية ، وتحدد قيمة التيار تبعاً لقيمة التوتر المطبق وتبعاً لمقاومة الحمل .

منحني انتقال الثيرستور لحالة التوصيل ومنحني العمل بعد التوصيل يتقاطعان إنما نجد أن منحني خواص التوتر والتيار بعد التوصيل ينخفض إلى القيمة I_h (تيار الاستمرار بالإشعال) ، وهو الذي يحدد أدنى تيار موجب يمكن أن يمر بالثيرستور ويبقى الثيرستور في حالة التوصيل ، رتبة هذا التيار تختلف من ثيرستور لآخر تبعاً لحجم الثيرستور وهذه القيمة أساسية عند استخدام الثيرستور كقاطع في أنظمة التبديل من التوتر المستمر إلى التوتر المتناوب .

في الربع الثالث من إحداثيات التوتر والتيار ، التوتر المطبق على المصعد سالب (قد يكون نصف الدور السالب من الموجة الجيبية) في هذه الحالة مع زيادة قيمة التوتر ، يبقى التيار المار صغيراً جداً ، لكن عندما يصل التوتر المطبق إلى توتر الخرق العكسي (Reverse break down voltage) ، ينهار الثيرستور ويمر تيار عكسي كبير من المهبط إلى المصعد ، أي أن الثيرستور انهار ولم يعد صالحاً للاستخدام .

الوصلتين J_k,J_A في حالة تطبيق توتر مباشر ، تقعان تحت توتر مباشر بينما الوصلة J_c تكون واقعة تحت توتر عكسي ، وهي التي تتحمل قبل التوصيل كل التوتر المطبق كما أن الوصلتين J_k,J_A تقعان تحت توتر عكسي في حالة تطبيق توتر عكسي على الثيرستور والوصلة Jc تقع تحت توتر مباشر في هذه الحالة .

لدى انتقال الثيرستور لحالة التوصيل (ON) فرق الكمون بين المصعد والمهبط سوف لن يتجاوز (0.5-1.65V) فولط وعند انتقال الثيرستور لحالة الحجز (Off) فرق الكمون بين المصعد والمهبط سوف يكون من رتبة توتر المنبع .



Caractéristique de thyristor sans courant de gâchette.

شكل (6-1) خواص التشغيل عند بوابة مفتوحة

١-٥ الخواص الساكنة للثيرستور :

عند بوابة مفتوحة ، تبين لنا أن الثيرستور لا ينتقل لحالة التوصيل إلا عند توتر الخرق الأمامي (V_{b0}) . وعملية الانتقال هذه لا يمكن اعتمادها لتشغيل الثيرستور في التطبيقات الصناعية المختلفة . لذا لابد من الاستفادة من البوابة . وعليه سوف نطبق منبع توتر على البوابة ، بحيث أن القطبية الموجبة لهذا المنبع تطبق على البوابة (Gate) والقطبية السالبة تطبق على المهبط شكل (7-1) وسوف نتحكم بقيمة تيار البوابة ، سواء عن طريق تغيير تيار بين البوابة باستخدام مقاومة تسلسلية مع منبع البوابة أو بواسطة التحكم بالقيمة المتوسطة للتوتر المطبق على البوابة .(وسوف نناقش ذلك لاحقاً عند قيادة البوابة) .

يلاحظ أنه كلما ارتفع تيار البوابة IGt....IG2-IG1، كلما تناقصت قيمة التوتر الأمامي اللازم حتى ينتقل الثيرستور للتوصيل ، ويمكن بالتالي نقل الثيرستور لحالة التوصيل عند أدنى توتر مصعد موجب (2-1V) فولط من أجل تيار البوابة الاسمي IGt .

الخواص الساكنة للثيرستور تساهم في تحديد أقصى توتر خرق أمامي وأقصى توتر خرق عكسي ، كما تساهم في تحديد تيار البوابة الاسمي .

يتم اختيار الثيرستور للعمل في التطبيقات الهندسية استناداً للتوتر الأمامي والتوتر العكسي وعليه أن يتحمل هذه التوترات وأن لا ينتقل للتوصيل عند التوتر الأمامي كما عليه أن يتحمل التوتر العكسي وأن لا ينهار عند هذه القيم .

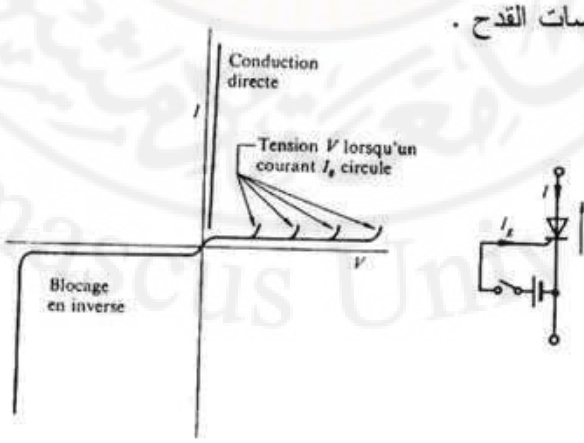
للعلم تيار البوابة الاسمي يعادل IGt=200mA لثيرستور ذي تيار اسمي قدره 500A .

انعدام تيار البوابة بعد إقلاع الثيرستور وانتقاله لحالة التوصيل لا تسبب إيقاف الثيرستور عن التوصيل ونقله لحالة الحجز . بعكس ترانزستورات الاستطاعة التي تنتقل لحالة الحجز عند إيقاف النبضية ، وعليه يمكن في حالة الترانزستور التحكم بفصله ووصله عن طريق القاعدة ، لكن في حالة الثيرستور لا يمكن إيقاف الثيرستور الموصل إلا بتحقيق شروط معينة أساسية وهي :

١- تطبيق توتر سالب على المصعد (توتر مصعد أكثر سلبية من توتر المهبط) .

٢- إنقاص تيار المصعد لقيم أقل من تيار الاستمرار بالإشعال .

٣- حذف نبضات القدح .



شكل (1-7) الخواص الساكنة للثيرستور

١-٦ الخواص الديناميكية للثيرستور :

الخواص الديناميكية للثيرستور توضح السرعة التي يستطيع فيها الثيرستور الانتقال من حال الحجز إلى حالة التوصيل أو العكس من حالة التوصيل إلى حالة الحجز ، ذلك لأن هذه العمليات لا تتم بشكل آني وأزمنة التوصيل والحجز سوف تؤثر بشكل فعال على تردد العمل مستقبلاً للثيرستور .

زمن التوصيل : Turn on time

عند تطبيق نبضة القدح على بوابة الثيرستور ، لا ينتقل الثيرستور لحظياً من حالة الحجز الأمامي إلى حالة التوصيل . في الحقيقة يبقى الثيرستور فترة قصيرة من الزمن حاجزاً توتر المصعد وكأن نبضة القدح غير مطبقة . بعد تلك الفترة تبدأ الممانعة الأمامية بالتناقص حتى تقارب الانعدام عند الإشعال الكامل للثيرستور .

في الشكل (8-1) نلاحظ آلية التوصيل للثيرستور . حيث يمكن تقسيم فترة التوصيل إلى فترتين :

الأولى : يطلق عليها زمن التأخير (Delay time) .

الثانية : زمن الارتفاع أو الصعود (Rise Time) .

a) زمن التأخير :

هو الزمن الواقع بين النقطة التي يصل فيها توتر البوابة إلى 90% من القيمة النهائية والنقطة التي يصل فيها تيار المصعد إلى 10% من التيار الكلي النهائي .

b) زمن الارتفاع (الصعود) :

هو الزمن اللازم لتيار المصعد للارتفاع من 10% إلى 90% من قيمته النهائية .

إن كلا زمني الصعود والتأخير يتعلقان بسعة نبضة القدح وزمن صعودها وفترة استمرارها ، لذا يجب تطبيق نبضة قدح تمتاز بزمن صعود حاد .

ما يقارب (0.1μ second) . وأن لا تتجاوز (1μ second) . وبسعة تقارب ثلاث أو خمس مرات السعة الأصغرية المطلوبة لإقلاع الثيرستور .

إن مجموع زمني الارتفاع والتأخير في ظروف إقلاع قاسية كهذه يتراوح بين (0.5-3.5μ second) ومن الناحية العملية فإن زمن التأخير حتى في شروط الإقلاع

الضعيفة ليس له عواقب ، وتأثير كبير في الثيرستور طالما أن تردد العمل أقل من (400Hz) .

ولكن زمن الصعود يكون غالباً له نتائج قد تؤثر في حياة الثيرستور نفسه . حيث أنه في فترة زمن الصعود يتحمل الثيرستور وبشكل مفاجئ توتر المصعد والتيار الأمامي المار فيه والاستطاعة المبددة عندئذ مرتفعة ، وهذا سوف يؤدي بالتالي إلى تشكل نقاط ساخنة (Hot Spots) مما يؤدي إلى حرق الثيرستور .

ولذا يجب التأكد من أن معدل ارتفاع تيار المصعد $\left(\frac{dI}{dt}\right)$ عند الإقلاع لا يتجاوز قيمة معينة محددة مسبقاً .

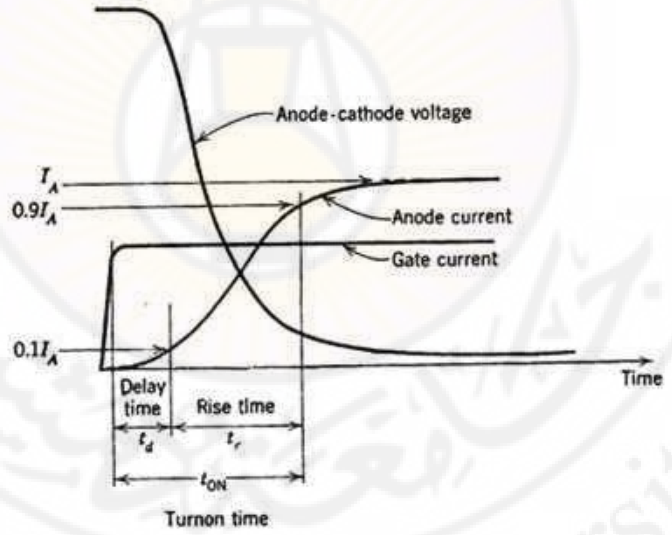


Figure 1.3. Waveforms defining SCR turnon time. Waveforms are for pure resistance anode load.

شكل (1-8) تيار المصعد وتوتره عند إقلاع الثيرستور وذلك لتحديد زمن الإقلاع

زمن الفصل Turn Off:

إن الثيرستور لا يستطيع أن يحجز توتر المصعد الأمامي لحظياً بعد إنقاص تيار المصعد إلى الصفر ولذا فإنه من الضروري الحصول على توتر مصعد عكسي لفترة من الزمن قبل تطبيق أي توتر مصعد أمامي مباشر . وإن زمن الفصل (T_{off}) كما هو مبين في الشكل (1-9) يجزأ إلى منطقتين تسميان : زمن الاستعادة العكسي Reverse Recovery time t_{rr} وزمن الاستعادة للبوابة t_{gr}

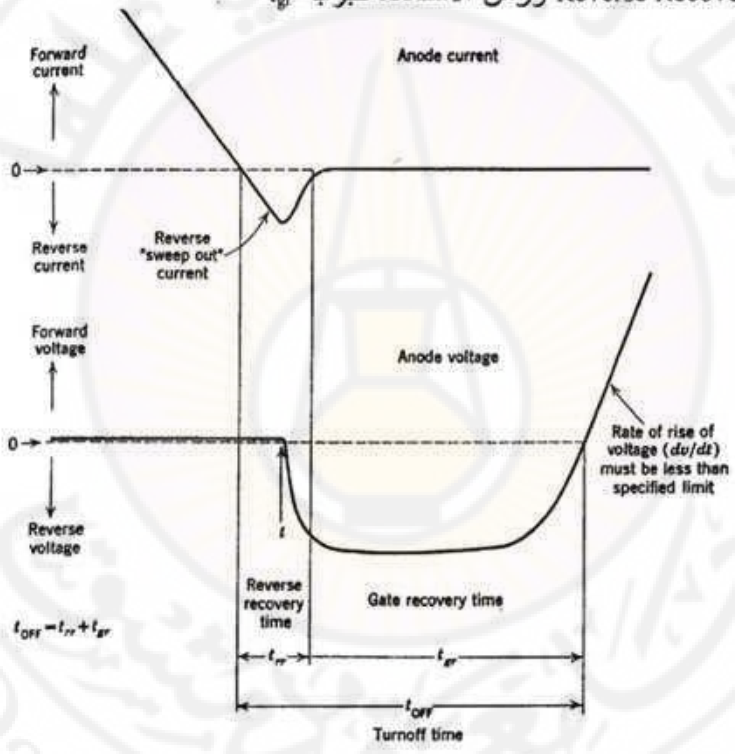


Figure 1. 9 Waveforms defining SCR turnoff time.

شكل (1-9) زمن الفصل في الثيرستور

خلال زمن الاستعادة العكسي فإن تيار المصعد يسري في الاتجاه العكسي . والثيرستور يبقى محتفظاً بممانعة صغيرة ويقدم توتراً موجباً ذا قيمة صغيرة . يبدأ في الزمن (t) الثيرستور بإنشاء ممانعة حجز ويتشكل على هذه الممانعة توتر عكسي . ويبدأ عندئذ تيار المصعد العكسي بالتناقص نحو الصفر .

من أجل ثيرستور معطى ، يتبع زمن الاستعادة العكسي قيمة تيار المصعد ، ومعدل تناقص هذا التيار ، وزمن الاستعادة الكلي هذا يتراوح بين (1-2)μsec من أجل ثيرستور ذي تيار اسمي أقل من 100A ويرتفع لغاية (6-7μsec) من أجل التيارات الأكبر . ولهذا الزمن تأثيرات عملية حيث أن التناقص المفاجئ لتيار المصعد يسعى لتوليد توتر عابر ذي قيمة كبيرة على ممانعة دارة المصعد ولذا فإنه من الضروري تزويد الثيرستور بدارة تفريغ (Snubber) مؤلفة من مكثف ومقاومة لتمتص هذه الاستطاعة المتشكلة على دارة المصعد في لحظة الحجز .

خلال زمن الاستعادة للبوابة ، يبقى التوتر العكسي متواجداً على الثيرستور وقيمة هذه الفترة ليست حدية . ولا يمكن تطبيق أي توتر أمامي على الثيرستور إلا في نهاية هذه الفترة ، حتى يستطيع الثيرستور حجز هذا التوتر . وفي حال كون التوتر المطبق ذا معدل كبير $\frac{dv}{dt}$ فإنه أيضاً يفشل في حجز التوتر وعادة يكون معدل ارتفاع التوتر بالقيمة 100v/μsec أو أكبر من ذلك وعلى الثيرستور تحمل هذا المعدل دون أن ينتقل لحالة التوصيل دون تطبيق نبضة على بوابته .

إن فترة زمن الاستعادة للبوابة تعتمد على عوامل عديدة ومن أهمها درجة الحرارة للوصلة . وكذلك معدل ارتفاع التوتر المطبق $\frac{dv}{dt}$.ومن أجل ثيرستور ذي تيار منخفض وسريع العمل فإن زمن الاستعادة للبوابة يقارب 10μsec ولكن من أجل ثيرستور ذي تيار عال وبطيء فإن هذا الزمن يقارب 200μsec .

يجب في التطبيقات العملية التأكد من أن زمن الفصل المعطى لدارة الثيرستور أكبر بكثير من زمن الفصل الحدي للثيرستور المستخدم في الدارة بأخذ عامل أمان مناسب . ولدى استخدام الثيرستور في أعمال التقويم العادية عند ترددات منخفضة (50Hz -100) هرتز فإن زمن الفصل لا يسبب أية مشكلة ، إنما يظهر تأثيره عند رفع تردد العمل ، كذلك في تطبيقات الثيرستور في المعرجات ، حيث أن سعة مكثفات الحجز تعتمد على زمن الفصل هذا .

١-٧ تأثير معدل تغير التيار عند الإشعال :

عند إشعال الثيرستور، كما رأينا سابقاً ، لا يصبح موصلاً بشكل كامل ولحظي ، وأن سطح التوصيل في البداية يكون محدداً بالمنطقة المجاورة للبوابة ، وحيث أن سرعة انتشار التوصيل هي عادةً (0.1mm)/μsec فإنه إذا تزايد التيار بشكل كبير سيخلق عندنا مناطق ذات كثافة تيار كبيرة مولدة بالتالي توتراً كبيراً بين المصعد والمهبط مما يسبب فاقداً في الاستطاعة وارتفاعاً في درجة الحرارة يصل إلى حد خلق انصهار ميكروي في منطقة التوصيل ومع استمرار العمل تسبب انهيار الثيرستور .

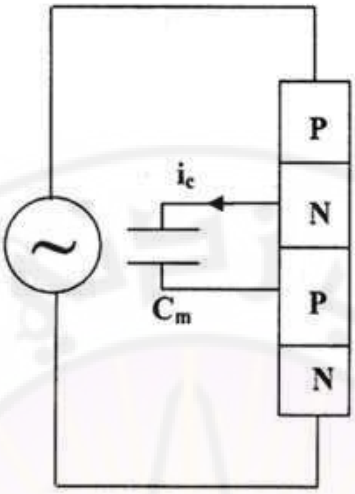
يمكن إنقاص المعدل $\frac{dI}{dt}$ المطبق على الثيرستور إما بوضع ملف على التسلسل مع الثيرستور أو تأخير ظهور التيار بوضعنا ممانعة مشبعة . والطريقة الأرخص والأقل كلفة والكافية غالباً لحماية الثيرستور هي إعطاء إشارة الإشعال بجبهة حادة أي زمن ارتفاع أقل من 1μsec وسعة أكبر من خمس مرات السعة الاسمية لتيار البوابة [وليس من الضروري أن تكون النبضة عريضة] مما يسبب زيادة في عرض منطقة التوصيل وبالتالي إمكان تحميل تيار ذي نسبة تزايد أكثر ارتفاعاً . ولدى استخدام الثيرستور في عمليات التبديل من التوتر المستمر إلى التوتر المتناوب يفضل إضافة ممانعة على التسلسل مع منبع التيار المستمر لهذه الغاية .

١-٨ تأثير معدل تغير التوتر في المصعد $\frac{dv}{dt}$:

إن التغيرات السريعة لتوتر المصعد يمكن أن تسبب الإقلاع غير المتحكم به للثيرستور وهذه التغيرات تؤثر غالباً في الوصلة المتوسطة للثيرستور والتي يمكن أن تمثل بسعة C_m . تيار التفريغ لهذه السعة يعطى بالعلاقة أدناه :

$$i_c = C_m \frac{dv}{dt} + v \frac{dC_m}{dt}$$

هذا التيار i_c يخشى من أن يسبب إشكالاً غير متوقع للثيرستور ويمكن تمثيل الثيرستور عندئذ كما في الشكل (1-10) .



شكل (1-10)

الطرف الثاني من هذه المعادلة صغير بالمقارنة مع الطرف الأول ويمكن إهماله . وأيضاً يمكن تحديد قيمة $\frac{dv}{dt}$ بإضافة ممانعة مع المصعد أو مجموعة مكثف ومقاومة بين المصعد والمهبط . ويمكن إدخال تحسين على العمل ، عن طريق إضافة معاوقة على التفرع مع دارة البوابة وذلك في الترددات العالية أو حقن تيار سالب في البوابة في فترة الحجز .

تعتمد الطريقة الأولى على حرف التيار السعوي $i_c = C_m . \frac{dv}{dt}$ بعيداً عن وصلة البوابة – المهبط . بينما تعتمد الطريقة الثانية على تعويض التيار السعوي i_c بتيار بوابة (i_g) سالب .

كما ذكرنا أعلاه فإن إضافة ممانعة مشبعة (Inductance Saturable) من الفريت مثلاً ستؤدي كما هو مبين في الشكل (1-10) إلى تأخير عملية تزايد تيار المصعد ، وتسريع هبوط توتر المصعد مما يسبب إلى خفض الاستطاعة الضائعة في عنصر التقويم عند الإقلاع . ونرى أيضاً أنه بعد تشبع الممانعة ، عودة التيار للارتفاع بشكل سريع ، لكن التوتر على طرفي العنصر يتزايد قليلاً وبالتالي فإن المفاقيد ، وكثافتها بالنسبة لواحدة المقطع ستكون منخفضة وبالتسخين الموضعي يمكن تجنبها .

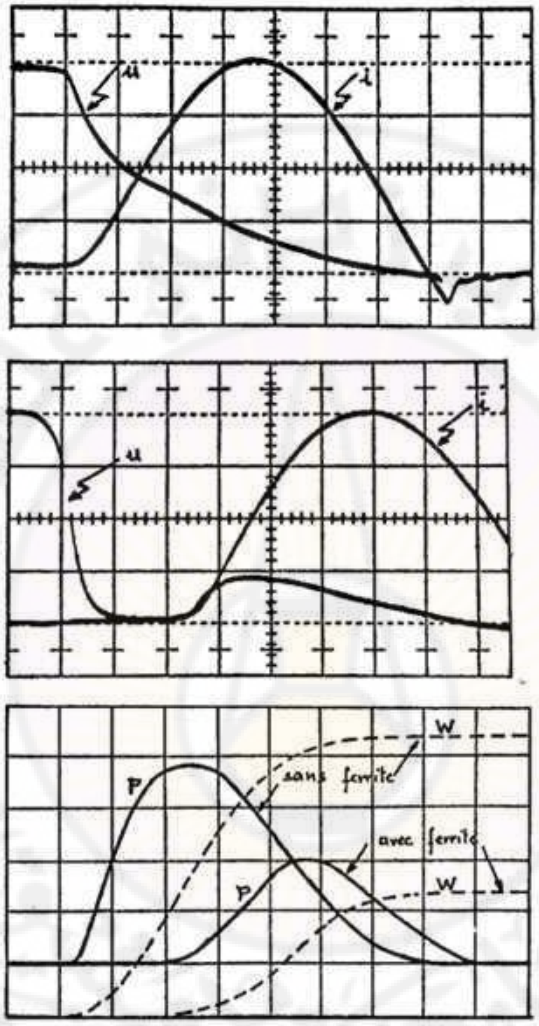


FIG. 1-11. — Action de l'inductance saturable sur l'amorçage avec fort *di/dt* (a) sans inductance, (b) avec inductance saturable, (c) comparaison des pertes à l'amorçage dans les conditions (a) et (b).

(a) sans ferrite de protection :
u = 20 V/div i = 66,6 A/div t = 1,6 µs/div ;
(b) avec ferrites de protection :
(c) p = 1,32 kW/div t = 1,6 µs/div.

شكل (1-11) تأثير إضافة ممانعة مشبعة عند الإقلاع على المعدل $\frac{di}{dt}$.

(a) بدون ممانعة .

(b) مع وجود ممانعة .

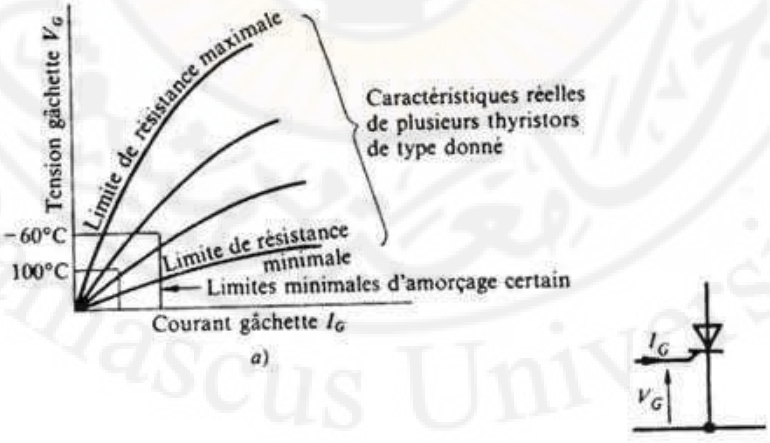
(c) مقارنة المفاقيد لكلتا الحالتين .

١-٩ خواص البوابة :

خواص البوابة – مهبط الثيرستور تماثل وصلة PN ، البوابة متصلة كما نعلم بالطبقة ؛ لذا يجب دائماً أن تطبق قطبية المنبع الموجب على البوابة ، والقطبية السالبة للمنبع تطبق على المهبط . نظراً لحجم وكميات الثيرستورات المتواجدة فإن خواص البوابة لهذه الثيرستورات متنوعة ، لكن مع ذلك يمكن تمييز مجموعة كبيرة من الثيرستورات ذات مقاومة عظمى للبوابة أي أنه مهما زدنا من التوتر المطبق على البوابة ، لا يزداد التيار المار ، كما أنه توجد مجموعة أخرى من الثيرستورات ، نجد أن التيار المار في البوابة يزداد عند توتر بوابة منخفض الشكل (12-1)يوضح هذه الفكرة .

وبناءً عليه يمكن وضع الثيرستورات ضمن هذه القيم الدنيا والعظمى .

مستوى التيار المار في البوابة الأدنى ، وكذلك التوتر الأدنى لنقل الثيرستور لحالة الوصل تعتمد على درجة حرارة وصلة الثيرستور . من الشكل (12-1) نلاحظ أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الوصلة (100C°) كلما احتاج الثيرستور لتوتر أدنى وتيار أدنى. ولنفس الثيرستور نلاحظ أنه عند درجة حرارة (60-) يحتاج لتوتر وتيار بوابة أعلى .



شكل (12-1) خواص البوابة للثيرستور

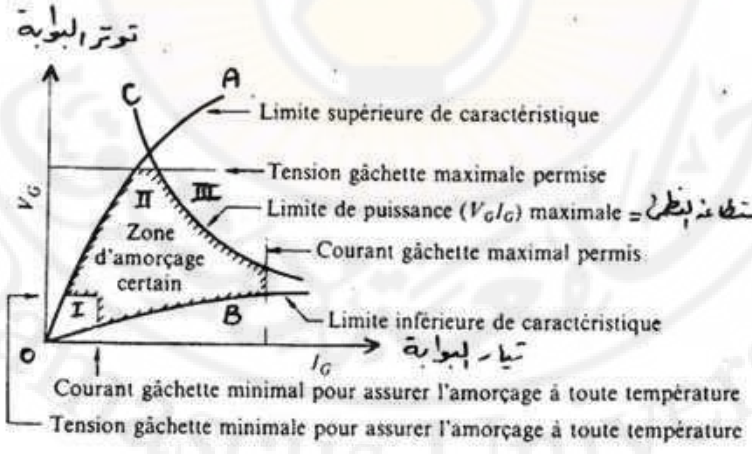
– عند تطبيق توتر البوابة على الثيرستور ، قد يمر تيار صغير ، كما أنه قد يمر تيار كبير تبعاً للمقاومة التي يصادفها المنبع ، وعليه فإن الاستطاعة المصروفة في البوابة هي جداء التوتر والتيار ولذا فإن نقطة العمل للثيرستور يمكن أن تقع ضمن إحدى المناطق الثلاث .

المنطقة الأولى ذات أدنى توتر بوابة ، وأدنى تيار بوابة . وهي منطقة تشغيل غير أكيد للثيرستور ، أي عند درجات حرارة منخفضة قد لا تستطيع دارة القدح نقل الثيرستور للتوصيل .

المنطقة الثانية ، وهي منطقة التشغيل الطبيعي والأكيد للثيرستور .

المنطقة الثالثة ، وهي المنطقة التي لا يمكن العمل عندها ، بل قد يحدث حرق للبوابة نظراً لارتفاع التيار المار في البوابة ، والاستطاعة المطبقة ، أكبر من الاستطاعة اللازمة لقدح الثيرستور ، كل نقاط العمل التي تقع على يمين المنحني C لا تصلح للعمل.

لذا يجب تحديد أقصى توتر بوابة وتيار بوابة ممكن مروره .



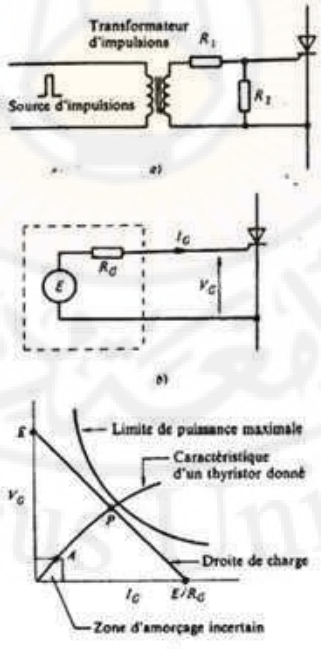
شكل (13-1) مناطق التشغيل الثلاث للبوابة

نبضات القدح التي تولدها دوائر توليد النبضات ، غالباً تطبق على محـــول نبضـــي ، بنسبة تحويل (1:1) . على ثانوي المحول النبضي يضاف دائماً مقاومة تسلســلية مــع البوابة R_1.

مهمة هذه المقاومة ، تحديد تيار البوابة ، تتراوح هذه المقاومة بين (10-100) أوم .

كما تضاف مقاومة تفرعية R2 ، تعمل هذه المقاومة على تحديد فرق الكمــون علــى البوابة عندما يكون الثيرستور في حالة الحجز .

الشكل (14-1) ، يمثل الدارة المكافئة لدارة القدح . التوتر E (تــوتر ثفينــين) علــى التسلسل مع المقاومة Rg المكافئة للدارة . بدءاً من هذه القيم يمكن رسم خــط الحمــل للدارة أي توتر البوابة وتيار البوابة ونقطة التقاطع مع منحني خواص الثيرستور فــي النقطة P ويجب أن يقع هذا الخط تحت المنحني C حتى لا تحترق البوابة . كما يجــب أن لا يتقاطع مستقيم الحمل مع منحني خواص الثيرستور في نقطة قريبة من A .



شكل (14-1) الدارة المكافئة لدارة القدح للثيرستور

قيم توتر البوابة يتراوح بين (5-10V) فولت ، وتيار البوابة يتراوح بين (0.2A إلى 1A) أمبير . كما نعلم توتر البوابة يجب أن يكون عبارة عن قطار نبضات بتردد عالٍ (5-15kHz) ومجموع عرض هذه النبضات يجب أن لا يتجاوز 120° درجة كهربائية .

١-١٠ قيادة البوابة أو القاعدة Gate or base Drive

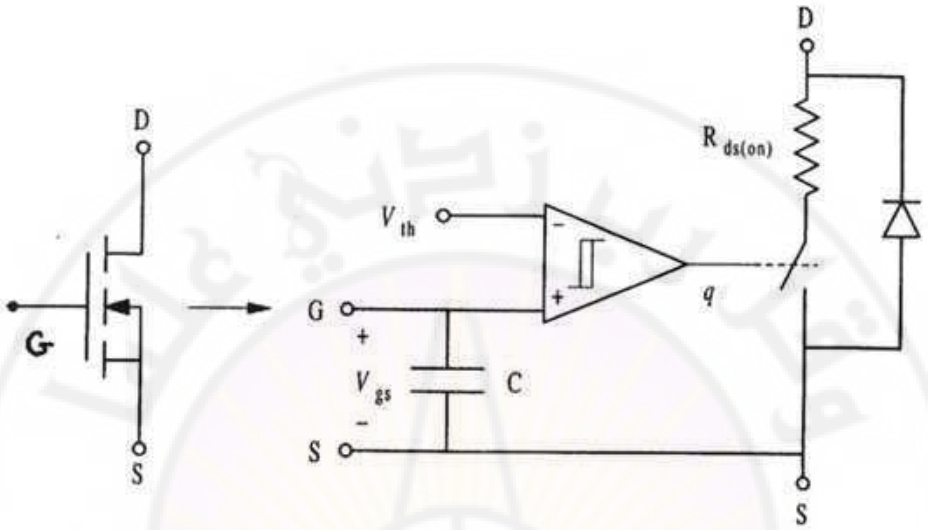
كل العناصر النصف ناقلة تحتاج لنبضة قدح لنقلها لحالة التوصيل أو حالة الحجز ما عدا الديود . من أجل الثيرستور إشارة القدح يمكن أن تكون نبضة ذات عرض ومطال وزمن صعود كافية لجعل جميع وصلات الثيرستور منزاحة أمامياً وبحيث يستطيع تيار المصعد بالتزايد فوق قيم تيار الاستمرار بالإشعال .

من أجل الترانزستور يجب إبقاء نبضة القدح مطبقة على قاعدة الترانزستور طالما يراد إبقاؤه موصلاً . كما أن عنصر GTO يحتاج لنبضة حجز إضافة لنبضة القدح . وعلى النبضات أن تكون سريعة ، فعالة، موثوقة ذلك لأن فعالية القدح قد تنقص مفاقيد الوصل والفصل بمقدار 30% أو أكثر .

عادة، يفضل مصممو الأنظمة دارات القدح بسيطة التركيب ، وأن الـ MOSFET ذا البوابة المقادة بالتوتر يعتبر مناسباً ومقبولاً . العناصر الحديثة مثل IGBT وMCT تستخدم الـ MOSFET لقيادتها عند مستويات التوتر المرتفعة . ترانزستور الاستطاعة BJT فقد ميزاته أخيراً لأن نظام القيادة بالتيار يحتاج لدارات معقدة .

١-١٠-١ البوابة المقادة بالتوتر Voltage –Controlled Gates

بساطة الدارات اللازمة للبوابات المقادة بالتوتر تزيد من استخدامهم في الشكل (15-1) يستخدم الموسفت MOSFET لقدح القاطع الرئيسي . ينتقل القاطع للوصل عندما يكون التوتر V_{gs} أكبر توتر الخرق (threshold) V_{th} . وينتقل لحالة الحجز عندما يكون التوتر $V_{gs}<V_{th}$. عملياً Vth هو أصغر توتر لتمرير التيار . أكبر توتر عادةً يكون بحدود $2V_{th}$ وهذا يترجم بتوترات بين (8-10V)فولط لترانزستور MOSFET كي نغيير وضعية الترانزستور ، على دارة قيادة البوابة أن تشحن المكثف لتوتر مكافئ لتوتر الوصل للترانزستور ثم يجب على الدارة أن تزيل الشحنة عند مرحلة الفصل . عملية الشحن والتفريغ ثابتة لقيم المقاومات التسلسلية في الدارة .



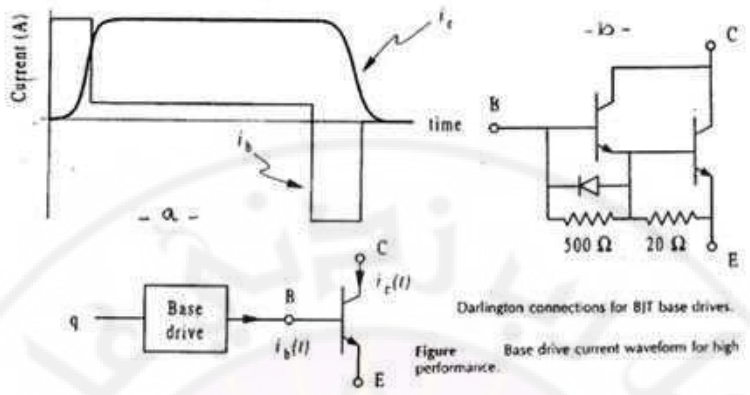
Simplified MOSFET model for gate drive discussion.

شكل (1-15) استخدام الموسفت لقدح القاطع الرئيسي

١-١٠-٢ البوابة المقادة بالتيار Current-Controlled Gates :

ترانزستورات وحيدة القطبية (Bipolar transistors) ، تحتاج إلى أجزاء الفولت كي تطبق على القاعدة لنقلها لحالة الوصل. سلوك القاعدة ذو خواص أفضل عند القيادة بالتيار . دارة القيادة لترانزستور الاستطاعة BJT يجب أن تقدم التيار الضروري للحفاظ على استمرارية توصيل الترانزستور .

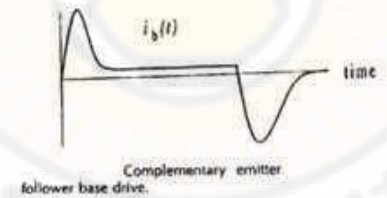
تيار القاعدة يساوي عادةً $I_b=I_c/B$ ومن أجل الترانزستور BJT قيم B تتراوح من (5 إلى 10) . الشكل (1-16a) يلخص شكل نبضات القدح وتيار القاطع الرئيسي BJT خلال مراحل الوصل والفصل . عندما تكون B للترانزستور منخفضة القيمة يرتفع تيار القاعدة لذا استخدام دارة لنغتون يساعد على إنقاص تيار القاعدة والشكل (1-16b) يبين الدارات المستخدمة وقيم المقاومات الأولية اللازمة للدارة .

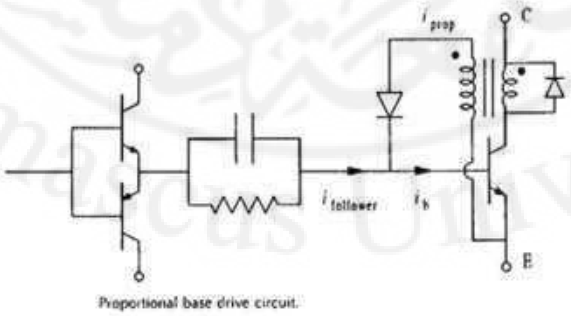


شكل (16-1) دارة قدح القاعدة ، نبضة القدح وتيار العنصر

- استخدام دارة تابع باعثي مكمل (Complementary) يمكن استخدامها مع مكثف تسريع كما هو مبين في الشكل (17-1) يساعد توليد نبضات سريعة عالية السعة لتسريع عمليات الوصل والفصل .

- استخدام محول كممانعة عزل تمكن من تطبيق دارة قيادة تمثيلية على القاعدة نسبة تحويل المحول 10:1 وعندئذ دارة بتوتر 15V وتيار 0.4A يمكن أن تقود قاعدة تحتاج لتوتر 1.5V بتيار 4A .



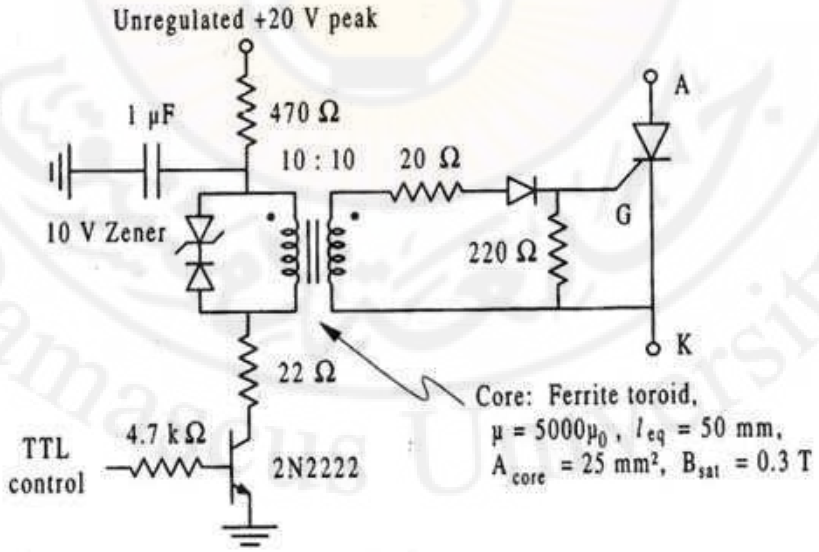


شكل (17-1) طرق قدح القاعدة لترانزستور الاستطاعة وشكل تيار القاعدة

إحدى دارات القيادة للقاعدة المقترحة

دارات قيادة القاعدة (Base) تستهلك استطاعة أكبر من الاستطاعة المستهلكة للبوابة (Gate) المستخدمة في القواطع المقادة بالتوتر . تيار القاعدة بقيمة 4A عند توتر قاعدة باعث 1.5V تمثل استهلاك استطاعة دائم قدره 6W في القاعدة . دارة قيادة بتابع باعثي مكمل بدون محول تستهلك استطاعة أكبر لأنها سوف تستجر الاستطاعة من المنبع عند توتر عال . إذا كان توتر المنبع 5V والتيار 4A فالاستطاعة المستهلكة 20W عوضاً عن 6W السابقة . الشكل (18-1) دارة قدح عملية مع محول نبضي لثيرستور .

في الصفحات القادمة الشكل (19-1) و (20-1) سيتم عرض آلية توليد نبضات القدح ، لكن هنا سنعرض للطالب العناصر الإلكترونية الممكن استخدامها بالقرب من البوابة ، ونرى تشكيلة واسعة من طرق ربط المقاومات والمحول النبضي ، واستخدام ديود زنر على ابتدائي المحول النبضي ، لتحديد توتر الابتدائي . كما نرى كيف يمكن استخدام ثيرستور مساعد لقدح ثيرستور رئيسي وفي الواقع العملي يمكن استخدام كل هذه التشكيلات .



Pulse transformer gate drive for SCR.

شكل (18-1) دارة القدح لثيرستور مع المحول النبضي

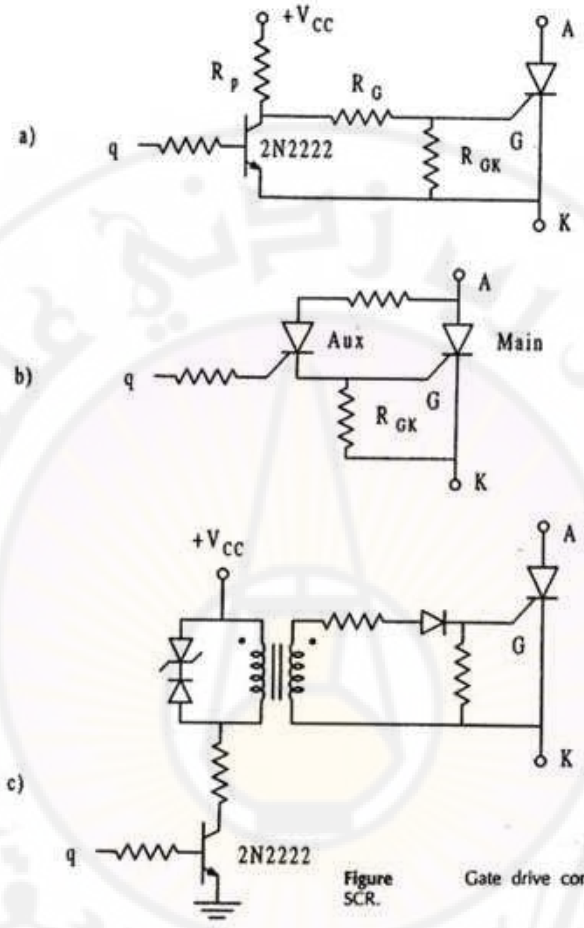
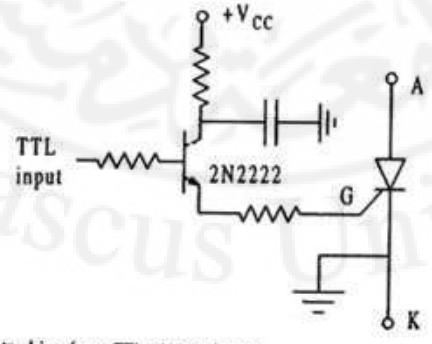


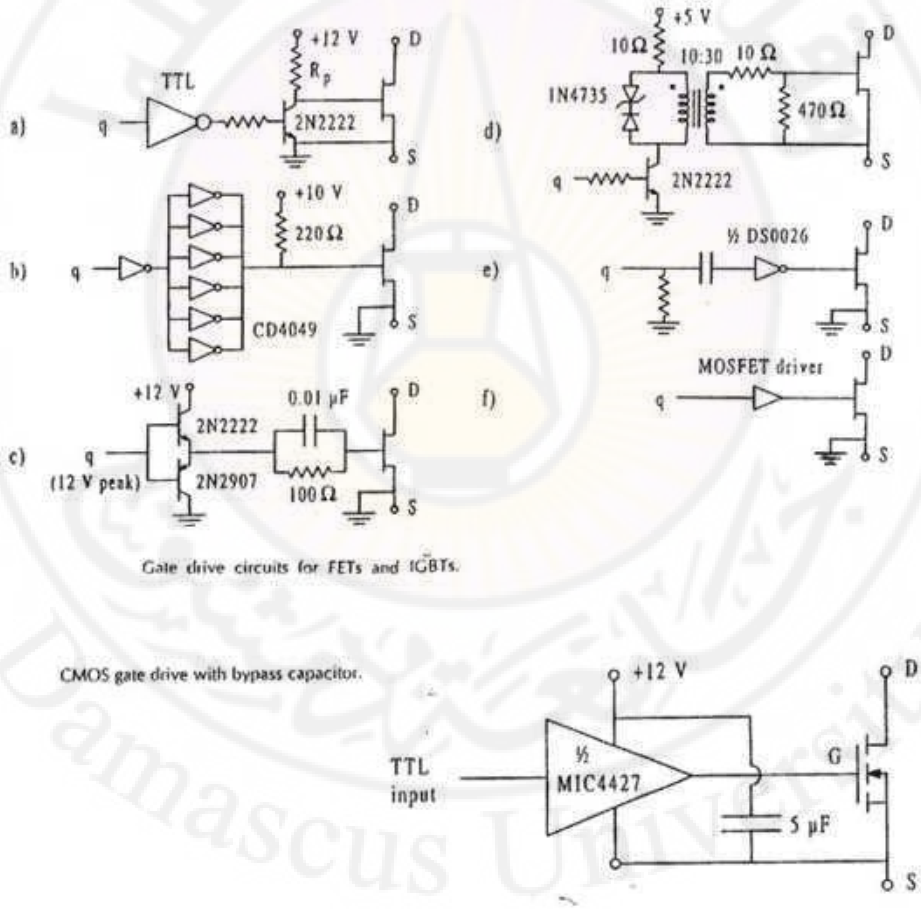
Figure Gate drive configurations for an SCR.



Gate drive from TTL circuit, based on emitter follower.

شكل (19-1) دارات قدح متنوعة للثيرستور

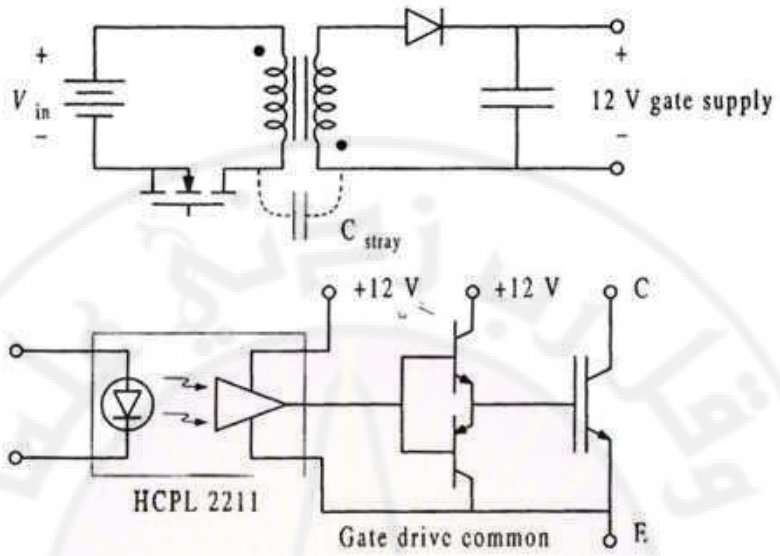
يتم قيادة ترانزستورات الاستطاعة كما ذكرنا سواء بموجة تيار أو توتر وتبعاً للاستطاعة المراد تأمينها على قاعدة الترانزستور ، يمكن اختيار الدارات التي ستولد النبضات . وفي الأشكال العديدة القادمة نعطي أشكال الدارات الممكن استخدامها لتشغيل الترانزستور (CMOS) أو (FET) أو (MOSFET) . وكيف يمكن استخدام دوائر عزل باستخدام محولات نبضية أو عزل النبضات باستخدام نظام العزل الضوئي



Gate drive circuits for FETs and IGBTs.

CMOS gate drive with bypass capacitor.

شكل (1-20a) دوائر قدح متنوعة لترانزستور الاستطاعة



شكل (1-20b) عزل نبضات القدح باستخدام محول نبضي أو عزل ضوئي

١-١١ دارات توليد النبضات (القيادة والقدح) للثيرستور وللترانزستور :

Générateurs d'impulsions synchronisés

يحتاج الثيرستور كي ينتقل للتوصيل إلى شروط ثلاث :

أ- تطبيق توتر موجب على مصعد الثيرستور ، أكثر إيجابية من توتر المهبط .

ب- مرور تيار من المصعد إلى المهبط أكبر من تيار الاستمرار بالإشعال I_h .

ت- تطبيق نبضة قدح موجبة على بوابة الثيرستور بحيث تكون كافية لنقل الثيرستور لحالة التوصيل ، العمل في المنطقة الثانية II من منحني خواص البوابة.

ث- أن تكون نبضة القدح متزامنة مع توتر المصعد المتناوب في أنظمة التقويم (AC-DC Converters) .

أمام هذه المتطلبات من الضروري توليد نبضات قدح ذات استطاعة كافية لنقل الثيرستور لحالة التوصيل ، وأيضاً عدم حرق البوابة ، لأن عملية تطبيق نبضة قدح باستطاعة كبيرة قد تتلف بوابة الثيرستور (العمل في المنطقة الثالثة من منحني خواص البوابة) نبضة القدح المطلوب توليدها يجب أن تتصف ببعض الخواص وهي :

1- زمن ارتفاع حاد للنبضة .

2- زمن كافٍ لاستمرار النبضة .

3- سعة نبضة مناسب .

زمن الارتفاع الحاد للنبضة (المقدر بالنانو ثانية) يؤثر على زمن الوصل للثيرستور وكلما كان هذا الزمن صغيراً ، كلما كانت عملية نقل الثيرستور للتوصيل أكثر نجاحاً وتأثيراً ذلك لأن جزء من زمن التوصيل (TON) المسمى زمن التأخير td يتأثر بزمن ارتفاع النبضة ، وقياس هذا الزمن يبدأ من لحظة وصول نبضة القدح إلى 90% من قيمتها الاسمية . كما أن صغر هذا الزمن يساعد على سرعة اتساع مساحة التوصيل ضمن بلورات الثيرستور وبالتالي تقليل إمكانية حدوث مناطق حارة (Hot Spots) في وصلة الثيرستور المجاورة للبوابة .

❖ زمن استمرار النبضة للثيرستور يتأثر بنوعية حمل الثيرستور . في حالة الأحمال الأومية ، وهي عموماً ذات تطبيقات صناعية محدودة ، لا يلزم عرض نبضة كبير ، لذا فإن نبضة إبرية قد تكون كافية لنقل الثيرستور لحالة التوصيل. لكن في حالة الأحمال التحريضية (محركات تيار مستمر ، محركات تحريضية ..) سوف تعجز النبضة الإبرية عن نقل الثيرستور لحالة التوصيل ، ذلك لأن التيار المتوقع مروره في الثيرستور في حالة الحمل التحريضي سيتعرض لإعاقة بسبب الحمل التحريضي (قانون لنز) وسيكون صغيراً ، ولدى انتهاء زمن النبضة وعدم وصول التيار لقيم أكبر من تيار الاستمرار بالإشعال ، سيعود الثيرستور لحالة الحجز، أي أن الثيرستور سيوصل فقط خلال فترة تطبيق النبضة ، لذا في الأحمال التحريضية نستخدم نبضات قدح للثيرستور ذات عرض أكبر من زاوية عامل الاستطاعة للحمل ، و يفضل أن لا يقل عرض نبضات القدح عن 90° درجة كهربائية من موجة توتر المصعد . وغالباً ما تستخدم نبضات قدح بعرض 120° درجة كهربائية . عملية تطبيق نبضة بهذا العرض قد تسبب ارتفاع حرارة وصلة البوابة ، لذا دائماً يتم تهشير نبضات القدح ولتحقيق هذه الغاية يتم تهشير نبضات القدح بتردد تقطيع يصل إلى(7KHz إلى 15KHz) كما سنرى لاحقاً .

❖ سعة النبضة لها تأثير على قيمة التيار المتوقع تمريره في وصلة البوابة ذلك أنه لكل ثيرستور تيار بوابة معين (يتراوح بين 2mA ولغاية 100mA) تبعاً لاستطاعة الثيرستور . تيار البوابة المار يعتمد على قيمة المقاومة المكافئة لوصلة البوابة وهذه المقاومة ليست عادة ثابتة القيمة . يبدي الثيرستور مقاومة أولية ذات قيمة أكبر نسبياً عند الحجز من المقاومة بعد الانتقال للتوصيل ، لذا فإن عملية إضافة مقاومة تسلسلية خارجية على التسلسل مع دارة توليد النبضات ضروري لتحديد تيار البوابة . عندئذ قيمة هذه المقاومة والمقاومة الداخلية المكافئة لوصلة البوابة تحددان تيار البوابة الدائمة . ومن منحني خواص البوابة يمكن معرفة تيار البوابة الممكن مروره استناداً إلى توتر البوابة المطبق والمقاومة المكافئة أو منحني العمل لبوابة الثيرستور .

١-١٢ نماذج لدوائر توليد النبضات :

Generateurs d'impulsions

التطبيقات الهندسية المستخدمة عملياً لتوليد النبضات كثيرة ومتعددة . سوف نعرض هنا لعينات بسيطة من دوائر توليد النبضات حتى يمكن استيعاب آلية عمل هذه الدارات .

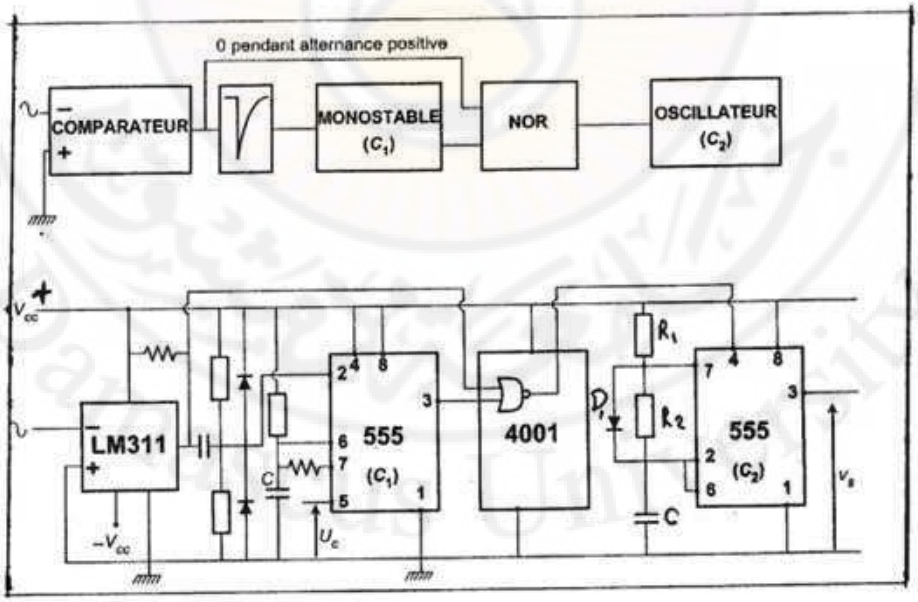
في إلكترونيات القيادة ، تستخدم النبضات أساساً لتوليد تغير في الحالة لأحادي استقرار (Monostable) أو (bascule) .

- الشكل (21-1) يمثل مخطط عام لدارة توليد نبضات متزامنة مع منبع توتر متناوب ،المهتز (Oscillateur) C_2 في الشكل يعطي نبضات عندما يكون توتر المدخل (4) عالياً ، (haut) ، حيث أن هذا المدخل (4) مرتبط بخرج البوابة NOR ، أي أننا نحصل على النبضات عندما يكون مدخل البوابة NOR في المستوى الأصغر (bas) ، أي في نهاية الموجة الموجبة بعد أن يصل وحيد الاستقرار (Monostable) لحالة الاستقرار (Repos).
- توتر التزامن هو توتر جيبي ذي سعة صغيرة (5-10V) يقدم عن طريق ملف ثانوي لمحول خافض للتوتر ، تردد 50Hz .

- تحقيق العملية NOR يمكن تنفيذها بدءاً من أربعة بوابات Nand لدارة تكاملية 74HCOO (مغذاة بتوتر 6V) أو من دارة 4011 .
- يمكن تحقيق تأخير في نبضة وحيد الاستقرار (C_1) بتغيير توتر التحكم U_c المطبق على المدخل 5 . الذي يغير زمن شحن المكثف C .
- يتم قدح وحيد الاستقرار (C_1) عندما يصل توتر المكثف C قيمة تعادل (2/3Vcc) .
- وحيد الاستقرار يغير حالته عندما يصبح التوتر على المدخل (2) قريباً من الصفر .
- LM311 يعمل عمل مقارن (Comparateur) .
- وحيد الاستقرار(C_2) يعمل كمهتز يمكن التحكم بقيم المقاومات لتغيير زمن الشحن والتفريغ للمكثف C وبالتالي للتحكم بالدور .

$$T = (R_1 + R_c)C$$

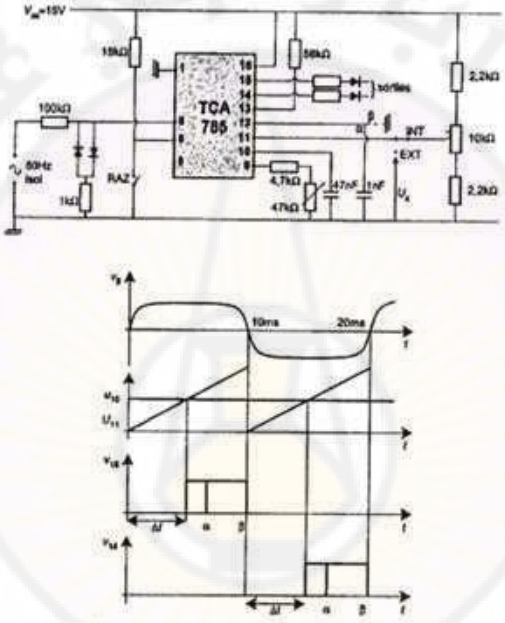
- التوتر V_S عبارة عن نبضات الخرج النهائية التي يمكن معالجتها لاحقاً .



مخطط عام لدارة توليد نبضات متزامنة مع منبع توتر متناوب ، مع إمكانية تأخير النبضات ، عن طريق التوتر Uc ، وتنتهي النبضات عند انتهاء نصف الدور الموجب

١-١٢-١ استخدام عنصر TCA785 لتوليد النبضات :

المركب (Le Composant) TCA785 هو مثال للدارات التكاملية المختصة . تولد إشارات مربعة (Signaux Rectangulaire) ذات دور مماثل للتوتر التزامني المطبق ، ويمكن معايرتها باستخدام مجزء توتر (Potentiometre) أو توتر خارجي . شكل -1) 22)



Mise en œuvre d'un déclencheur à TCA 785 et oscillogrammes principaux.
α : C_{12} en service ; β : borne 12 à la masse.

الشكل (22-1) استخدام دارة قدح من TCA785 والمنحنيات الأولية الأساسية .

- تغذى الوحدة بمنبع تغذية منظم حيث يوصل المأخذ (1) إلى masse الأرض والمأخذ (16) يوصل للقطب الموجب (توتر التغذية من 8 إلى 18V فولت) .
- توتر التزامن يطبق على المدخل 5 والذي يستقبل توتراً ثنائي القطبية bidirectional وذي مطال صغير .
- مدخل حذف النبضات (inhibition) رقم 6 ، نحصل عليه بتطبيق توتر منخفض.

- توليد موجة سن المنشار المتزامن مع توتر الدخل يؤخذ من المخرج (10) على طرفي المكثف C_{10} . وهو يبدأ دائماً عند مرور موجة التزامن بالصفر (U_S) . ميل موجة سن المنشار يمكن تعييره بواسطة المقاومة R_φ . وهو يعتمد على قيمة التوتر الداخلي للدارة المقاس على المخرج (8) وهو من قيمة 3V . إذا كان الميل كبيراً فإن شكل الإشارة على U_{10} يأخذ شكل شبه منحرف trapeze عوضاً عن شكل إشارة مثلثي .
- توتر التحكم أو المقارنة يدخل على الرجل (11) وذلك سواء باستخدام مجزء توتر مغذى من وحدة تغذية مستقرة أو من منبع خارجي U_C .
- تحدد الزاوية $\propto$ على الشكل ، للموجة المربعة الناتجة على الخرج ، بتغيير قيمة المكثف C_{12} كما أن β تحدد في نهاية الدور لدى وصل المدخل 12 إلى الأرض (Masse) .
- مآخذ الخرج 15 و14 مفعلة خلال نصف الدور الموجب ونصف الدور السالب
- تبدأ إشارة الخرج بالظهور عند تساوي التوتر U_{11} بالتوتر U_{10} وتتوقف الإشارة عند نهاية الموجة U_S إذا تم تأريض الرجل 12 . أما إذا تم وضع مكثف يمكن عندئذ تحديد عرض نبضة الخرج U_{15} وU_{14} وهي هنا $\propto$.

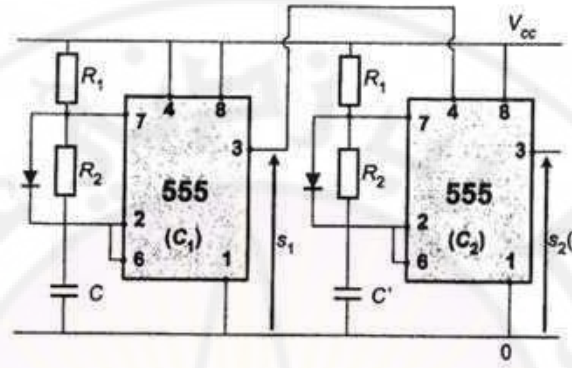
كل مخرج يقدم نبضة ذات دور (20msec) أو تردد 50Hz هرتز . وهو تردد الشبكة الكهربائية العامة . إذا رغبنا الحصول على نبضات مضاعفة بقصد تشغيل مدرج gradateur أو غيره، يمكن جمع النبضتين باستخدام ديودات وبوابة كما سنرى لاحقاً .

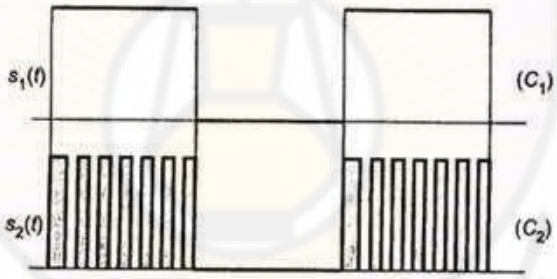
١-١٣ توليد قطار نبضات :

تنفيذ دارة لتوليد قطار نبضات تعتمد على جمع مولدي إشارة مربعة – أحدهما مولد تردد عالي من (2 إلى 20) كيلو هرتز بقصد قدح الثيرستور عدة مرات متتابعة خلال فترة النبضة الإجمالية .

ومن مولد تردد منخفض B.F مستقل أو متزامن مع الشبكة 50Hz خرج المهتز B.F يربط على مدخل (inhibition) الحجز لمولد التردد العالي H.F . وعليه فإن النبضات ذات التردد العالي لا يمكن توليدها إلا خلال فترة وجود نبضات تردد منخفض .

الشكل (23-1) يبين دارة باستخدام دارة الـ (555) نلاحظ الوصلة بين المخرج 3 للعنصر (C_1) والمدخل 4 للعنصر (C_2)





Production de trains d'impulsions périodiques.

شكل (23-1) توليد قطار نبضات دوري

١-١٤ نقل وعزل النبضات :

في دارات إلكترونيات القدرة الكهربائية ، يلزم تأمين التشغيل الأكيد والآمن لعناصر القطع والوصل (ترانزستور أو ثيرستور) ، كما يلزم تحقيق العزل الكامل بين دوائر التحكم والقيادة ودارات الاستطاعة (الحمل) ، ذلك لأن إشارات القيادة تولد من منابع ذات توترات منخفضة ، وتتحمل توترات منخفضة (كروت إلكترونية) بينما عناصر القطع والوصل مرتبطة بتوترات مرتفعة وباستطاعات كبيرة . وعليه فإن العزل بين الدارات يغدو إلزامياً (دارات التحكم Command ودارات الاستطاعة puissanee)

وخاصة الكروت الإلكترونية المستخدمة في القيادة ، وذلك حتى نؤمن سلامة العـاملين في هذه الأنظمة ، حيث أن الأرضي (Masse) للوحات الإلكترونية لا يرتبط بـالمنبع المتناوب المغذي ، أي أن أرضي اللوحة الإلكترونيـة لـيس حيـادي المنبـع ، ولا الأرضي العام للشبكة الكهربائية ، وعليه فإن أرضي اللوحة الإلكترونية هـو مخـرج مستقل يمكن اعتماده لإجراء القياسات الإلكترونية المطلوبة ومعرفة مستويات التـوتر المختلفة ضمن اللوحة ، ودون الاعتماد على حيادي الشبكة الكهربائيـة المتناوبـة أو أرضي الحماية لهيكل التجهيزات واللوحات الكهربائية .

لتحقيق عمليات العزل الكهربائي غالباً يتم استخدام المحولات ، وهي ملفات معزولـة تستخدم سواء لوحدات التغذية أو لنبضات القدح أو لجسور التقويم ولجسور التعـريج .

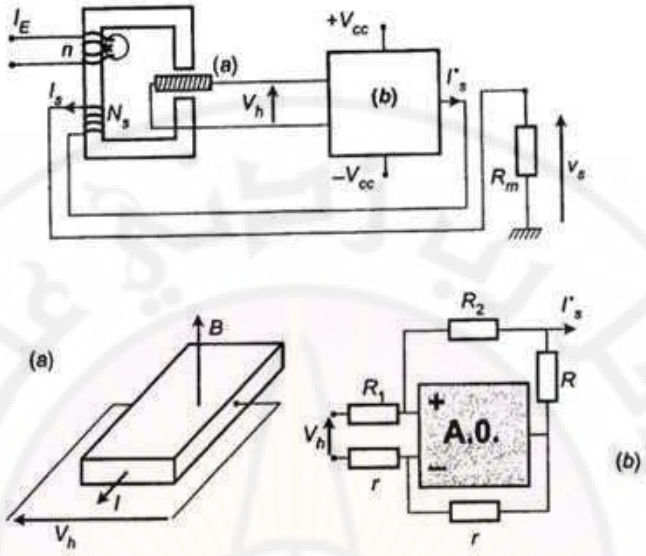
كما أنه يمكن استخدام عناصر إلكترونية ويمكن إعطاء فكرة أولية فيما يلي :

١ – استخدام لاقط ذي أثر هول Capteur a Effet Hall :

يتكون هذا اللاقط من دارة مغناطيسية ، شريحة (plaquette) نصـف ناقلـة تتوضـع ضمن ثغرة هوائية . ومن مضخم عمليات يوفر عملية التبديل من توتر إلـى تيـار ، ومن ملفين ملفوفين بشكل متعاكس (طرح الفيض) شكل (24-I) . الملف ذي الملفـات N_s يسرر فيه تيار I_s بشكل مسبق ، تيار الدخل Ie يطبق من الدارة الخارجية .

عند وجود حقل مغناطيسي عرضاني B ، الشريحة نصف الناقلة التي يمر فيها التيار I (ذات الدارة المغلقة) سوف يتحرض فيها فرق كمون بـ(mv) يتناسب مع جـداء B.I وثابت النفوذية للمادة ، هذه الظاهرة ، أي توليد فرق الكمون هذا بهذه الطريقة يطلـق عليها ،أثر هول، (Effet Hall) .

هنا التوتر V_h يتناسب مع B،ومع الفرق (nIe-nsIs) ،وعليه فإن التوتر V_h يقابل إشارة الخطأ ويجب في نظام تحكم معين أن يساوي الصفر، في هذه الظروف التيار I_s



الشكل (24-1) لاقط ذي أثر هول

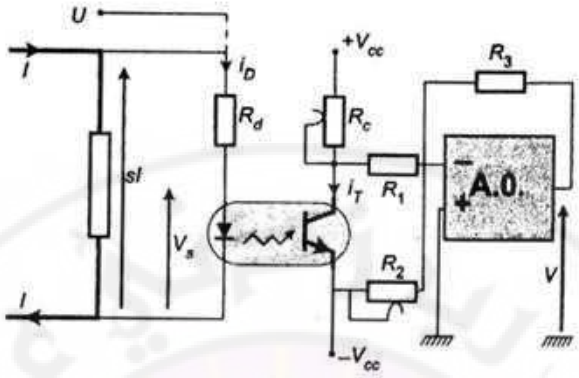
يمثل نسخة عن التيار I_e . وعلى طرفي مقاومة المقياس نحصل على توتر يتناسب مع $I_e(t)$ كقيمة وإشارة خاصة في حال عدم تشبع مضخم العمليات .

٢عازل ضوئي ذي إشارة تمثيلية : Photo Coupleur en Signaux Analogiques:

هذا العنصر هو مجموع ديود كهرضوئي يرسل أشعة تحت الحمراء (infrarouge) ومن ترانزستور ضوئي ، مستوى العزل بين الديود والترانزستور يصل عملياً حتى 3kV .

يتحمل الديود حالة التوصيل ويمر تيار يصل إلى 50mA وهبوط توتر 1.2V ، ولا يمكن تحمل توتر عكسي أكبر من (3V-) عند الحجز .

يتحمل الترانزستور 30 حتى 70 فولت عند الحجز .



Utilisation d'un photocoupleur en capteur analogique pour un courant ou une tension.

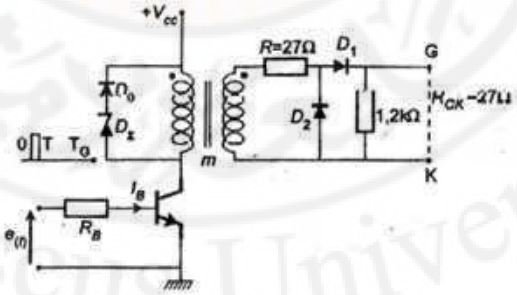
شكل (1-25) استخدام طريقة الربط الضوئي لإشارة تمثيلية لتوتر أو تيار

٣-المحولات النبضية : le Transformateur d impulsion :

المحول النبضي يتكون من نواة تحريضية (Ferrite) ذات حجم صغير ($2\text{-}3cm^3$) لف عليها ملفين أو ثلاثة ملفات معزولة عن بعضها البعض ، أحد الملفات (الأولي) موصل إلى ترانزستور تكبير في حالة التبديل لنقل النبضة الموجبة إلى بوابة الثيرستور والملف الثانوي يؤخذ إلى بوابة الثيرستور .

النبضات دورية ذات دور Tg و ذات توتر أعظمي V_{cc} تستمر لفترة T_1 .

دور التشغيل ينقسم لثلاثة مراحل ، شكل (1-27) .



$m = \frac{1}{3}$; L_1 = 7mH ; (ET) = 1000Vμs ;

V_{cc} = 12V ; D_z = 8V2 ; I_{GT} = 100mA ; β = 100 ;

$e_{(t)}$: niveau haut 12V ; f = 2kHz ; T≤100μs.

شكل (1-26) بنية دارة النبضات والمحول النبضي

a) مرور النبضة pussage de l impulsion

يمر في قاعدة الترانزستور تيار ثابت وتيار مجمع على شكل (Rampe)

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C(t) = \frac{V_{CC} \cdot t}{L_1}$$

في الواقع ، يتصرف الملف الابتدائي حسب حثيته الخاصة (inductance proper) ، وبما أن التيار الأولي ذو قيمة أولية مساوية للصفر ، يتشبع الترانزستور ، مما يسبب وضع الملف الابتدائي للمحول النبضي تحت التوتر V_{CC} .

الدارة المغناطيسية Circuit magnetique (C.M) هي في حالة تدفق متغير ، سيتولد توتر ثانوي قدره (mV_{CC}) . في دارة البوابة للثيرستور يمكن اعتبار المقاومة R1 الظاهرية تكافئ R+Rgx ، وعليه سيمر تيار في الثانوي قدره $\frac{mV_{CC}}{R_1}$ ، وعليه سيسحب تيار من الابتدائي يتراكب على تيار المغنطة قدره $\left(\frac{m^2 V_{CC}}{R_1}\right)$ وعليه :

$$I_C(t) = \frac{V_{CC} \cdot t}{L_1} + \frac{m^2}{R1} V_{CC}$$

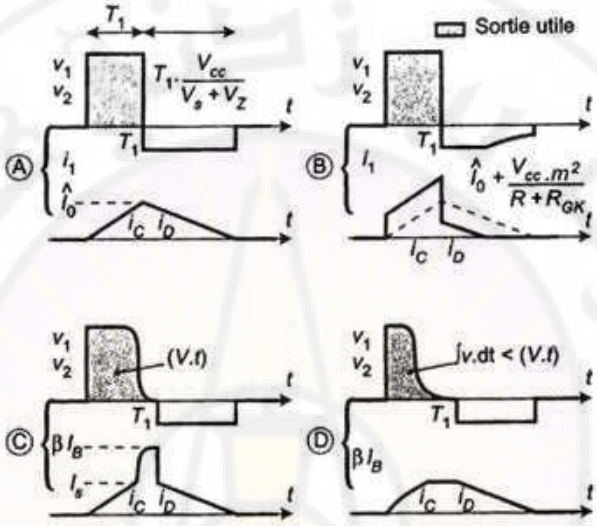
b) إنهاء المغنطة Demagnetisation

عند مرور النبضة المراد نقلها بالمستوى المنخفض ، يحجز الترانزستور ، التيار الأولي يغلق نفسه عبر الديودات والملف الثانوي ، واضعاً الملف الثانوي تحت توتر سالب $-V_2=-(V_Z+0.6)$ التوتر الثانوي mV_2 يولد تياراً في الثانوي يغلق نفسه عبر R و D_2 .

تناقص التيار الابتدائي خطي طالما أن الديود زنر في حالة توصيل ، بعد انعدامه ، يتناقص تيار الثانوي حتى يتم حجز الديود D2 . فترة هذه المرحلة هي من الرتبة $T_1 \cdot \frac{V_{CC}}{V_2}$ لأن التوترات في الملفات متناوبة . يرتفع توتر مجمع الترانزستور إلى القيمة $V_{CC}+V_2$.

c) الراحة Repos

كل التيارات تنعدم . يحجز الترانزستور عند التوتر V_{cc} . التدفق في الدارة المغناطيسية معدوم .



(A) Impulsion de durée $T_1 < 83\ \mu s$ transmise correctement ; secondaire à vide.
(B) Idem ; secondaire en charge.
(C) Impulsion de durée $T_1 > 83\ \mu s$ transmise partiellement ; le C.M. atteint la saturation, puis le transistor rentre en conduction.
(D) Impulsion mal transmise ; I_B trop faible ; le transistor rentre en conduction puis le C.M. est à flux constant.

شكل (27-1) نبضات الدخل والخرج للدارة المبينة في الشكل أعلاه (26-1) عند V_{CC}=12V

A : نبضة بفترة استمرار T_1>83µs يتم نقلها بسلامة ، الثانوي مفتوح .

B : نبضة بفترة استمرار T_1>83µs يتم نقلها بسلامة ، الثانوي محمل .

C : نبضة بفترة استمرار T_1>83µs يتم نقلها جزئياً . تصل الدارة المغناطيسية للتشبع ثم ينتقل الترانزستور للتوصيل .

D : نقل سيئ للنبضة ، تيار القاعدة ضعيف IB . ينتقل الترانزستور للتوصيل ثم تعمل الدارة المغناطيسية عند تدفق ثابت .

١-١٥ شروط العمل النظامي :

تشبع الترانزستور خلال المرحلة a :

$$I_C(T_1) \langle \beta I_B$$

$$\frac{V_{CC}}{L_1} T_1 + m^2 \frac{V_{CC}}{R_1} \langle \beta \frac{V_{CC}}{R_B}$$

إذا مر الترانزستور بحالة عمل خطية قبل انتهاء فترة تطبيق النبضة وعليه فإن الدارة المغناطيسية (C.M) الواقعة تحت تدفق ثابت لن تولد توتراً في ثانوي المحول النبضي الملف الابتدائي يقدم ممانعة ظاهرية (Impedance apparente) ضعيفة وسوف يعمل الترانزستور على نشر الحرارة لأن $V_{cc}>0$.

عدم تشبع الدارة المغناطيسية خلال المرحلة a :

مطال التيار المغناطيسي يجب أن يعمل على جعل الدارة المغناطيسية في حالة تدفق متغيرة :

$$\frac{V_{CC} T_1}{L_1} \langle I_{sat} = \frac{n_1 \Phi_{sat}}{L_1}$$

$$V_{CC} T_1 \langle n_1 \Phi_{sat} = ET$$

مساحة النبضة المراد تطبيقها على البوابة يجب أن تكون أقل من الجداء (ET) الخاصة بالمحولات (فولت ثانية) .

ضرورة وجود المرحلة c :

مرحلة الراحة يجب أن تكون موجودة ، حتى تغدو الظاهرة قابلة للتكرار وإلا فإن الدارة المغناطيسية ستتشبع خلال عدة أدوار . وعليه يمكن استخلاص نسبة الدور العظمى للنبضات (Rapport Cyclique)

$$\alpha_{max} = \frac{V_Z}{V_Z + V_{CC}}$$

إذا كنا نعمل في حدود الجداء (E.T) ، يمكن تحديد التردد الأعظمي للنبضات :

$$\frac{1}{f_{max}} = T_1 (1 + \frac{V_{CC}}{V_Z})$$

وإن الخواص التصميمية هي :

- قيمة الجداء (E.T) : تدفق الإشباع في الملف الأولي .
- النسبة m للتحويل بين الابتدائي والثانوي وهي غالباً تساوي (1) .
- الحثية الذاتية للملف الأولي L_1 .

كما في الشكل (26-1) على المستثمر التأكد من أن :

- مساحة النبضات المراد نقلها بهذا المحول أقل من الجداء (E.T) للمحول النبضي.
- اختيار الديود زنر مناسب مع نسبة الدور للنبضات .
- اختيار المقاومة R في الثانوي تحقق الإشعال الأكيد للثيرستور .
- أن يتحمل الترانزستور ضعف تيار المغنطة للمحول النبضي .
- أن المقاومة Rb مختارة بشكل جيد بحيث أن تيار القاعدة كافٍ لتحقيق التشبع للترانزستور .

١-١٦ دارات القيادة : BLOCS De Commande

١-١٦-١ مقدمة :

دارة القيادة تتكون حكماً من ما يلي :

- وحدة تغذية منظمة لتغذية الدارات التكاملية .
- محول لتوليد توترات التزامن لدوائر توليد النبضات الإلكترونية وتأمين العزل في مرحلة الدخل .
- محولات نبضية لتوصيل النبضات من دوائر توليد النبضات إلى بوابات الثيرستور وتأمين العزل .
- إيجاد مرحلة توليد الإزاحة بالطور بين نبضات القدح والموجات الجيبية الأساسية. في التطبيقات الصناعية يمكن تحقيق عمليات الإزاحة بالطور بالاعتماد على توتر داخلي ومقاومتين تشكلان مجزء توتر وغالباً ما تستخدم هذه الدارات في الدارات المفتوحة (baucle ouverte) كما يمكن اعتماد توتر خارجي للقيادة وخاصة للدارات ذات القيادة المغلقة (baucle fermee) .

- في أغلب الدارات يلزم استخدام قطار نبضات مع تحديد إمكانية التحكم بلحظة بدء النبضات ولحظة انتهائها .
- استخدام قواطع إلكترونية لإطلاق وحجز النبضات .

١-١٦ -٢ دارات الإزاحة بالطور للثيرستور :

لدراسة دارات القيادة للثيرستور ، يجب اعتماد ثلاثة عوامل رئيسية ، خواص البوابة للثيرستور ، نظام عمل المبدل (مقوم – مقطع – مدرج- ...عاكس) ، وأسلوب القيادة والتحكم للنظام .

في المبدلات الثيرستورية ، كل عنصر تقويم ثيرستوري من هذا النظام يجب أن يتلقى نبضة القيادة وبشروط عمل كافية لقدح (تردد النبضات ، موقع النبضات بالنسبة لتوتر المصعد ، سعة النبضات ، زمن استمرار النبضة ، زمن صعود النبضة ، مستوى العزل) ويجب أن تحافظ النبضات على هذه الشروط سواء عند الوصل للثيرستور أو عند تطبيق إزاحة في الطور عليه .

– كما أنه يطلب من دارة توليد النبضات غالباً ظروف تشغيل أخرى مثلاً يطلب تحديد أدنى زاوية تأخير في الطور ، أيضاً تحديد أقصى زاوية تأخير في الطور ، والقصد من ذلك التأكد من أنه مهما تغير توتر القيادة العام فإن نبضة القدح ستنزاح ضمن مجال معروف ، مثلاً يراد أن يعمل الجسر فقط كمقوم عندئذ تعطى محددات للزاوية Ψ بأن تتحرك ضمن المجال $5° \leq \Psi \leq 80°$. وأحياناً أخرى ، باستخدام نفس دارة القدح والجسر يطلب أن يعمل الجسر فقط كعاكس ، أي على زاوية التأخير في الطور أن تتحرك ضمن المجال $120° \leq \Psi \leq 170°$. هذه المحددات التي توضع أو تطبق على الدارة وتترك ثابتة بعدئذ تساعد كثيراً على عمليات التحكم والقيادة .

أيضاً يطلب من دارات القدح أن تعمل على حذف النبضات (Suppression des impulsions) . وهذا المبدأ يستفاد منه كثيراً عند قيادة محركات التيار المستمر بوساطة ما يسمى المبدلات العكسية بدون تيار دائر (وسنراه لاحقاً في دراستنا هذه) أو عند استخدام الثيرستور كقواطع ساكنة ، وذلك في أنظمة عدم انقطاع القدرة أو في المدرجات .

١-١٦-٣ المبدأ الأساسي في عمليات الإزاحة بالطور :

في جميع التطبيقات للجسور الثيرستورية ، يلزمنا إجراء إزاحة بالطور وذلك لتحديد مستوى التوتر المقوم أو التيار المار بالحمل . والمرجع الرئيس لتحديد موقع النبضات يكون توتر المصعد – المهبط في مجموعات التقويم (Alternatif/continu) أو نبضة خاصة في أنظمة التحويل من مستمر إلى مستمر (Continu-Continu) .

١-١٦-٤ القيادة الشاقولية الخطية Commande Vertical Lineaire

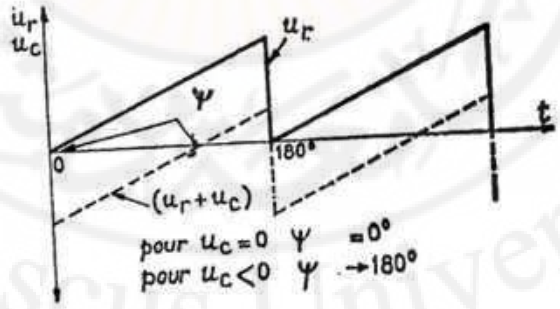
الإزاحة الخطية لنبضات القدح يمكن الحصول عليها باعتماد مبدأ تراكب التوترات ، التوتر الأولي والذي يعتمد كمرجع (u_r) هو غالباً بشكل سن منشار (يولد بطرق عديدة) ، التوتر الثاني هو توتر القيادة أو التحكم لتحقيق الإزاحة ونطلق عليه (u_c) . ترتبط زاوية الإزاحة مباشرة وبشكل خطي مع توتر القيادة (u_c) وذلك تبعاً للعلاقة :

$$\psi = k\frac{u_c}{u_{cm}}$$

u_{cm}:أقصى توتر قيادة أو تحكم .

نرى من الشكل أدناه (1-28) عند كون $u_c=0$ أن زاوية التأخير في الطور $\psi=0$.

$$\psi = k\frac{u_c}{u_{cm}}$$



— Commande linéaire verticale.

شكل (1-28) القيادة الخطية الشاقولية

وعند كون uc<0 وبحدود ucm فإن زاوية التأخير في الطور Ψ=180° .

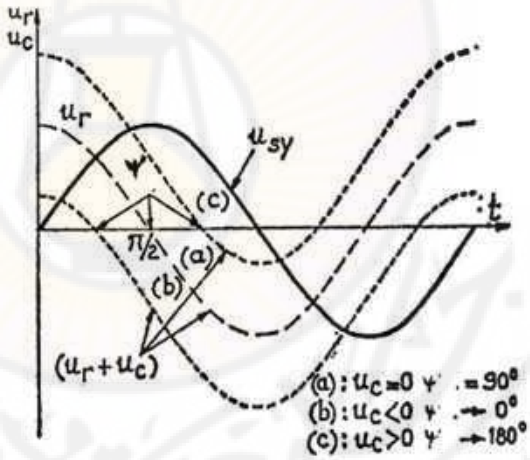
هذا النوع من القيادة الشاقولية يستخدم غالباً في أنظمة التحويل من التيار المتناوب إلى التيار المستمر وفي أنظمة التحويل من المستمر إلى المستمر .

١-١٦-٥ القيادة الشاقولية بقاطع التجيب : Commande Verticale arc-Cosinus

:

الإزاحة بواسطة (arc-Cosinus) قاطع التجيب نحصل عليها أيضاً بوساطة تراكب توترين ، الأول ur وهو موجة تجيبية (غالباً ما تكون تجيب توتر المصعد) . والتوتر الثاني هو (uc) توتر التحكم ، وهذه العملية تعطي تابع التحويل من الشكل التالي :

$$\psi = arc\cos\frac{u_c}{u_{cm}}$$



Commande verticale « arc-cosinus ».

شكل (29-1) القيادة الشاقولية (قاطع التجيب)

في الشكل أعلاه عندما :

$$u_c = 0 \quad \psi = 90°$$

$$u_c < 0 \quad \psi \to 0°$$

$$u_c > 0 \psi \to 180°$$

هذا النوع من القيادة يوافق وبشكل جيد أنظمة التحويل من التيار المتناوب إلى المستمر ، المختلطة والمقادة والتي تطبق على أحمال تحتاج لدقة عالية في التنظيم . كسب المبدل (G) هو جداء كسب كل مرحلة . G_1 (كسب المقوم) و G_2 كسب دارة القيادة .

$$G = G_1.G_2 = \frac{\Delta Ed}{\Delta a}.\frac{\Delta a}{\Delta u_c}$$

حيث :

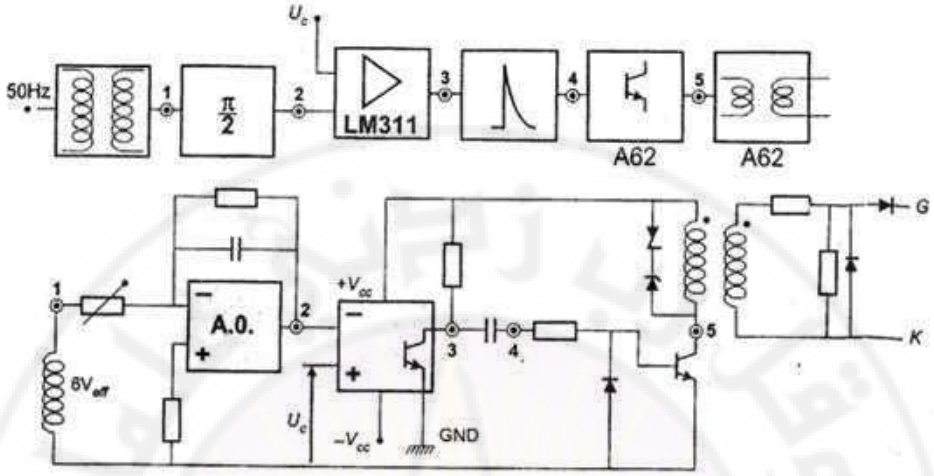
Ed: القيمة المتوسطة للتوتر المقوم أو (U_c) . هذا الكسب هو العامل المؤثر في حلقة التنظيم ، ومعرفته غالباً أساسية في الدراسة الديناميكية للنظام ، أفضل حالة هو كون :

$$G = \frac{Ed}{u_c} = cte \quad - \text{ ثابتاً}$$

١-١٧ دارات القيادة للجسور الأحادية الطور :

نبضة القدح الواجب تطبيقها على بوابة الثيرستور ، يجب أن تكون متزامنة مع موجة التوتر الجيبية المطبقة على مصعد الثيرستور . إذا أخذنا كمثال بسيط دارة توليد النبضات المبينة بالشكل (30-1) ، والتي يمكن اعتبارها دارة قدح وحيدة الطور (monoalternance) تولد نبضة وحيدة كل (20ms) يمكن التحكم بإزاحتها بالنسبة للموجة الجيبية المطبقة على المصعد وذلك بتغيير التوتر U_C (توتر التحكم) .

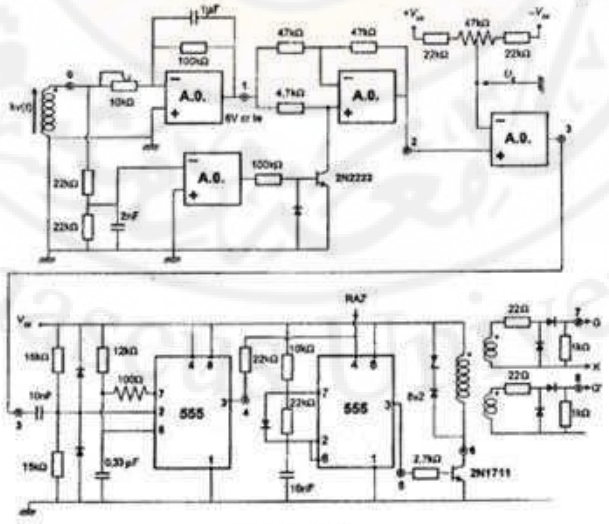
لنر كيف يمكن الحصول على مولد نبضات ذي نبضتين وذلك لقدح الثيرستور Th_1 عند اللحظة δ/w والثيرستور Th_2 عند اللحظة $(\pi+\delta)/w$، ويمكن الحصول على نبضتين بمضاعفة الدارة المبينة بالشكل (30-1) واستخدام ملفين على ثانوي محول العزل بينهما نقطة وسط أو بدون نقطة وسط ، توتر التزامن لكل منهما مزاح عن الآخر بزاوية 180° كهربائية . عند وجود نقطة وسط توصل إلى أرضي دارة توليد النبضات (masse) .



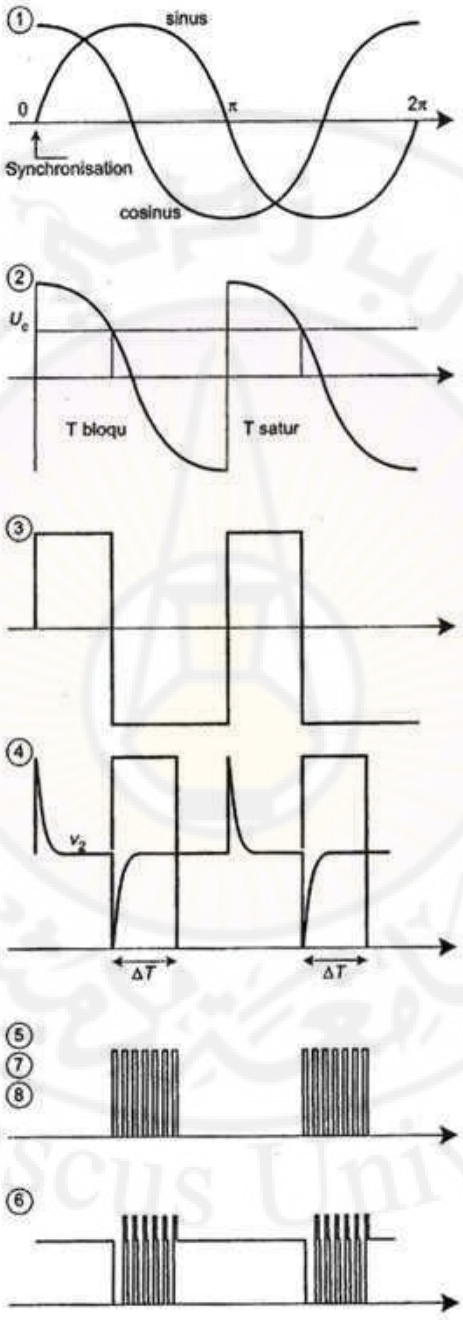
شكل (30-1) دارة توليد نبضات خطية لمقوم أحادي الطور

مولد نبضات خطي لتقويم موجة جيبية وحيدة الطور .

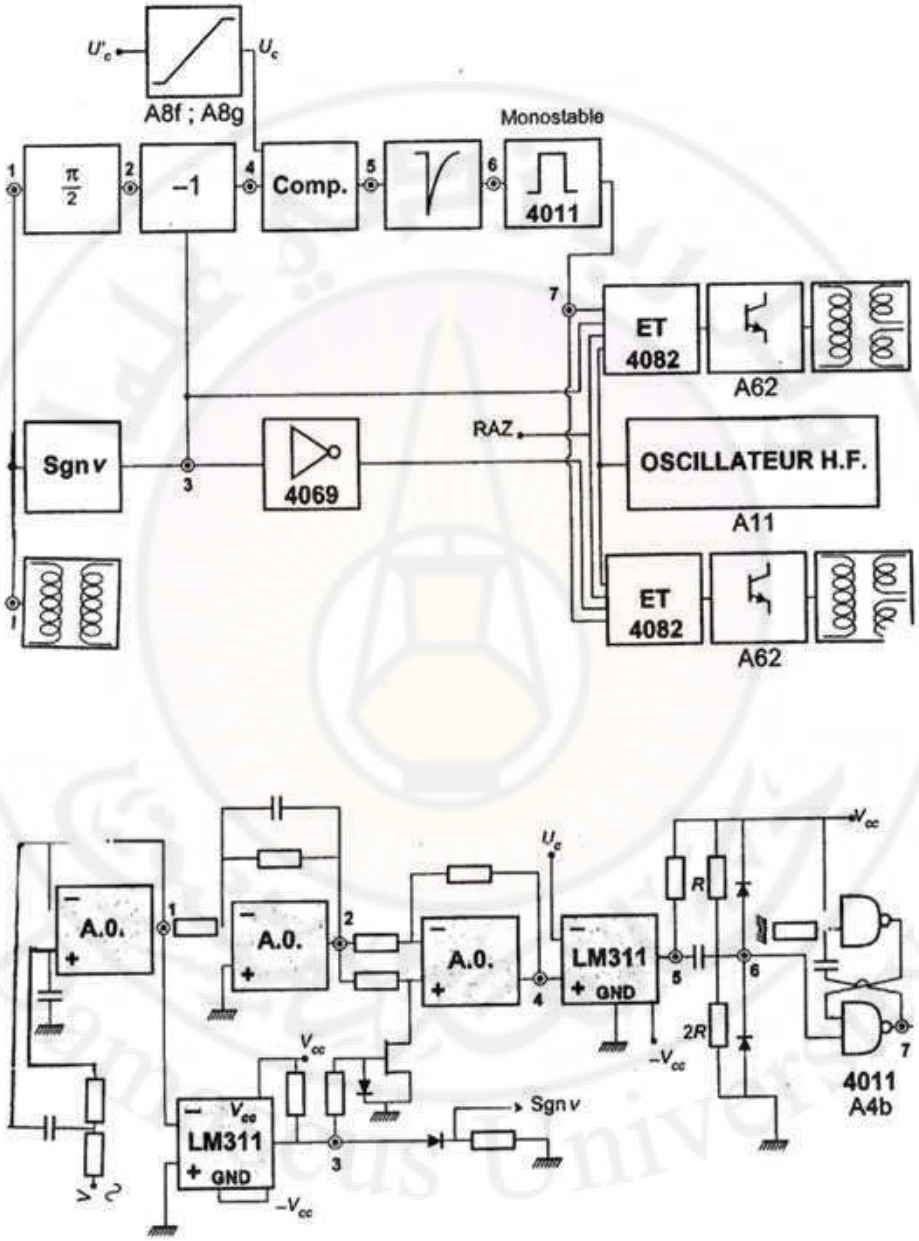
دارة النبضات المبينة بالشكل (31-1) باستخدام ملف وحيد هذه تعطي نبضات كل 10ms ويمكن استخدامها لقدح ثيرستورين في الجسر P_2 (مضاعف تردد ذو نقطة وسط) أو PD_2 جسر أحادي الطور مختلط وكما نرى يمكن استخدام محول نبضي بملفين في الثانوي . والشكل (31-1) يبين موجات الدخل ونبضات الخرج.



شكل (31-1)



شكل (32-1) مراحل توليد النبضات للشكل (31-1)



شكل (1-33) دارة قيادة أو قدح لجسر أحادي الطور

١-١٧-١ كيف يمكن قدح جسر أحادي الطور (تفرعي مضاعف) PD_2 مكون من أربعة ثيرستورات :

هنا أيضاً يمكن طرح حلين :

- استخدام تركيبين من النموذج المبين في الشكل (1-30) متماثلين تماماً ، لها نفس توتر الدخل $\hat{U}_{\ell} \cos wt$ ونفس قيمة توتر التحكم U_C . ويلزم وصل ثانوي المحول النبضي للثيرستورات المتقابلة في الجسر . الثيرستورات الأربعة عندئذٍ تتلقى نبضات قدح بشكل مماثل ، الثيرستورات في الذراع الواقع تحت الحجز سوف تقدح مسببة تطبيق توتر عكسي سالب على الثيرستورات الموصلة ، وهذه الثيرستورات الموصلة سوف تحجز على مبدأ الحجز الطبيعي رغم وجود نبضات قدح على بواباتها .
- يمكن أيضاً اعتماد تركيب مماثل للشكل (1-33) حيث تم إدخال بعض التحسينات:

- ترشيح توتر التزامن الجيبي لتجنب التوافقيات المحمولة من الشبكة والموجات الأخرى . وعلى المرشح ودارة الإزاحة تحقيق إزاحة أولية لموجة التوتر قدرها (10°+80°=90°) من أجل توتر بتردد 50Hz هرتز .
- توليد قطار نبضات خلال فترة ثابتة ، عن طريق تغيير حالة وحيد الاستقرار (monostable) وهذا يسهل عملية قدح الثيرستور عند الأحمال التحريضية .
- توقيت قطار النبضات بالاستعانة ببوابة ET على أحد المحولات النبضية تبعاً لإشارة التزامن V . حيث من الضروري الربط بين توتر التحكم والاستطاعة المطلوبة .
- وضع قواطع إلكترونية في الدارة . حيث تتوفر مقلعات صناعية إلكترونية ذات قيادة رقمية في العديد من التجهيزات الحديثة .

١-١٧-٢ قيادة جسر ثلاثي الطور تفرعي بسيط P_3 :

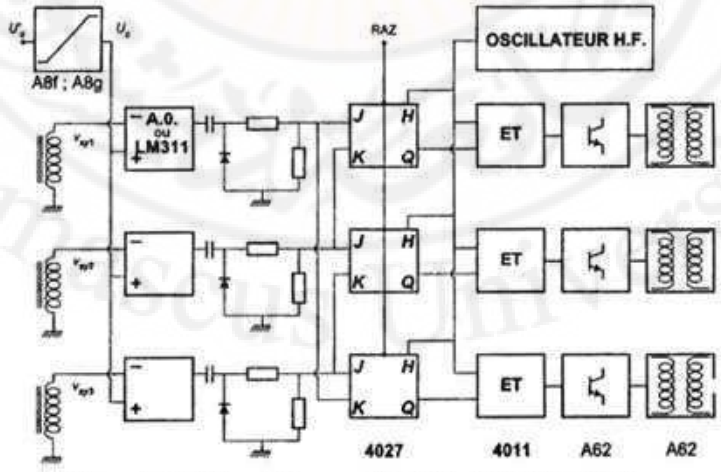
دارة القيادة لجسر ثلاثي الطور تفرعي بسيط P_3 أو PD_3 نصف مقاد ، تتطلب توفير ثلاث نبضات (ثلاثة مخارج مستقلة) كل منها يولد نبضة كل 20ms ، مزاحة عن النبضة الأخرى بمقدار ثلث الدور أو 120° ، أو باستخدام توترات تزامن هي بالأصل مزاحة عن بعضها البعض بـ 120° بين كل طور والآخر . أي استخدام ملفات ثلاثية الطور متوضعة على محول ثلاثي الطور ، كل ذراع من أذرع المحول الثلاث سيقدم توتر تزامن مزاح عن الطور الآخر بالزاوية المطلوبة .

الشكل (34-1) ، يمتاز بإمكانية تقديم ثلاثة سلاسل نبضات كل منها بعرض 120° ومزاح عن الآخر بمقدار 120° أيضاً تبعاً لتوترات التزامن .

وضع القلاب JK في حالة الصفر (Zero) تسمح بتوقيت وتحديد نقطة البدء Q=0 لكل القلابات وخاصة عند تطبيق التوتر على الكروت الإلكترونية .

القاطع الإلكتروني يمكن التدخل بأغراض عديدة ، منها توليد نبضات بتردد عال ، حجز النبضات ، تبديل توتر التحكم من توتر مرجعي إلى آخر .

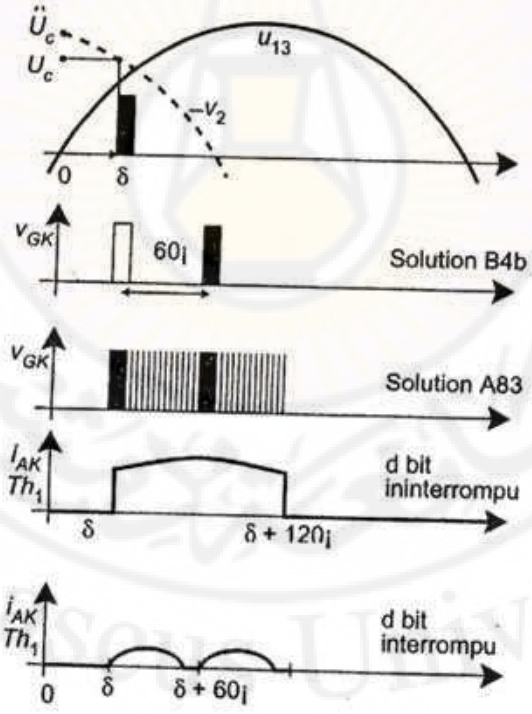
يمكن استخدام التركيب المبين في الشكل (34-1) أعلاه لقيادة جسر ثيرستوري PD_3 وذلك بمضاعفة عدد الملفات في ثانوي محول التزامن وعدد الدارات الإلكترونية لتوليد النبضات . أو بالاعتماد على ما سيرد بعد قليل .



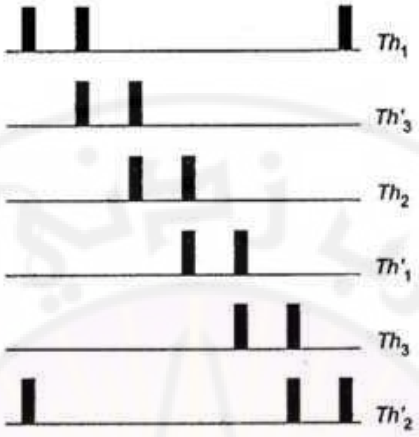
شكل (34-1) دارة قدح لجسر P_3 او PD_3 نصف مقاد

١-١٧-٣ قيادة جسر كريتز ، تفرعي مضاعف PD_3 ثيرستوري :

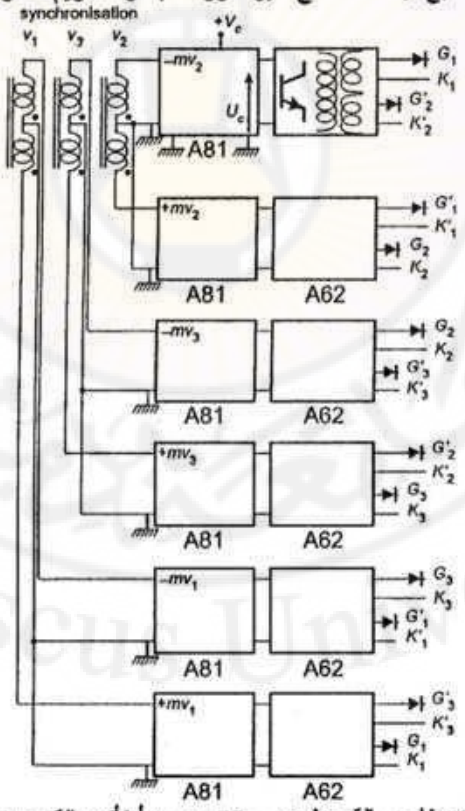
أشرنا أعلاه لإمكانية استخدام الدارة (1-34) في قيادة جسر ثلاثي الطور مضاعف PD_3 وذلك عن طريق توفير نبضات قدح بفترة استمرار قدرها120° وبمبدأ قيادة قاطع التجيب (Arc Cosinous) . سوف نعرض الآن دارة قدح وقيادة بحيث أن كل ثيرستور خلال الدور سوف يتلقى نبضة قدح (ذات إزاحة مقادة بالتوتر U_c بدلالة التوتر الجيبي المرجعي).ونبضة أخرى لتأكيد الوصل مزاحة بمقدار 60° شكل (1-35) وشكل (1-36).



شكل (1-35) ضرورة وجود نبضة ثانية لجسر مضاعف ثلاثي الطور



شكل (1-36) تتابع نبضات القدح لثيرستورات جسر التقويم التفرعي المضاعف



شكل (1-37) عناصر القدح لجسر PD_3 مع مبدأ تأكيد القدح بعد 60° درجة

عملية القدح المضاعفة تغدو ضرورية في التركيبات حيث يعمل ثيرستورين على التسلسل في كل مرحلة من مراحل التوصيل ، وذلك كما في الجسر التفرعي المضاعف PD3 ، حيث أن مسار التيار يتغير كل (1/6) من الدور (سدس الدور) وبشكل مستمر متتابع . وعليه فإن إعادة تطبيق نبضة على الثيرستور الذي كان موصلاً يغدو ضرورياً في حال كون الحمل ذا تيار متقطع أو غير مستمر .

بالنظر للشكل (37-1) ، كل دارة قدح تملك مرحلة مقارن بين توتر التحكم والقيادة UC والتوتر المرجعي الجيبي ، وتولد عندئذٍ نبضة في لحظة التقاطع وتحتاج الدارة لوحيد استقرار حتى نتمكن من تحديد عرض النبضة النهائي .

كما في الشكل (30-1) . على نبضات القدح هذه ، أن تكون ذات عرض (استمرار النبضة) غير كبير أو بالأحرى أصغري ، وذلك لتوفير إمكانية قدح ثيرستورين بآن واحد . حيث في المحول النبضي الأخير ثم وضع ملفين في الثانوي كل بوابة من بوابات الثيرستورات موصلة إلى ملفين مختلفين لمحولين نبضيين وديودات العزل تمكن من تجنب تأثير النبضات على بعضها البعض .

الشكل (37-1) يوضح دارات القدح لجسر ثلاثي الطور مضاعف PD_3 مقاد وإمكانية تحقيق نبضات تأكيد الوصل اللازمة . كما أن الشكل (36-1) يبين تتابع نبضات القدح ونرى بشكل عام أن سلم نبضات القدح مزاح بمقدار (60°) درجة بين كل نبضة والأخرى وهذا يسمح لنا بإعادة تسمية عناصر الجسر الثيرستوري المقاد استناداً للحظة تطبيق النبضات لتصبح (6-5-4-3-2-1) دلالة على زمن تطبيق النبضة كل (60°) درجة .

الفصل الثاني

مجموعات التقويم التفرعية البسيطة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مجموعات التقويم التفرعية البسيطة

٢-١ مقدمة :

القوى المحركة الكهربائية المتولدة في معظم الآلات الكهربائية ذات أصل كهرومغناطيسي ، حيث يتم توليدها نتيجة التغيير الدوري للتدفق المغناطيسي عبر ملفات الآلة ، هذه القوى المحركة الكهربائية متناوبة وذات قيمة متوسطة معدومة .

إذاً يوجد لدينا سواء على أطراف ملفات المولد أو في أية نقطة من نقاط شبكة التوزيع توترات متناوبة ، وشكل الموجة فيها أقرب ما يكون للشكل الجيبي .

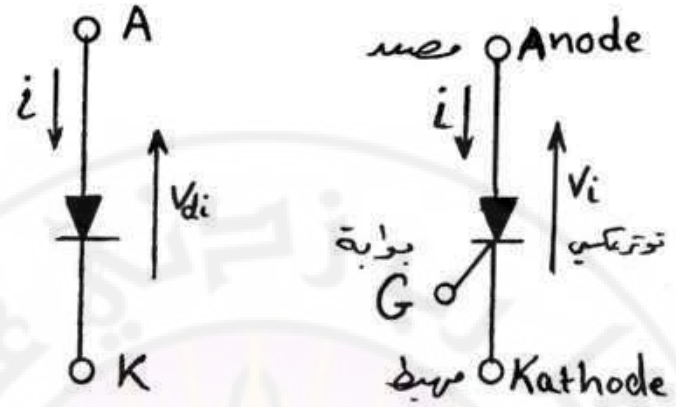
للحصول على توتر مستمر انطلاقاً من التوتر المتناوب هذا ، يجب المرور بمرحلة التقويم ، والتقويم إما يكون ميكانيكياً ، كما في حالة المجمع الدوار ، والمسافر الثابتة (مولد التيار المستمر) أو بوساطة (مجموعات التقويم) والتي تقوم بهذه العملية اعتماداً على عناصر ثابتة ستاتيكية ، مثل الديود أو الثيرستور .

لا يمكن تمييز الأنواع المختلفة لمجموعات التقويم عن بعضها بعضاً ، بنوعية عنصر التقويم المستخدمة أو طريقة توصيله ولكن عادةً يتم تمييز هذه المجموعات بطريقة توصيل مجموعة الملفات الحاملة للقوة المحرك الكهربائية أو التوتر المراد تقويمه .

٢-٢ عناصر التقويم والمقومات :

مهما اختلفت طريقة تصنيع المقومات فإن المقوم هو العنصر الذي يسمح بمرور التيار (i) في الاتجاه من المصعد (A) إلى المهبط (K) شكل (1-2) هذا الاتجاه يعرف بالاتجاه الموجب أو الدائم للتيار ، وبالعكس ، يمنع مرور التيار من المهبط باتجاه المصعد الاتجاه العكسي .

عندما يمر التيار في العنصر يكون في حالة توصيل وعند انقطاع التيار المار نطلق على العنصر أنه في حالة حجز .



شكل (1-2)

لكي يتصف عنصر التقويم بخصائص جيدة يجب أن يتحقق ما يلي :

- عندما يكون عنصر التقويم في حالة توصيل فإن التوتر الموجب على طرفيه (مصعد- مهبط) V_D يجب أن يكون أصغر ما يمكن وذلك لكي لا تزداد الاستطاعة الضائعة فيه (V_{Di}) وأن تكون هذه الاستطاعة مهملة بالنسبة إلى الاستطاعة المنقولة .
- عندما يكون عنصر التقويم حاجزاً ، التيار العكسي (i) فيجب أن يكون صغيراً قدر الإمكان . ونتيجة حجزه للتوتر فإن التوتر العكسي على طرفيه سوف يرتفع ولذا على عنصر التقويم أن يتصف بخصائص تمكنه من تحمل هذا التوتر العكسي الناشئ وأن يكون بعيداً عن حالة الخرق العكسي .
- يزداد عنصر التقويم أفضلية كلما انخفض هبوط التوتر المباشر عليه (حالة التوصيل) وكلما صغرت قيمة التيار العكسي المارة في حالة الحجز .

ويحدد مجال استخدام عنصر التقويم أو حدوده بـــ :

- القيمة (الوسطى أو الفعالة حسب الحالة) العظمى للتيار المباشر المار .
- القيمة اللحظية العظمى للتوتر العكسي المتشكل عليه .

نطلق اسم ديود Diode على المقوم المؤلف من طرفين مصعد ومهبط ، وفي حالة إضافة طرف ثالث ، أو ما يسمى البوابة Gachette نحصل على الثيرستور ، وفي هذه الحالة مع أن توتر المصعد A أكثر إيجابية من توتر المهبط K فإن عنصر التقويم

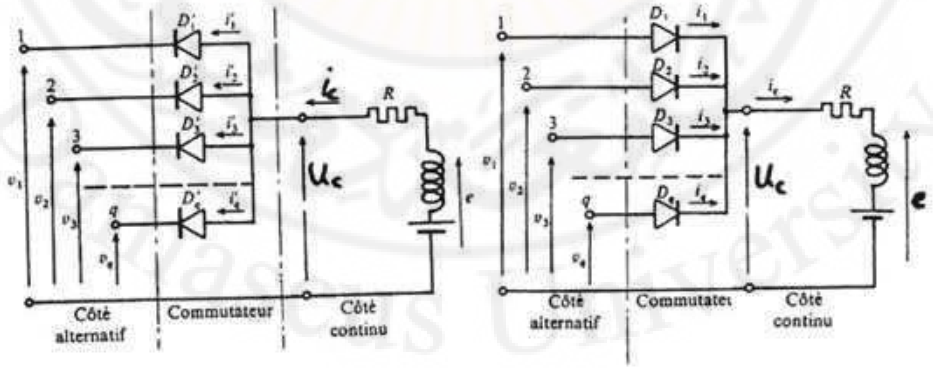
(الثيرستور) لا يسمح بمرور التيار ويترك أمر القيادة للبوابة التي عن طريقها يتم التحكم بلحظة التوصيل للثيرستور . والتي يطبق عليها عادةً نبضة موجبة تنقل الثيرستور من حالة الحجز إلى حالة التوصيل ، وحسب لحظة تطبيق هذه النبضة تحدد قيمة زاوية التأخير في الطور .

تعمل مجموعات التقويم التي تستخدم الديود كعناصر تقويم بما يسمى مجموعات التقويم غير المقادة ، بينما المجموعات التي تستخدم الثيرستور كعناصر تقويم تعمل بما يسمى مجموعات التقويم ذات التأخير في الطور أو المقادة .

٢-٣ أسلوب التقويم :

نطلق عبارة مقومات على مجموعة عناصر التقويم (ديود-ثيرستور) الموضوعة على نهاية الأطراف التي يظهر فيها التوتر المتناوب المراد تقويمه ، من جهة ، وبين طرفي الخرج حيث نحصل على التوتر المقوم من جهة أخرى .

تسمح طريقة تجميع عناصر التقويم بتمييز نوعين من أنواع التقويم والشكل التالي يوضح طريقة التوصيل شكل (2-2) بفرض أن $V_1,V_2,V_3,.....$ توترات الدخل للمقومات ، وأن U_c توتر الخرج . نفترض للسهولة أن هبوط التوتر المباشر V_D على عناصر التقويم (ديود-ثيرستور) مهمل .



(b) (a)

الشكل (2-2)

a- المقومات ذات الاتجاه الموجب . b-المقومات ذات الاتجاه السالب .

٢-٣-١ المقومات ذات الاتجاه الموجب :

المقوم ذو الاتجاه الموجب يشكل بوصل مهابط عناصر التقويم (الديود- الثيرستور) إلى بعضها بعضاً بنقطة واحدة كما في الشكل (2-2a) .

يساوي دائماً توتر الخرج أكبر توتر دخل موجب . مثلاً ، في لحظة ما كان V_1 أكثر إيجابية من V_2وV_3 عندئذ الديود D_1 يكون موصلاً ، وتوتر الخرج $U_c=V_1$.

التيار المار في الديود $i=\frac{V_1-e}{R}$.

حيث :

e : القوة المحركة الكهربائية المتواجدة في دارة الخرج (الحمل) .

التوتر على أطراف الديودات الأخرى سالب وهو :

$$V_{D_2}=V_2-U_c=V_2-V_1\langle 0$$

$$V_{D_3}=V_3-U_c=V_3-V_1\langle 0$$

إن توصيل الديود D1عمل على نقل باقي الديودات إلى حالة الحجز .

ونحصل على النتيجة نفسها عندما يكون V_2 أكبر من V_1و V_3 وعندئذ الديود D_2 يكون موصلاً والديودان D_1 وD_3 في حالة حجز . وهكذا حتى يأتي دور الديود D_3 . وفي الوقت الذي يكون فيه D_1 موصلاً يجب أن يتحقق كون :

$$i_1=\frac{V_1-e}{R}\rangle 0$$

ذا قيمة موجبة أي أن مرور التيار خلال الديود D_1 ذو اتجاه موجب .

٢-٣-٢ المقومات ذات الاتجاه السالب :

المقوم ذو الاتجاه السالب يشكل بتوصيل مصاعد عناصر التقويم (الديود- الثيرستور) إلى نقطة واحدة . شكل (2-2b) .

توتر الخرج يساوي أكبر توتر دخل سالب (التوتر الأكثر سالبية) مثلاً عند كون V_2 أصغر من V1و V3 يكون الديود D2 موصلاً عندئذ $U_c=V_2$

$$i_2=\frac{e-V_2}{R}$$ و

يمكن التأكد أيضاً من أن توصيل أي ديود يعمل على حجز باقي الديودات :

مثلاً :

$$V_{D_2} = U_c - V_1 = V_2 - V_1 \langle 0$$
$$V_{D_3} = U_c - V_3 = V_2 - V_3 \langle 0$$

التوتر الأكثر سالبية يمكن أن يكون موجباً أو سالباً، ولكن يجب أن يكون أصغر من (e).

٢-٣-٣ ملاحظات :

١- إذا كانت كل التوترات في حالة المقومات ذات الاتجاه الموجب أصغر من (e) فإن أي مقوم لا يمكنه العمل عندئذ حيث (e=Uc) . كذلك في حالة المقومات ذات الاتجاه السالب ، إذا كانت كل التوترات أكبر من (e) فإن أي مقوم لا يمكنه العمل أو التوصيل.

٢- في حالة استبدال الثيرستور بالمقومات المكونة من الديود نحتفظ بالمبادئ السابقة نفسها ولكن يلزم دائماً تطبيق النبضة في اللحظة التي يكون فيها هذا الثيرستور مستوفياً لشروط الإقلاع أي أنه في حالة المقومات ذات الاتجاه الموجب ، فرضاً D_1 فيجب أن يقلع عند كون $V_1>V_2,V_3$.....etc .

في حال كون D_1 ثيرستوراً لا يقلع إلا عند تطبيق النبضة الموجبة على بوابته .

٢-٤ طرق التقويم الثلاث للثيرستور :

تتصف مجموعات التقويم وتتميز عن بعضها بعضاً بعدد الأطوار q للتوتر المتناوب المزمع تقويمه وكذلك تتميز بطريقة توصيل الملفات التي تحمل التوتر المتناوب ، ولذا فإنه يمكننا تشكيل ثلاثة نماذج أو طرق لتقويم التوتر المتناوب وهي :

١- مجموعات التقويم التفرعية البسيطة .

٢- مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة .

٣- مجموعات التقويم التسلسلية .

وسنحاول الاستمرار في هذا الفصل بشرح مجموعات التقويم التفرعية البسيطة على أن نفرد فصلاً ثالثاً لمجموعات التقويم التفرعية المضاعفة وفصلاً رابعاً لمجموعات التقويم التسلسلية .

٢-٥ المجموعات ذات التقويم التفرعي البسيط (مجموعات غير مقادة) :

٢-٥-١ دراسة التوترات والتيارات :

لتسهيل معرفة قيمة التوتر المقوم وحساب التيار المستمر المتولد،وكذلك التوتر العكسي المتشكل على عناصر التقويم وحساب التيارات في ملفات المحولات المستخدمة ، فإننا سوف نهمل مقاومة وممانعة(Resistance et Reactance)شبكة التغذية وملفات المحولات ،كما أننا سنفترض أن هبوط التوتر على عناصر التقويم ذو قيمة صغيرة .وسنفترض أن تيار الخرج I_c ذو قيمة مستمرة بدون أي تعريج (Ondulation Residuelle) .

مهما كان عدد الأطوار المستخدمة سوف نرمز بـــ V_q.....V_3,V_2وV_1 للتوترات الجيبية ذات الدور T المتواجدة على أطراف الملفات متعددة الأطوار حيث أن توتر الأطوار يعطى بالعلاقات :

$$V_1 = V_m \sin wt$$

$$V_2 = V_m \sin(wt - \frac{2\pi}{q})$$

$$V_q = V_m \sin(wt - (q-1)\frac{2\pi}{q}$$

وحيث أن :

Uc : التوتر المقوم ذو القيمة المتوسطة U_{C0}.

V_{D2},V_{D1} : التوتر على طرف الديود المرافق (عنصر التقويم) .

i_2,i_1 : التيار المار في الديود (عنصر التقويم) .

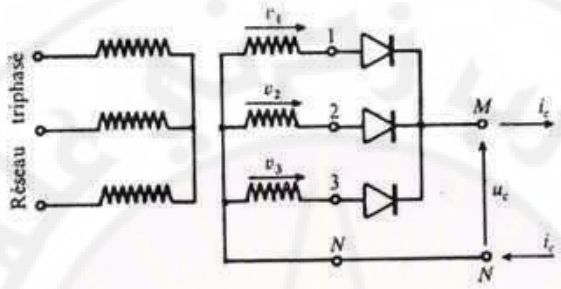
i_{S2},i_{S1} : التيار في ملفات المحول الثانوي .

I_{p2},i_{p1} : التيار في ملفات المحول الابتدائي .

J_{P2},J_{P1} : التيار في خط التغذية .

I_c : التيار المستمر المتولد بوساطة مجموعة التقويم .

يعطى المخطط العام لدارة التقويم التفرعية البسيطة بالشكل (3-2) .



شكل (2-3)

تمثيل عام لمجموعة التقويم التفرعية البسيطة

٢-٥-٢ طريقة عمل مجموعة التقويم :

عند توصيل أي عنصر من عناصر التقويم ($D_1,D_2,D_3,\ldots\ldots$) أو إقلاعه فإن توتر النقطة M يصبح مساوياً أكبر توتر موجب بين توترات الأطوار q المشكلة للنجمة .

خلال الفترة :

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر V_1 هو أكبر التوترات إيجابية فيما بين الـ q توتراً . إذاً الديود أو (الثيرستور) D_1 سيكون موصلاً . والتوتر المقوم U_c يصبح مساوياً V_1 عندئذ الديود والملف الموصل فيه يمر بهما التيار I_c نفسه .

كمثال تطبيقي ولتوضيح هذه القيم ، سنأخذ حالة وجود محول ثلاثي الطور ، فيه ثلاث ملفات في الثانوي ، الشكل (2-4) واللحظة $\left(\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}\right)$ تعني الزاوية (30°) بعد الصفر .

واللحظة $\left(\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}\right)$ تعني الزاوية (150°) بعد الصفر .

هذا يعني أن الديود لا يبدأ التوصيل من الصفر إنما يبدأ بعد الزاوية (30°) التي عندها يكون التوتر V1 أكبر التوترات إيجابية . وهذه الزاوية تختلف تبعاً لعدد الأطوار وتصل إلى القيمة (60°) من أجل q=6 ومن أجل q=2 كما في الشكل (2-4) نجد أن الديود يبدأ التوصيل من الصفر .

وخلال الفترة التالية :

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4}+\frac{3T}{2q}$$

التوتر V_2 سيصبح أكبر التوترات الموجبة ويدخل الديود D_2 في حالة التوصيل ، بينما الديود D_1 ينتقل لحالة الحجز . عندئذ U_0 التوتر المقوم يساوي V_2 والتيار المار في D_2 والملف الموافق يساوي أيضاً I_0 . وهكذا تستمر مجموعة عناصر التقويم بالعمل حيث ينتقل التيار I_c من ديود إلى أخر حسب قيمة التوتر المطبق عليه ويستمر مروره في كل ديود فترة لا تتجاوز $\left(\frac{T}{q}\right)$.

٢-٥-٣ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم :

خلال الفترة :

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر U_c ذو قيمة تساوي :

$$U_c = V_m \,.\, \sin wt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

وهو ذو قيمة أعظمية في منتصف هذا المجال ويساوي :

$$U_{c_{max}} = V_m$$

وذو قيمة أصغرية في كلتا نهايتي مجال التوصيل ويساوي عندئذ :

$$U_{c_{min}} = V_m \,.\cos\frac{\pi}{q}$$

خلال الفترة :

$$\frac{T}{4}+\frac{3T}{2q} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر المقوم يساوي :

$$U_c = V_2 = V_m \sin(wt - \frac{2\pi}{q})$$

هذه القيمة تساوي القيمة السابقة لـــ U_c عندما يكون D_1 هو الموصل ولكن بعد زاوية $\left(\frac{2\pi}{q}\right)$. فالتوتر المقوم إذاً مشكل من (q) قمة جيبية لكل دور T ويمكن حساب قيمتها المتوسطة بإجراء التكامل التالي :

$$U_{c_0} = \frac{q}{T} \int_{\left(\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}\right)}^{\left(\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}\right)} V_m \sin wt.dt$$

$$U_{c_0} = \frac{q}{\pi} V.\sin\frac{\pi}{q} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

التوتر المقوم U_c الناتج ليس مستمراً مئة بالمئة بل إنه متعرج بعض الشيء .

حيث أننا نجد (q) قمة في كل دور ، وتتناقص قيمة هذا التعرج كلما زدنا عدد الأطوار المقومة (q) . لذا لدينا عامل K0 نطلق عليه عامل التعريج حيث أنه يبين التعريج بالنسبة للقيمة المتوسطة للتوتر المقوم .

ويعطى عامل التعريج بالعلاقة :

$$K_0 = \frac{U_{c_{max}} - U_{c_{min}}}{2U_{c_0}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

بالتعويض عن $U_{c_{max}}$ و $U_{c_{min}}$ و U_{c_0} بالقيم المحسوبة سابقاً نرى :

$$K_0 = \frac{V_m - V_m.\cos\frac{\pi}{q}}{2\frac{q}{\pi}V_m.\sin\frac{\pi}{q}}$$

$$K_0 = \frac{V_m(1-\cos\frac{\pi}{q})}{\frac{2q}{\pi}V_m.\sin\frac{\pi}{q}} = \frac{\pi}{2q}.\frac{1-\cos\frac{\pi}{q}}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \frac{1-\cos\frac{\pi}{q}}{\sin\frac{\pi}{q}} \quad \text{.....(4)}$$

ملاحظات :

يبين غالباً عدد الذروات الجيبية في الدور T للتوتر المقوم رتبة التوتر المقوم . وأن الإشارة لهذه الرتبة ومعرفتها تكفي لتمييز نوعية التوتر المقوم الناتج .

ونسبة التعريج ، أو عامل التعريج ، يمكن دائماً حسابه من العلاقة (4) مهما كان نوع مجموعة التقويم المستخدمة .

لكي نرى أهمية التعرجات للتوتر المقوم U_c يمكن أيضاً إعطاء العلاقة بسلسلة فورية . إن التوتر المقوم من رتبة q له بالإضافة للقيمة المتوسطة U_{c0} مركبات جيبية ذات ترددات مختلفة .....و 2qw وqw وبشكل أعم (Kqw) . حيث (K عدد صحيح موجب)

وإذا أخذنا كمبدأ للزمن الفترة التي يمر فيها التوتر المقوم U_c بقيمة عظمى نجد :

$$U_c = U_{c_0}\left[1+\sum_{K=1}^{\infty}\frac{-2(-1)^K\cos Kqwt}{K^2q^2-1}\right] \quad \text{.....(5)}$$

وكمثال توضيحي لعامل التعريج سنأخذ عدة رتب للتوتر المقوم ونتعرف على منشور فورييه الموافق :

١- من أجل q=2 , K_0=0.79 والتوتر U_c يساوي :

$$U = U_{c_0}(1+0.67\cos 2wt - 0.13\cos 4wt + 0.057\cos 6wt)$$

٢- من أجل q=3 , K_0=0.30 والتوتر U_c يساوي :

$$U = U_{c_0}(1+0.25\cos 3wt - 0.57\cos 6wt + 0.025\cos 9wt,...)$$

٣- من أجل q=6 , K_0=0.07 والتوتر U_c يساوي :

$$U = U_{c_0}(1+0.057\cos 6wt - 0.014\cos 12wt + 0.0062\cos 18wt,..)$$

٤- من أجل q=9 , K_0=0.031 والتوتر U_c يساوي :

$$U = U_{c_0}(1+0.025\cos 9wt - 0.0062\cos 18wt + 0.0027\cos 27wt,..)$$

٢-٦ التوتر العكسي والتيار المباشر للمقومات :

التوتر العكسي وقيمته العظمى :

في مجموعات التقويم المستخدمة عملياً لا يمكن أن تعمل جميع عناصر التقويم بوقت واحد ، أي أنه ستمر فترة يعمل فيها عنصر هذه الفترة تساوي $\frac{T}{q}$ من الدور وبعد هذه الفترة سيتوقف هذا العنصر عن العمل لينتظر عودة التوتر على مصعده بشكل يكون فيه أكبر من باقي التوترات ، وهكذا بالتتابع ، ولدى استخدام الثيرستور عوضاً عن الديود في مجموعات التقويم فإنه عند تأخير لحظة تطبيق النبضة على بوابة الثيرستور سيكون في حالة الحجز وعندئذ سيتعرض لتوترات عكسية خلال فترة عدم التوصيل .

لذا يجب معرفة هذا التوتر العكسي وتأثيره في عمل عنصر التقويم لأن قيمة التوتر العكسي الواجب اختيارها لعنصر التقويم أساسية وهامة .

ببساطة عندما يكون الديود أو الثيرستور موصلاً فإن التوتر العكسي يساوي الصفر لأن توتر مهبطه يساوي توتر مصعده . ولكن عندما يكون حاجزاً فإن توتر المهبط لا يساوي توتر المصعد ذلك لأن التوتر العكسي بالتعريف هو فرق الكمون بين توتر المصعد وتوتر المهبط .

$$V_i = V_A - V_K$$

وترتفع قيمة هذا التوتر من لحظة إلى أخرى ، إلى أن تصل إلى قيمة عظمى ، ثم تبدأ بالتناقص ، وقد يأخذ التوتر العكسي هذا أكثر من قيمة عظمى خلال فترة الحجز . كنا قد تعرضنا عند دراسة الخواص الساكنة للثيرستور أو الديود بأن هنالك توتراً عكسياً (توتر الخرق العكسي) .

هذا التوتر العكسي يسعى إلى خرق عنصر التقويم أو إتلافه وإمرار تيار في اتجاه يخالف الاتجاه المباشر . وأن قيمة توتر الخرق العكسي اللازمة لإتلاف عنصر التقويم تعادل قيمة توتر الخرق المباشر ، وكنا قد نوهنا إلى أنه يجب استخدام عنصر التقويم ليعمل تحت توترات أقل بنسبة معينة من توتر الخرق الأمامي (المباشر) ، وذلك لتلافي التوصيل القسري .

في حالتنا هذه يجب معرفة القيمة العظمى للتوتر العكسي الناشئ على عناصر مجموعة التقويم المطلوب إنشاؤها ، لكي نستطيع اختيار عنصر التقويم والعمل على كونه مناسباً للمجموعة المزمع وضعه فيها . أي أن يكون التوتر العكسي الممكن تحمله أكبر من قيمة التوتر العكسي الذي سوف يتشكل على عنصر التقويم في الدارة المصممة أو المقترحة .

التوتر V_{D_1} على طرفي الديود D_1 شكل (2-4) يساوي $V_1 = V_A - V_K$

$V_A=V_1, V_K=U_c$

وعليه

$$V_{D_1} = V_1 - U_c$$

من أجل الفترة :

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{T}{2q}$$

سيكون الديود D_1 موصلاً و $V_{D_1} = V_1 - V_1 = 0$

ولكن خلال الفترة :

$$\frac{T}{4} + \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{3T}{2q}$$

فسيكون الديود D_2 موصلاً و التوتر :

$$V_{D_1} = V_1 - V_2$$

من أجل الفترة :

$$\frac{T}{4} + (2K-3)\frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4}(2K-1)\frac{T}{2q}$$

فسيكون الديود D_K موصلاً والتوتر :

$$V_{D_1} = V_1 - V_K$$

وهكذا فالتوتر على طرفي الديود D_1 يساوي بالتتابع الفرق بين V_1 والتوترات الأخرى لباقي الأطوار حسب لحظة التوصيل .

لدينا دائماً حالتان في حالة دراسة التوتر العكسي ، وذلك تبعاً لكون عدد الأطوار q عدداً زوجياً أو عدداً فردياً ومنه :

أ- **حالة q عدد زوجي :**

في هذه الحالة ، التوتر ذو الرتبة $\frac{q}{2}+1$ هو الذي يشكل أكبر فرق كمون مع توتر الطور الموصول إليه الديود D_1 وتوتره من الشكل :

$$\frac{V_q}{2}+1=-V_m \sin wt$$

إذاً من أجل الفترة :

$$\frac{3T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{3T}{4}+\frac{T}{2q}$$

حيث الديود $\frac{D_q}{2}+1$ سيكون موصلاً ، التوتر العكسي V_{D_1} هو :

$$V_{D1}=V_1-\frac{V_q}{2}+1=2V_m \sin wt$$

التوتر العكسي V_{D_1} ذو قيمة عظمى في منتصف هذه الفترة ويساوي :

$$V_{1_{max}}=2V_m \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

ب- **حالة q عدد فردي :**

في هذه الحالة التوترات ذات الرتب $\frac{q+1}{2}$ و $\frac{q+3}{2}$ هي التي تمثل أكبر فرق توتر مع الديود D_1 .

خلال الفترة :

$$\frac{3T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{3T}{4}$$

يكون الديود $\frac{D_{q+1}}{2}$ موصلاً والتوتر العكسي عندئذ :

$$V_{D_1}=V_m[\sin wt-\sin[wt-\frac{(q-1)}{2}.\frac{2\pi}{q}]]$$

$$V_{D_1}=2V_m \cos\frac{\pi}{2q}.\sin(wt+\frac{\pi}{2q})$$

هذا التوتر ذو قيمة عظمى من أجل $t=\frac{3T}{4}-\frac{T}{4q}$ ويساوي :

$$V_{i_{\max}} = -2V_m.\cos\frac{\pi}{2q}$$

بالمثل من أجل الفترة :

$$\frac{3T}{4} < t < -\frac{3T}{4} + \frac{T}{q}$$

يكون الديود $\frac{D_q+3}{2}$ موصلاً والتوتر على طرفي D1 يعطى :

$$V_{D_1} = V_1 - \frac{Vq+3}{2} = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q}\sin(wt - \frac{\pi}{2})$$

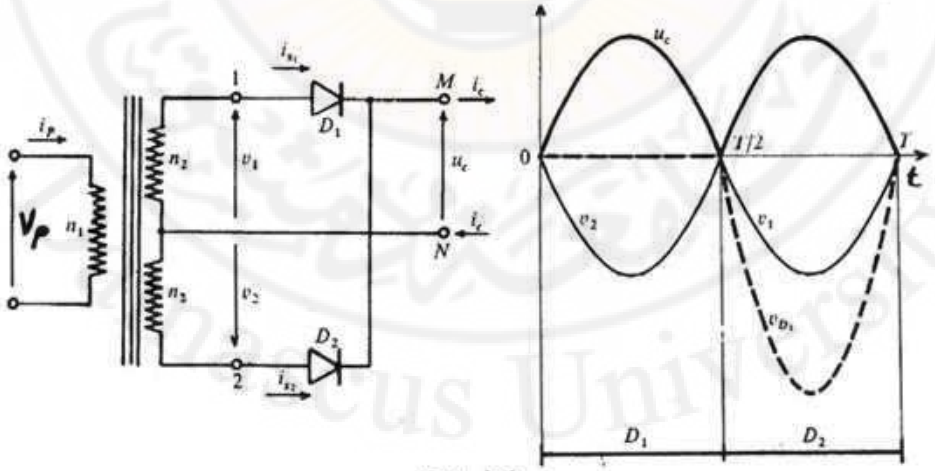
هذا التوتر يمر بالقيمة $2V_m \cos\frac{\pi}{2q}$ من أجل

$$t = \frac{3T}{4} + \frac{3T}{4q}$$

فالتوتر العكسي يمر بقيمتين عظميين خلال الدور :

$$V_{i_{max}} = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6')$$

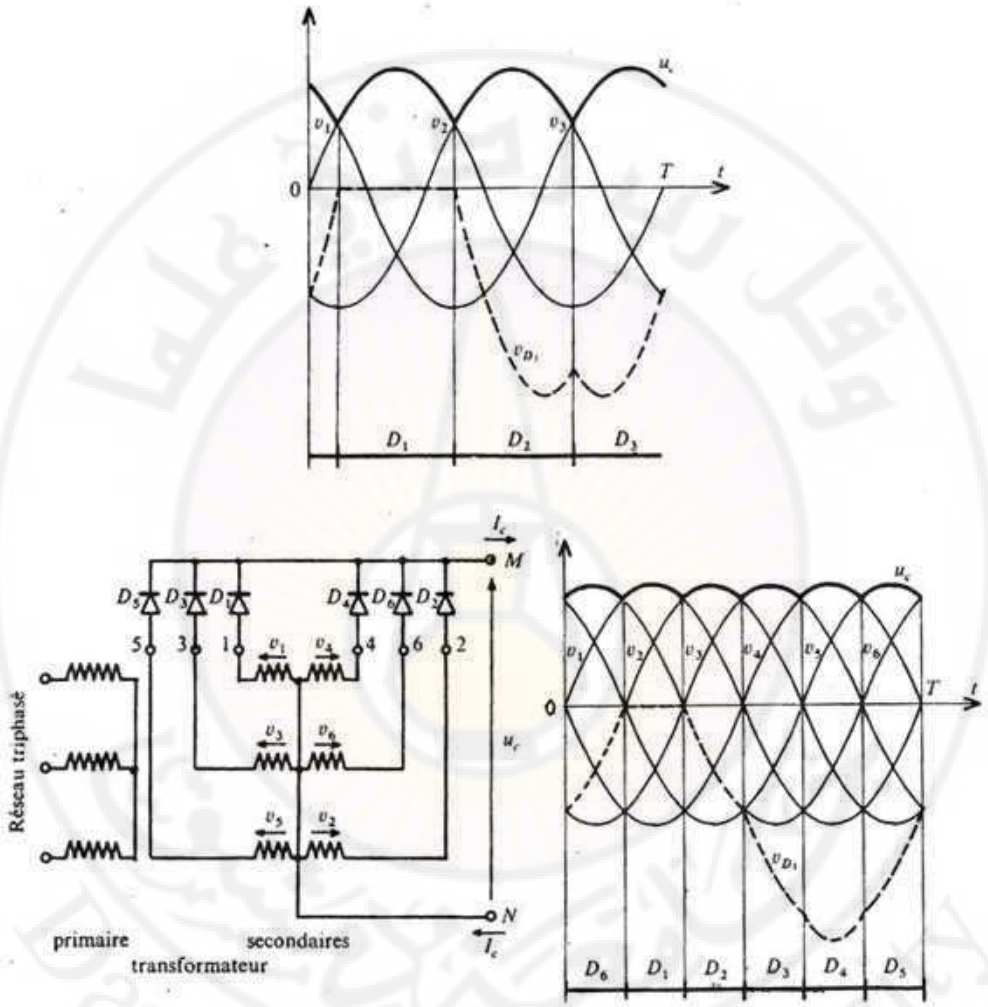
يبين الشكل التالي شكل (2-4) شكل الموجة المقومة U_c والتوتر العكسي V_{D1} على طرفي الديود D_1 وذلك من أجل q=2 وكذلك من أجل q = 6,q =3



شكل (2-4)

التوتر المقوم (U_c)والتوتر العكسي المتشكل على الديود D_1

a- من أجل q=2 . b- من أجل q=3. c- من أجل q=6.



شكل (2-4) التوتر المقوم (U_c)والتوتر العكسي المتشكل على الديود D_1

a- من أجل q=2 . b- من أجل q=3. c- من أجل q=6.

٢-٧ التيار المستمر وعامل الاستخدام للمقومات :

بفرض أن I_0 يمثل التيار المستمر المار في الحمل المستجر من مجموعة التقويم ، وذلك بإهمال التعرجات ، فإن أي ديود في الدارة سوف يتحمل مرور هذا التيار للفترة $\frac{T}{q}$ من الدور الذي كان موصولاً خلالها . ولذا فإنه يمكننا عدّ القيم العظمى والمتوسطة والفعالة للتيار في كل ديود كالتالي :

القيمة العظمى للتيار : $i_{\max} = I_c$

القيمة المتوسطة للتيار : $i_{av} = \frac{I_c}{q}$ .....(7)

القيمة الفعالة للتيار : $I = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$

لكي نقدر أهمية استعمال المقومات ومداها في دارات التقويم يمكن أن نستخدم تعبير (عامل الاستخدام Facteur d'utilisation) وهو النسبة بين الاستطاعة المتولدة (استطاعة الخرج) على جداء n_r عدد عناصر التقويم المستخدمة بالتوتر العكسي الأعظمي المطبق على الديودات بالتيار المتوسط المار .

$$f_r = \frac{U_{c_0} I_c}{n_r V_{i_{max}} i_a v} \quad \text{.....(8)}$$

من أجل المجموعات ذات التقويم التفرعي البسيط واعتماداً على العلاقات (2),(6), يمكن أن نحصل على ما يلي :

عندما يكون عدد الأطوار زوجياً :

$$f_r = \frac{q}{2\pi} \sin \frac{\pi}{q} \quad \text{.....(9)}$$

عندما يكون عدد الأطوار فردياً

$$f_r = \frac{q}{\pi} \sin \frac{\pi}{2q} \quad \text{.....(9')}$$

٢-٨ التيار وعامل الاستطاعة لملفات المحول الثانوي :

يشابه تماماً التيار i_s في ملفات المحول الثانوية التيار المار في الديود ، الموصول بهذا الملف الثانوي ، ويساوي I_c خلال الفترة $\frac{T}{q}$ من الدور التي يكون فيها موصولاً ويصبح معدوماً خلال كل الفترة الباقية من الدور .

القيم الفعالة للتيار في الملف الثانوي هي :

$$I_S = \frac{I_c}{\sqrt{q}} \quad \text{.....(10)}$$

الاستطاعة الفعالة المأخوذة من ملفات الثانوي هي :

$P_c=U_{c0}I_c$ wat

الاستطاعة الظاهرية للثانوي الناشئة من (q) ملفاً حيث في كل ملف لدينا توتر قدره V كقيمة فعالة أو $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$ ويمر فيه تيار ذو قيمة فعالة قدرها I_S هي :

الاستطاعة الظاهرية $qVI_S=VA$ فولت أمبير .

يعطى عامل الاستطاعة للثانوي بالعلاقة :

$$f_s = \frac{U_{c0}I_c}{qVI_s}$$

تحدد الاستطاعة الظاهرية هذه خصائص ملفات المحول الثانوية وأبعادها ، حيث q تحدد عدد الملفات و Is تحدد مقطع الناقل الواجب وضعه ، وكلما كان عامل الاستطاعة الذي نبحث عنه كبيراً رخص تكاليف تصميم المحولة ، وذلك من أجل استطاعة معينة معطاة . من أجل المجموعات ذات التوصيل التفرعي يعطي عامل الاستطاعة بعد التعويض بالعلاقة (11) القيم الموافقة المحسوبة سابقاً بالعلاقة التالية :

$$F_S = \frac{\frac{q}{\pi}V_m.\sin\frac{\pi}{q}.I_c}{q.\frac{V_m}{\sqrt{2}}.\frac{I_c}{\sqrt{q}}} \Rightarrow f_S = \frac{\sqrt{2q}}{\pi}\sin\frac{\pi}{q} \quad \text{.....(12)}$$

يعطي الجدول التالي بعض القيم لعامل الاستطاعة من أجل قيم متغيرة لعدد الأطوار(q).

q	2	3	4	6	9	12	18
f_s	0.636	0.675	0.636	0.55	0.46	0.40	0.332

نجد أن عامل الاستطاعة منخفض ويزداد تناقصاً بازدياد(q) وهذا يحد من استخدام المجموعات ذات التوصيل التفرعي البسيط ، ويمنع استخدامها في حالة كون عدد الأطوار q كبيراً .

٢-٩ التيار ، وعامل الاستطاعة في ملفات المحول الابتدائي :

من أجل التيار الابتدائي ، فإنه ليس بالإمكان إيجاد علاقة عامة يمكن تطبيقها على جميع مجموعات التقويم ، فحسب ، وطبيعة الدارة المغناطيسية ، وعدد الأطوار في الثانوي ، وعدد مجموعات الأطوار في الابتدائي ، تحدد شكل التيار الابتدائي .

من أجل الدارات أحادية الطور والدارات ثلاثية الطور سوف ننطلق من معادلات القوى المحركة المغناطيسية للتيار الثانوي للوصول إلى التيار الابتدائي .

ولذا سوف نفرض أن الأمبير لفة اللازم للمغنطة مهمل وبذا نستطيع أن نطبق العلاقات على أكثر المجموعات المستخدمة عملياً .

٢-٩-١ علاقة الأمبير لفة المستخدمة للدارات المغناطيسية أحادية الطور :

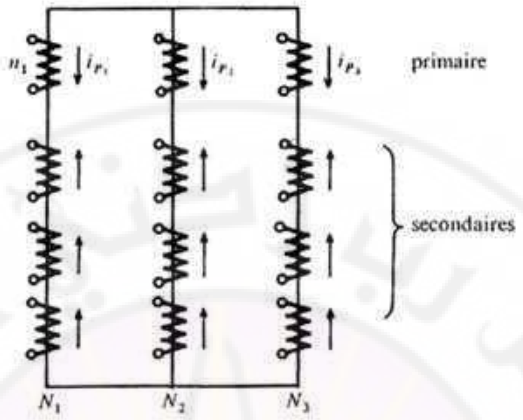
يمكن أن نستخدم الدارة المكافئة أدناه للمحولات الأحادية الطور سواء أكانت بنواتين أم عادية ، مع افتراض أن جهة اللف واحدة لجميع الملفات .

اتجاه التيارات محدد على الشكل (5-2) .

إذا كان الأمبير لفة للثانوي ذا محصلة وبقيمة متوسطة لا تساوي الصفر .فإن هذه القيمة لا يمكن أن تعوض بالأمبير لفة الابتدائي ، لأن التيارات الابتدائية هي قسراً جيبية وذات قيمة متوسطة تساوي الصفر . هذه الكمية من الأمبير لفة الثانوي وغير المعدلة تسبب :

١- تشبع الدارة المغناطيسية .

٢- لا تدخل في حسابات التيار الابتدائي .



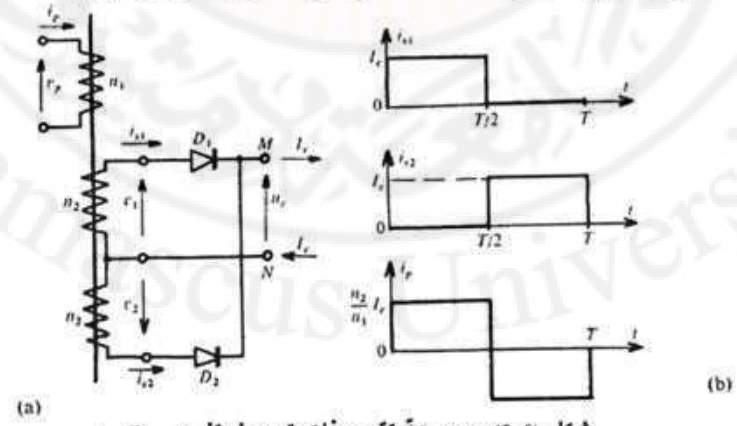
شكل (2-5) الدارة المغناطيسية المكافئة للمحول

بما أننا نهمل تيار المغنطة (كما ذكرنا في المقدمة) يمكن القول إن هناك تعديلاً للأمبير لفة (A.T) المتناوبة على كل نواة .

$$n_1 i_p = \sum n_2 i_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

بافتراض أن $\sum n_2 i_s$ مجموع الأمبير لفة للثانوي محسوبة حسب الاتجاه الموما إليه في الشكل (2-5) .

٢-٩-٢ تطبيق على المجموعات ذات التوصيل التفرعي البسيط (P_2) :



شكل (2-6) مجموعة تقويم ذات توصيل تفرعي P_2

a- مخطط التوصيل .b- شكل موجة التيار لملفات المحول الابتدائية والثانوية .

إن مجموعات التقويم ذات الطورين في الثانوي يطلق عليها عادةً (مقومات)، (أحادية مضاعفة التردد) .

الأمبير لفة في الثانوي (n_2i_{s1}-n_2i_{s2}) ذو قيمة متوسطة معدومة .

ولذا :

$$n_1 i_p = n_2 i_{s1} - n_2 i_{s2}$$

التيار الابتدائي يساوي :

$i_p = \frac{n_2}{n_1} I_c$ خلال إحدى الفترات

ويساوي $i_p = -\frac{n_2}{n_1} I_c$ خلال الفترة الثانية

وله قيمة فعالة تساوي :

$$I_p = \frac{n_2}{n_1} I_c$$

التوترات الابتدائية هي :

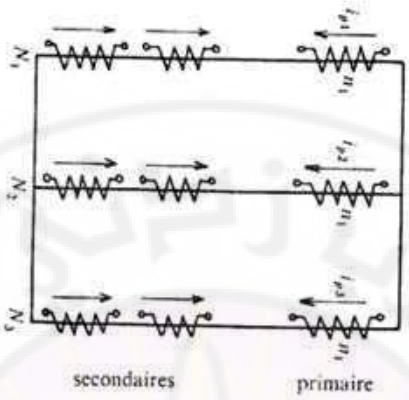
$$V_p = \frac{n_1}{n_2} V_S$$

ومنه عامل الاستطاعة الابتدائي يعطى بالعلاقة :

$$f_p = \frac{U_{c_0} . I_c}{V_p I_p} = \frac{\frac{2}{\pi} V_m I_c}{\frac{n_1}{n_2} . \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{n_2}{n_1} . I_c} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.90$$

٢-٩-٣ علاقة الأمبير لفة المستخدمة للدارات المغناطيسية ذات ثلاثة أطوار :

نفترض أن اللف لملفات الابتدائي والثانوي قد تم في الاتجاه نفسه . لذا يمكن حساب الأمبير لفة حسب الاتجاه المشار إليه في الشكل (2-7) .



ثانوي ابتدائي

الشكل (7-2) محول ثلاثي الطور (الدارة المغناطيسية)

إذا كانت الأمبير لفة (A.T) للثانوي لنواة المحول ذات قيمة متوسطة لا تساوي الصفر، فيكون الأمبير لفة هذه له الاتجاه نفسه ، ولا يمكن أن تعوض بالأمبير لفة للابتدائي . هذه الكمية من الأمبير لفة تحاول إشباع الدارة المغناطيسية مع هذا ، حيث أن التدفق الناشئ عن هذه الأمبير لفة ثابت الاتجاه ، ولا يمكن أن يغلق مساره في الدارة المغناطيسية (إلا في حالة كون الدارة مؤلفة من خمسة أذرع أو أربعة) ، فإن تأثير التشبع المغناطيسي يبدو أقل منه في حالة الدارة المغناطيسية أحادية الطور.

نشير بالرمز $\sum_{N_1} n_2 i_s$ لمجموع الأمبير لفة في الثانوي في الذراع رقم واحد .

عندما نوصل مجموعات الملفات في الطرف الابتدائي بشكل مثلثي ، فإن التوتر على طرف كل ملف يعاكسه توتر الشبكة كما في حالة الدارة أحادية الطور . ويمكن في هذه الحالة الكتابة بأن هناك تعويضاً في الأمبير لفة لكل ذراع (نواة) .

$$n_1 i_{p1} = \sum_{N_1} n_2 i_s$$

$$n_1 i_{p2} = \sum_{N_2} n_2 i_s \quad \text{.....(14)}$$

$$n_1 i_{p3} = \sum_{N_3} n_2 i_s$$

التيارات في الخطوط المشار إليها بالرمز ، J_{p1},J_{p2},J_{p3} يمكن استنتاجها مباشرة من تيارات الملفات :

$$J_{p_1} = i_{p_1} - i_{p_2}$$
$$J_{p_2} = i_{p_2} - i_{p_3} \quad \text{.....(15)}$$
$$J_{p3} = i_{p_3} - i_{p_1}$$

أما عندما تكون مجموعات الملفات في الطرف الابتدائي موصلة بشكل نجمي وبدون خط حيادي فإنه في هذه الحالة يمكننا الكتابة بأن مجموع مختلف القوى المحركة المغناطيسية تعطي تدفقاً محصلاً قيمته تساوي الصفر في كل نواة (ذراع) من أذرع المحولة ، وذلك بإهمال الأمبير لفة اللازم للمغنطة .

إذا كانت الدارة المغناطيسية متناظرة فإنه يمكننا افتراض أن التدفق الناشئ من كل قوة محركة مغناطيسية يتناسب ، (من أجل النواة التي لف عليها هذا الملف) ، مع نصف الأمبير لفة وبإشارة مخالفة لكلتا النواتين الأخريين والتي تخدم كمسار عودة لهذا التدفق.

يمكن تحت هذه الظروف كتابة :

$$0 = n_1 i_{p_1} - \frac{n_1}{2} i_{p_2} - \frac{n_1}{2} i_{p_3} - \sum_{N_1} n_2 i_2 + \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s + \frac{1}{2}\sum_{N_3} n_2 i_s$$
$$0 = n_1 i_{p_2} - \frac{n_1}{2} i_{p_1} - \frac{n_1}{2} i_{p_3} - \sum_{N_2} n_2 i_s + \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s + \frac{1}{2}\sum_{N_3} n_2 i_s$$
$$0 = n_1 i_{p_3} - \frac{n_1}{2} i_{p_1} - \frac{n_1}{2} i_{p_2} - \sum_{N_3} n_2 i_s + \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s + \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s$$

مجموع التيارات الثلاثة في الابتدائي يساوي الصفر ، فالعلاقات الثلاث السابقة تصبح:

$$n_1 i_{p_1} = \frac{2}{3}(\sum_{N_1} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_3} n_2 i_s$$
$$n_1 i_{p_2} = \frac{2}{3}(\sum_{N_2} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_3} n_2 i_s \quad \text{.....(16)}$$
$$n_1 i_{p_3} = \frac{2}{3}(\sum_{N_3} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s - \frac{1}{2}\sum_{N_2} n_2 i_s$$

المعادلات رقم (16) لا تساوي المعادلات رقم (14) إلا إذا كان مجموع الأمبير لفة (A.T) يساوي الصفر .

$$\text{أي : } \sum_{N_1} n_2 i_s + \sum_{N_2} n_2 i_s + \sum_{N_3} n_2 i_s = 0$$

٢-٩-٤ تطبيق على المجموعات الثلاثية P3 :

مجموعات التقويم ذات ثلاثة الأطوار في الثانوي ، هي من أبسط المجموعات المغذاة من شبكة ثلاثية الطور يبين الشكل (8-2) المخطط المكافئ .

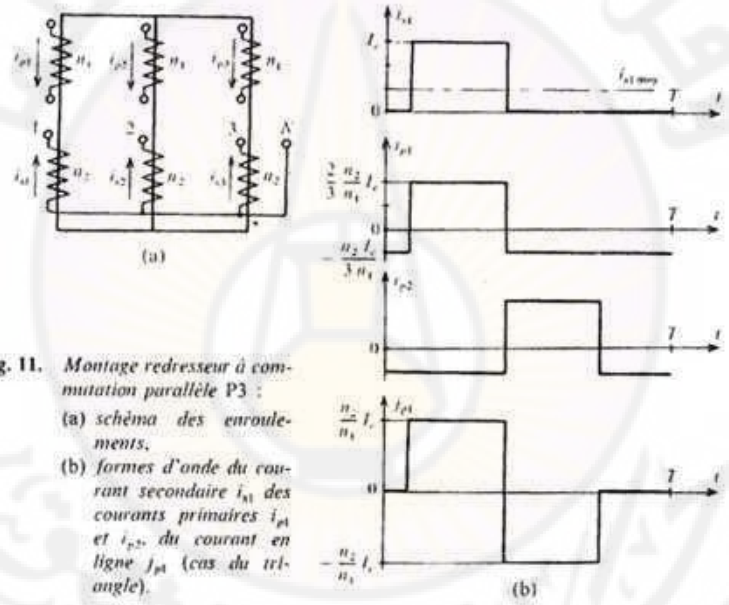


Fig. 11. *Montage redresseur à commutation parallèle* P3 :
(a) *schéma des enroulements.*
(b) *formes d'onde du courant secondaire i_{s1} des courants primaires i_{p1} et i_{p2}, du courant en ligne j_{p1} (cas du triangle).*

الشكل (8-2)

المخطط المكافئ لمجموعة تقويم ثلاثية الطور ذات توصيل تفرعي (P_3)

بما أنه لا يوجد لدينا سوى ملف واحد لكل نواة ، فإن الأمبير لفة الموافقة لهذا الملف ، لها قيمة متوسطة لا تساوي الصفر .

هذه المركبة المتوسطة لا تتواجد في الأمبير لفة الابتدائي فإذا ما حذفناها نجد أن العلاقة (17) محققة .

سواء أكانت الملفات الابتدائية موصلة بشكل نجمي أم مثلثي فإن التيارات المارة فيها لها شكل الموجة نفسه والقيمة الفعالة نفسها ، وتعطى بالعلاقة :

$$I_p = \sqrt{\frac{1}{T}(\frac{2}{3}\frac{n_2}{n_1}I_c)^2\frac{T}{3} + (\frac{1}{3}\frac{n_2}{n_1}I_c)^2\frac{2T}{3}}$$

$$I_p = \frac{\sqrt{2}}{3}.\frac{n_2}{n_1}I_c$$

ومنه عامل الاستطاعة الابتدائي يكون :

$$f_p = \frac{U_{c0}I_c}{3V_pI_p} = \frac{\frac{3}{\pi}V_m\frac{\sqrt{3}}{2}I_c}{3\frac{n_1}{n_2}\frac{Vm}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{2}}{3}.\frac{n_2}{n_1}I_c}$$

$$f_p = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} = 0.827$$

إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي فإن التيار المار في الخط ذو قيمة :

$$J_p = \frac{n_2}{n_1}I_c\sqrt{\frac{2}{3}} = I_p\sqrt{3}$$

ومعامل الاستطاعة في الخط يعطى :

$$f_L = \frac{U_{c_0}I_c}{3V_pI_p}$$

ويساوي في هذه الحالة معامل الاستطاعة للملف الابتدائي f_p .

٢-١٠ دراسة هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي :

إن ممانعات عناصر الدارة (العناصر ذاتها – المحول المغذي شبكة التغذية) لمجموعة التقويم ، تسبب هبوطاً في التوتر ، يزداد هذا الهبوط مع ازدياد قيمة التيار المقوم I_0 . وبشكل خاص بالنسبة لمجموعات التقويم ذات الاستطاعات العالية ، فإن السبب الأساسي في هبوط التوتر ، يعزى إلى الممانعات في جبهة المقوم التي تسبب تمديد فترة التوصيل المشترك لمجموعات التقويم . حيث أنه كلما كبرت قيمة الممانعة ازدادت فترة التوصيل المشترك وأدت بالتالي إلى زيادة قيمة هبوط التوتر ، وأحياناً يطلق على هذه الظاهرة حالة القصر المباشر لمجموعات التقويم .

سوف نحدد دراستنا حالياً ، للحالات التي فيها عدد الديودات (عناصرالتقويم) التي تعمل في وقت واحد لا يتجاوز الاثنين وقيم التيار المار نسبياً محدود وصغير . وهذا يوافق عادةً كل المجال الذي تعمل فيه مجموعة التقويم بشكل عادي ، أي بين فترة عدم التحميل وفترة زيادة التحميل العابر الممكن تحمله من قبل العناصر المستخدمة .

٢-١٠-١ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق (Empietement) :

عندما يصبح الديود (أو الثيرستور) موصلاً ، فإن الديود الذي كان في حالة التوصيل لا يمكن أن يحجز التوتر ، أو يقطع التيار بشكل لحظي ، لأن هذا يسبب عدم استمرار للتيار في ملفات المحول الثانوية . فالممانعة تمانع انقطاع التيار المفاجئ تبعاً لقانون لنز. لذا سيعمل العنصران بآن واحد لفترة من الزمن نطلق عليها فترة التطابق (Over laping) .

عندما يدخل الديود في مرحلة التوصيل ، فإن التيار سوف يبدأ بالمرور فيه وبالوقت نفسه هنالك تيار ما زال يمر في الديود الذي يحاول الخروج من مرحلة التوصيل . هذه الفترة من الزمن يطلق عليها ((زمن التطابق)) وتسبب عادةً هبوطاً في التوتر المقوم نرمز له $\Delta_1 U_c$.

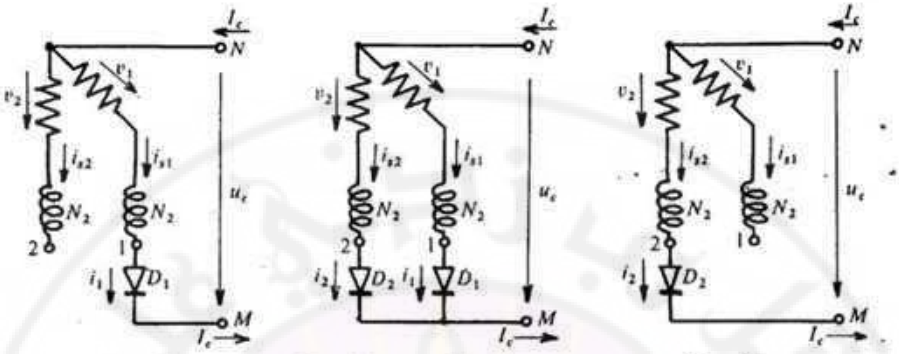
نفرض ممانعة التسريب لملفات المحول وشبكة التغذية منسوبة إلى الطرف الثانوي بممانعة واحدة قدرها L_2w(Reactance) .

حيث :

L_2: الحثية الموافقة لملفات المحول وشبكة التغذية منسوبة للطرف الثانوي .

$w = 2\pi f$ (*Pulsation*) السرعة الزاوية .

يبين الشكل (2-9) الفترات الثلاث التي يمر فيها الديود D_1 وذلك عندما يكون موصلاً بمفرده ثم حالة التوصيل المزدوج للديودين D_2,D_1 وأخيراً حالة انتقال الديود D_2 للتوصيل بمفرده وفصل الديود D_1 .



$t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} - \varepsilon$ $\quad \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega}$ $\quad t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega} + \varepsilon$

Représentation simplifiée du montage redresseur avant, pendant et après le débit simultané des diodes D_1 et D_2.
(Sont seuls représentés les deux enroulements concernés et les redresseurs conducteurs.)

$$t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} - \varepsilon \qquad \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega} \qquad t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega} + \varepsilon$$

الشكل (9-2)

تمثيل مبسط لدارة التقويم قبل توصيل الديود D_1 و D_2 وخلاله وبعده

بالضبط قبل اللحظة $t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q}$ حيث V_2 سيصبح أكبر إيجابية من V_1 فإن D_1 يكون موصلاً بمفرده ويتحمل تيار الحمل I_c كاملاً ولدينا عندئذ :

$$U_c = V_1 \quad ; \quad i_{s_1} = I_c \quad ; \quad i_{s_2} = 0$$

خلال الفترة :

$$\frac{T}{4} + \frac{T}{2q} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega}$$

D_1 وD_2 يكونان في حالة توصيل مشترك .

$$U_c = V_1 - L_2 \frac{di_{s_1}}{dt} = V_2 - L_2 \cdot \frac{di_{s_2}}{dt}$$

بما أن :

$$i_{s_1} + i_{s_2} = I_c$$

وأن هذا التيار يفترض بأنه ذو قيمة ثابتة فإن :

$$\frac{di_{s_1}}{dt} + \frac{di_{s_2}}{dt} = 0$$

بجمع المساواة الواردة أعلاه :

$$2U_c = V_1 - L_2 \frac{di_{s_1}}{dt} + V_2 - L_2 \frac{di_{s_2}}{dt}$$

نجد :

$$U_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

في نهاية الفترة :

$$t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega}$$

يكون الديود D_2 موصلاً بمفرده والديود D_1 يصبح في حالة الحجز، وبالتالي فإن الديود (العنصر) D_2 يتحمل تيار الحمل كاملاً ويكون لدينا :

$$i_{s_1} = 0 \quad \text{و} \quad i_{s_2} = I_c$$

٢-١٠-٢ زاوية التطابق (Angle d'empitement) :

خلال فترة التوصيل المشترك لكلا الديودين D_1 و D_2 لدينا :

$$V_2 - L_2 \frac{di_{s_2}}{dt} = V_1 - L_2 \frac{di_{s_1}}{dt} = V_1 + L_2 \frac{di_{s_2}}{dt}$$

لأن :

$$L_2 \frac{di_{s_1}}{dt} = -L_2 \frac{di_{s_2}}{dt}$$

ومنه فإن :

$$\frac{di_{s_2}}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{2L_2} = -\frac{V_m}{L_2} \sin\frac{\pi}{q} \cos(wt - \frac{\pi}{q})$$

وذلك بعد التعويض عن V_2 و V_1 بقيمتها الأصلية .

$$V_1 = V_m \sin wt$$

$$V_2 = V_m \sin(wt - \frac{2\pi}{q})$$

فالتيار i_{s_2} له الشكل التالي بعد إجراء عملية التكامل :

$$i_{s_2} = -\frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} \sin(wt - \frac{\pi}{q}) + cte$$

إن i_{s_2} يساوي الصفر من أجل :

$$t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q}$$

أو من أجل :

$$wt = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q}$$

ومنه :

$$i_{s_2} = -\frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} [1 - \sin(wt - \frac{\pi}{q})]$$

لإيجاد قيمة الزاوية α يكفي الانتباه إلى أن i_{s_2} يصبح مساوياً I_c من أجل :

$$t = \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{\omega}$$

الزاوية α هي زاوية التطابق وهي التي يعمل خلالها عنصرا التقويم بآن واحد ، وتمثل $\frac{\alpha}{\omega}$ زمن التطابق .

$$I_c = \frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} (1 - \cos\alpha)$$

ومنه فإن العلاقة التي تعطي بواسطتها α هي :

$$1 - \cos\alpha = \frac{L_2 w I_c}{V_m \sin\frac{\pi}{q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

نرى من العلاقة (18) أن زاوية التطابق α تعتمد بشكل طردي على الممانعة $(L_2 w)$ لمجموعة العناصر المتواجدة خلف عنصر التقويم وهي المحول وشبكة التغذية ، كما

أنها أيضاً تعتمد على قيمة تيار الحمل المار I_c ، وكلما زاد تيار الحمل كبرت زاوية التطابق وأن قيمة توتر العمل v_m لها تأثير عكسي في زاوية التطابق وهذا ينشأ من كون كبر توتر التغذية له تأثير عكسي في سرعة إيقاف العنصر الموصل عن العمل ونقل التوصيل للعنصر التالي .

أيضاً كلما ازداد عدد الأطوار q زادت قيمة زاوية التطابق α .

٢-١٠-٣ هبوط التوتر A_1Uc خلال فترة التطابق :

خلال الزمن :

$$t=\frac{T}{4}+\frac{T}{2q} \qquad \text{والزمن} \qquad t=\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}+\frac{\alpha}{\omega}$$

التوتر المقوم U_c عوضاً أن يكون مساوياً V_2 فإنه يساوي :

$$\frac{V_1+V_2}{2}$$

لدينا إذاً هبوط في التوتر $\Delta_1 U_c$ يمكن حسابه من العلاقة :

$$\Delta_1 U_c=\frac{q}{T}\int_{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}}^{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}+\frac{\alpha}{w}} -[V_2-\frac{V_1+V_2}{2}]dt$$

بعد التعويض عن V_1و V_2 بقيمتهما بدلالة sinwt :

$$\Delta_1 U_c=\frac{q}{T}\int_{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}}^{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}+\frac{\alpha}{w}} V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos(wt-\frac{\pi}{q})dt$$

بالتكامل نجد :

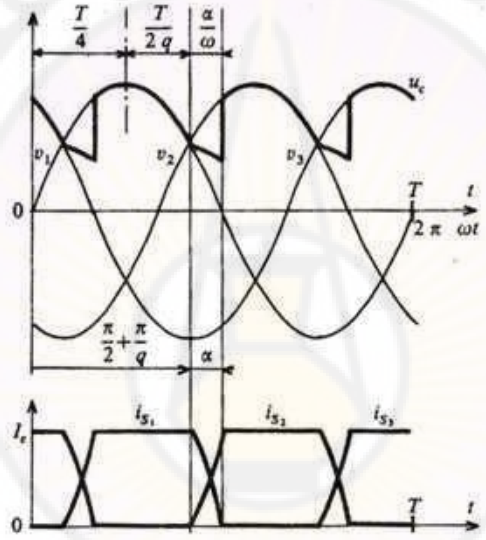
$$\Delta_1 U_c=\frac{q}{2\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}(1-\cos\alpha)$$

بالتعويض من (18) في العلاقة أعلاه نجد :

$$\Delta_1 U_c=\frac{q}{2\pi}L_2 w I_c \quad \text{.....(19)}$$

هبوط التوتر إذاً في فترة التطابق يتناسب مع الممانعة Reactance (L_2w) والتيار I_c المار وأيضاً يتناسب مع عدد الأطوار q . لذا فإن زيادة عدد الأطوار في حالة التوصيل التفرعي تؤدي إلى إنقاص المردود ، وكما رأينا أنه قد أدى أيضاً إلى زيادة قيمة زاوية التطابق .

يبين الشكل (2-10) من أجل (q=3) شكل موجة الخرج للتوتر والتيار في مجموعة التقويم التفرعية البسيطة .



شكل (2-10) موجة التوتر المقوم U_c والتيارات i_1,i_2,i_3 في الديودات الموافقة مع الأخذ بعين الاعتبار فترة التطابق

٢-١٠-٤ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر :

في حالة العمل الطبيعي أي عند تيار I_c قريب من قيمته الاسمية ، أي عند زوايا تطابق صغيرة ، يمكن الحصول على هبوط التوتر الكلي .بإضافة مجموع ، هبوطات التوتر الجزئية الحاصلة في كل عناصر الدارة .

وكما أننا حسبنا هبوط التوتر التحريضي $\Delta_1 U_c$ وذلك بإهمال المقاومات في الدارة وهبوط التوتر على عنصر التقويم (ديود أو ثيرستور) . يمكننا حساب الهبوطات

$\Delta_2 U_c$ و $\Delta_3 U_c$ العائدة لكلتا هاتين الظاهرتين بإهمال حادثة التطابق التي تسببها الممانعات والتي تعد أصلاً أكبر قيمة لهبوط التوتر .

أ- هبوط التوتر الناتج عن المقاومات :

يمكن استنتاج قيمة هبوط التوتر على مقاومات الدارة باستخدام قانون جول للضياعات:

$$P_1 = qr_2 I_s^2 + q_1 r_1 I_p^2 + q_1 r_1' J_p^2$$

حيث :

q: عدد الأطوار في ثانوي المحول .

q_1: عدد الأطوار في ابتدائي المحول .

r_2 : مقاومة الملفات الثانوية للطور الواحد .

r_1': مقاومة شبكة التغذية .

I_s: التيار المار في الملفات الثانوية للمحول .

I_p: التيار المار في الملفات الابتدائية للمحول .

J_p: التيار في خط التغذية .

تيارات الأطوار وتيارات الخطوط كما نعلم يمكن التعبير عنها بدلالة التيار المستمر المار I_c ومنه فإن الضياع الكلي حسب قانون جول يعطى بالعلاقة :

$$P_j = R_c I_c^2$$

R_c: ترمز إلى المقاومة الكلية لمجموعة التقويم منسوبة للطرف ذي التيار المستمر .

ومنه فإن الهبوط الأومي يعطى :

$$\Delta_2 U_c = R_c I_c \quad \text{.....(20)}$$

إذاً يمكننا بعد العودة إلى شكل أطوار مجموعة التقويم وعددها معرفة هبوط التوتر الحاصل في مقاومات الدارة ، وذلك من أجل مجموعة تقويم فيها عدد الأطوار :

q=2 أو q=3 أو q=6

والعلاقات التالية تعطي قيم هبوطات التوتر الموافقة :

- **حالة q=2 :** $\Delta_2 U_c = [r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + r_1')] I_c$

- **حالة q=3** : إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل نجمي :

$$\Delta_2 U_c = [r_2 + \frac{2}{3}(\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + r_1')]I_c$$

- إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي :

$$\Delta_2 U_c = [r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + 3r_1')]I_c$$

- **حالة q=6** : إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل نجمي :

$$\Delta_2 U_c = [r_2 + \frac{2}{3}(\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + r_1')]I_c$$

- إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي :

$$\Delta_2 U_c = [r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + 2r_1')]I_c$$

ب- هبوط التوتر في عناصر التقويم (ديود-ثيرستور) :

كل عنصر تقويم يمرر التيار المقوم I_c خلال الفترة $\frac{T}{q}$ من الدور أي أن هناك دائماً ديوداً واحداً في حالة توصيل وهبوط التوتر الموافق الحاصل على عنصر التقويم يعطى:

$$\Delta_3 U_c = (U)I_c \quad \text{.....(21)}$$

حيث نرمز بـ (U)Ic هبوط التوتر الحاصل على هذا العنصر نتيجة مرور تيار قدره Ic وذلك من الخصائص العامة لعنصر التقويم المستخدم أي أن هبوط التوتر على عنصر التقويم ليس له علاقة خطية بمقاومة عنصر التقويم ، وقيمة تيار الحمل المار إنما لكل عنصر تقويم منحني خاص يمثل هبوط التوتر $\Delta_2 U_c$ بدلالة تيار الحمل وهي علاقة غير خطية . وهبوط التوتر بشكل عام لا يتجاوز قيماً صغيرة ، واحداً فولطاً أو أكثر بقليل بالنسبة لعناصر التقويم ذات التيارات الكبيرة ، بينما هو من أجزاء الفولط بالنسبة لعناصر التقويم ذات التيارات المتوسطة أمبير فما دون .

ج – ملاحظات :

١- يعطى المردود η لمجموعة المحولات والمقومات بالعلاقة :

$$\eta = \frac{U_C I_C}{U_C I_C + P_j + P_d + P_{Fer}} \quad \text{.....(22)}$$

حيث التوتر المستمر عند التحميل U_c يعطى :

$$U_c = U_{c_0} - \Delta_1 U_c - \Delta_2 U_c - \Delta_3 U_c$$

حيث الضياع بمفعول جول في الملفات هو P_j ، عندما تطرقنا لحساب هبوط التوتر $\Delta_2 U_c$ ، والضياع في الديود يمكن أخذه مساوياً $P_d = (u) I_c . I_c$ والضياع في حديد المحولات يرمز له بـــ P_{Fer} .

٢- بسبب زمن التطابق $\left(\frac{\alpha}{w}\right)$، فإن هبوطات التوتر على مقاومات الدارة ، وعلى عنصر التقويم نفسه ، هما في الحقيقة أقل من القيمة المحسوبة بالطريقة السابقة . وذلك لأنه خلال فترة التوصيل المشترك لعنصري التقويم سوف يتجزأ التيار I_s بين ملفين في ثانوي المحول مما يقلل من قيمة I_c وكذلك يخفض من هبوط التوتر $(U)I_c$. تبقى العلاقات السابقة صالحة للاستخدام طالما أن زاوية التطابق (α) صغيرة . ولكن عندما تكبر قيمة هذه الزاوية يصبح من غير المفيد العودة لاستخدام هذه العلاقات .

٢-١١ عمل مجموعة التقويم باستخدام زاوية تأخير في الطور (استخدام الثيرستور) :

لتغيير قيمة التوتر المتوسط المقوم U_{c0} الناتج عن مجموعة التقويم ، المغذاة بالتوتر المتناوب ذي القيمة الثابتة . نستخدم عوضاً عن عناصر تقويم غير المقادة من الديود بعناصر تقويم ذات إلكترود تحكم أو باختصار عناصر تقويم من الثيرستور . ونطلق اسم (بوابةGate) على إلكترود التحكم هذا .

نستطيع بوساطة البوابة التحكم بلحظة التوصيل لعنصر التقويم وبتغيير زاوية التوصيل Ψ (لحظة التوصيل) نتحكم بالقيمة المتوسطة للتوتر المقوم ونستطيع الحصول على التوتر المقوم المطلوب لاحتياجاتنا . أي أن الأسس العامة الواردة فيما سبق تبقى كما هي ، إنما في هذه الحالة يلزم استخدام دارة توليد نبضات ، يربط خرج هذه الدارة بين البوابة والمهبط لعنصر الثيرستور ، ويتم التحكم بلحظة تطبيق النبضة للعمل على تأخير لحظة إشعال الثيرستور ، عندما يتم تأخير لحظة الإشعال للثيرستور ، فإن

مساحة الموجة المتناوبة الواقعة قبل لحظة تطبيق النبضة سوف تهمل من حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عن مجموعة التقويم ، وفي هذه الحالة نسعى إلى تخفيض القيمة المتوسطة للتوتر المقوم وإنقاصها .

هذا ويمكن أن نطبق النبضة بمجال يبدأ من الزاوية $\psi = 0$ حتى القيمة $\psi = 180°$ لكن إن عدنا إلى تصميم دارة توليد النبضات ، تبدأ غالباً النبضة بالظهور بعد عدة درجات (5-10°) درجات ويمكن إزاحتها إلى (180°) ، لكن يفضل عدم الوصول إلى تلك القيمة والاكتفاء بالزاوية (165°-170°) درجة لأن العمل في تلك المنطقة يكون غير مستقر ، تبدو هذه الظاهرة في بعض التطبيقات ، وتبعاً لنوع الحمل المستخدم (أومياً أم تحريضياً).

٢-١١-١ عمل مجموعات التقويم عند إزاحة بالطور (المجموعات المقادة) :

شكل الموجة واتجاه التوتر المقوم :

استعضنا في الشكل (2-11) عن عناصر التقويم العادية (الديود) بعناصر من الثيرستور ورمزنا لها th . سنستخدم التوصيل السابق نفسه إنما لم نذكر في الشكل دارة توليد النبضات اللازمة لتشغيل مجموعة العناصر الثيرستورية . وسنفترض أن هنالك نبضة مطبقة على البوابة ، هذه النبضة قابلة للإزاحة بالنسبة للموجة المتناوبة ذات الاستطاعة العالية المطبقة على مصاعد عناصر التقويم وهي دائماً ذات استطاعة كافية لقدح الثيرستور أو تشغيله عند الزاوية المرغوب فيها .

إن الديود D_1 الذي كان موصلاً في السابق من أجل الزاوية أو الفترة :

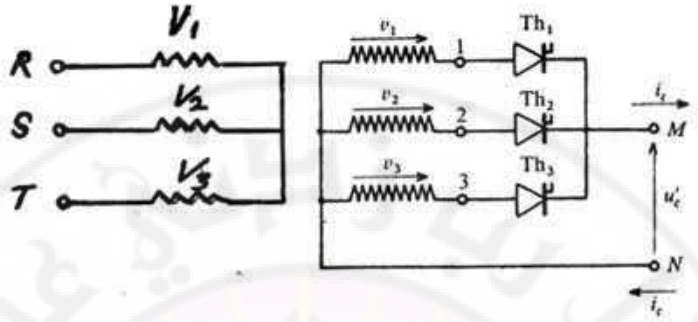
$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} < wt < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q}$$

يصبح في حالة استخدام للثيرستور th1 ، وعند زاوية تأخير Ψ موصلاً عند

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} + \psi < wt < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi$$

وكذلك من أجل الثيرستور th2 يصبح موصلاً من أجل :

$$\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi < wt < \frac{\pi}{2} + \frac{3\pi}{q} + \psi$$



الشكل (11-2) توصيل مجموعة التقويم التفرعية

وحسب قيمة زاوية التأخير ψ , $\frac{\pi}{2} < \psi < \frac{\pi}{2}$ فإن عمل مجموعة التقويم يختلف ويمكن أن نميز حالتين للتشغيل كما هو مبين فيما يلي :

٢-١١-٢ زاوية التأخير $\psi < \frac{\pi}{2}$ ((حالة مقوم) :

طالما أن زاوية التأخير أصغر من $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ فإن المجموعة تعمل كمقوم للتوتر المتناوب (Converter) ، وكلما رفعنا قيمة الزاوية Ψ انخفضت قيمة التوتر المتوسط المقوم وتغير شكل موجة الخرج ، ولكن يبقى التوتر المقوم ذا قيمة موجبة ومجموعة التقويم تعمل على تغذية الحمل المربوط بين N و M كما في الشكل (11-2) .

يمكن في الحقيقة مناقشة القيمة المتوسطة للتوتر المقوم بحالتين :

أ- حالة كون الحمل أومياً صرفاً .

ب-حالة كون الحمل مختلطاً تحريضياً وأومياً ، وتغلب عليه الصفة التحريضية .

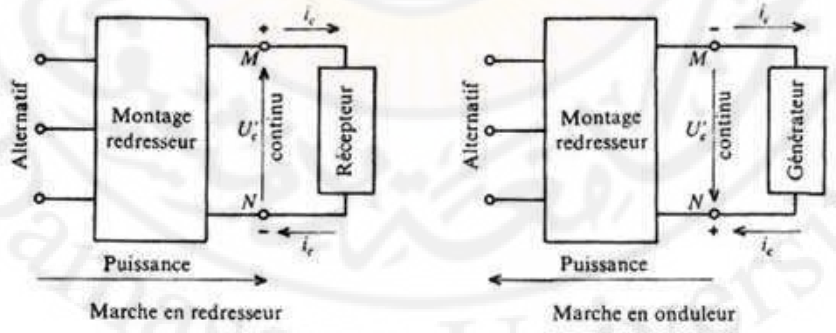
في الحالة الأولى عندما يكون الحمل أومياً فإن زيادة زاوية التأخير في الطور تؤدي إلى حذف المساحة الواقعة بين الزاوية صفر ولحظة تطبيق النبضة وتبقى القيمة المتوسطة للتوتر المقوم موجبة وقد لا تنعدم قيمة التوتر ، في الحالة الثانية ، كون الحمل تحريضياً فإنه سيظهر جزء سالب من موجة التوتر المتناوب المطبق في الدخل، إضافة لحذف جزء من الموجة في بداية زمن التأخير . هذا الجزء السالب ناتج

عن عدم إمكان انقطاع تيار الحمل واستمراره بالمرور رغم كون قطبية التوتر المطبق قد غيرت اتجاهها وعند الزاوية $\psi = \frac{\pi}{2}$ تكون القيمة المتوسطة للتوتر المقوم مساوية للصفر . وكل عنصر تقويم يعمل فترة زمنية قدرها $\frac{T}{q}$ من الدور .

٢-١١-٣ زاوية التأخير $\psi > \frac{\pi}{2}$ ((حالة معرج)) أو ((عاكس)) :

عندما تصبح زاوية التأخير Ψ أكبر قليلاً من $\frac{\pi}{2}$ (في حالة حمل تحريضي) ، يعمل جسر التقويم **كعاكس** Inverter ويعكس التوتر المقوم المتوسط U'_{c_0} اتجاهه أي أن النقطة N (نقطة الحيادي للمحول) تصبح موجبة والنقطة M (المشكلة بواسطة المهابط) تصبح سالبة.والتوتر المقوم U'_{c_0} ذو قيمة تزداد كبراً كلما اقتربت زاوية التأخير من القيمة π .

يحافظ التيار المار في المجموعة على اتجاهه كما في الشكل (2-12) من المصعد إلى المهبط في عناصر التقويم أي من النقطة M إلى N خارج دارة التقويم .



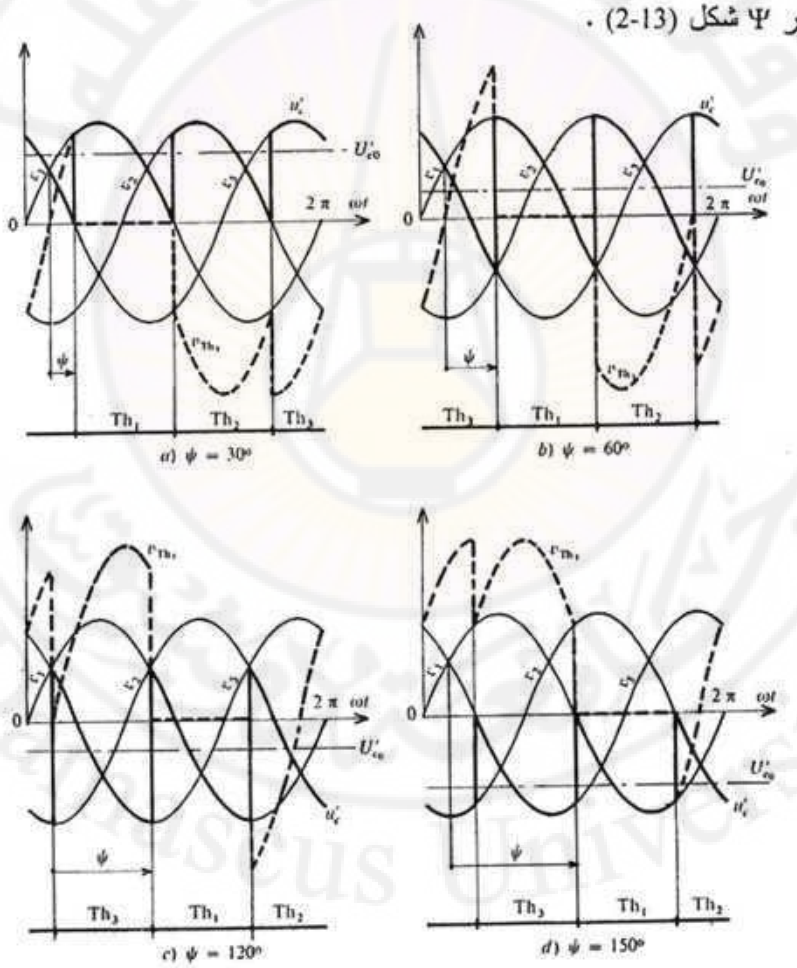
الشكل (2-12) تمثيل اتجاه التوتر والاستطاعة الفعالة عند العمل في الحالتين :

a- حالة $\psi < \frac{\pi}{2}$ مقوم . b- حالة $\psi > \frac{\pi}{2}$ معرج (عاكس) .

الاستطاعة المقدمة في الطرف المستمر ($U_{c0}I_c$) تعكس اتجاهها .

وبين النقطتين M و N لم يعد عندنا كما في السابق حمل عادي ، ولكن الحمل غدا مولدا وتمر الاستطاعة من الطرف المستمر باتجاه الطرف المتناوب والمجموعة نرى أنها تعمل كعاكس أو ما يسمى معرج غير مستقل (Onduleurs non autonommes) أو (Inverter) ويوضح الشكل (2-12) أعلاه الفروق بين كلا النظامين باختصار .

تبين الأشكال التالية شكل موجة الخرج للتوتر المقوم أو المعرج ، وذلك حسب زاوية التأخير Ψ شكل (2-13) .



شكل (2-13) شكل موجة توتر الخرج عند زاويا مختلفة للتاخير في الطور أيضاً التوتر العكسي وتتابع عمل عناصر التقويم

٢-١١-٤ ملاحظات :

١- مجموعة المحول ، وعناصر التقويم المتواجدة بين منبع ذي توتر متناوب وآخر ذي توتر مستمر عندما تعمل عند $\psi > 90°$ يطلق عليها غالباً (معرجات غير مستقلة) لأن الاستطاعة الكهربائية التي نحققها في شبكة التوتر المتناوب ذات تردد وشكل موجة مفروض علينا مسبقاً ، بينما لو كان ((المعرج مستقلاً)) . حيث أن طريقة عمله تختلف كثيراً عن ((المعرج غير المستقل)) . في هذه الحالة تكون القدرة التي نزود بها الشبكة المتناوبة ذات تردد وقيمة توتر تعتمد فقط على طبيعة المجموعة ، والمستهلك المتناوب ، أي أسلوب تصميم المجموعة وطريقة تجميعها . والمنبع عندئذ يكون هو منبع تيار مستمر (مدخرات وشاحن) وذلك كما في أنظمة عدم انقطاع القدرة الحديثة (No breaking systemes) .

٢- مجموعة التقويم ذات التحكم التي تعرضنا لها لا تسمح باسترداد (سحب) الاستطاعة بدون قلب جهة التوتر المستمر . فإذا وصلنا من جهة التوتر المستمر محركاً ، فإن هذا المحرك يستجر تياراً ذا قيمة تابعة للفرق بين قيمة التوتر المستمر المقوم ، والقوة المحركة الكهربائية للمحرك .

عندما نريد تشغيل هذه الآلة كمولد أو فرملتها ، وذلك لأن سرعتها ازدادت ، وعليه فإن القوة المحركة الكهربائية أضحت أكبر من التوتر المقوم . عندئذ يجب على التيار أن يعكس اتجاهه ، وهذا لا يتم بوساطة مجموعات التقويم ذات التوصيل التفرعي البسيط ، التي تعرضنا لها حتى الآن . ويلزم عندئذ استخدام مجموعات تقويم تفرعية مترابطة بشكل متعاكس ، بحيث أن إحدى المجموعات تعمل على تغذية الحمل في حالة كون اتجاه التيار موجباً فرضاً ، والمجموعة الأخرى تعمل عندما يعكس تيار الحمل اتجاهه.

وسنتطرق لمثل هذه المجموعات ذات الاتجاه المزدوج للتيار DUAL Converter في المستقبل .

٢-١١-٥ القيمة المتوسطة للتوتر المقوم في المجموعات المقادة :

بما أن التوتر المقوم (q) ذو قيم متشابهة وكل قيمة جزء من موجة جيبية ذات الشكل العام

$$U'_c = V_m \sin wt$$

فإنه خلال الفترة :

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2q} + \frac{\psi}{w} \qquad \text{و} \qquad \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \frac{\psi}{w}$$

يمكن حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم بإجراء تكامل لإحدى القيم وضرب التكامل بعدد القيم (q) وقسمة الناتج على الدور T كما هو مبين أدناه :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{T} \int_{\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}+\frac{\psi}{w}}^{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}+\frac{\psi}{w}} V_m \sin wt.dt$$

ومنه :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}.\cos\psi \qquad \text{.....(23)}$$

$$U'_{c_0} = U_{c_0} \cos\psi$$

لأن :

$$U_{c_0} = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

هذه القيمة للتوتر المتوسط تساوي كما نرى القيمة المتوسطة في حالة استخدام مجموعة تقويم بدون زاوية تأخير في الطور مضروبة بتجيب زاوية التأخير.

كلما تناقصت قيمة cosΨ تناقص (U'_{c_0}) وازدادت التعرجات في التوتر الناتج على خرج المجموعة أي كبر مطال التوافقيات المتراكبة على موجة الخرج ، يوضح ذلك الشكل (13-2) .

رأينا في العلاقة (23) القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عن مجموعة تقويم تفرعية بسيطة محملة بحمل تحريضي ويلاحظ أنه عند زاوية تأخير تعادل $\frac{\pi}{2}$ فإن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم تنعدم وتصبح مساوية الصفر .

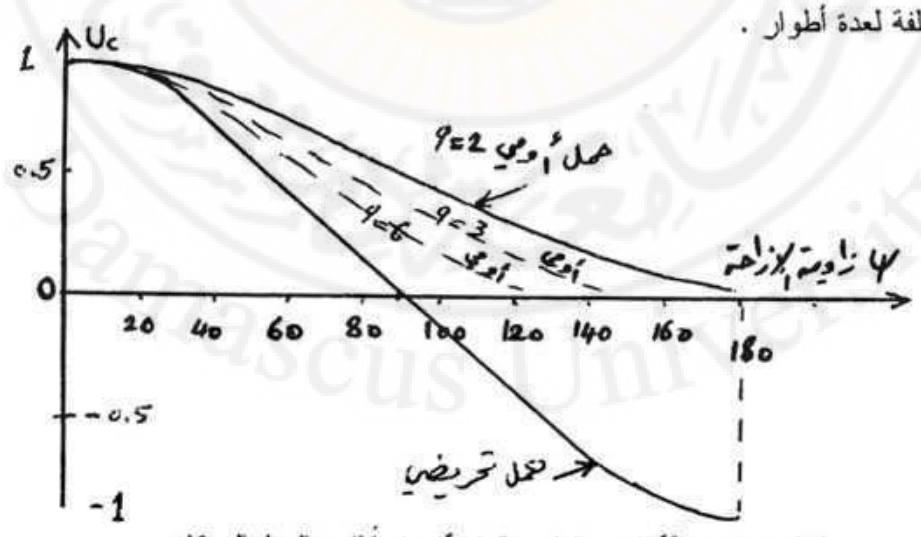
قد يكون الحمل أومياً (أو يمكن وضع ديود حر على طرف الخرج) في هذه الحالة كما نوهنا سابقاً فإن موجة التوتر المقوم لا تأخذ قيمة سالبة ، لذا فإن مجال التكامل السابق سوف يتغير سواء للمجموعة التفرعية الطور أو للمجموعة ذات q=2 .

ونتيجة لذلك فإن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم تصبح بشكل تقريبي مساوية :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{T} \int_{\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}-\frac{\psi}{w}}^{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}} V_m \sin wt.dt$$

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos\psi\right)$$

عندئذ تنعدم القيمة المتوسطة للتوتر المقوم عند الزاوية $(\psi = \pi)$ فقط وتبعاً لعدد الأطوار ويبين الشكل (14-2) التالي تغيرات قيم التوتر المتوسط المقوم تبعاً لتغيرات زوايا التأخير في الطور بالنسبة للحمل التحريضي وبالنسبة للحمل الأومي وعند قيم مختلفة لعدة أطوار .



شكل (14-2) علاقة التوتر المقوم بالزاوية ψ تبعاً لنوع الحمل المستخدم

٢-١١-٦ التيارات وعوامل الاستطاعة :

كل التيارات لها القيمة نفسها كما في حالة مجموعات التقويم العادية (بدون تأخير في الطور) . كل عنصر تقويم (ثيرستور) يمرر التيار I_c للفترة $\frac{T}{q}$ من الدور T فالتيارات المارة في الثيرستور تعطى :

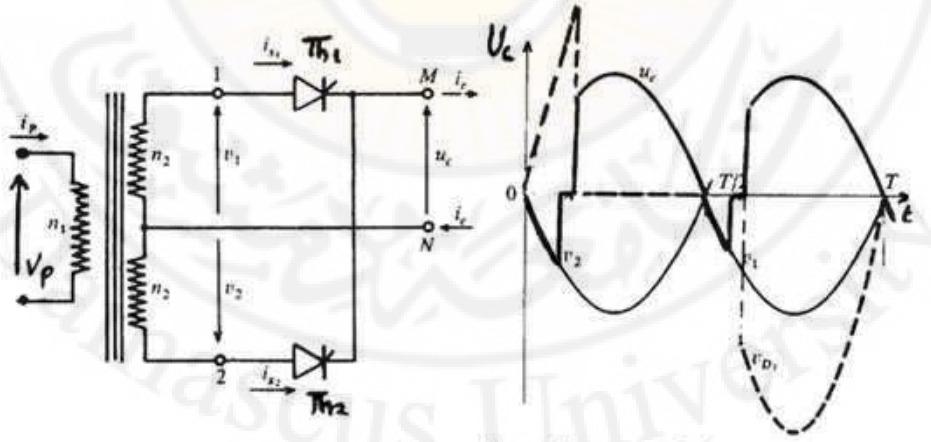
التيار المتوسط : $i_{av} = \frac{I_c}{q}$.

التيار الأعظمي : $i_{max} = I_c$.

التيار الفعال : $I = \frac{I_c}{q}$.

يمرر كل طور من الملفات المحول الثانوية التيار Ic للفترة $\frac{T}{q}$ فالقيمة الفعالة للتيار في الثانوي تبقى أيضاً :

$$I' = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$



شكل (2-15) حالة مقوم أحادي الطور بنقطة وسط q=2

a- مخطط التوصيل .

b- موجة توتر الخرج مع إظهار التطابق .

يبين الشكل (2-15-b) شكل موجة توتر الخرج ونرى فيها تأثير فترة التطابق في شكل موجة توتر الخرج (الفترة $\frac{\alpha}{w}$) وكذلك تأثير زاوية التأخير في الطور (Ψ) على شكل الموجة في حالة الحمل التحريضي .

عوضاً عن أن يكون الحمل تحريضياً قد يكون الحمل أومياً بحتاً وفي هذه الحالة فإن الجزء السالب من موجة توتر الخرج سوف لن يظهر أي أنه في هذه الحالة سيحدث انقطاع لتيار الحمل وذلك خلال فترة قدرها Ψ . وأن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم في هذه الحالة تكون أكبر من القيمة المتوسطة في حالة الحمل التحريضي عند نفس زاوية التأخير في الطور (ويمكن ملاحظة ذلك بالعودة للشكل (2-14) السابق) .

يمكن الحصول على شكل موجة توتر خرج مشابهة لحالة الحمل الأومي السابق بإضافة ديود عادي على طرف الخرج (نطلق عليه ديوداً حراً) مهمة هذا الديود عدم إظهار أية مركبة سالبة في توتر الخرج مهما كانت صفة الحمل المستخدم حيث أنه يسمح بتمرير المركبة السالبة للتوتر أو بالأحرى قصر هذه المركبة ، ويمر فيه تيار حمل مماثل بالقيمة لتيار الثيرستورات المستخدمة ، بينما الأمبير لفة الناتجة من مختلف لفات المحول الثانوية لها القيمة نفسها كما في حالة التقويم العادي وتمثل دائماً فيما بينها زاوية فرق الصفحة نفسها . ولذا فالتيارات في الملفات الابتدائية تحتفظ لنفسها بقيمة التيار نفسها المحسوبة سابقاً ، وشكل الموجة نفسه .

عوامل الاستطاعة المحسوبة سابقاً في هذه الحالة (استخدام الثيرستور) سوف تضرب بالعامل ($\cos\Psi$) حيث أن الاستطاعة المعطاة أو المحسوبة بوساطة مجموعة التقويم أصبحت مساوية :

$$U'_{c_0}.Ic \qquad \text{أو} \qquad U_{c_0}.\cos\psi.Ic$$

عوضاً عن ($U_{c_0}.Ic$) . وبما أن القيم الظاهرية للاستطاعات في الثانوي والابتدائي لم تتغير فإن عوامل الاستطاعة ستضرب بالعامل ($\cos\Psi$) .

(f_s بدون زاوية تأخير)

$$f'_s = |\cos\psi| . f_s$$

(f_L أو f_s بدون زاوية تأخير)

$$f'_p(ouf'_L) = /\cos\psi/ . f_p(ouf_L)$$

هذا الانخفاض في عوامل الاستطاعة هو ناتج عن إزاحة موجة التيار بالنسبة لموجة التوتر ، عند تغيير زاوية التأخير في الطور للثيرستور.

٢-١١-٧ حالات مختلفة لمجموعات التقويم التفرعية البسيطة :

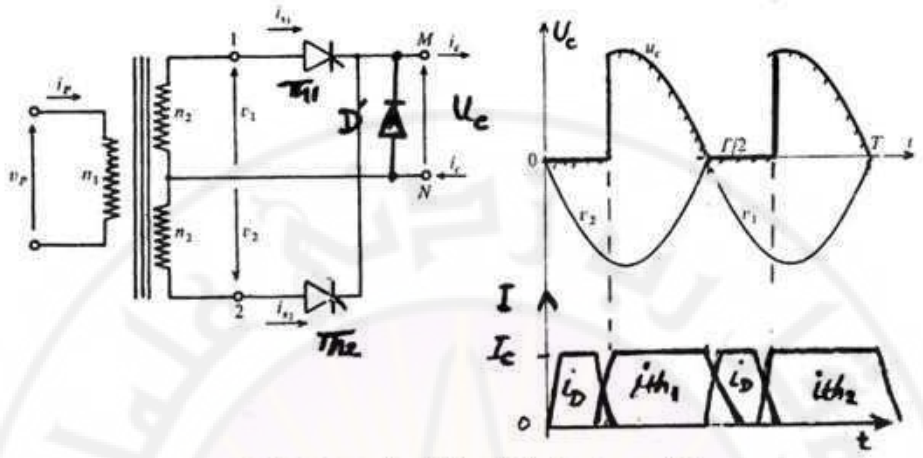
سنوضح فيما يلي أشكال موجة توترالخرج باعتبار فترة التطابق (التوتر المقوم) وذلك بالنسبة للحالات التالية :

أ- مقوم أحادي الطور ذو نقطة وسط مع ديود حر :

تم في هذه الدارة البسيطة استخدام ثيرستورين th2 و th1 ربطا على ملفين ثانويين لمحول أحادي الطور ، تم لف الملفين باتجاه واحد وأخذت نقطة الوسط المفترضة كنقطة حيادي إلى طرف الحمل الخارجي . جمعت مهابط عناصر التقويم في نقطة واحدة وبذا فإن الحمل يكون مربوطاً بين النقطة المشتركة للمهابط والنقطة المتوسطة للملفات .

عند زاوية تأخير في الطور وقدرها Ψ وعند الزمن الذي تتقاطع فيه موجة التوتر مع محور الزمن ينتقل الثيرستور الأول لحالة الحجز ويبدأ الديود بالتوصيل لذا عند حمل تحريضي يحدث تطابق بين الثيرستور الأول والديود المستخدم ، وكذلك بين الديود والثيرستور الثاني إنما بقيم مهملة مبدئياً . يزيد أيضاً وجود هذا الديود من قيمة زاوية التأخير في الطور اللازمة لخفض قيمة التوتر المتوسط المقوم ، وذلك بحذف المركبة السالبة للتوتر .

يبين الشكل (2-16) مخطط التوصيل وشكل موجة توتر الخرج المقوم كذلك تيار الحمل المار في عناصر التقويم ونرى بالخط المنقط تيار الديود في فترة عدم توصيل أي من الثيرستورين .



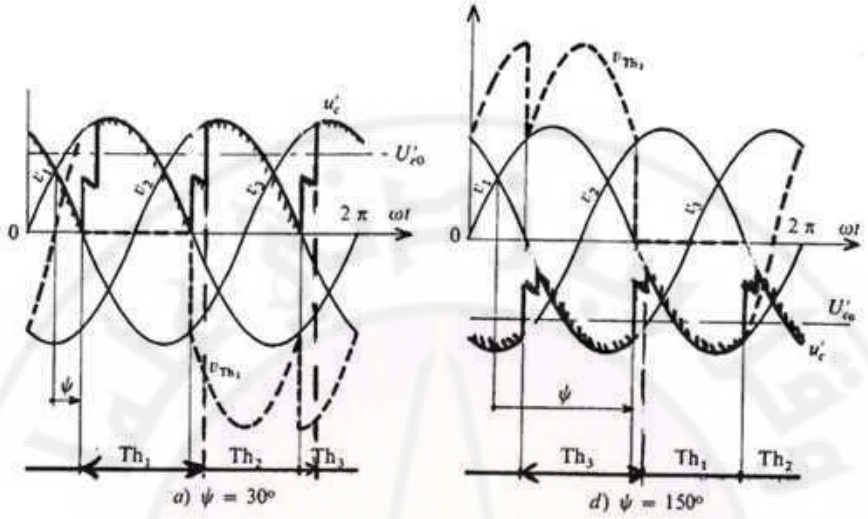
شكل (2-16) مقوم أحادي الطور q=2 مع ديود حر

a- الدارة المستخدمة . b- شكل موجة توتر الخرج . c- شكل تيارات العناصر المستخدمة

ب- مقوم ثلاثي الطور ذو نقطة وسط :

بينا في الشكل (2-17) شكل موجة توتر الخرج المقوم بالنسبة لمقوم ثلاثي الطور محمل بحمل تحريضي وفيه سنبين شكل موجة التوتر المقوم عند زاويتي تأخير في الطور $\psi > \frac{\pi}{2}$ وأخرى $\psi < \frac{\pi}{2}$ وإظهار فترة التطابق α ، أيضاً التيارات المارة في عناصر التقويم الثيرستورية المستخدمة .

• : الزاوية β المبينة في الشكل d يطلق عليها أيضاً زاوية التقديم حيث $\beta = 180 - \psi$.



شكل (17-2) مقوم ثلاثي الطور q=3 ذو نقطة حيادي .

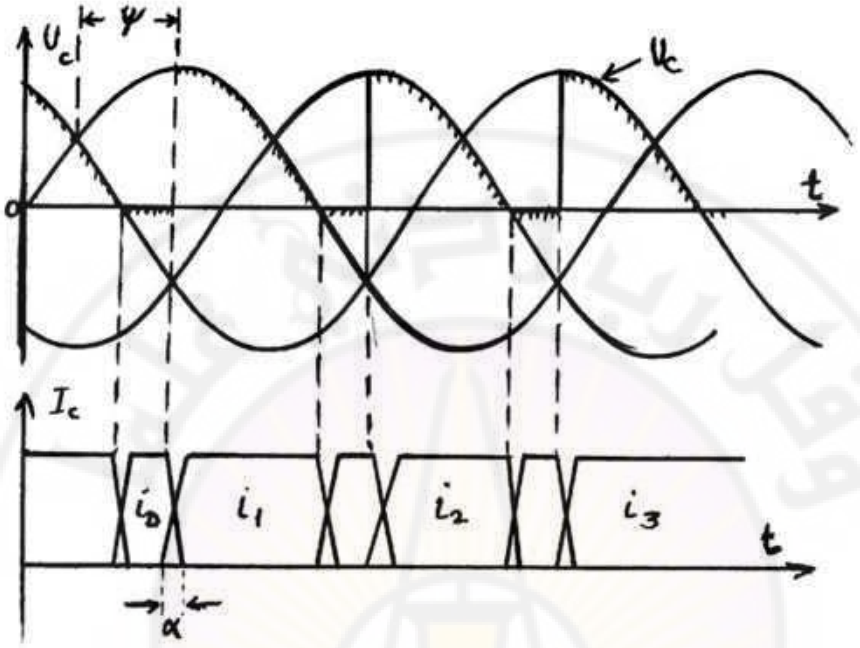
a- الدارة المستخدمة . b- شكل موجة التوتر عند زاوية تأخير $\psi < \frac{\pi}{2}$

c- شكل موجة التوتر عند زاوية تأخير $\psi > \frac{\pi}{2}$ ، d- شكل موجة التيار المار في العناصر

ج – حالة مقوم ثلاثي الطور ذي نقطة وسط مع يود حر :

سنضيف إلى دارة المقوم السابق شكل (17-2) ديوداً عادياً على طرفي الخرج ، مهمة هذا الديود كما في حالة المقوم أحادي الطور عدم إظهار مركبة سالبة في موجة توتر الخرج ، ويلاحظ أن تأثير هذا الديود في النظام الثلاثي الطور يظهر بعد الزاوية $\psi = 30°$ حيث أنه قبل هذه القيمة لا توجدمركبة سالبة في موجة الخرج .

يبين الشكل (18-2) موجة توتر الخرج الناتجة عند $\psi = 60°$ وأشكال التيارات في عناصر التقويم المستخدمة . مع إظهار التطابق بين الثيرستورات والديود الحر .



شكل (2-18) مقوم ثلاثي الطور q=3 ذو نقطة حيادي مع استخدام ديود حر

a- الدارة المستخدمة ، b- شكل موجة توتر الخرج .

c- شكل التيارات المارة في عناصر التقويم المستخدمة

٢-١١-٨ دراسة هبوط التوتر عند زاوية تأخير في الطور :

عند قيمة معطاة لتيار الحمل I_c ، لا تتعلق هبوطات التوتر الناتجة عن المقاومات الأومية وعناصر التقويم بزوايا التأخير في الطور Ψ وكما بينا تبقى مرتبطة بقيمة التيار لذا نتبع العلاقات الواردة أدناه والتي تم ذكرها سابقاً بدون إزاحة بالطور .

$$\Delta_2 U'_c = R_c I_c \quad \text{و} \quad \Delta_3 U'_c = (u) I_c$$

من الضروري التأكد أن هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق عند زاوية تأخير في الطور قدرها Ψ تعطى بنفس العلاقة الواردة في حالة العمل الطبيعي . في الحقيقة ، بدءاً من اللحظة $t = (\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4} + \psi)/w$ أو $t = (\frac{T}{4} + \frac{T}{2q} + \psi)$ حيث يتم قدح الثيرستور th_2 كما في الشكل (2-19) فإن الثيرستورين th_2 و th_1 سيوصلان سوية لأن

الثيرستور th_1 ينتقل لحالة الحجز وبدء الثيرستور th_2 بالتوصيل ، والتوتر المقوم يعطى عندئذ :

$$U'_c = V_1 - L_2 \frac{di_{s_1}}{dt} \quad \text{و} \quad U'_c = V - L_2 \frac{di_{s_1}}{dt}$$

بما أننا نفترض أن $i_{s_1} + i_{s_2} = I_c$ وهو ذو قيمة ثابتة فإنه ينتج كما نعلمنا سابقاً :

$$U'_c = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad \text{و} \quad \frac{di_{s_2}}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{2L_2}$$

نستنتج من العلاقة الثانية زاوية التطابق بعد تعويض V_1و V_2 بعلاقاتها :

$$\frac{di_{s_2}}{dt} = \frac{V_m}{L_2} \sin\frac{\pi}{q} \cos(wt - \frac{\pi}{q})$$

بإجراء التكامل :

$$i_{s_2} = -\frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} \sin(wt - \frac{\pi}{q}) + Cte$$

يلاحظ أن $i_{s_2} = 0$ من أجل $wt = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi$ وهذا يعطي قيمة ثابت التكامل وعلاقة i_{s_2} تعود لتصبح :

$$i_{s_2} = -\frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} [\cos\psi - \sin(wt - \frac{\pi}{q})$$

تتم نهاية فترة التبديل (أو التطابق) من أجل :

$$wt = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} + \psi + \alpha$$

وذلك عندما يصل التيار i_{s_2} إلى القيمة I_c .

$$I_c = -\frac{V_m}{L_2 w} \sin\frac{\pi}{q} [\cos\psi - \cos(\psi + \alpha)$$

تعطى زاوية التطابق α إذاً بالعلاقة :

$$\cos\psi - \cos(\psi + \alpha) = \frac{L_2 w I_c}{V_m \sin\frac{\pi}{q}}$$

ويعطى عندئذ التوتر الناتج عن فترة التطابق $\Delta_1 U'_c$ بتغيير مجال التكامل حيث أن توتر الخرج خلال فترة التطابق سيكون مساوياً $\frac{V_1+V_2}{2}$ عوضاً عن V2 وهنالك (q) مرة تطابقاً خلال الدور T.

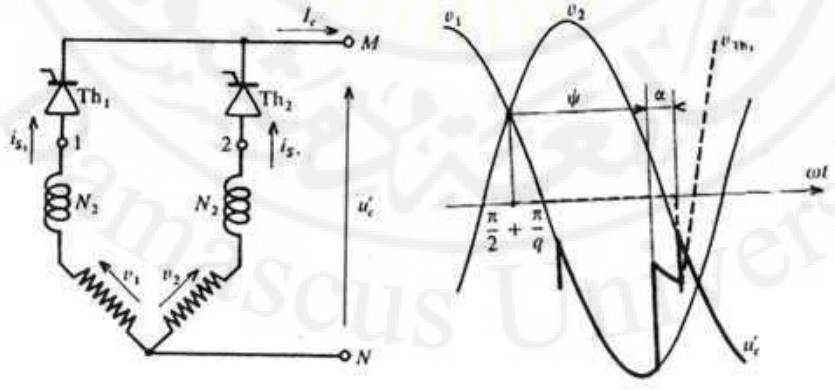
$$\Delta_1 U'_c = \frac{q}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}+\psi}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{q}+\psi+\alpha} (V_2 - \frac{V_1+V_2}{2}) dwt$$

$$\Delta_1 U' = \frac{q}{2\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} [\cos\psi - \cos(\psi+\alpha)]$$

وإذا ما عوضنا عن $[\cos\psi - \cos(\psi+\alpha)]$ في العلاقة أعلاه بدلالة زاوية التطابق نعود للعلاقة المعروفة في المجموعات غير المقادة :

$$\Delta_1 U'_c = \frac{q}{2\pi} L_2 w I_c$$

- هذه النتيجة تبين أنه يمكن استخدام نفس العلاقة لحساب هبوط التوتر الناتج عن التطابق سواء هنالك إزاحة بالطور أو حالة عدم وجود إزاحة بالطور . الشيء الأساسي الذي اختلف هو قيمة زاوية التطابق حيث أن زاوية التطابق تختلف وتصغر قيمتها عند إجراء إزاحة بالطور .



شكل (19-2) عملية التطابق

α زاوية التطابق ،ψ- زاوية التأخير في الطور

٢-١١-٩ ملاحظات :

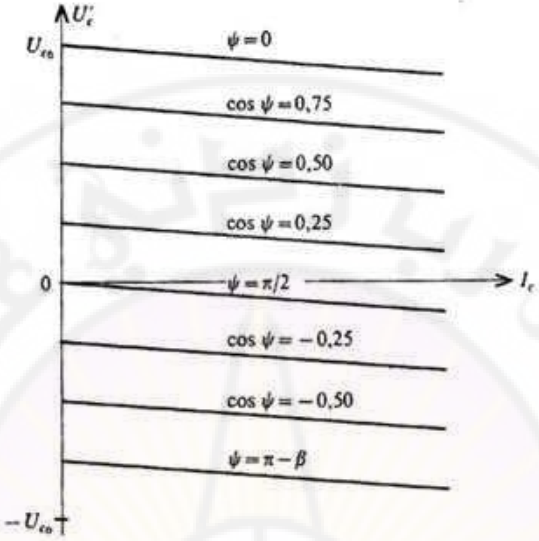
- بما أن ، من أجل تيار حمل معين I_c، فهبوطات التوتر الجزئية ومجموعها الكلي $\Delta U'_c$ لا يعتمد على قيمة زاوية التأخير في الطور Ψ ، فإن خواص منحني التحميل $U'_c(I_c)$ المرسوم عند قيم مختلفة لـــ Ψ ستكون متوازية كما في الشكل (2-20) .

ولدى العمل كمعرج (عاكس) نلاحظ تزايد U'_c عند تزايد التيار I_c وكأن هبوط التوتر الناتج عن التطابق يضاف للتوتر المتوسط المقوم الناتج عن العاكس .

- هبوط التوتر عادةً ، في المجموعات المقادة أقل تأثيراً من هبوط التوتر في المجموعات غير المقادة لأنه في الأولى يمكن تغيير زاوية التأخير في الطور Ψ لتعدل الهبوط الناشئ والمحافظة على توتر خرج ثابت .

- هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق قد يكون ذا تأثير أكبر في مجموعات التعريج (العواكس) وكلما كبرت الممانعة L2w زاد هذا الهبوط وزادت فترة التطابق $\frac{\alpha}{w}$.

وهذا ينعكس على فترة الحجز للثيرستور (انظر الشكل (2-19)) . كلما كبرت قيمة L2wIc يجب تكبير زاوية الأمان (angle de grad)(γ) وهذا بالتالي يخفض من إمكان الوصول لزوايا تأخير كبيرة ولذا يجب العمل دائماً عند زوايا تأخير أقل من 180° درجة وذلك بحدود (150°-165°) فقط .



شكل (2-20) خواص التحميل عند العمل كمقوم أو معرج يبين ميل الخواص $U_c'(I_c)$ عند العمل كمقوم هبوط التوتر الداخلي في مجموعة التقويم

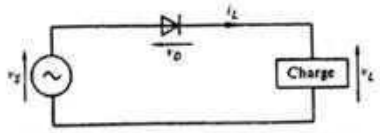
أمثلة محلولة :

مثال ١:

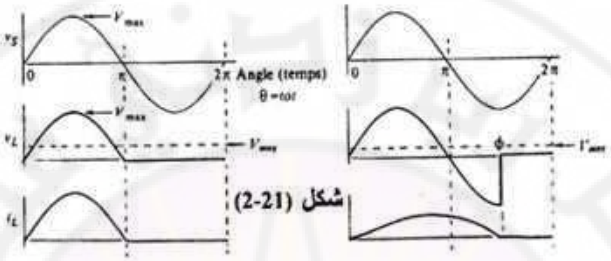
استخدم ديود وحيد لتقويم التوتر المتناوب الجيبي ذي القيمة الفعالة 240V ، تردد 50Hz . كما في الشكل المبين (2-21) أدناه . بإهمال هبوط التوتر على الديود ، ارسم شكل التيار وقيمته المتوسطة في الحمل ، والتوتر المتوسط المقوم المطبق على الحمل وذلك من أجل :

i) حالة حمل أومي صرف $R=10\Omega$.

ii) حالة حمل مختلط ، ملف بحثية 0.1H على التسلسل مع مقاومة 10Ω .



a)



شكل (2-21)

الحل :

القيمة العظمى للتوتر الفعال المعطى هو $V_{max} = 240\sqrt{2} = 339.4V$

i) من أجل حمل أومي صرف ، تيار الحمل يمر خلال نصف دور من موجة التوتر وله القيمة العظمى التالية :

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{R} = \frac{339.4}{10} = 33.94A$$

القيمة المتوسطة للتوتر المقوم تعطى من العلاقة :

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{\theta=0}^{\theta=\pi} V_{max}\sin\theta d\theta$$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{\pi}$$

حيث $\theta = wt$.

وعليه فإن التوتر المتوسط يساوي :

$$V_{av} = \frac{339.4}{\pi} = 108V$$

وأيضاً التيار المتوسط يساوي :

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{108}{10} = 10.8A$$

ii) في حالة الحمل المختلط R+jwL .

R=10Ω L=0.1H معادلة التيار المار في هذه الحالة هي حل المعادلة التفاضلية التالية:

$$V_{max}\sin wt = L\frac{di}{dt} + Ri$$

i=0 من أجل t=0 .

$$339.4\sin 2\pi 50t = 0.1\frac{di}{dt} + 10i$$

حل المعادلة بإجراء تحويل لابلاس باعتبار $i(t)$ يمثل $\bar{I}(s)$ نجد :

$$339.4\times\frac{2\pi 50}{S^2+(2\pi 50)^2} = 0.1(S\bar{i} - i_0) + 10\bar{i}$$

حيث $i_0 = 0$

$$\bar{I} = \frac{1066000}{[S^2+(2\pi 50)^2](S+100)}$$

يمكن أيضاً تحديد شكل معادلة التيار باعتبار أنه مكون من مركبتين أحدهما دورية دائمة والأخرى غير دورية عابرة متناقصة ذات قيمة أولية توافق أن التيار الأولي يعادل الصفر .

المقاومة في حالة المتناوب تكون مكونة من مقاومة 10Ω على التسلسل مع ممانعة تساوي $2\pi 50\times 0.1\Omega = 31.4$أوم أي 32.97Ω أوم .

ومنه فإن المركبة العظمى للتيار المتناوب الدوري ستكون مساوية $\frac{339.4}{32.97}$ وتساوي 10.29A . وستكون هذه المركبة متأخرة عن التوتر بـ $Arc\tan\frac{31.4}{10} = 72.3°$ أو ما يعادل 1.262 راديان .

المركبة المتناوبة للتيار (I_F) تساوي إذاً :

$$I_F = 10.29\sin(2\pi 50t - 1.262)A$$

عند الزمن t=0 يساوي التيار القيمة -9.81A .

ثابت الزمن للدارة يساوي $\frac{1}{100} = 0.11.0$ ثانية .

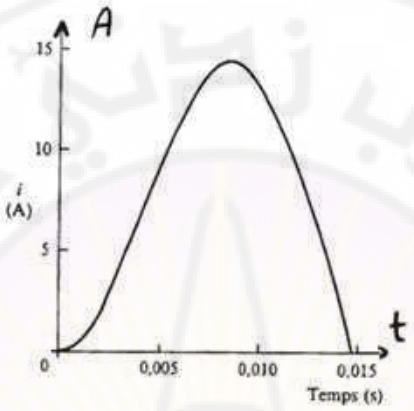
المركبة المستمرة I للتيار عندئذ تساوي :

$$I_t : 9.81e^{-100t}A$$

التيار الكلي يساوي مجموع هاتين المركبتين :

$$i = 9.81e^{-100t} + 10.29\sin(2\pi 50 - 1.262)A$$

حسب الشكل (2-22) المبين أدناه للتيار ، سيتوقف تيار الديود عن المرور عندما يبدأ بالانعكاس .



شكل (2-22)

من العلاقة ينعدم التيار $i = 0$ الزمن $t = 0.01472Sec$ مما يعطي زاوية أو فترة استمرار قدرها 265° . بناءً على القيمة المتوسطة للتوتر المقوم يمكن حسابه من العلاقة:

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{265} 339.4\sin\theta d\theta = 58.8Volts$$

يمكن أيضاً حساب القيمة المتوسطة للتيار بإجراء التكامل ، لكن حسابه نتيجة قسمة التوتر المتوسط على المقاومة الأومية أكثر سهولة . وعليه :

$$I_{av} = \frac{58.8}{10} = 5.88A$$

مثال ٢ :

في الشكل (2-22) السابق إذا استبدلنا الديود بثيرستور ، حدد أيضاً القيمة المتوسطة للتوتر وللتيار في الحمل المكون من مقاومة أومية 10Ω مع ممانعة لملف 0.1H إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور المعطاة للثيرستور تساوي 90° . توتر التغذية جيبي متناوب ذي قيمة فعالة 240V وبتردد 50Hz ، مع إهمال هبوط التوتر على الثيرستور .

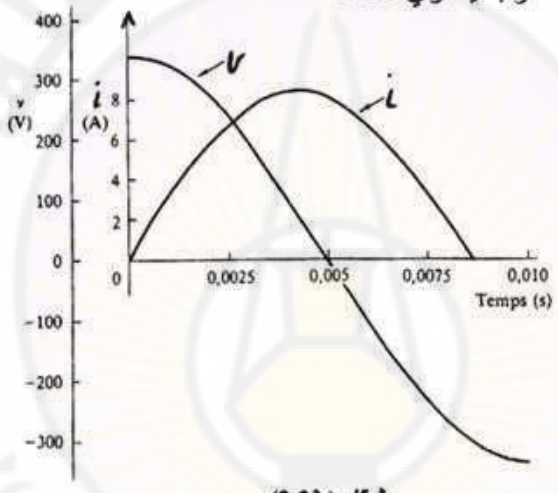
الحل :

هذه المسألة تشابه الجزء الثاني من المثال الأول ، لكن مع وجود إزاحة بالطور الشكل (2-23) يمثل شكل التوتر المقوم التيار المار باعتبار أنه عند t=0 كان التيار مساوياً للصفر.

- المركبة المتناوبة للتيار في حالة العمل الدائم للتيار تعطى بالعلاقة :

$$i_{ac} = 10.29\sin(2\pi 50t - 1.262 + 1.571)A$$

ومن أجل t=0 التيار المتناوب يساوي 3.12A



شكل (2-23)

بناءً عليه يمكن وضع معادلة التيار الكلي بالشكل :

$$i = 10.29\sin(2\pi 50t + 0.309) - 3.12e^{-100t}A$$

يتوقف التيار من المرور، ويصبح مساوياً الصفر i=0 عند الزمن t=0.0086sec ثانية أي ما يعادل 155° درجة كهربائية .وبناءً عليه يمكن حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم:

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_{90^{\circ}}^{155^{\circ}+90^{\circ}} 339.4\sin\theta\, d\theta = 22.8v$$

وعليه التيار المتوسط :

$$I_{av} = \frac{22.8}{10} = 2.28A$$

مسائل عامة

مسألة /١/ :

مجموعة تقويم ثيرستورية ثلاثية الطور (تقويم تفرعي بسيط) غذيت المجموعة عن طريق محول ثلاثي الطور وصل الطرف الثانوي المكون من ستة أطوار بشكل نجمي والطرف الابتدائي بشكل مثلثي .

١- ارسم مخطط التوصيل اللازم لهذه المجموعة ، وبين وبالتفصيل كيفية إقلاع عناصر التقويم المستخدمة (الثيرستورات) ما هي العناصر الضرورية للعمل؟ بين ذلك على شكل مخطط صندوقي . كيف يمكن إزاحة النبضات في هذه الدارة .

مسألة /٢/ :

يراد تغذية حمل تحريضي بتوتر قدره 220v توتراً مستمراً وذلك بواسطة مجموعة تقويم تفرعية بسيطة ثلاثية الطور .

١- ما هي القيمة الفعالة لتوتر الطور في ملف المحول الثانوي .

٢- إذا كانت زاوية التأخير في الطور $\psi = 60°$ ما هي قيمة التوتر المتوسط المقوم الناتج عن توتر الطور الناتج في الفقرة الأولى .

٣- ارسم شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج في حالة $\psi = 0°$ وكذلك شكل تيارات الأطوار الثلاث للمحول الثانوي .

٤- كرر عملية رسم التوتر المتوسط المقوم وتيارات الأطوار عند زاوية التأخير في الطور . $\psi = 60°$.

٥- ارسم شكل التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم عند الزاوية $\psi = 60°$

مسألة /٣/ :

توتر العمل لمحرك تيار مستمر 220v وتيار الحمل الاسمي له I_a=10A يراد تشغيل هذا المحرك بواسطة مجموعة تقويم ثيرستورية ثلاثية الطور . لهذا الغرض استخدم محول ثلاثي الطور ونفذ مجموعة التقويم اللازمة وبين لنا ما يلي :

١- توتر الطور الفعال للمحول الثانوي . وتوتر التغذية الممكن لطرف المحول الابتدائي .

٢- هل يلزم استخدام تأخير في الطور للحصول على التوتر الاسمي لمحرك التيار المستمر وما هو عندئذ .

٣- إذا كانت لديك ممانعة معتمدة لطرفي المحول الابتدائي والثانوي وشبكة التغذية قدرها 0.003H منسوبة للطرف الثانوي . ما هي زاوية التطابق الناشئة عندئذ وهبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق هذه .

٤- ما هي زاوية التشغيل النهائية لمجموعة التقويم الثيرستورية بعد اعتبار فترة التطابق .

مسألة /٤/ :

مجموعة تقويم يراد بواسطتها الحصول على توتر مقوم من الرتبة السادسة . ما هي المجموعة الواجب استخدامها .

١- ما هي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم إذا كان توتر الطور الفعال في الثانوي للمحولة المستخدمة 220v .

٢- ارسم شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج في هذه الحالة وذلك عند زاوية تأخير في الطور قدرها صفر $\psi = 0°$.

٣- ضع حملاً أومياً على خرج مجموعة التقويم التفرعية هذه وطبق انزياحاً لزاوية التأخير في الطور قدره $\psi = 90°$.

ما هي في هذه الحالة :

١- القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج عند الزاوية المعتمدة .

٢- شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج .

٣- شكل التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم عند زاوية التأخير في الطور المعتمدة .

٤- ما هي قيمة التوتر العكسي على أحد العناصر المستخدمة .

٥- عين تتابع عمل عناصر التقويم في الدارة الأخيرة (عند الحمل الأومي) ارسم شكل التيار المار في كل عنصر .

٦- إذا تم فصل الثيرستور الثاني ما هو شكل التوتر المقوم الناتج عندئذ .

مسألة /٥/ :

غذي محرك التيار المستمر ذو توتر العمل الاسمي V=220v بمجموعة تقويم تفرعية بسيطة ثلاثية الطور . عندما يدور محرك التيار المستمر بسرعته الاسمية وعند تيار التحريض الاسمي له تتشكل لدينا قوة محركة كهربائية عكسية قدرها 190v .

١- ما هو توتر الطور للمحول الثانوي الواجب استخدامه والكافي لإجراء تغيير في قيمة التوتر المتوسط المقوم للتحكم بسرعة المحرك .

٢- ما هو شكل التوتر على طرفي آلة التيار المستمر ، وذلك عند دوران المحرك بسرعته الاسمية .

مسألة /٦/ :

مجموعة تقويم تفرعية بسيطة P2 من الثيرستور طبق عليها توتران $V_m \sin wt$ و $-V_m \sin wt$ ، طبقت المجموعة على حمل أومي وتحريضي ذي ثوتبت R و L .

١- احسب كتابع للزاوية ψ قيمة U'_{c_0} وارسمها $U'_{c_0} = f(\psi)$.

٢- حدد شكل تابع التيار المقوم i_c وذلك في الحالات الثلاث التالية :

a- الحمل تحريضي بحت .

b- الحمل أومي بحت .

c- الحمل ذو نسبة $Q = Lw/R = 1$ ثم تساوي 0.5 .

مسألة /٧/ :

مجموعة تقويم تفرعية مكونة من ثلاث عناصر تقويم غير مقادة (ديود) تعمل على تقويم توتر متناوب ثلاثي الطور ذي سعة Vm طبقت المجموعة على حمل ذي قوة محركة كهربائية عكسية (F.c.e.m).E ومقاومة R . بإهمال الممانعات الداخلية للمجموعة والشبكة المغذية ، كذلك هبوط التوتر المباشر على عناصر التقويم ، احسب كتابع للنسبة $K = \frac{E}{V_m}$ ما يلي :

١- القيمة المتوسطة للتوتر U_{c_0} .

٢- القيمة المتوسطة I_c للتيار المقوم i_c .

٣- القيمة الفعالة I لهذا التيار .

افرض أولاً أن $0 < k < 0.5$ ثم $0.5 < k < 1$.

الفصل الثالث

مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة (PD)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة (PD)

٣-١ دراسة التوترات والتيارات :

أخذت مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة اسمها من حيث إنها مكونة من مجموعتي تقويم بسيطتين ، الأولى مجموعة تقويم أطلقنا عليها سابقاً ، مجموعة ذات اتجاه موجب ، والثانية مجموعة ذات اتجاه سالب ، توصل هاتان المجموعتان إلى منبع التغذية للحصول على مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة والتي سنرمز لها بالرمز PD حيث الرمز P للدلالة على أنها تفرعية و D مضاعفة .

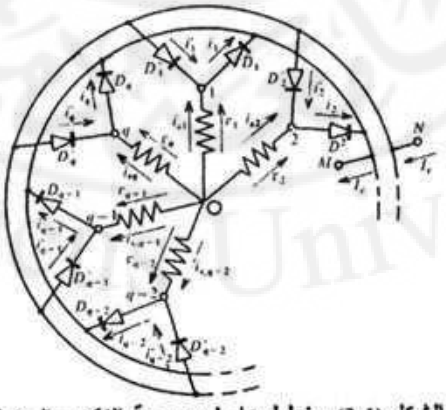
تربط عناصر التقويم إلى نهاية ملفات الأطوار التي تكون موصلة غالباً بشكل نجمي وفي هذه الحالة يوجد ثيرستوران على طرف كل ملف موصولان بشكل متعاكس . تأخذ دائماً مجموعة مهابط المجموعة الأولى القطبية الموجبة وسميت M . وتأخذ دائماً مصاعد المجموعة الثانية القطبية السالبة وسميت N .

رمز لعناصر المجموعة الأولى بـ $(D_1,D_2,D_3,....D_q)$. وللتيارات المارة في العناصر بـ $(i_1,i_2,i_3,.....i_q)$.

عناصر المجموعة الثانية $\left(D'_1,D'_2,D'_3,.....,D'_q\right)$. التيارات المارة في العناصر للمجموعة الثانية $\left(i'_1,i'_2,i'_3,.....,i'_q\right)$.

رمز لتوترات الأطوار بـ $(V_1,V_2,V_3,.....,V_q)$.

يبين الشكل (3-1) المخطط الرمزي لمجموعة التقويم التفرعية المضاعفة .



الشكل (3-1) مخطط عام لمجموعة التقويم المضاعفة PD

٣-١-١ طريقة عمل المجموعة :

عندما يعمل الديود (أو الثيرستور) التابع للمجموعة الأولى من عناصر التقويم ، والواقع تحت أكبر توتر موجب ، فإن النقطة M تأخذ قيمة هذا التوتر وتكون ذات قطبية موجبة من أجل الفترة :

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر V1 ، فرضاً ، هو أكبر التوترات بين توترات الـ q طوراً . عندئذ سيكون الديود D1 موصلاً ويكون :

$$V_M - V_0 = V_1$$

بالمثل بعد فترة تساوي $\frac{T}{q}$ فإن الديود D2 سيصبح موصلاً معطياً التيار والتوتر :

$$V_M - V_0 = V_2$$

تشكل الديودات التابعة للمجموعة الثانية $\left(D'_1, D'_2, \ldots\ldots, D'_q\right)$ كما نعلم مجموعة تقويم ذات اتجاه سالب والنقطة N تكون ذات قطبية سالبة ، وهكذا فإنه من أجل الفترة :

$$\frac{3T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{3T}{4}+\frac{T}{2q}$$

فإن الديود D'_1 سيمرر التيار Ic والتوتر :

$$V_N - V_0 = V_1$$
$$V_0 - V_N = -V_1$$

طالما أن التوتر V_1 هو في تلك الفترة أكبر التوترات سلبية (كقيمة عظمى)

$$\frac{3T}{4}+\frac{T}{2q}<t<\frac{3T}{4}+\frac{3T}{2q}$$

فإن التوتر V_2 هو عندئذ أكبر التوترات سلبية وعنصر التقويم D'_2 المربوط على هذا الطور سيوصل .

إذاً الديود D'_2 سيصبح موصلاً والتوتر بين N و 0 يصبح :

$$V_N - V_0 = V_2$$

وهكذا تستمر عملية التوصيل لباقي العناصر الموجبة والسالبة .

٣-١-٢ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم :

يؤخذ التوتر المتوسط المقوم بين المأخذين M و N ، كما نعلم . يمثل المأخذ M القطب الموجب لمجموعة التقويم ، ويمثل المأخذ N القطب السالب ، فرق الكمون الناتج بينها يساوي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج . تساوي قيمة هذا التوتر ضعف التوتر الناتج عن مجموعة التقويم التفرعية البسيطة .

$$U_c = (V_M - V_0) - (V_N - V_0)$$
$$U_c = (V_M - V_N)$$

عدد الأطوار q المستخدمة يمكن أن يكون مزدوجاً أو مفرداً .

لذا سندرس قيمة التوتر المتوسط في كلتا الحالتين .

٢-١ : حالة عدد الأطوار q زوجياً .

٢-٢ : حالة عدد الأطوار q فردياً .

٢-١ عدد الأطوار (q) زوجياً :

عندما يكون عدد الأطوار زوجياً ، فإن التوترات المقومة تكون متعاكسة تماماً أي :

$$V_1 = -V_{\frac{q}{2}+1} \qquad \text{و} \qquad V_2 = -V_{\frac{q}{2}+2}$$

وهكذا خلال الفترة :

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{T}{2q}$$

التوتر V_1 هو أكبر التوترات إيجابية والديود D1 هو الموصل . وكذلك التوتر $V_{\frac{q}{2}+1}$ اكبر التوترات سلبية والديود $D'_{\frac{q}{2}+1}$ سيكون موصلاً .

التوتر المقوم إذاً :

$$U_c = V_1 - V_{\frac{q}{2}+1}$$
$$U_c = 2V_1 = 2V_m \sin wt$$

بالمثل من أجل الفترة :

$$\frac{T}{4} + \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{3T}{2q}$$

٢-٢ عدد الأطوار (q) فردياً :

عندما يكون q فردياً فإن توترات الأطوار التي تتناوب في جعل عناصر التقويم تنتقل إلى حالة التوصيل ، لم تعد متقابلة ، ولقد لمسنا في حالة كون عدد الأطوار زوجياً أن كل عنصر من المجموعة يقابله بالعمل عنصر آخر من المجموعة السالبة ، يبدآن العمل سوية ويقفان (يحجزان) أيضاً في الوقت نفسه .

وكأن التوتر المتوسط المقوم الناتج هو حاصل طرح التوتر الناتج عن كل من هذين العنصرين .

في حالة كون عدد الأطوار فردياً ، وهي الحالة التي نحن في صددها ، فإن التوتر المحصل الناتج ليس نتاج عنصرين ، إنما يشترك فيه أكثر من عنصرين ، حيث أنه خلال فترة عمل عنصر ما لتمرير الموجة الموجبة ، فرضاً ، يتناوب عنصران آخران لتمرير الموجة السالبة ، وتستمر بهذا الشكل عملية التوصيل والحجز لباقي عناصر التقويم تبعاً لعدد الأطوار المستخدم .

مثلاً من أجل :

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر V_1 هو أكبر التوترات إيجابية .

وكذلك خلال الفترة

$$\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}<t<\frac{T}{4}$$

التوتر $\frac{V_{q+1}}{2}$ هو أكبر التوترات سلباً .

أيضاً خلال الفترة :

$$\frac{T}{4}<t<\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}$$

التوتر $\frac{V_{q+3}}{2}$ هو أكبر التوترات سلبية .

لذا فإن التوتر المقوم U_c خلال الفترة :

$$(\frac{T}{4} \text{ إلى } \frac{T}{4}-\frac{T}{2q})$$

حيث الديود D1 والديود $\frac{D'_{q+1}}{2}$ في حالة التوصيل هو :

$$Uc = V_1 - \frac{V_{q+1}}{2}$$

$$U_c = V_m \sin wt - V_m \sin[wt - \frac{(q-1)^2}{2}\frac{\pi}{q}$$

$$U_c = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q}\sin(wt+\frac{\pi}{2q})$$

وخلال الفترة :

$$\frac{T}{4} \qquad \text{إلى} \qquad \frac{T}{q}+\frac{T}{2q}$$

الديود D1 سيستمر بالتوصيل مع $\frac{D'_{q+3}}{2}$ والتوتر المقوم عندئذ :

$$U_c = V_1 - \frac{V_{q+3}}{2} = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q}\sin(wt-\frac{\pi}{q})$$

من ناحية أخرى خلال الفترة :

$$\frac{T}{4}+\frac{T}{2q} \qquad \text{إلى} \qquad \frac{T}{4}+\frac{T}{q}$$

عندما D2 و $\frac{D'_q+3}{2}$ في حالة توصيل .

$$U_c = V_2 - \frac{V_{q+3}}{2} = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q}\sin(wt-\frac{3\pi}{2q})$$

التوتر المقوم الناتج Uc مكون من 2q قمة من التوتر الجيبي في الدور T .عندئذ يكون حساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم :

$$U_c = \frac{2q}{T}\int_{\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}}^{\frac{T}{4}} 2V_m \cos\frac{\pi}{2q}\sin(wt-\frac{\pi}{2q})dt$$

ومنه :

سيكون الديود D_2 و $D'_{\frac{q}{2}+2}$ في حالة التوصيل ، التوتر المقوم :

$$U_c = V_2 - V_{\frac{q}{2}+2} = 2V_2 = 2V_m \sin(wt - \frac{2\pi}{q})$$

سيكون التوتر المقوم في هذه الحالة مكوناً من q من قمة التوتر الجيبي لكل دور T وقيمته المتوسطة تعطى بالعلاقة :

$$U_{c_0} = \frac{q}{T} \int_{\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}}^{\frac{T}{4}+\frac{T}{2q}} 2Vm \sin wt dt$$

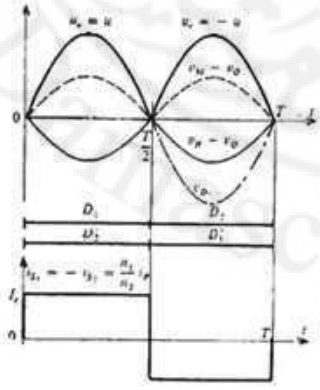
$$U_{c_0} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)_{PD}$$

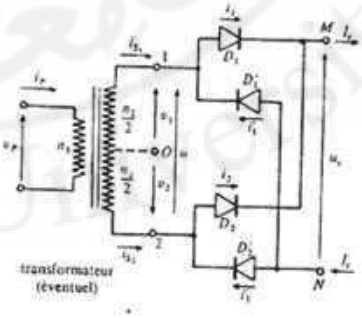
أي ضعف التوتر المتوسط الذي حصلنا عليه في حالة المقوم التفرعي البسيط .

بينما عامل التعريج K0 يحافظ على قيمته من أجل كل التوترات ذات الـ q طوراً وهو كما نعلم :

$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \frac{1 - \cos\frac{\pi}{q}}{\sin\frac{\pi}{q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)_{PD}$$

يبين الشكل (3-4a) شكل موجة توتر الخرج U_{c_0} من أجل q=2 حيث أن رتبة التوتر الناتج مساوية عدد الأطوار المستخدمة . والجسر المستخدم هو الجسر أحادي الطور ويبين الشكل التالي مخطط التوصيل اللازم .





الشكل (3-2) الجسر أحادي الطور المضاعف q=2

$$U_{c_0} = \frac{2q}{T} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

مساوياً التوتر المتوسط الناتج في حالة كون q عدد الأطوار زوجياً . وعامل التعـريج K_0 هو إذاً المتعلق بالتوتر ذي الرتبة 2q . ويعطى :

$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \frac{1-\cos\frac{\pi}{2q}}{\sin\frac{\pi}{2q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2')_{PD}$$

ملاحظة :

يمكن حساب التوتر المتوسط U_{c_0} بملاحظة أن القيمة المتوسطة لـ V_M-V_N هي المجموع المطلق للقيم المتوسطة لـ :

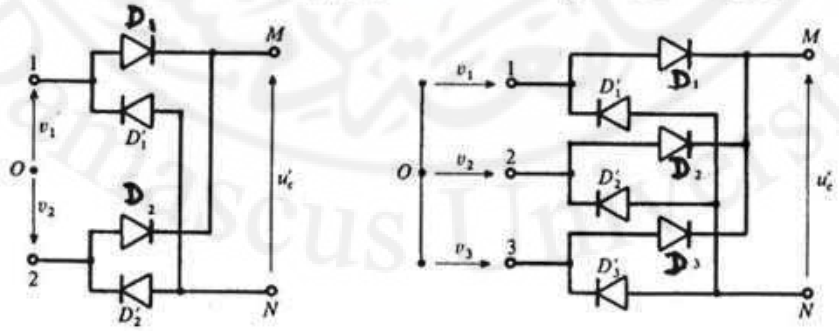
V_0-V_N و V_M-V_0

حيث أن كلا منها ناتج عن مقوم تفرعي بسيط . هذا يقودنا للإشارة إلى أنه هنالك إمكانية توزيع التوتر على جسرين .

حيث أننا نحصل على U_{c_0} بين M و N ونحصل على $U_{c0}/2$ بين (M و 0) وكذلك $U_{c0}/2$ بين (0 و N) .

يبين الشكل (3-4-b) شكل موجة توتر الخرج لعدد أطوار فردي q=3 .

ويلاحظ أن رتبة التوتر الناتج ضعف عدد الأطوار (2q) .



PD2 mixte PD3 mixte

شكل (3-3) جسر تقويم تفرعي مضاعف من أجل q=3 (جسر كريتز)

٣-١-٣ التوتر العكسي والتيار المباشر المار :

التوتر العكسي على طرفي الديود (D_1) , V_{D_1} ، هو كما في حالة التقويم التفرعي يساوي دائماً :

$$V_{D_1} = V_1 - (V_M - V_0)$$

$(V_M - V_0)$ يساوي بالتتابع V_1 و V_2و V_3.....V_q حسب كون D_1,D_2,D_3,.....D_q موصلاً.

بالمقابل التوتر العكسي على الديود D_1' هو V_{D_1}' يعطى :

$$V_{D_1}' = (V_N - V_0) - V_1$$

ويساوي بالتتابع :

$$(V_q - V_1) \ ,.....,(V_2 - V_1), \quad (V_1 - V_1)$$

حسب كون الديود الموصل D_1' أو D_2'أو D_q' .

نرى من ذلك أن التوتر العكسي على الديود (عنصر التقويم) يساوي في حالة المقومات التفرعية المضاعفة التوتر العكسي في حالة المقومات التفرعية البسيطة وأن هذا التوتر له القيمة العظمى نفسها المحسوبة سابقاً .

ففي حالة q زوجياً :

$$V_{t_{max}} = 2V_m \text{.....(3)}_{PD}$$

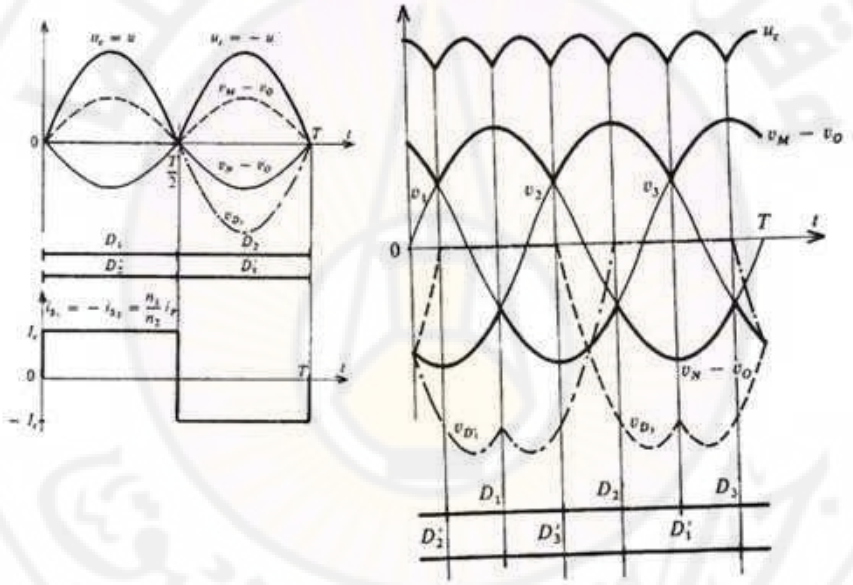
وفي حالة q فردياً

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

يبين الشكل (4-3) من أجل q=2 ومن أجل q=3 الديودات الموصلة وتتابعها وكذلك التوتر المقوم الناتج ، والتوتر العكسي المتشكل على الديود D_1 و D_1' .

لذا يمكن القول إن أي عنصر تقويم وضع في مجموعة تقويم تفرعية بسيطة يمكن استخدامه في مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة . وإن ما يؤثر في قيمة التوتر العكسي هو دائماً فرق التوتر بين توتر المصعد وتوتر المهبط .

توتر المصعد في التقويم التفرعي البسيط هو إما أن يكون (V_N-V_0) أو (V_M-V_0) وهما في الحقيقة مساويان التوتر U_c الناتج عن مجموعة التقويم التفرعية البسيطة ، وأن حالة كون التوتر المتوسط المقوم في حالة التقويم التفرعي المضاعف يساوي ضعف التوتر المقوم للتقويم التفرعي البسيط لا تبدي أي تأثير في قيمة التوتر العكسي المتشكل على أي عنصر من عناصر التقويم .



شكل (3-4) شكل موجة التوتر المقوم Uc والتوتر العكسي على الديودين D_1 و D_1' .

a- من أجل P_{D2}.....q=2 . b- من أجل P_{D3}.....q=3

كل عنصر تقويم (ديود) يمرر التيار المستمر Ic خلال الفترة $\frac{T}{q}$.(الفترة التي يكون فيها موصلاً) فالتيار في عناصر التقويم لها القيم نفسها كما في حالة التقويم التفرعي البسيط .

$$i_{max} = i'_{max} + I_c$$

$$i_{av} = i'_{av} = \frac{I_c}{q} \quad \text{.....(4)}_{PD}$$

$$I = I' = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

بقي عامل الاستخدام لعناصر التقويم ثابتاً أيضاً ، مع أن عـدد عناصـر التقـويم قـد تضاعف لأنه بالوقت نفسه تضاعف التوتر المقوم وبقي عامل الاستخدام كما هو سابقاً :

$$f_r = \frac{U_{c_0} I_c}{n_r V_{i_{max}} i_{av}}$$

من أجل q زوجياً :

$$f_r = \frac{q}{2\pi} \sin \frac{\pi}{q}$$

من أجل q فردياً :

$$f_r = \frac{q}{\pi} \sin \frac{\pi}{q}$$

٣-٢ التيار وعامل الاستطاعة الثانوي :

التيار في الملف الثانوي لأحد الأطوار يساوي I_c عندما يكون أحد عناصر المجموعـة الأولى موصلاً ويساوي I_c عندما يكون أحد عناصر المجموعة الثانية (السالبة) موصلاً نجد من أجل الملف الأول :

التيارات الثانوية ذات قيمة فعالة إذاً تساوي :

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{T} I_s^2 \frac{2T}{q}} \quad \text{.....(5)}_{PD}$$

$$I_s = I_c \sqrt{\frac{2}{q}}$$

عامل الاستطاعة في هذه الحالة :

$$f_s = \frac{U_{c_0} I_c}{q V_s I_s} = \frac{2\frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} I_c}{q\frac{V_m}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{2}{q}}.I_c}$$

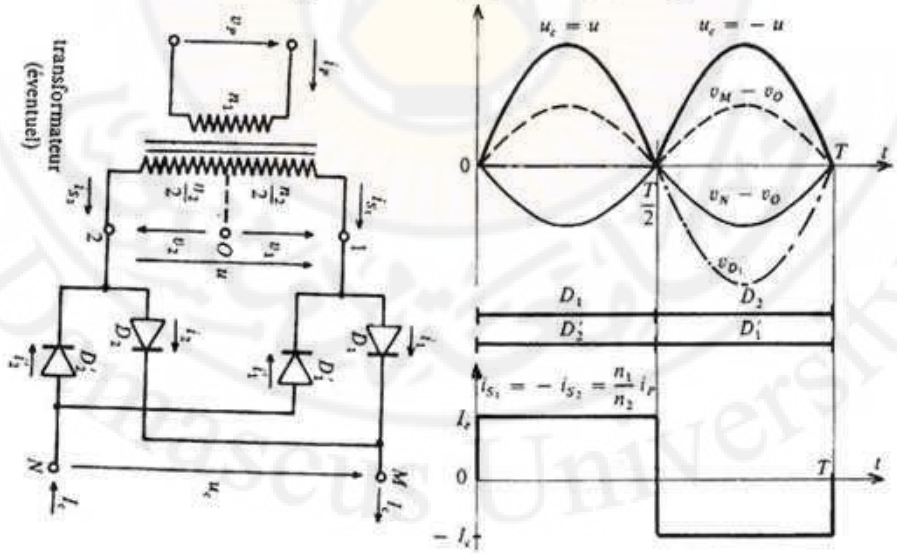
$$f_s = \frac{2}{\pi}\sqrt{q}\sin\frac{\pi}{q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)_{PD}$$

نجد أن عامل الاستطاعة يساوي $(\sqrt{2})$ عامل الاستطاعة في حالة التقويم التفرعي البسيط وكما أنه ما زال تابعاً لعدد الأطوار q وهذا يزيد في ميزات التقويم التفرعي المضاعف ، حيث أن زيادة عدد الأطوار يحسن من عامل الاستطاعة هذا .

٣-٣ التيار وعامل الاستطاعة الابتدائي :

علاقات الأمبير لفة التي ذكرت في الجزء الثاني ما زالت صالحة للاستخدام في هذا الجزء . مع ملاحظة أنه في هذه الحالة الأمبير لفة الثانوي لكل نواة ذات قيمة متوسطة تساوي الصفر لأن كل التيارات الثانوية ذات قيمة متوسطة معدومة .

٣-٣-١ تطبيقات على المجموعة التفرعية المضاعفة $P_{/2}$:



شكل (3-5) مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة

a- المخطط العام للدارة . b- موجة التيارات .

مجموعة التقويم ذات أربعة ديودات (عناصر التقويم) تستخدم غالبـاً لتقـويم التـوتر أحادي الطور . وهي تشمل صفات التقويم التفرعي المضاعف ذي الطورين q=2 لأنه يمكن افتراض التوتر U2 مساوياً توترين V1 و V2 بالنسبة لنقطة وهميـة (0) علـى الملف الثانوي للمحول .

لدينا $n_1 i_p$ مثل $n_2 i_s$ تساوي $n_2 I_c$ وذلك خلال الموجة الموجبة للتوتر الثانوي وتسـاوي $n_1 i_p = n_2 i_s = -n_2 I_c$ خلال النصف الثاني من الموجة الجيبية U2 .

إذاً

$$n_1 I_p = n_2 I_s = n_2 I_c$$

معامل الاستطاعة للابتدائي :

$$f_p = \frac{U_{c_0} I_c}{V_p I_p}$$

$$f_p = f_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.90$$

إن وجود المحول هو غالباً ضروري لعزل التوتر المستمر عن التوتر المتناوب وعمل التوافق بين التوتر المقوم والحمل ، إلا أنه يمكن إلغاء المحول في هذه الحالة ويمكـن تطبيق توتر الشبكة مباشرة على مجموعة التقويم .

٣-٣-٢ تطبيقات على المجموعات التفرعية المضاعفة P_{D3}

مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة شكل (3-6) هي أيضاً يمكن أن تربط مباشرة على الشبكة ويلغى محول التغذية . إذا استخدمنا محولاً فإن علاقة الأمبير لفة سوف تكـون محققة. والتيارات الابتدائية متساوية سواء وصلنا الملف الابتـدائي بشـكل نجمـي أو مثلثي وفي كلتا الحالتين لدينا :

$$\sum_{N_1} n_2 i_s + \sum_{N_2} n_2 i_s + \sum_{N_3} n_2 i_s = 0$$

$$n_1 i_{p_1} = n_2 i_{s_1} \quad , n_1 i_{p_2} = n_2 i_{s_2} , n_1 i_{p_3} = n_2 i_{s_3}$$

ومنه فإن قيمة التيار وعامل الاستطاعة يعطى :

$$I_p = \frac{n_2}{n_1} I_s = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$f_p = \frac{U_{c_0} I_c}{3 V_p I_p}$$

$$f_p = f_s = \frac{3}{\pi} = 0.955$$

إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي يكون التيار في خط التغذية :

$$J_p = \sqrt{3} I_p$$

ومنه :

$$J_p = \frac{n_2}{n_1} I_c \sqrt{2}$$

و عامل الاستطاعة في الخط يكون :

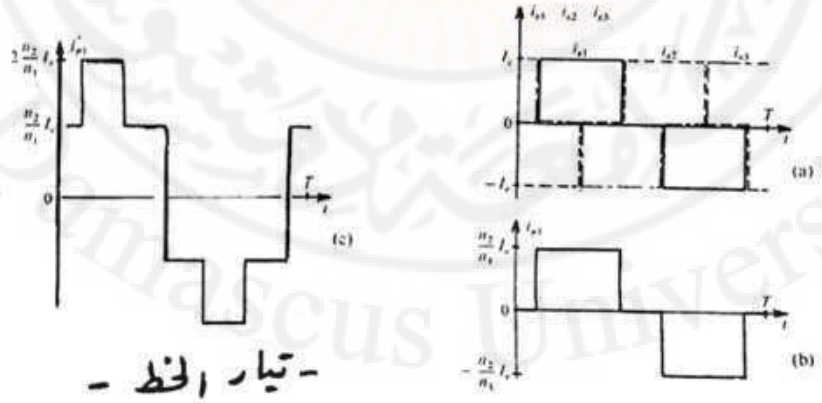
$f_l = 0.955$ مساوياً f_p .

يبين الشكل (3-6) شكل موجة التيار في النقاط التالية :

a- التيار في ملفات المحول الثانوي (أو المنبع) .

b- في ملفات المحول الابتدائية .

c- في الخط إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي .



شكل (3-6) سجموعة التقويم P_{123} حيث يبدو شكل موجة التيارات

٣-٤ هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي :

كما في حالة مجموعة التقويم التفرعية البسيطة ، يمكن تقدير هبوطات التوتر المختلفة بشكل مستقل الواحدة عن الأخرى وجمعها لبعضها بعضاً للحصول على هبوط التوتر الكلي .

٣-٤-١ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق وزاوية التطابق :

إن ظاهرة تمديد فترة التوصيل التي لمسناها في حالة المجموعات التفرعية البسيطة ، نجدها أيضاً في حالة المجموعات التفرعية المضاعفة ، وذلك سواء في المجموعة ذات الاتجاه الموجب (D_1 و D_2 .....و D_q) أو في المجموعة الثانية (D'_1 و D'_2 ..... D'_q) ذات الاتجاه السالب .

إن قيمة الزاوية α وتغيرها تبعاً للتيار I_c والممانعة (L_2w) عند عدم وجود تأخير زمني في الطور ($\psi = 0$) وكذلك هبوط التوتر الناتج عن هذه الفترة يمكن إعطاؤه بالعلاقات نفسها التي درسناها سابقاً .

حيث :

$$1-\cos\alpha = \frac{L_2 w I_c}{V_m \sin\frac{\pi}{q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)_{PD}$$

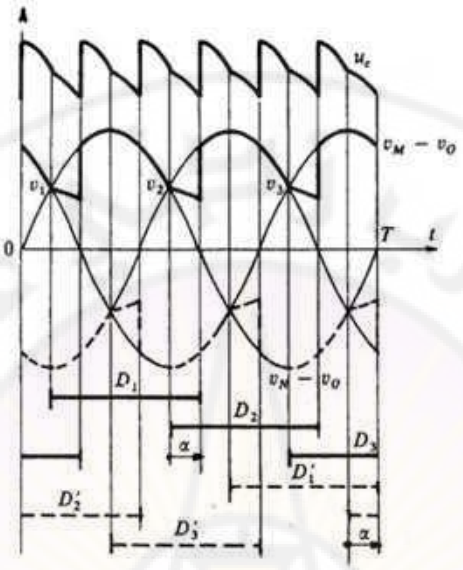
وكذلك :

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{\pi} L_2 w I_c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)_{PD}$$

إن هبوط التوتر مساوٍ ضعف هبوط التوتر السابق لأنه هنالك هبوط في توتر المجموعة (V_0-V_N) وكذلك في توتر المجموعة (V_0-V_M) وهي قيمة هبوط التوتر نفسها المحسوب في حالة التقويم التفرعي البسيط .

تعني دائماً ($L2w$) ممانعة (Reactance) المحول وشبكة التغذية منسوبة للطرف الثانوي من المحولة .

يعطي الشكل (7-3) شكل موجة الخرج من أجل q=3 وذلك لـ (V_M-V_0) و(V_N-V_0) وللتوتر النهائي المقوم Uc .



شكل (7-3) موجة التوتر المقوم مع مراعاة ظاهرة التطابق وذلك من أجل q=3 α=25°

ملاحظات هامة :

العلاقات التي حسبناها في الجزء الثاني (18) ,(19) المتعلقة بزاوية التطابق وهو هبوط التوتر الناتج عن هذه الفترة لا يمكن تطبيقها . إلا إذا تحقق ما يلي :

١- أن يكون عدد الديودات الموصلة (الناقلة) من المجموعة نفسها لا يتجاوز الاثنين وفي هذه الحالة α تكون أصغر من $\left(\frac{2\pi}{q}\right)$.

٢- العلاقات (18),(19) لا يمكن تطبيقها على مجموعة التقويم P_{D2} أي (q=2) .

من أجل المجموعة (q=3) تسمح برسم الخواص بين α تساوي الصفر و $\alpha = \frac{\pi}{3}$.

وهي فقط قابلة للتحقيق والتطبيق من أجل القيم الأكبر وتساوي الأربعة q=4 وعندئذ بين $\alpha = 0$ و $\alpha = \frac{2\pi}{q}$.

٣-٤-٢ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر :

من أجل القيم الصغيرة لزاوية التطابق α ، يمكن حساب هبوط التوتر $\Delta_3 U_c$ و $\Delta_2 U_c$ المتشكل بسبب مقاومات عناصر الدارة وبسبب عناصر التقويم ذاتها .

يعطي دائماً هبوط التوتر الأومي $\Delta_2 U_c$ كما سبق :

$$\Delta_2 U_c = R_c I_c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)_{PD}$$

مع العلم أن :

$$R_c I_c = q_{r_2} I_s + q_{1r_1} I_p + q_{1r'_1} J_p$$

من أجل المجموعات التي درسناها سابقاً يمكن حساب هبوط التوتر الناتج في حالة q=2:

$$\Delta_2 U_c = [r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + r'_1)] I_c$$

ترمز r2 و n2 إلى المقاومة وعدد اللفات الكلية للملف الثانوي .

وفي حالة كون q=3 ولف المحول الابتدائي بشكل نجمي نجد :

$$\Delta_2 U_c = 2[r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + r'_1)] I_c$$

وحالة كون الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي :

$$\Delta_2 U_c = 2[r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2 (r_1 + 3r'_1)] I_c$$

هبوط التوتر في عناصر التقويم (ديود -ثيرستور) يعطى بالعلاقة :

$$\Delta_3 U_c = 2(U) I_c$$

حيث أنه في هذه الحالة لدينا عنصرا تقويم في كل فرعة تقويم .

وكما أشرنا في حالة مجموعة التقويم التفرعية البسيطة فإن هبوط التوتر على عناصر التقويم لا يحسب على أساس علاقة طردية مع قيمة التيار المار في عنصر التقويم بل تحسب القيمة استناداً إلى منحنيات خاصة لعنصر التقويم المستخدم . مأخوذة من الجهة الصانعة للعنصر . وغالباً هذه القيم صغيرة وتهمل بالنسبة لقيم توترات الأطوار المستخدمة .

٣-٥ عمل مجموعة التقويم مع تأخير في زاوية الطور :

لتغيير قيمة التوتر المقوم الناتج على خرج مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة المغذاة بتوتر متناوب ذي قيمة ثابتة يمكن استخدام أسلوبين للتقويم :

أ- تبديل بكل عناصر التقويم (2q) المصنعة من الديود عناصر من الثيرستور وفي هذه الحالة فإن التوتر المقوم الناتج يمكن تغييره من Uc0 + إلى Uc0- أي يمكن الحصول على توتر موجب أو سالب مع المحافظة على اتجاه وحيد للتيار المار .

ب- تبديل بنصف عناصر التقويم (2q) عناصر مصنوعة من الثيرستور وترك النصف الثاني لعناصر من الديود ، يتغير التوتر المقوم في هذه الحالة من الصفر إلى U_{c0}+ ويبقى التيار على حاله كما سبق ذي اتجاه وحيد .

٣-٥-١ استخدام الثيرستور لـ (2q) طوراً :

إذا بدلنا الثيرستور بكل عناصر التقويم (الديود) . فإن كلا طرفي التقويم الموجب والسالب سوف يعملان (كما رأينا سابقاً) بشكل مشابه لحالة التقويم التفرعي البسيط أي أن التوتر المتوسط الناتج عن كل مجموعة يكون مساوياً :

$$\left(\frac{q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos\psi\right)$$

ψ: تعني زاوية التأخير في الطور .

والتوتر المقوم الكلي الناتج U'_{C_0} سيكون مساوياً إذاً كقيمة متوسطة :

$$U'_{C_0} = \frac{2q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos\psi$$

$$U'_{C_0} = U_{C_0}\cos\psi$$

حيث :

$$U_{C_0} = \frac{2q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

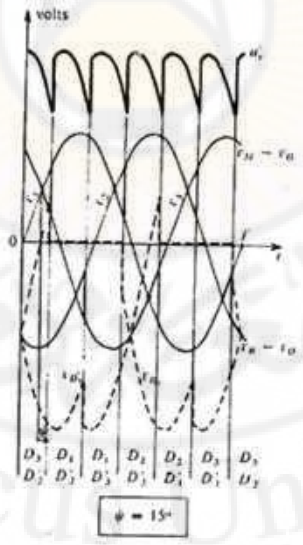
التوتر U_{c0} مؤلف من q قمة جيبية عندما تكون q زوجية ، ومؤلف من 2q قمة في حالة كون q عدداً فردياً .

التيارات في عناصر التقويم ، وفي الملفات الثانوية لمحولة التغذية لها القيم نفسها كما في حالة التقويم العادي غير المقاد .

من أجل تيار مستمر معين ، فإن تيار المحول وتيارات الخطوط تحافظ على قيمتها بينما توتر الخرج سيضرب بالعامل $(\cos\psi)$ وهي العوامل الموافقة لحالة التقويم التفرعي المضاعف العادي .

يعطي الشكل (3-8) ، من أجل المجموعة P_{D3} عند زاوية تأخير $\psi=15°$ ، الشكل العام لموجة التوتر المقوم الناتج U'_{ℓ} وكذلك التوتر V_N-V_0 و V_M-V_0 ، وشكل التوتر لعكسي المتشكل V_{th_1} و V'_{th_1} على الثيرستور th_1 و th' لمجموعة التقويم التفرعية المضاعفة ذات ثلاثة أطوار .

تتغير في مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة هذه كما في حالة مجموعة التقويم التفرعية البسيطة ، قيمة التوتر المتوسط المقوم عند زاوية تأخير ثابتة ، تبعاً لنوع الحمل المستخدم .



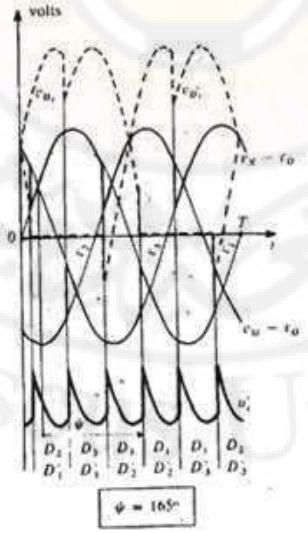
شكل (3-8) موجة الخرج والتوتر العكسي V_{th_1} و V'_{th_1}

عند زاوية تأخير $\psi=15°$ لمجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ذات 2q ثيرستوراً

في حالة كون الحمل تحريضياً فإنه للحصول على توتر مقوم موجب يجب على زوايا التأخير في الطور أن تكون أصغر من $\frac{\pi}{2}$. وعند الزاوية $\psi = \frac{\pi}{2}$ فالقيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج تساوي الصفر . للحصول على توتر مقوم بقيمة سالبة فإن المجموعة يجب أن تحمل بحمل تحريضي صرف ، عندئذ كل إزاحة بالطور يقابلها انزياح في التوتر المقوم في الجزء السالب ، لأن حثية الحمل تمنع انقطاع التيار كما أنه يمكن الحصول على توتر سالب من مجموعة تقويم عند إضافة منبع توتر ثانٍ على خرج هذه المجموعة التفرعية المستخدمة ، بحيث تعطي توتراً مساوياً دائماً بالقيمة ، وبقطبية معاكسة للتوتر الناتج عن المجموعة المستخدمة .

إذاً عندما تتجاوز الزاوية $\psi > \frac{\pi}{2}$ فإننا لا نحصل مباشرة على توتر سالب ويلزم الاستعانة بمجموعة تقويم ثانية تقابل هذه المجموعة في تغيرات التوتر . مثل هذا النظام سندرسه في المستقبل .

يبين الشكل (9-3) شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج عن مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة والتوتر العكسي على أحد عناصر التقويم ، من أجل زوايا تأخير في الطور أكبر من $\frac{\pi}{2}$.

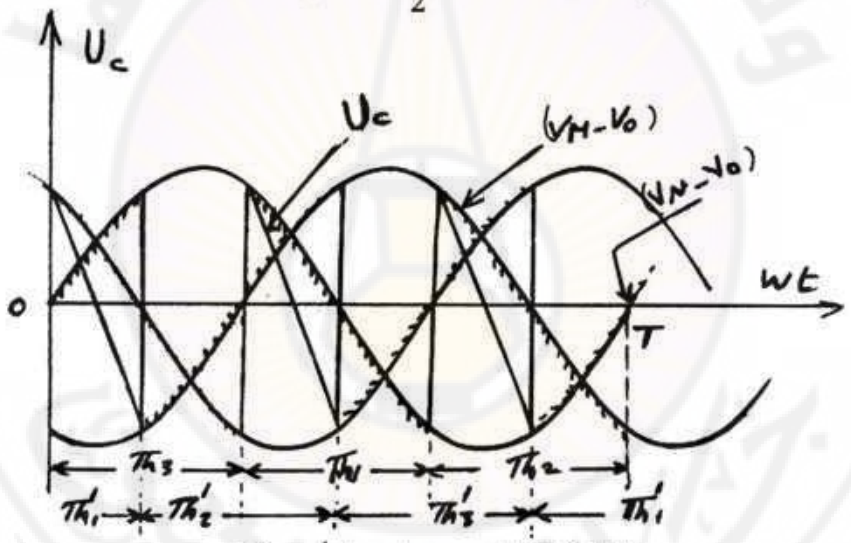


شكل (9-3) $\psi > \frac{\pi}{2}$ وتعادل 165°

في حالة كون الحمل أومياً بحتاً فإن تغيير زوايا التأخير في الطور من الصفر حتى 180° درجة سوف يؤدي فقط إلى تغيير قيمة التوتر المتوسط المقوم من القيمة العظمى إلى الصفر . والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم تعطى عندئذ حسب العلاقة التالية التي تكافئ العلاقة التي سنراها عند استخدام مجموعات نصف مقادة :

$$U_c = U_{c_0} \frac{1}{2}(1+\cos\psi)$$

ويبين الشكل (10-3) شكل التوتر المقوم الناتج عند تحميل الجسر بحمل أومي بحت ، وكون زاوية التأخير في الطور أكبر من $\frac{\pi}{2}$. ورسم الشكل عند ψ=90° .



شكل (10-3) الجسر محمل بحمل أومي ψ=90°

طريقة استنتاج شكل التوتر المقوم في هذه المجموعات عند حمل أومي تساوي الطريقة المتبعة في حالة الحمل التحريضي ، رسم شكل V_M-V_0 ثم V_N-V_0 وحاصل طرح هذين التوترين يعطي V_M-V_N بعدئذ كل الجزء السالب عن موجة التوتر يحذف . لذا حتى الزاوية ψ=60° سوف لن نلاحظ ، أي فرق بين الحمل الأومي والتحريضي. بعد تلك الزاوية سوف يبدأ ظهور المركبات السالبة .

بالتأكيد استخدام علاقة الحمل الأومي لحساب القيمة المتوسطة للتوتر المقوم بين زوايا الإزاحة (0°) حتى (60°) ستكون غير دقيقة لأن التوتر المتوسط المقوم خلال زوايا

الإزاحة بالطور هذه سيكون متساوياً عند الحمل الأومي والتحريضي . لكن للتبسيط سوف نستمر في اعتماد هذه العلاقة .

٣-٢-٥ استخدام q ثيرستوراً و q ديوداً :

عند اكتفائنا بتغيير التوتر المتوسط المقوم بين القيمة العظمى $\left(\frac{2q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}\right)$ والصفر ، يكفي أن نبدل عناصر من الثيرستور بـ q ديود $D_1, D_2, D_3, \ldots\ldots, D_q$ من المجموعة الأولى (الموجبة) ، وأن حقيقة كون جميع الثيرستورات ذات مهبط مشترك يسهل عملية تشغيل هذه الثيرستورات وكذلك تطبيق إشارات الحجز عند اللزوم مهما كان عدد الأطوار (q) فإن التوتر المقوم الناتج عن المجموعة السالبة (الديود) هو :

$$(V_N - V_0) = \frac{q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

والمجموعة ذات الإتجاه الموجب المكونة من الثيرستور ستعطي التوتر :

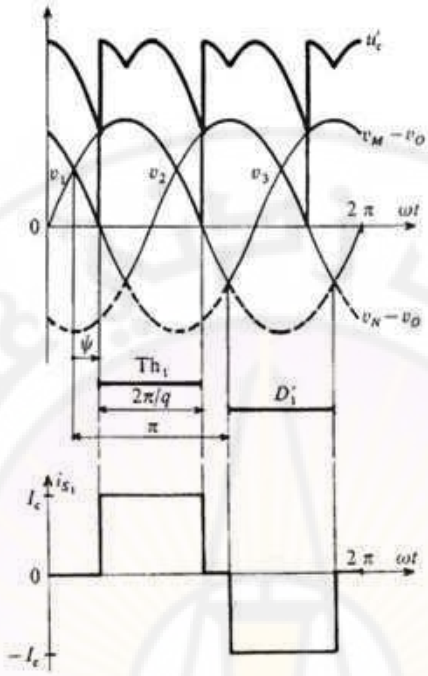
$$V_M - V_0 = \frac{q}{\pi}V_m \sin\frac{\pi}{q}\cos\psi$$

ومنه فإن التوتر المقوم الكلي :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi}Vm\sin\frac{\pi}{q}(1+\cos\psi)$$

$$U'_{c_0} = U_{c_0}\left(\frac{1+\cos\psi}{2}\right)$$

يبين الشكل (11-3) شكل موجة التوتر المقوم في حالة جسر مختلط عند زاوية تأخير في الطور $\psi = 30°$.



a) $\psi = 30°$

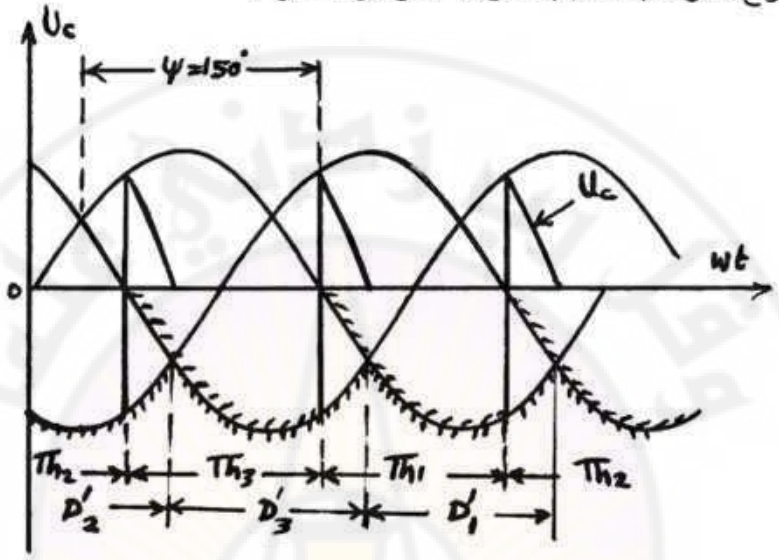
شكل (11-3)

$\psi = 30°$ جسر مختلط (3 ثيرستوراً + 3 ديوداً)

نرى في الشكل السابق أن عناصر التقويم (الديود) تعطي التوتر المقوم كاملاً وكأن هذا الجزء عبارة عن مجموعة تقويم تفرعية بسيطة . بينما عناصر التقويم الثيرستورية تعطي التوتر المقوم مع تأخير في الطور قدره ψ أي أنها تغير من قيمة التوتر المقوم الناتج فعندما تكون زوايا التأخير في الطور أقل من $\frac{\pi}{2}$ فإن خرج هذه المجموعة الثيرستورية موجب ويضاف لخرج مجموعة التقويم المكونة من الديود .

عندما تصبح ψ مساوية $\frac{\pi}{2}$ فإن خرج المجموعة الثيرستورية يكون مساوياً الصفر ، وعند قيم زوايا تأخير في الطور $\psi > \frac{\pi}{2}$ يبدأ خرج المجموعة الثيرستورية بأخذ قيمة سالبة وهذه القيمة تطرح من توتر مجموعة الديودات حتى يصبح توتر الخرج مساوياً الصفر عند الزاوية $\psi = \pi$.

يعطي الشكل (3-12) أشكال الأمواج عند زاوية تأخير $\psi = 150°$. ونرى أن تـوتر الخرج ما زال يحتفظ بقيمة موجبة أكبر من الصفر .



شكل (3-12) مجموعة مختلطة تعمل عند $\psi = 150°$

٣-٥-٣ التيار وعامل الاستطاعة للملف الثانوي :

التيار في الطور الأول فرضاً ، يساوي التيار I_c عندما يكـون العنصـر D_1 موصـلاً ويساوي I_c عندما يكون العنصر D'_1 موصلاً .

عندما تصبح زاوية التأخير في الطور أكبر من $[\pi - (\frac{2\pi}{q})]$ ، خلال جزء من الدور ، فكلا عنصري التقويم الموصلين إلى ملف طور واحد يكونان موصلين بوقت واحـد والتيار I_c في هذه الحالة لن يمر عبر ملف الطور .

كل تيار ثانوي يساوي I_c خلال فترتين بزمن قدره $\frac{T}{q}$ و لا تظهـر هـذه القيمـة إلا مرتين في الدور ولفترة :

$$\frac{T}{q} - \frac{1}{w}(\psi - \pi + \frac{2\pi}{q})$$

ولذا فإن علاقات كثافة التيار الثانوي تصبح من أجل :

$$(0 < \psi < \pi - \frac{2\pi}{q}$$

$$\rightarrow I'_s = I_c \sqrt{\frac{2}{q}}$$

ومن أجل :

$$\pi - \frac{2\pi}{q} < \psi < \pi$$

يصبح التيار الثانوي :

$$\rightarrow I'_s = I_c \sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi}}$$

وبالمثل فإن معامل الاستطاعة الثانوي يعطى أيضاً بالعلاقة :

$$f_s = \frac{\sqrt{q}}{\pi} \sin\frac{\pi}{q}(1 + \cos\psi)$$

ومن أجل :

$$0 < \psi < \pi - \frac{2\pi}{q}$$

ويساوي القيمة :

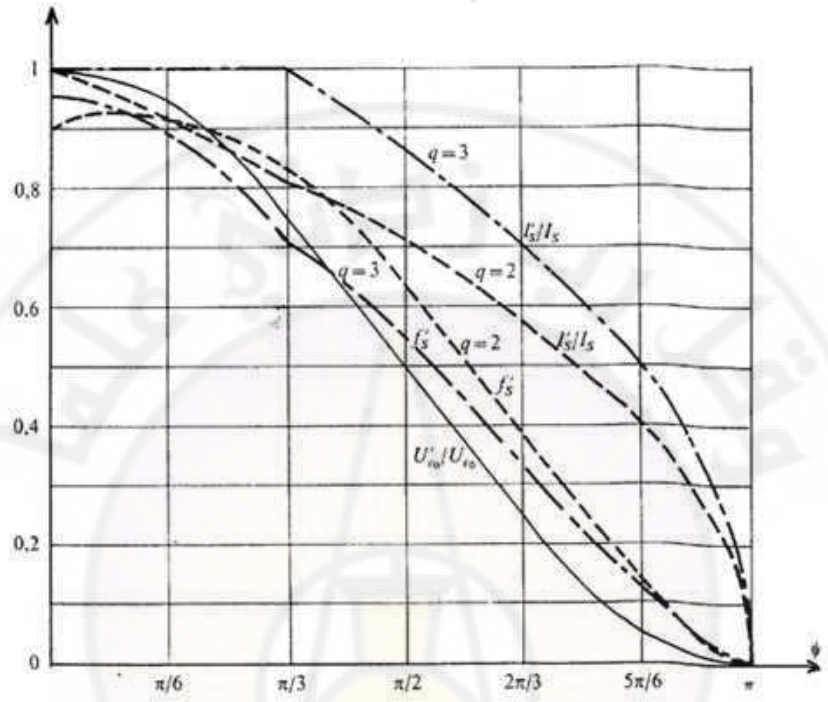
$$f'_s = \frac{\sqrt{q}}{\pi} \sqrt{\frac{\pi}{\pi\psi}} \sin\frac{\pi}{q}(1 + \cos\psi)$$

من أجل :

$$\pi - \frac{2\pi}{q} < \psi < \pi$$

انخفاض قيمة التيار I'_s بالنسبة للتيار I_c ذي القيمة المعطاة ، يكـون أكثـر وضـوحاً ومميزاً عند كون عدد الأطوار q منخفضاً .

يعطى الشكل (13-3) كتابع للزاوية ψ، تغيرات النسبة $\frac{I'_s}{I_s}$ من أجل المجموعات P_{123} و P_{133} .



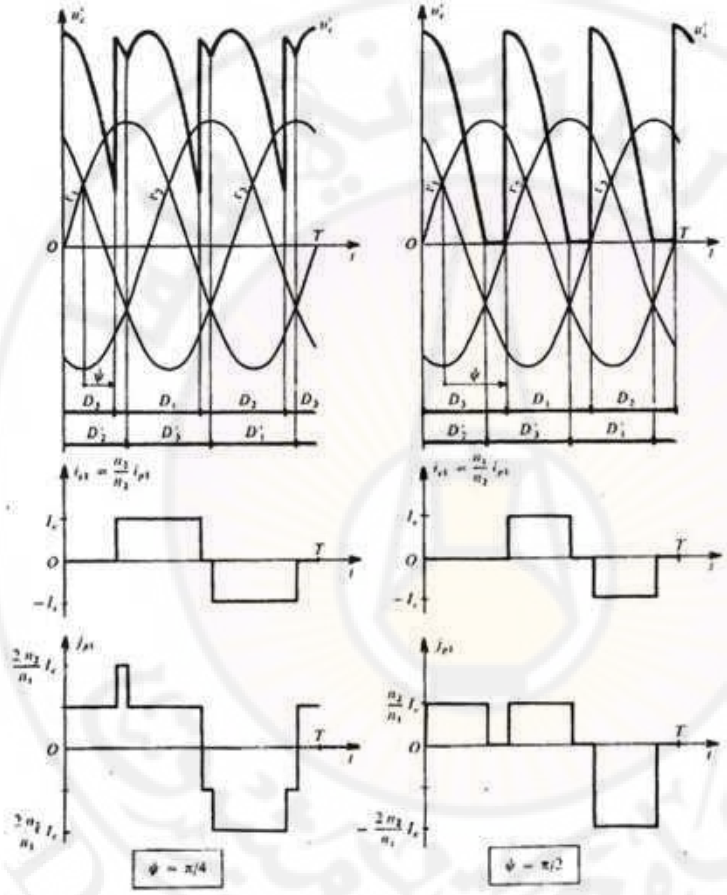
شكل (13-3) مجموعة تقويم مختلطة q ثيرستوراً + q ديوداً

في الحقيقة ليس في الإمكان استخراج علاقات عامة لهذا الموضوع ، إنما من الواضح أن انخفاض قيمة التيارات الثانوية يؤدي إلى انخفاض التيارات في الابتدائي ومنه تيار الخط وهبوط التوتر بفعل جول الكلي .

نلاحظ من الشكل (13-3) :

- تغيرات التوتر $\frac{U'_{ro}}{U_c}$ بالنسبة لـ ψ .
- تغيرات تيار الثانوي I'_s من أجل q=2 و q=3 .
- تغيرات معامل الاستطاعة الثانوي f'_s من أجل q=2 و q=3 .

ويبين الشكل (3-14) من أجل q=3 وعند زاويتي تأخير في الطور شكل التوتر المتوسط U'_c وتيارات الثانوي والابتدائي وخط التغذية .



Montage PD3 à 3 diodes et 3 redresseurs.
Détermination de la forme d'onde de la tension redressée u'_c, du courant secondaire i_{s1}, du courant primaire i_p, et du courant en ligne j_p, (cas du triangle).

شكل (3-14) مجموعة تقويم مكونة من 3 ديودات و 3 ثيرستورات

شكل التوتر المتوسط المقوم U'_c وتيارات الثانوي i_{v_1} من أجل مجموعة ثلاثية مكونة من 3 ديودات + 3 ثيرستورات وتيار الابتدائي i_{p_1} وتيار الخط J_{l_1} (ربط مثلثي) .

٣-٦ مجموعات التقويم أحادية الطور – نصف مقادة :

كما بينا سابقاً بالنسبة لمجموعات التقويم ثلاثية الطور ، أنه يمكن استبدال مجموعة عناصر غير مقادة بمجموعة العناصر ذات الاتجاه السالب المكونة من الثيرستورات (Th_1 و Th_2 و Th_3) . هنا أيضاً يمكن إجراء هذا التبديل وذلك سواء للأنظمة ذات الاستطاعة الصغيرة ($100W \rightarrow 5kW$) أم بالنسبة للأنظمة ذات الاستطاعات العالية كالجر الكهربائي ($1-5MW$) . ولذا نميز حالتين حسب توضع عناصر التقويم المقادة.

ويبين الشكل (3-15) طريقة ربط الجسرين :

أ- جسر أحادي الطور متناظر .

ب-جسر أحادي الطور غير متناظر .

وسندرس فيما يلي عمل كل جسر من هذه الجسور وأشكال التوترات والتيارات المارة في الملف الابتدائي للمحول ، كما نبين أيضاً فترة التوصيل لكل عنصر وهي الموافقة للتيارات المارة في العناصر . وللاستئناس وضعنا الشكل (3-16) للمجموعة أحادية الطور الثيرستورية وبيّنا فترات التوصيل ومبدأ العمل وتيار المحول الابتدائي .

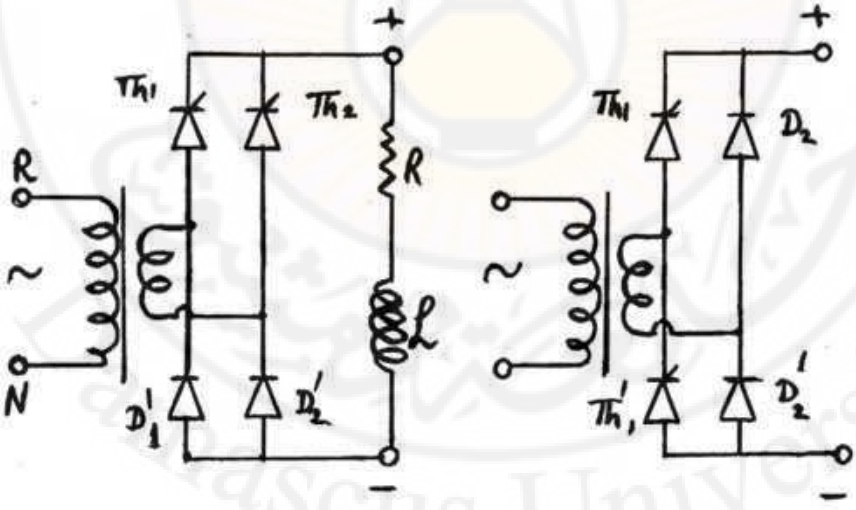
٣-٦-١ جسر أحادي الطور متناظر :

لنفهم عمل هذا الجسر ، نفترض أن توتر الطور المطبق على العناصر T_1 و D'_1 هو u_1 مقاس بين أحد أطراف المحول الثانوي ونقطة وسط وهمية في الملف الثانوي ، كذلك أيضاً التوتر u_2 ، لذا يمكن رسم التوترات u_1 و u_2 مزاحة عن بعضها بعضاً بالقدر 180° .

- الثيرستورات T_1 و T_2 ذات مهابط مشتركة ويمكن إزاحة زوايا التأخير في الطور فيها بدءاً من $\psi = 0$ وصولاً إلى 180° .
- يعمل العنصران T_1 و T_2 بالتتابع ، وباعتبار أن الحمل تحريضي ، ولدى تطبيق زاوية تأخير بالطور معينة ψ_1 ، فإن T_1 يبدأ بالتوصيل بعد زمن قدره

$\frac{\psi_1}{w}$ من الدور كما هو مبين بالشكل (3-17) وعند مرور موجة التوتر u_1 بالصفر عند الزمن $t=\frac{T}{2}$ لا يتوقف الثيرستور T_1 بل يستمر بالتوصيل على موجة التوتر u_1 وعند الزمن $t=\frac{T}{2}+\frac{\psi_1}{w}$ نعطي نبضة قدح للثيرستور T_2 ، الذي بدوره ينتقل للتوصيل عاملاً على حجز T_1 حجزاً طبيعياً .

- يوصل T_2 على موجة u_2 . وتستمر عملية التوصيل في الاتجاه الموجب .
- بالنسبة للعناصر ذات الاتجاه السالب D_1' و D_2' وهي عناصر غير مقادة من الديود ، يعمل كل عنصر عندما يصبح مهبطه أكثر سلبية من باقي العناصر ، لذا يوصل D_1' و D_2' على النصفين السالبين من موجتي التوتر u_1 و u_2 وكل منهما يستمر بالتوصيل خلال زمن قدره $\left(\frac{T}{2}\right)$



شكل (3-15)

الجسر أحادي الطور غير المتناظر　　الجسر أحادي الطور متناظر

طرق ربط الجسر أحادي الطور نصف المقاد

- توتر الخرج حسب الشكل هو :

$$u_c = U'_c = u_{c_1} - u_{c_2}$$

$$u_{c_1} = \frac{q}{\pi} u_1 \cos\psi \sin\frac{\pi}{q}$$

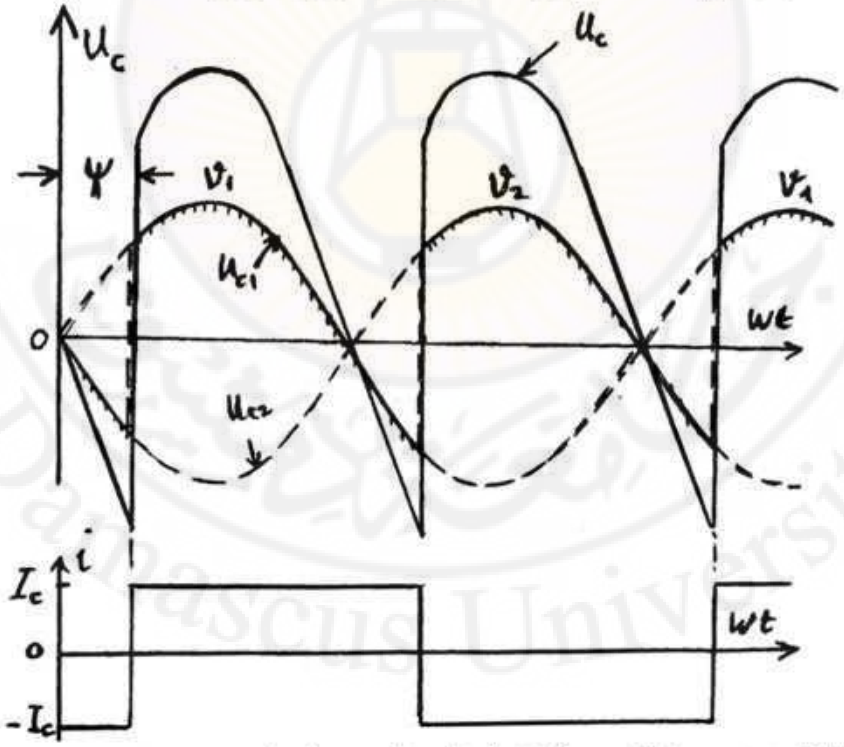
$$u_{c_2} = \frac{-q}{\pi} u_2 \sin\frac{\pi}{q}$$

لكن $u=u_1=u_2$ و $q=2$ إذاً توتر الخرج المحصل هو

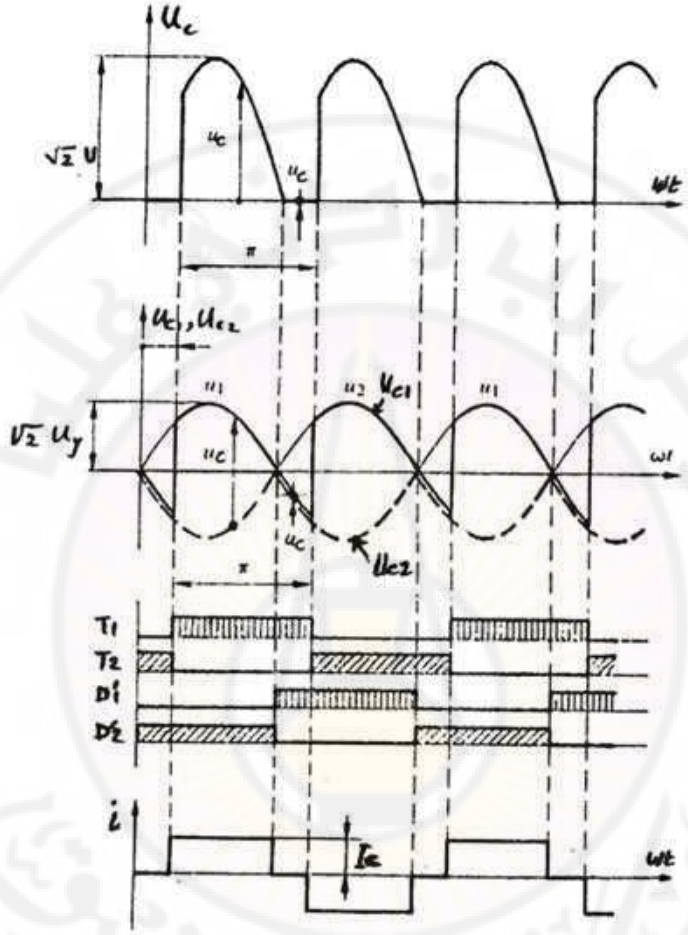
$$u_d = u_{d_1} - u_{d_2} = \frac{q}{\pi} u(1+\cos\psi)$$

وبما أن $u = \frac{V_m}{2}$ حيث V_m توتر الملف الثانوي الأعظمي .

العلاقة النهائية هي العلاقة المعروفة لمجموعات التقويم التفرعية المضاعفة وهنا $q=2$



الشكل (3-16) عمل المجموعة أحادية الطور الثيرستورية – فترات التوصيل – تيار المنبع i-توترات الطور للمحول الثانوي u_2-u_1



الشكل (17-3)

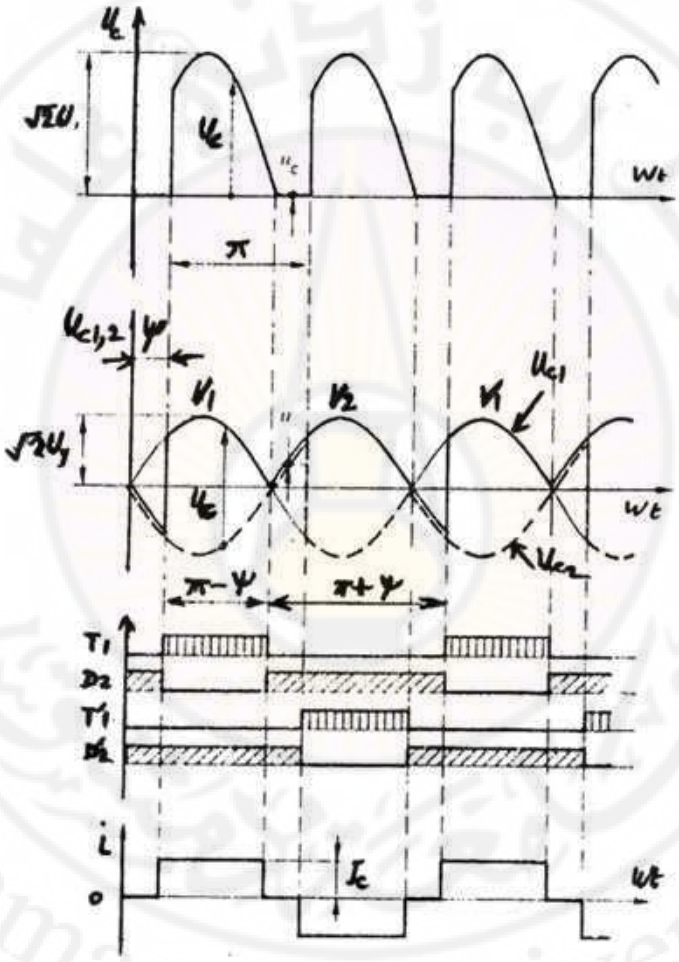
عمل المجموعة المتناظرة – فترات التوصيل –تيار المنبع i

٣-٦-٢ جسر أحادي الطور غير متناظر :

في هذا الجسر كما نرى من الشكل السابق (3-15) فإن توضع العناصر ذات المهابط المشتركة غير متناظر . لدينا الثيرستور T_1 و الديود D_2 ، ومجموعة المصاعد المشتركة هي T_1' و D_2' أيضاً غير متناظرة .

– بما أن العنصر T_1 عنصر مقاد فإذا أعطينا النبضة عند زاوية تأخير معينة فإن T_1 سينتقل للتوصيل عند هذا الزمن $\frac{\psi}{w}$. يستمر بالتوصيل فقط حتى الزمن $\frac{T}{2}$ لأن

العنصر D_2 سيبدأ عندئذٍ بالتوصيل ناقلاً T_1 لحالة الحجز الطبيعي وتوتر الخرج بين المهابط المشتركة ونقطة الوسط الوهمية هو u_{c1} . نرى في الشكل (3-18) أسلوب عمل هذا النظام : فترات التوصيل ، توترات الأطوار بالنسبة لنقطة الوسط .



شكل (3-18)

عمل مجموعة التقويم الأحادية غير المتناظرة – توترات الطور – فترات التوصيل – تيار الخط

- بالنسبة للمجموعة ذات الاتجاه السالب ، يكون العنصر D_2' موصلاً بدءاً من الزمن t=0 حتى إعطاء نبضة على بوابة الثيرستور المرافق T_1' وذلك عند الزمن $t = \frac{T}{2} + \frac{\psi}{w}$. عندئذ ينقل T_1' للتوصيل جاعلاً D_2' في حالة حجز ونرى في الشكل (3-18) تيار كل عنصر من عناصر التقويم المستخدمة ، ونلاحظ هنا أن فترة توصيل كل عنصر لا تساوي الآخر (T_1', T_1) يوصلان لفترة $(\pi - \psi)$ و D_2 و D_2' يوصلان لفترة تعادل $(\pi + \psi)$.
- المجموعة غير المتناظرة هذه لدى استخدامها لتغذية متحرض محرك تيار مستمر فإن العناصر D_2 و D_2' تعمل كديود حر .
- يعطى أيضاً توتر الخرج المحصل بالعلاقة السابقة نفسها وله القيمة نفسها :

$$u_d = u_c' = \frac{q}{\pi} V_m \left(\frac{1+\cos\psi}{2}\right)$$

٣-٧ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق في مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة :

بيّنا في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة زاوية التطابق ، وهبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق عند العمل عند زاوية تأخير معينة ψ . في هذه المجموعات التفرعية المضاعفة ، يحدث لدينا تطابق بين عناصر المجموعة الموجبة Th1 وTh2 وTh3 وبين عناصر التقويم ذات الاتجاه السالب Th_1' و Th_2' و Th_3' . لذا فإن الهبوط الحاصل في المجموعة ذات الاتجاه الموجب ، يقابله هبوط مماثل في المجموعة ذات الاتجاه السالب. والهبوط الإجمالي الناتج عن فترة التطابق هو ضعف هبوط التوتر في مجموعات التقويم التفرعية البسيطة ويعطى بالعلاقة :

$$\Delta_1 U_c' = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} [\cos\psi - \cos(\psi + \alpha)]$$

ولرسم شكل التوتر نقوم بتحقيق التطابق في التوترات الموجبة (V_M-V_0) ونطبق التطابق على التوترات السالبة (V_N-V_0) وحاصل طرح هذين التوترين يعطي التوتر المقوم ونرى تكرر فترة التطابق (2q) مرة خلال الدور T .

٣-٨ ملاحظات عامة على مجموعات التقويم التفرعية المضاعفة :

ملاحظة ١:

إن استخدام مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة مكونة من 2q ديوداً يعطي كما رأينا توتراً ذا قيمة ثابتة قدرها :

$$\left(\frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}\right)$$

ولو استعضنا عن نصف عناصر التقويم السابقة بعناصر تقويم ثيرستورية ، لاستطعنا أن نغير التوتر المقوم من القيمة العظمى للتوتر المتوسط المقوم إلى الصفر . كذلك لدى استبدال عناصر ثيرستورية بجميع عناصر التقويم فإن التوتر المتوسط المقوم يتغير من $+U_{c_0}$ إلى $-U_{c_0}$ ماراً بالقيمة صفر . إذاً استناداً للنتائج السابقة يمكن اختيار مجموعة التقويم حسب نوع الحمل المطلوب فهنالك أحمال تتطلب تغيراً في التوتر بنسبة $\pm 20\%$ أو أية نسبة أخرى وفي هذه الحالة من الأفضل استخدام مجموعة تقويم مختلطة q ثيرستوراً و q ديوداً ، بينما في حالة كون توتر الحمل يستلزم تغييره بين قيمة عظمى موجبة وقيمة عظمى سالبة فإنه لابد من استخدام جسر كامل من الثيرستور .

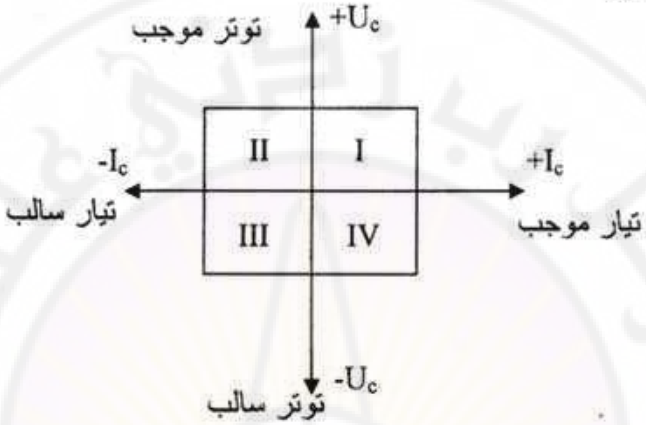
هذا ويجب أن لا نغفل أن كسب الجسر الثيرستوري الكامل (2q ثيرستوراً) أكبر من كسب الجسر المختلط وفي حالة أحمال يستلزم فيها تغيير التوتر بشكل عابر وسريع فإن المجموعة الثيرستورية الكاملة هي الأفضل للاستخدام .

ملاحظة ٢:

إذا قسمنا مجال عمل مجموعات التقويم السابقة على محاور الإحداثيات كما في الشكل (3-19) .

نجد أنه في الربع الأول من الإحداثيات لدينا تيار موجب وتوتر موجب ، بينما في الربع الثاني لدينا توتر مقوم موجب وتيار سالب ، كذلك في الربع الثالث نجد أن كلا من التوتر والتيار سالبان ، وفي الربع الرابع التيار موجب والتوتر سالب .

وأن مجموعات التقويم حسب تركيبها ونوعية عناصر التقـويم والقواطـع الخارجيـة المستخدمة يمكنها أن تعمل إما في ربع واحد من المحاور السابقة أو في ربعين أو في كل الإحداثيات .



شكل (19-3)

التيارات والتوترات لمجموعات التقويم

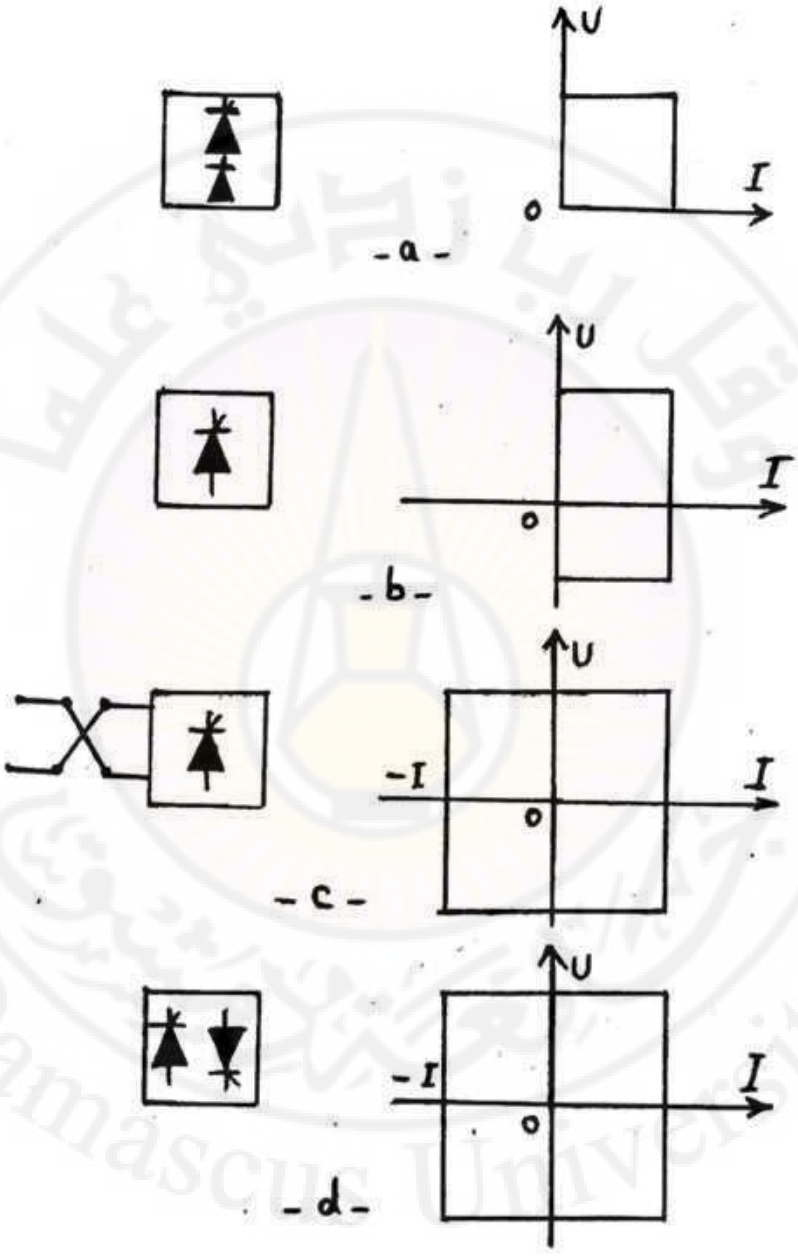
ويبين الشكل (20-3) بشكل مختصر نوع لمجموعة التقويم وفي أي الإحداثيات تعمل :

a- مقوم ربع واحد يحتوي على عناصر تقويم ثيرستورية وعناصر تقويم عادية (ديود) ، مجموعات مختلطة نصف مقادة .

b- مقوم ذو ربعين يحتوي على عناصر تقويم ثيرستورية فقط ، مجموعات ثيرستورية مقادة .

c- مقوم أربعة محاور (إحداثيات كاملة) وهو مكون من مقوم ذي ربعين وقاطع قلاب (مجموعة مقادة وقاطع قلاب) .

d- مقوم أربعة محاور (إحداثيات كاملة) مكون من مجموعتين مقـادتين ذات ربعـين موصلين (رأس عقب) وسوف تدرس بالتفصيل في بحث قادم . ويطلق عليهـا عـادةً المجموعات التفرعية ذات الاتجاه المزدوج للتيار (Dual Converter) .



شكل (20-3) مخطط رمزي يمثل مختلف أنواع مجموعات التقويم

مسائل عامة

مسألة /١/ :

مجموعة تقويم ثيرستورية ثلاثية تفرعية مضاعفة ، غذيت عن طريق محول ثلاثي الطور ، الطرف الثانوي وصل بشكل نجمي . توتر الطول الفعال V=600v يراد الحصول على توتر مقوم من الرتبة السادسة .

٢- ما هو مخطط توصيل دارة المجموعة الثيرستورية المستخدمة .

٣- بين بالتفصيل كيفية إقلاع عناصر التقويم المستخدمة .

٤- ارسم شكل موجة توتر الخرج عند زاوية تأخير $\psi = 30°$ وحدد تتابع عمل عناصر التقويم المستخدمة ، والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج .

مسألة /٢/ :

لدينا مجموعتان من عناصر التقويم لها المواصفات الواردة أدناه :

-أ-

توتر التشغيل الأمامي	U_{off}=600v
تيار التشغيل العكسي الأعظمي	U_i=850v
تيار الحمل الاسمي	I_{off} =16A
تيار الاستمرار في الإشعال	I_h =20mA
توتر النبضة	V_{gt} =20v
زمن النبضة	t_p =40μsec

-ب-

توتر التشغيل الأمامي	U_{off}=800v
تيار التشغيل العكسي الأعظمي	U_i =1000v
تيار الحمل الاسمي	I_{off} =25A
تيار الاستمرار في الإشعال	I_h = 50mA
توتر النبضة	V_{gt} =20v
زمن النبضة	t_p=800μsec

أي المجموعتان نختار لوضعهما في مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة وذلك حتى تعملا عند توتر تشغيل للطور $U_{eff} = 600v$ علماً بأن تيار الحمل الأعظمي 25A والحمل تحريضي .

ما هو تأثير تيار الاستمرار في الإشعال وتوتر النبضة وزمنها على اختيار عنصر التقويم .

مسألة /٣/ :

مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ، ربطت إلى شبكة التغذية عن طريق محول ثلاثي الطور . توتر الطور 227v .

٥- إذا كانت زاوية العمل (التأخير في الطور) تساوي الصفر ، ما هي قيمة التوتر المتوسط المقوم الناتج عن هذه المجموعة .

٦- ما هو عامل التعريج في هذه الحالة .

٧- حدد قيمة عامل الاستخدام لعناصر التقويم المستخدمة .

٨- حدد قيمة عامل الاستطاعة في ثانوي المحول والابتدائي علماً بأن المحول موصول (مثلثي- نجمي).

٩- حدد قيمة تيار الخط J_p بالنسبة لتيار الحمل المستمر I_c .

١٠- ارسم شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج وحدد على الشكل :

أ- تتابع عمل عناصر التقويم .

ب-تيارات العناصر الثيرستورية وتتابع مرورها .

ت-تيارات الأطوار في الملف الثانوي .

ث-تيارات الخطوط من منبع التغذية .

مسألة /٤/ :

مجموعة تقويم ثيرستورية ثلاثية الطور ، تفرعية مضاعفة تغذي حملاً تحريضياً ، تيار الحمل الاسمي (Ic=10A) . توتر الطور في طرف المحول الثانوي 227v . التوتر الاسمي للحمل 459v .

١-ما هو شكل التوتر المتوسط على طرفي الحمل عند الحمل الاسمي المطلوب.

٢- ما هو شكل التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم المستخدمة .

٣- حدد تتابع عمل عناصر التقويم المستخدمة .

٤- ارسم على الشكل تتابع تيارات عناصر التقويم .

٥- إذا كان الحمل أومياً ما هو شكل التوتر المتوسط المقوم عندئذ .

٦- حدد أيضاً في حالة الحمل الأومي شكل تيارات عناصر التقويم المستخدمة .

٧- ما هي زاوية عامل الاستطاعة في المنبع .

مسألة /٥/ :

مجموعة تقويم ثيرستورية ثلاثية الطور ، تغذي حملاً تحريضياً ، توتر الطور 227v . تيار الحمل (20A) ، وتوتره 265v تغذى المجموعة عن طريق محول ثلاثي الطور حثية الطور للابتدائي والثانوي والشبكة ، منسوبة للطرف الثانوي تساوي L=672mH.

١-ما هو شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج على طرفي الحمل عند التوتر الاسمي المطلوب بإهمال فترة التطابق .

٢-بافتراض فترة التطابق :

أ- ما هو شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج .

ب-ما هي زاوية التطابق الناتجة عندئذ .

ت-ما هو هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق .

٣- ما هو هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق عند زاوية تأخير في الطور $\psi = 0°$ قارن بين هبوط التوتر هذا عند زاوية التأخير في الطور $\psi = 0°$ والهبوط عند الزاوية $\psi = 60°$.

٤- حدد استطاعة محول التغذية الممكن اعتماده .

مسألة /٦/ :

يغذى محرك تيار مستمر عن طريق مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ثلاثية الطور q=3، توتر الطور للمحول الثانوي $V_{ph} = 110v$ إذا غذي ملف التحريض لمحرك التيار المستمر بتياره الاسمي ودار المحرك عند السرعة الاسمية تنشأ فيه قوة محركة كهربائية عكسية قدرها 210v . علماً بأن توتر العمل الاسمي للمحرك 220v .

١-ما هو شكل التوتر المطبق على مربطي آلة التيار المستمر .

٢-باعتبار أن القوة المحركة الكهربائية العكسية ذات علاقة طردية مع السرعة ، شغل المحرك عند نصف سرعته الاسمية بجعل التوتر المطبق على مربطه 110v. ما هو شكل التوتر المتوسط على مربطي آلة التيار المستمر . وحدد زاوية التأخير في الطور اللازم تطبيقها على مجموعة التقويم في هذه الحالة .

مسألة /٧/ :

مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ، نصف مقادة (ثيرستور+ ديود) ربطت إلى منبع ثلاثي الطور توتر الطور فيه 227v .

١-ما هو شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج عند زاوية تأخير في الطور $\psi = 60°$.

٢-قارن شكل التوتر المتوسط الناتج وقيمته فيما لو كانت المجموعة كلها من الثيرستور .

٣- استنتج بالتالي الشكل العام للتوتر المتوسط المقوم بدلالة زوايا التأخير في الطور وذلك من أجل مجموعة الثيرستورية كاملة والمجموعة نصف الثيرستورية.

٤- اشرح مميزات كل نوع ومجال استخدامه .

مسألة /٨/ :

جسر تقويم تفرعي مضاعف مكون من عناصر غير مقادة PD_3 ما هو شكل التوتر المقوم على طرفي الحمل التحريضي عند الحالات التالية :

١- فصل أحد عناصر التقويم الموجبة D_1 .

٢- فصل عنصري تقويم مربوطين إلى الطور نفسه D_1 و D_1' مثلاً .

٣- فصل عنصري تقويم من ذراعين مختلفين ، D_1 و D_2' .

مسألة /٩/ :

مجموعة تقويم مربوطة على خرج آلة سنكرونية (تزامنية) ، تدار هذه الآلة (المنوبة) بوساطة محرك تيار مستمر . بين تأثير تغير سرعة المحرك التيار المستمر في عمل مجموعة التقويم والتوتر المقوم الناتج .

ناقش هذه المسألة وبين ما يجب عمله في مثل هذه الظروف .

مسألة /١٠/ :

استطاعة محرك التيار المستمر في قطار كهربائي تعادل 660Kw ، يعمل عند توتر 1600v . لتحقيق منبع التغذية اللازم لتغذية القطار أجب عن الأسئلة التالية :

١- ما هو نوع مجموعة التقويم الواجب استخدامها لتحقيق توتر التغذية المطلوب، علل بوضوح سبب الاختيار الذي ستذكره .

٢- إذا تم فرضاً اختيار مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة q=3 حدد ما يلي :

أ- ما هو توتر الطور لثانوي المحول واستطاعة المحول .

ب-ما هي مواصفات عنصر التقويم الواجب اختياره لوضعه في الجسر [التوتر الأمامي - التوتر العكسي - التيار الفعال - التيار الأعظمي - التيار المتوسط].

ت-ما هو شكل التوتر المرئي على طرفي المحرك بفرض أن $\psi = 60°$ وأن القوة المحركة الكهربائية الناشئة في المحرك تعادل 650v .

ث-كيف يمكن إعادة القطار للخلف .

ج- كيف يمكن فرملة القطار واسترداد القدرة منه .

مسألة /١١/ :

لدينا جسر سداسي الطور يغذى من الشبكة ثلاثية الطور ذات توتر خط 220v و 50Hz. يغذي الجسر محرك تيار مستمر ذي تحريض مستقل ، يمكن تمثيله بقوة محركة كهربائية عكسية E تتناسب مع السرعة ، وعلى التسلسل لدينا مقاومة R وحثية L . N سرعة الدوران دورة /دقيقة تابع للعلاقة E=0.1N وبفرض أن $Lw = \sqrt{3}\Omega$ ، $R = 1\Omega$ ، شدة التيار الاسمية للمحرك I_c=15A .

١- عندما يكون الجسر مفتوحاً بشكل كامل ($\psi = 0$) ما هي سرعة الدوران عند اللاحمل . (I_c مهملة) . وما هي السرعة عند الحمل الكامل للمحرك Ic=15A. نفترض أن قيادة الثيرستور تتم بوساطة نبضات عرضها 90° أو أكثر .

ناقش تأثير نوعية النبضات في عملية القدح .

٢- في حال عمل المحرك كمولد والجسر كعاكس عند ($\psi = 150°$) . ما هي سرعة دوران الآلة علماً بأن تيار المولد 15A .

ناقش تأثير نوعية النبضات في عملية القدح .

٣- وهل يمكن بواسطة هذا الجسر فرملة المحرك واسترداد القدرة أم ماذا يجب إضافته .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

مجموعة التقويم التسلسلية (s)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

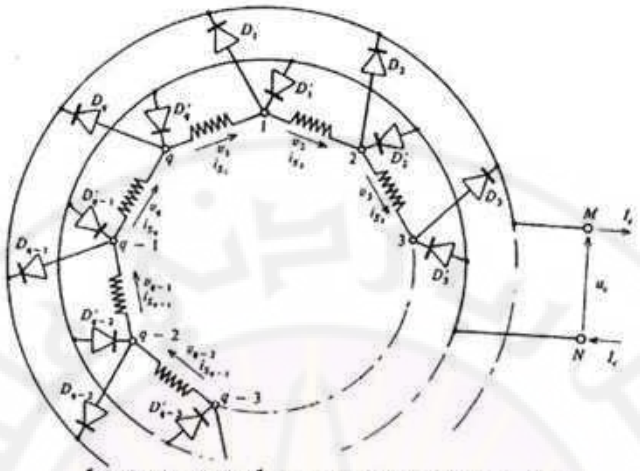
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مجموعة التقويم التسلسلية (s)

إن مجموعات التقويم التفرعية البسيطة والمضاعفة ، التي درسناها فيما سبق كانت تأخذ القوة المحركة الكهربائية من مجموعة ملفات موصلة بشكل نجمي ، وتم استخدام نقطة النجمي كخط عودة للتيار ، في حالة المجموعة التفرعية البسيطة . بينما تركت نقطة النجمة حرة في حال مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة وأخذ التوتر المقوم الناتج من حاصل فرق الكمون بين نقطة المهابط المشتركة للعناصر الثيرستورية المستخدمة ، ونقطة المصاعد المشتركة ، حيث كان بالإمكان أيضاً عند الحاجة استغلال وجود نقطة النجمة في المجموعة التفرعية المضاعفة لأخذ توتر مقوم مساوٍ نصف التوتر الناتج عن مجموعة تقويم تفرعية مضاعفة ، بقطبية موجبة أو سالبة حسب استخدام النقطة M أو N للمهابط أو المصاعد المشتركة .

في هذا النظام من التقويم فإن القوة المحركة الكهربائية متواجدة في الملفات الموصلة بشكل تسلسلي (وهذا سبب التسمية) بحيث أنه إذا كان لدينا أكثر من طورين فإن وصل الملفات بهذا الشكل يؤدي إلى جمع القوى المحركة الكهربائية للأطوار المربوطة بين نقطتين معينتين . وهذه العملية تشابه مجموعة الملفات في دائر آلة التيار المستمر الموصلة على التسلسل إلى نصلة المجمع . وفي هذه الحالة لا يوجد لدينا نقطة نجمة بل يمكن أخذ نقاط بين فروع الملفات أو أطوارها وربط مجموعات التقويم إليها . ويبين الشكل (1-4) الشكل العام لمجموعة التقويم التسلسلية المعتمدة .

أيضاً إن هذا النظام من التقويم نأمل فيه الحصول على خواص تشغيل لمجموعات التقويم بحيث تبقى الخواص والصفات ثابتة – مهما ازداد عدد الأطوار ، ولقد لمسنا في المجموعات التفرعية تغير الميزات وأحياناً سوءها كلما ازداد عدد الأطوار المستخدمة في عملية التقويم .



شكل (1-4) الشكل العام لمجموعة التقويم التسلسلية

٤-١ دراسة التوترات والتيارات :

في الشكل (1-4) الذي يمثل الشكل العام لمجموعة التقويم التسلسلية . لدينا (q) ملف أو طور وعلى كل ملف تظهر قوة محركة كهربائية أو توتر يعطى بالعلاقة المعروفة :

$$V_1 = V_m \sin wt$$

$$V_2 = V_m \sin(wt - \frac{2\pi}{q})$$

$$V_3 = --------$$

$$V_q = V_m \sin(wt - (q-1)\frac{2\pi}{q})$$

هذه الأطوار موصلة بشكل تسلسلي مغلق ، يمكن أن تكون ثلاثية أو رباعية أو خماسية. أو أي عدد أطوار آخر وذلك تبعاً لعدد ملفات الأطوار المستخدمة (الوصل التسلسلي لمحول ثلاثي الطور هو الشكل المثلثي المعروف ((دلتا))) .

نرى أنه في النقاط (1,2,3,...q) وصلت مجموعتان من عناصر التقويم .

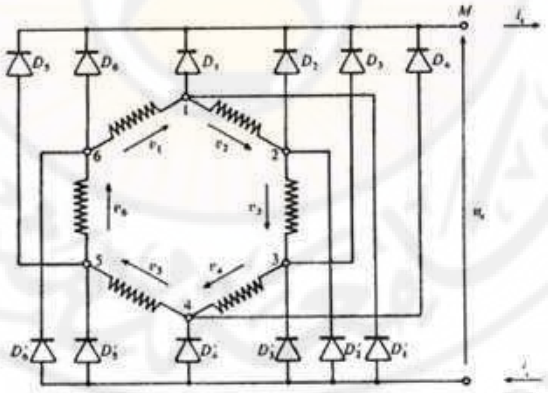
تشكل المجموعة الأولى من عناصر التقويم $D_1,D_2,D_3,...,D_q$ مقومات ذات اتجاه موجب، وصلت مهابطها إلى النقطة M .

والمجموعة الثانية من عناصر التقويم المقومات ذات الاتجاه السالب ،و صلت مصاعدها إلى نقطة واحدة N .

فرق الكمون بين M و N هو توتر خرج مجموعة التقويم التسلسلية ولا يوجد كما نرى هنا أية نقطة نجمة يمكن العودة إليها للمقارنة .

٤-١-١ طريقة عمل المجموعة :

إذا أخذنا كمثال حالة q=6 أي ستة أطوار موصلة بشكل تسلسلي ، مشكلة بذلك مضلع سداسي (Polygone) كما في الشكل أدناه (2-4) . في اللحظة t=ε بعد الصفر أي في الزمن (ε) وهو زمن صغير جداً . يكون لدينا التوتر V_1 موجباً وكذلك التوترات V_6وV_5 أي أنه في الفترة الزمنية من t=0 إلى $t = \frac{T}{q}$ وهي اللحظة التي ينتقل فيها V_2 من قيمة سالبة إلى قيمة موجبة . يكون توتر النقطة (1) أكبر ما يمكن إيجابية أي أنه أكبر إيجابية من النقطة (6) الموجبة كذلك أكبر من توتر النقطة (5) الموجبة أيضاً .



شكل (2-4)

إذا كان عنصر التقويم D_1 ديوداً ، فإن النقطة M الموصلة إلى مهابط الديودات $(D_1\&D_2\&D_3\&.....\&D_q)$ ستكون متصلة بمحصلة توترات المسدس الموجبة عن

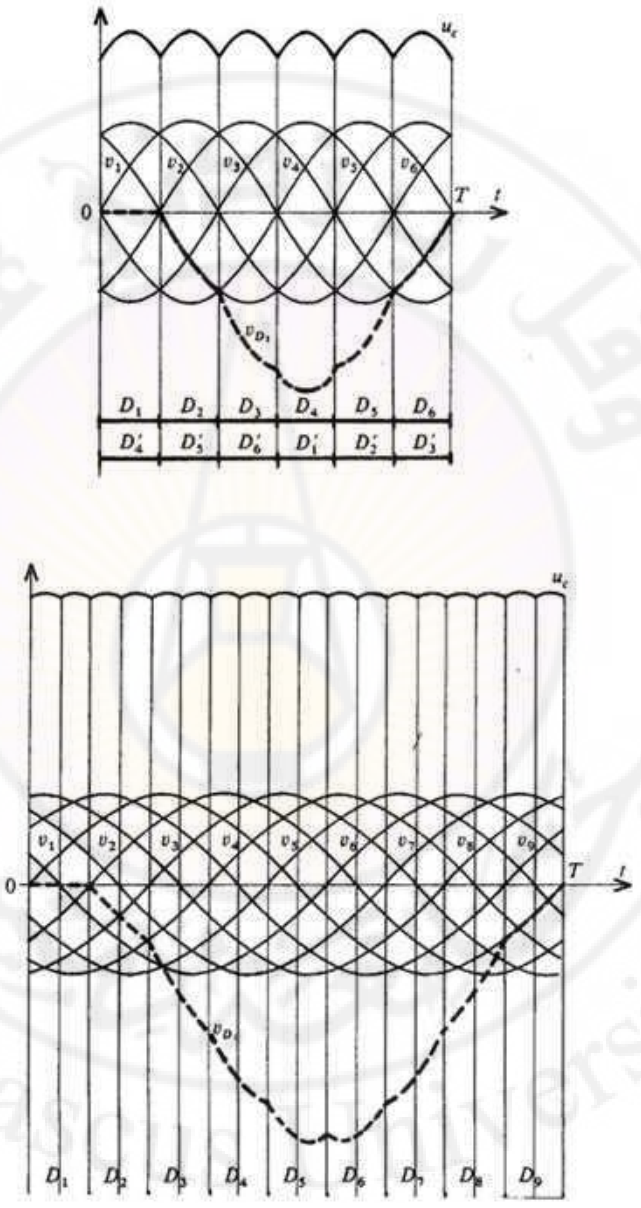
طريق هذا الديود (D_1) ، والتوتر عندها يكون أكبر ما يمكن إيجابية حيث أنه عبارة عن محصلة التوترات الموجبة في تلك اللحظة (V_6 وV_5 et V_1) .

في الفترة الزمنية t=0 نفسها إلى $t = \frac{T}{q}$ النقطة N تكون موصلة إلى القمة الأكثر سلبية ، حيث أنه في هذه الفترة ، يكون أيضاً مساوياً مجموع التوترات السالبة(V_4 وV_3 وV_2) والعنصر D'_4 هو الذي سيقوم بعملية التوصيل هذه .

أي أنه بشكل عام إذا كان لدينا في لحظة ما التوترات الموجبة :

V_i, V_{i+1}, V_q, etV_1 فإن التوترات (V-1 و.....وV_3 وV_2) ستكون سالبة والقمة الأكثر إيجابية في حالة كون (q=6) هي النقطة (1) والأكثر سلبية هي (4) كما في الشكل أعلاه.

إذا انطلقنا من الطرف (i-1) حيث i عدد اختياري وفي الشرح أعلاه كان (i=5) ودرنا حول المسدس ، نجد أن التوترات ($V_q etV_1$ و V_{i+1} و V_i) كلها موجبة إذاً التوتر يزداد تدريجياً كلما مررنا من فرعة لف إلى أخرى بالتتالي ، والقمة (1) هي ذات التوتر الأكثر إيجابية ، إذا تابعنا السير على محيط المسدس بعد هذه القمة (1) نجد أن التوترات أصبحت سالبة وتزداد النقاط سلبية حتى تصل إلى النقطة (4) حيث أنها ذات التوتر الأكثر سالبية .



شكل (4-3) تتابع عمل عناصر التقويم عند S_6 و S_9

لذا فإنه فور انتقال التوتر V_1 إلى القيمة الموجبة فإن الديود D_1 سيصبح موصلاً ، رابطاً بذلك النقطة M إلى النقطة (1) وحاجزاً بالوقت نفسه كل ديودات أو (عناصر) المجموعة الأولى عن التوصيل . وعندما ينتقل التوتر V_2 من القيمة السالبة إلى القيمة الموجبة في الزمن $t = \frac{T}{q}$ فإن الديود D_2 سيعمل أي ينتقل لحالة التوصيل ويحجز باقي عناصر التقويم ويحل محل الديود D_1 الذي انتقل لحالة الحجز القسري ، وهكذا بالتسلسل تنتقل النقطة M من (1إلى 2 ثم إلى 3 و.....q) أي النقاط الأكثر إيجابية . ويرتسم دائماً في النقطة M مجموع التوترات الموجبة للأطوار المستخدمة .

بالأسلوب نفسه فإننا نرى أن النقطة N ، الموصلة إلى مصاعد العناصر D'_q .....و D'_2 و D'_1 للمجموعة الثانية ، ستكون موصلة إلى ذروة أخفض توتر سالب في المسدس . وهذه الذروة توافق نهاية الملف ذي التوتر الذي أضحى أخيراً أكثر سالبية.

في اللحظة المناسبة تكون التوترات V_{i-1} .....و V_3 و V_2 سالبة وتكون الذروة (2) أكثر سالبية من الذروة (3) وكذلك الذروة (2) أكثر سالبية من (1) وهكذا الذروة (i-1) أكثر سالبية من (i-2) ، إذن سيكون الديود D'_{i-1} موصلاً . وعندما ينتقل التوتر V_1 من توتر ذي قيمة موجبة إلى توتر ذي قيمة سالبة فإن الديود D'_i يكون مسؤولاً عن وصل النقطة N بذروة المسدس التي تكون عندئذ أكثر النقاط سلبية .

٤-١-٢ شكل الموجة وقيمة التوتر المقوم :

التوتر المقوم U_c هو عبارة عن فرق التوتر الحاصل بين نهاية آخر ملف ثانوي حيث التوتر المتواجد عليه موجب وبين نهاية آخر ملف توتره سالب ، أو بداية أول ملف يوجد عليه توتر موجب . في المثال المطروح أعلاه بين النقطة (1&4) في الفترة $0 < t < \frac{T}{q}$ ، أي أن التوتر U_c يساوي في كل لحظة مجموع التوترات الموجبة للمجموعة متعددة الأطوار الموضوعة تحت التقويم $(V_6 + V_5 + V_1)$. كما أن مجموع التوترات المشكلة لمجموعة متوازنة يساوي الصفر فإن U_c تساوي أيضاً مجموع التوترات السالبة بإشارة مخالفة . أي أن مجموع التوترات $(V_4 + V_3 + V_2)$ سالبة .

ويجب دراسة الحالات التي يكون فيها عدد الأطوار q مزدوجاً أو فردياً كل على حدة كما يلي :

٤-١-٢-١ حالة عدد الأطوار زوجي :

توجد في أية لحظة ، مجموعة من التوترات الموجبة على ملفات الأطوار الثانوية ، مساوية التوترات السالبة على باقي ملفات الأطوار خلال الفترة الزمنية الواقعة بين الزمن t=0 ، حيث التوتر V_1 انتقل إلى القيمة الموجبة والتوتر $\frac{V_q}{2}+1$ انتقل إلى القيمة السالبة .والزمن $t=\frac{T}{q}$ حيث التوتر V_2 ينتقل إلى القيمة الموجبة والتوتر $\frac{V_q}{2}+2$ ينتقل إلى القيمة السالبة .يكون لدينا العنصر D_1 والعنصر $\frac{D'_q}{2}+1$ في الطرف المقابل في حالة توصيل ويكون التوتر المقوم ذا قيمة تساوي :

$$U_c = V_{\frac{q}{2}+2} + V_{\frac{q}{2}+3} + ... + V_q + V_1$$

بفرض أن q=6 يكون لدينا :

$$U_c = V_5 + V_6 + V_1$$

بعد استبدال بـ V_1 و V_q و... وباقي التوترات قيمها بدلالة V_1الذي يساوي :

$$V_1 = V_m \sin wt$$

نجد أن :

$$U_c = V_m \cos(wt - \frac{\pi}{q}) / \sin\frac{\pi}{q}$$

هذا التوتر ذو قيمة أعظمية في منتصف الفترة (0 إلى $\frac{T}{q}$) ويساوي عندئذ :

$$U_{c_{max}} = \frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

وذو قيمة صغرى في كلا طرفي الفترة الزمنية (0 إلى $\frac{T}{q}$) . ويساوي عندئذ :

$$U_{c_{max}} = \frac{V_m}{tg\frac{\pi}{q}}$$

خلال الفترة ($\frac{T}{q}$ و$\frac{2T}{q}$) يكون الديودان $\left(D'_{\frac{q}{2}+2}, D_2\right)$ في حالة توصيل والتوتر المقوم يساوي :

$$U_c = V_{\frac{q}{2}+3} + V_{\frac{q}{2}+5} + ...V_q + V_1 + V_2$$

أو عند $q = 6 : U_c = V_6 + V_1 + V_2$ والتوتر المقوم :

$$U_c = V_m \cos(wt - \frac{3\pi}{q}) / \sin\frac{\pi}{q}$$

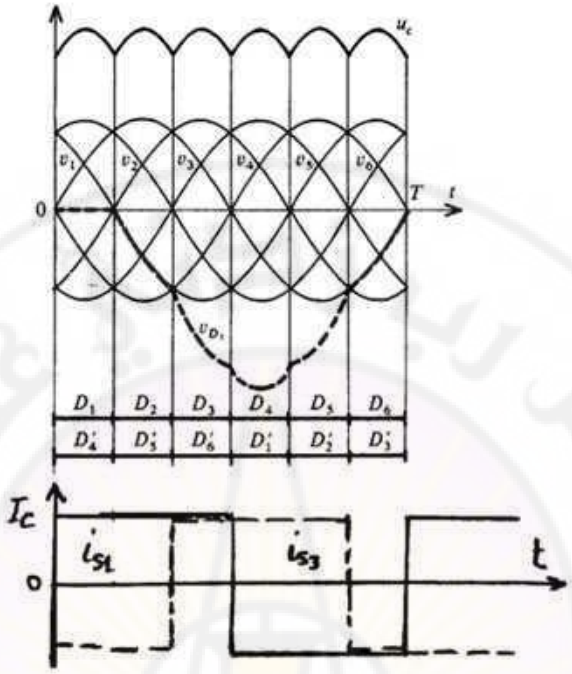
أي أن التوتر المقوم الحاصل أيضاً مشابه للتوتر الناتج في حالة توصيل D1 و $D'_{\frac{q}{2}+1}$ (في الفترة الأولى من 0إلى $\frac{T}{q}$) ولكن بفرق زاوية قدره $\left(\frac{2\pi}{q}\right)$. أي أن التوتر المقوم الناتج سيكون مشكلاً من (q) قمة جيبية خلال الدور T . وذا قيمة متوسطة U_{c0} تعطى بالعلاقة :

$$U_{c_0} = \frac{q}{T}\int_0^{\frac{T}{q}} \frac{V_m \cos(wt - \frac{\pi}{q})}{\sin\frac{\pi}{q}} dt$$

وبحل التكامل نجد :

$$U_{c_0} = \frac{q}{\pi} V_m \quad \text{.....(4-1)}$$

ويبين الشكل (3-4) شكل التوتر المقوم وتتابع عمل عناصر التقويم المستخدمة .



شكل (4-4) مجموعة تقويم تسلسلية q=6

U_c : التوتر المتوسط المقوم .

V_{Di}: التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم D_i .

تتابع عمل عناصر التقويم .

وإذا أردنا حساب عامل التعريج فإنه يمكن حسابه في هذه الحالة كما سبق وذلك بمعرفة قيمة التوتر الأعظمي المقوم والقيمة الدنيا لهذا التوتر :

$$K_0 = \frac{U_{c_{max}} - U_{c_{min}}}{2U_{c_0}}$$

$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \cdot \frac{1 - \cos\frac{\pi}{q}}{\sin\frac{\pi}{q}}$$

وهي القيمة نفسها التي وجدناها سابقاً ، أي من أجل كل التوترات ذات الرتبة q ، مهما كان نوع التقويم المستخدم ، تفرعياً بسيطاً أو مضاعفاً ، وهنا تسلسلياً ــ لها جميعاً كما نرى نفس عامل التعريج طالما أن الرتبة هي q قمة في الدور (T) .

٤-١-٢-٢ حالة عدد الأطوار فردي :

في هذه الحالة ، عند كل لحظة ، يختلف عدد توترات الأطوار الموجبة على ملفات الثانوي عن عدد الأطوار ذات التوترات السالبة .

بين اللحظة t=0 حيث التوتر V1 أصبح موجباً والزمن $t=\frac{T}{2q}$ حيث التوتر $V_{\frac{q+3}{2}}$ انتهى من أن يكون موجباً يكون الديود D_1 و $D'_{\frac{q+1}{2}}$ في حالة التوصيل والتوتر المقوم من الشكل :

$$U_c = V_{\frac{q+3}{2}} + V_{\frac{q+5}{2}} + ...V_q + V_1$$

وبالتعويض عن قيم هذه التوترات بدلالة V1 نجد :

$$U_c = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}}\cos(wt - \frac{\pi}{2q})$$

خلال هذه الفترة أي الواقعة بين t=0 و $t=\frac{T}{2q}$ يكون التوتر Uc ذا قيمة عظمى من أجل $t=\frac{T}{2q}$ ويساوي :

$$U_{c_{max}} = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}}$$

وذا قيمة دنيا (أصغرية عند اللحظة t=0)واللحظة $t=\frac{T}{2q}$ ويساوي :

$$U_{c_{min}} = \frac{V_m}{2tg\frac{\pi}{2q}}$$

في الفترة الزمنية التالية $\left(\frac{T}{q},\frac{T}{2q}\right)$ التوترات الموجبة هي فقط $\left(V_{\frac{q+5}{2}}\ و\ V_q,V_1\right)$ ،

والديودات الناقلة هي $\left(D'_{\frac{q+3}{2}}\ etD_1\right)$ والتوتر المقوم هو :

$$U_c = V_{\frac{q+5}{2}} + V_{\frac{q+7}{2}} + ...V_q + V_1$$

$$U_c = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}}\cos(wt - \frac{3\pi}{2q})$$

نرى أن التوتر خلال الفترة هذه مماثل أيضاً للتوتر الذي وجدناه خلال الفترة السابقة ، ولكن بفرق طور قدره $\left(\frac{2\pi}{q}\right)$.

التوتر المقوم الناتج في هذه الحالة مشكل من (2q) قمة جيبية خلال الدور الواحد T . وقيمته المتوسطة تعطى بالتكامل :

$$U_{c_0} = \frac{2q}{T}\int_0^{\frac{T}{2q}} \frac{V_m\cos(wt - \frac{\pi}{2q})}{2\sin\frac{\pi}{2q}}\,dt$$

وبنتيجة التكامل نجد :

$$U_{c_0} = \frac{q}{\pi}V_m \qquad .....(4\text{-}2)$$

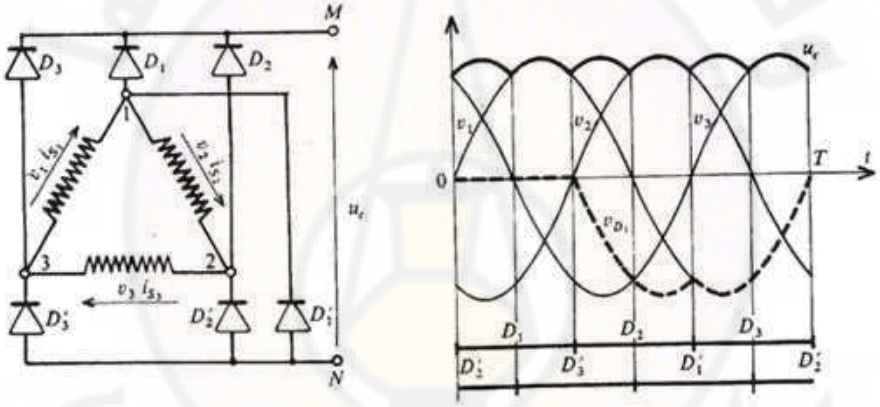
يبين الشكل (4-5) شكل التوتر المتوسط المقوم الناتج لحالة q=3 وتتابع عمل عناصر التقويم .

أنه أضحى من السهل ملاحظة أن قيمة التوتر المتوسط الناتج في كل حالة (زوجي – فردي) تتبع عدد الأطوار . حيث أن التوتر المقوم U_c في كل حالة أو لحظة يساوي مجموع التوترات الموجبة وأن U_{c0} يعطى كنتيجة ضرب عدد الأطوار q للتوترات المراد تقويمها بالقيمة المتوسطة الموجبة $\frac{V_m}{\pi}$ لكل من هذه التوترات .

إن مقارنة القيم العظمى والصغرى والمتوسطة للتوتر U_c الناتج في حالة كون عدد الأطوار فردياً يعطي معامل التعريج التالي :

$$K_0 = \frac{\pi}{4q} \frac{1-\cos\frac{\pi}{2q}}{\sin\frac{\pi}{2q}} \quad \text{.....(4-3)}$$

وهو المعامل المميز لكل التوترات ذات الرتبة (2q) .



الشكل (4-5) مجموعة تقويم تسلسلية q=3

٤-٢ التوتر العكسي والتيار المباشر في عناصر التقويم :

٤-٢-١ الشكل العام والقيمة العظمى للتوتر العكسي :

خلال الفترة الزمنية من t=0 إلى $t=\frac{T}{q}$ ، فإن التوتر V_1 هو آخر توتر أصبح موجباً (أي أن التوتر V_1 قبل الزمن t=0 كان سالباً) .وفي هذه الفترة فإن الديود D_1 هو الموصل بينما خلال الفترة من $t=\frac{T}{q}$ إلى $t=\frac{2T}{q}$ ، فإن عملية توصيل الديود D_2، تجعل التوتر V_{D_1} (العكسي) على طرفي الديود D_1 مساوياً $-V_2$ ، بالتتابع سوف يتم توصيل الديود D_3 ويعود الديود D_2 إلى الحجز والتوتر العكسي المتشكل على طرفي الديود D_1 سيكون $(-V_2-V_3)$.

إذن قيمة التوتر V_{D_1} على الديود D_1 ستأخذ القيم التالية حسب الفترات الزمنية الملائمة:

من أجل :

$$0 < t < \frac{T}{2} \qquad V_{D_1} = 0$$

من أجل :

$$\frac{T}{q} < t < \frac{2T}{q} \qquad V_{D_1} = -V_2$$

من أجل :

$$\frac{2T}{q} < t < \frac{3T}{q} \qquad V_{D_1} = -V_2 - V_3$$

من أجل :

$$(q-1)\frac{T}{q} < t < T$$

$$V_{D_1} = -V_2 - V_3 - \ldots\ldots\ldots - V_{q-1} - V_q = V_1$$

سنطبق أيضاً العملية نفسها على باقي عناصر التقويم بالنسبة للديود D_1' فإن التوتر $V_{D_1'}$ سيأخذ القيم التالية :

من أجل :

$$\left(D_1' \text{ موصل}\right) \frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} + \frac{T}{q}$$

$$V_{D_1'} = 0$$

من أجل :

$$\left(D_2' \text{ موصل}\right) \frac{T}{2} + \frac{T}{q} < t < \frac{T}{2} + \frac{2T}{q}$$

والتوتر العكسي هو : $V_{D_1'} = +V_2$

من أجل

$$\left(D_3' \text{ موصل}\right) \frac{T}{2} + \frac{2T}{q} < t < \frac{T}{2} + \frac{8T}{q}$$

والتوتر العكسي هو : $V_{D_1'} = V_2 + V_3$

من أجل

$$\left(D_q' \text{ موصل}\right) \frac{T}{2} - \frac{T}{q} < t < \frac{T}{2}$$

$$V_{D_1'} = V_2 + V_3 + \ldots\ldots + V_q = -V_1$$

إذن التوتر العكسي المتشكل على طرفي عنصر تقويم ما ، له قيمة تساوي بالتتابع مجموع التوترات متعددة الأطوار حسب تسلسلها الزمني ، وهو ذو قيمة صغرى عندما يكون المجموع الأعظمي (الأكثر سالبية) ذا قيمة صغرى . أو التوتر المقوم الناتج عن جمع توترات الأطوار المقومة في حالة كون عدد الأطوار (q) زوجياً :

$$V_{i_{max}} = \frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}4)$$

في حالة كون عدد الأطوار (q) فردياً :

$$V_{i_{max}} = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}5)$$

ويوضح الشكل (4-3) من أجل q=6 ، عناصر التقويم وتسلسل عملها وذلك حسب : الفترات الزمنية الموافقة وأيضاً التوتر المقوم الناتج ، والتوتر العكسي المتشكل على الديود D_1 و D_1' .

٤-٢-٢ التيار وعامل الاستطاعة الثانوي :

كما في حالة التقويم التفرعي المضاعف سوف نميز حالتين حيث عدد الأطوار إما فردي أو زوجي .

٢-١ حالة عدد الأطوار زوجي :

عندما يكون عدد الأطوار زوجياً فإن النهايات M و N تكون بمثابة ملتقى قمتين في مضلع ملفات الأطوار للمحول الثانوي وذلك بسبب طريقة توصيل مجموعة التقويم ، يذهب التيار I_c من M إلى N بوساطة دارتين كل منهما تمثل $\frac{q}{2}$ طوراً ذات ممانعة متساوية ويمر في كل منهما تيار متساوٍ ويعادل $\frac{I_c}{2}$.

يساوي التيار i_{s_1} في ملفات الصف الأول (1) ، مثلاً $\frac{I_c}{2}$ + خلال الفترة الموجبة للتوتر V_1 ، لأن الطور الأول يشكل جزءاً من مجموعة الأطوار المكونة للتوتر الموجب . خلال الفترة السالبة للتوتر V_1 ، يجد الطور الأول نفسه في الصف الثاني (2) و i_{s_1} يساوي $\frac{I_c}{2}$ - خلال نصف الدور المتبقي ، ولها قيمة فعالة :

$$I_s = \frac{I_c}{2} \quad \text{.....(4-6)}$$

الاستطاعة الظاهرية للثانوي تساوي إذاً : $qI_s\left(\frac{V_m}{\sqrt{2}}\right)$ ومعامل الاستطاعة للثانوي له القيمة :

$$f_s = \frac{U_{s_\varphi} I_c}{q\frac{V_m}{\sqrt{2}} I_s} = \frac{q}{\pi} \cdot \frac{V_m I_c}{q\frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_c}{2}}$$

$$f_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.9$$

٢-٢ حالة عدد الأطوار فردي :

يمر التيار I_c من N إلى M خلال ملفات المضلع المكونة من المحول الثانوي ، وذلك بدارتين أو بمسارين ، هذان المساران لهما التوتر نفسه ، ولكن ، بسبب أن عدد الأطوار فردي ، فإن أحدهما له عدد أطوار (ملفات طور) أكبر من الثاني بواحد ، إذا كان لكل طور من ملفات الثانوي ممانعة واحدة متساوية ، فإن التيار في كل مسار له قيمة تتناسب عكساً وعدد الأطوار المكونة(المشكلة) لهذا المسار.

تكون بين اللحظات 0 و $\frac{T}{2q}$ المقومات D1 و $D'_{\frac{q+1}{2}}$ موصلة .

يمر التيار Ic من N إلى M عبر ملفات الأطوار التالية من ناحية :

$$1 \; et \; q \; و \ldots\ldots \; 2+\frac{q+1}{2} \; و \; 1+\frac{q+1}{2}$$

ومن ناحية أخرى يمر عبر ملفات الأطوار التالية :

$$2 \; et \; 3 \; و \ldots\ldots 1-\frac{q+1}{2} \; و \; \frac{q+1}{2}$$

تتضمن الدارة الأولى $\frac{q+1}{2}$ طوراً بينما لا تتضمن الدارة الثانية سوى $\frac{q-1}{2}$ طوراً خلال هذه الفترة ، يساوي التيار i_{s_1} في مجموعة الملفات الأول :

$$i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q}) \Leftarrow (\frac{I_c}{2}(\frac{q-1}{q}))$$

يمكن بالطريقة نفسها استنتاج علاقة التيار I_{s_1} خلال الفترات 2q للدور :

خلال : $0 < t < \frac{T}{2q}$ ..... D_1 ، $D'_{\frac{q+1}{2}}$ (موصلة)

والتيار : $i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$

خلال : $\frac{T}{2q} < t < \frac{T}{q}$ .... D_1 ، $D'_{\frac{q+3}{2}}$ (موصلة)

والتيار : $i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1+\frac{1}{q})$

خلال : $\frac{T}{q} < t < \frac{3T}{2q}$ ..... D_2 و $D'_{\frac{q+3}{2}}$ (موصلة)

والتيار :

$$i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$$

. . . . . .

خلال : $(q-1)\frac{T}{2q} < t < \frac{T}{2}$ D'_q , $D'_{\frac{q+1}{2}}$ (موصلة)

والتيار :

$$i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$$

خلال : $\frac{T}{2} < t < (q+1)\frac{T}{2q}$ D'_1 , $D_{\frac{q+1}{2}}$ (موصلة)

والتيار :

$$i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$$

خلال : $(2q-1)\frac{T}{2q} < t < T$ D'_q, و $D'_{\frac{q+1}{2}}$ (موصلة)

والتيار : $i_{s_1} = \frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$

التيار في كل ملف طور ثانوي يساوي $\frac{Ic}{2}/(1-\frac{1}{q})$ / خلال الدور $(q+1)$ مرحلة توصيل حيث كل مرحلة تعادل $\frac{T}{2q}$ ويساوي التيار $\left(\frac{I_c}{2}\right)\left(1+\frac{1}{q}\right)$ خلال $(q-1)$ باقي مراحل التوصيل .

لذا فإن التيار الثانوي له القيمة الفعالة التالية :

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{T}\left[I_c^2\frac{(q-1)^2}{4q^2}(q+1)\frac{T}{2q} + I_c^2\frac{(q+1)^2}{4q^2}(q-1)\frac{T}{2q}\right]}$$

$$I_s = \frac{I_c}{2}\frac{\sqrt{q^2-1}}{q} \quad \text{.....(4-7)}$$

ومنه عامل الاستطاعة الثانوي له القيمة التالية :

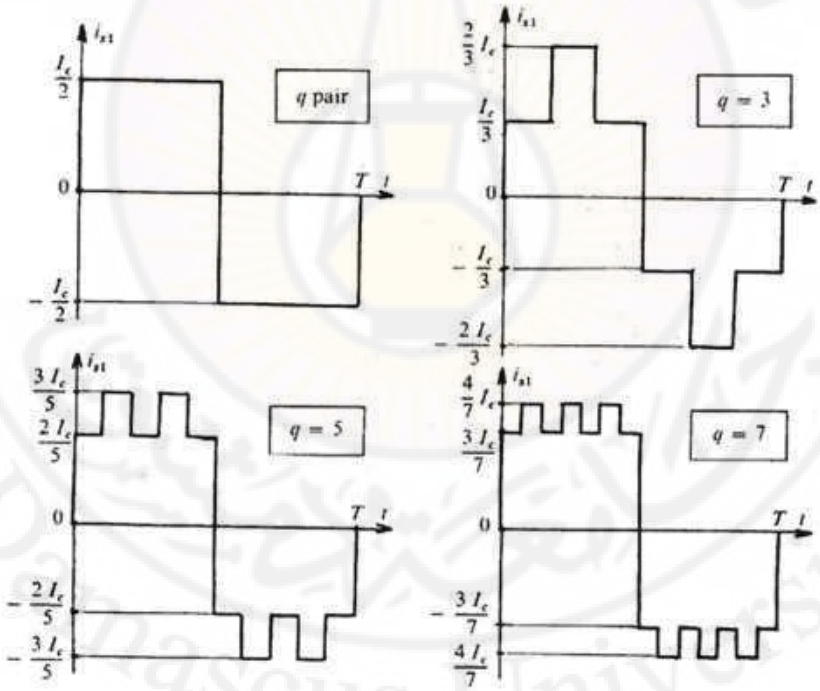
$$f_s = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{q}{\sqrt{q^2 - 1}} \quad \text{.....(4-8)}$$

من أجل q=3 معامل الاستطاعة f_s=0.955

وأن معامل الاستطاعة في حال عدد أطوار زوجي يساوي f_s=0.9 وذلك مهما ازداد عدد الأطوار وذلك حتى اللانهاية .

أظهرت هذه النتيجة الميزة الأولى للتوصيل التسلسلي بالنسبة لمجموعات التقويم التفرعي البسيط والمضاعف ، حيث أن معامل الاستطاعة الثانوي يحتفظ بقيمته المرتفعة مهما بلغ عدد الأطوار سواء في حالة كونها مفردة أو مزدوجة .

يعطي الشكل (4-5) شكل التيارات الثانوية من أجل قيم أولية لعدد الأطوار q .



Forme d'onde du courant dans les enroulements secondaires :
— pour q pair. — impair

شكل (4-6) شكل التيارات في الملفات الثانوية
من أجل q عدداً زوجياً .من أجل q عدداً فردياً .

٤-٣ التيار وعامل الاستطاعة في الطرف الابتدائي :

إن معادلات الأمبير لفة المدروسة في الفصل الثاني تبقى مطبقة في هذا النظام ، التيارات في الملفات لها قيمة متوسطة معدومة ، تساوي الصفر ، كذلك الأمر بالنسبة للأمبير لفة الثانوية لكل نواة (ذراع) . لذا فإن وصول المحول إلى حالة الإشباع المغناطيسي مستبعدة في هذا النظام .

٤-٣-١ تطبيق على المجموعة S_3 :

إن أسهل ، ومن ناحية أخرى ، أكثر أهمية من بين مجموعات التقويم التسلسلية هي المجموعات ذات عدد الأطوار q=3 والتي نصادفها في المحولات ذات الطرف الثانوي الموصل بشكل مثلثي .

شكل التيارات الثانوية ممثل في الشكل (4-5) ، وبما أن علاقة الأمبير لفة محققة مهما كان نوع توصيل الملفات الابتدائية ، فإن التيار في كل طور ابتدائي يساوي إذاً $\frac{n_2}{n_1}$ من i_{s_1} عندما يكون الملفان الابتدائي والثانوي ملفوفين على الذراع نفسه .

ويبين الشكل (4-6) تيارات الأطوار في الابتدائي .

التوتر والتيار لكل ملف ابتدائي كقيمة فعالة تعطى بالعلاقات :

$$V_p = \frac{n_1}{n_2}\frac{\pi}{3\sqrt{2}}U_{c_0} \quad \text{.....(4-9)}$$

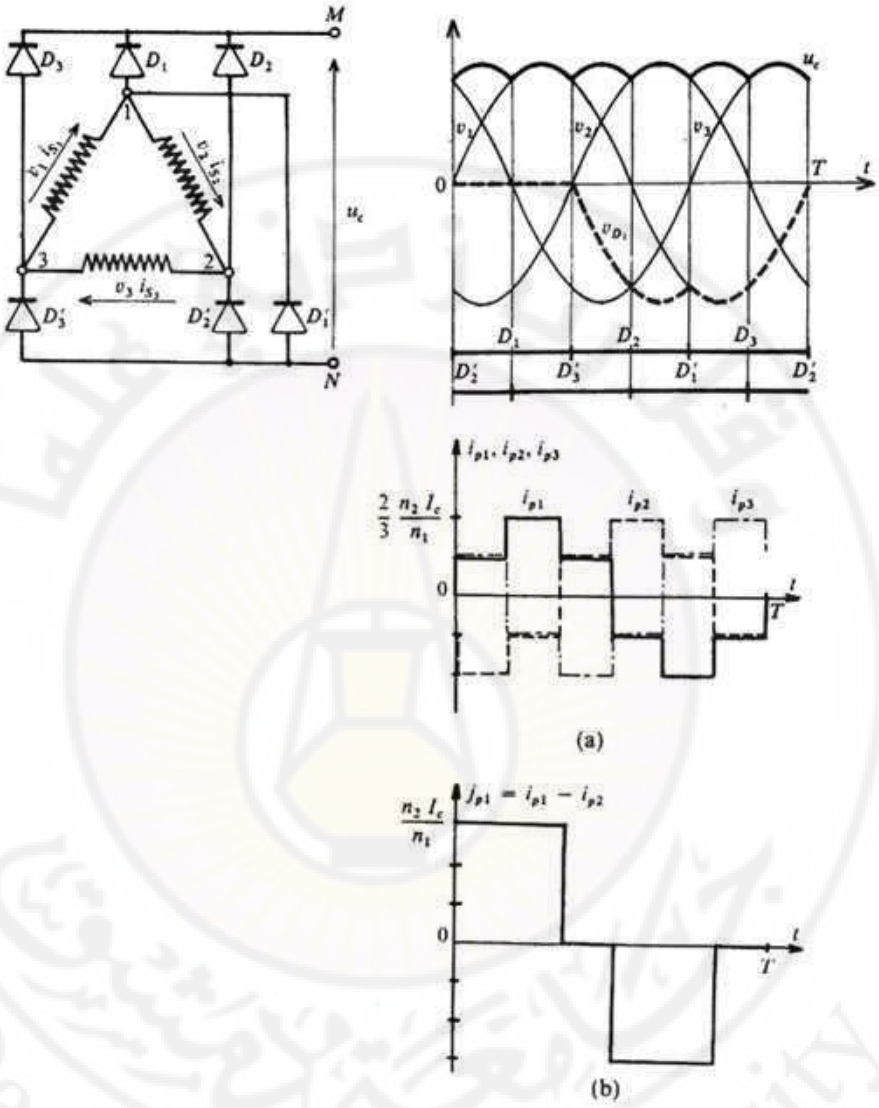
$$I_p = \frac{n_2}{n_1}\frac{\sqrt{2}}{3}I_c \quad \text{.....(4-10)}$$

إذا كان الابتدائي موصلاً بشكل مثلثي ، فإن تيارات الخطوط لها الشكل المبين في المخطط (4-6) ولها القيم :

$$J_p = \frac{n_2}{n_1}I_c\sqrt{\frac{2}{3}} \quad \text{.....(4-11)}$$

ومنه فإن مختلف معاملات الاستطاعة ، للثانوي ، والابتدائي ، والخط تكون متساوية وتعادل :

$$f_s = \frac{U_{c_0}I_c}{3V_sI_s} = f_p = \frac{U_{c_0}I_c}{3V_pI_p} = f_l = \frac{U_{c_0}I_c}{\sqrt{3}V_pJ_p} = \frac{3}{\pi} = 0.955$$



Montage redresseur à commutation série S3.
Forme d'onde des courants primaires (a) *et en ligne* (b) *dans le cas du couplage en triangle.*

شكل (4-7) مجموعة تقويم تسلسلية S3

a- شكل تيارات الخطوط في الابتدائي .
b- شكل تيارات الخطوط .

(توصيل مثلثي)

٤-٣-٢ التيار المباشر (الأمامي) وعامل الاستخدام لعناصر التقويم :

كما نعلم I_c تمثل دائماً التيار المستمر المار ، المفروض بدون أي تعريج ، في عناصر التقويم وأن كل عنصر تقويم يمرر هذا التيار للفترة $\left(\frac{T}{q}\right)$ من الزمن خلال الدور T .

ولذا فإنه من أجل الـ(2q) ديوداً المستخدمة لدينا :

التيار الأعظمي :

$$i_{max} = I_c$$

التيار المتوسط :

$$i_{may} = \frac{I_c}{q}$$

التيار الفعال :

$$I = \frac{I_c}{\sqrt{q}}$$

عامل الاستخدام لعناصر التقويم يبقى على حاله ويعطى بالعلاقة المعروفة سابقاً .

من أجل q عدداً زوجياً :

$$f_r = \frac{q}{2\pi}\sin\frac{\pi}{q}$$

من أجل q عدداً فردياً :

$$f_r = \frac{q}{\pi}\sin\frac{\pi}{2q}$$

٤-٤ هبوط التوتر في حالة العمل الطبيعي :

مثل باقي الأنظمة التي درسناها ، فإنه يمكن الحصول على هبوط التوتر الكلي بإضافة هبوطات التوتر الجزئية لبعضها بعضاً المحسوبة كلاً على حدا ، هذا التقريب في حساب هبوط التوتر يسمح برسم منحني الخواص لتوتر الخرج بدقة لا بأس بها وكافية غالباً .

٤-٤-١ هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق :

بسبب ممانعة التسريب لملفات المحول وشبكة التغذية ، فإن التيار في ملفات الثانوي لا يمكن أن يعكس نفسه لحظياً وذلك عندما تعكس القوة المحركة الكهربائية المتولدة فيه إشارتها .

هذا التغيير في الاتجاه يستلزم عادةً بعض الوقت ، حيث أنه خلال هذه الفترة الزمنية يكون الملف (الذي يعمل أو يدخل في التقويم) قد قصر على ذاته نتيجة توصيل الديودين أو عنصري التقويم الواقعين على طرفي هذا الملف .

هنا أيضاً سنفترض الممانعة الكلية المنسوبة للطرف الثانوي بـ (L_2w) ويجب من جديد التمييز بين الحالة التي يكون فيها عدد الأطوار فردياً والحالة التي يكون فيها عدد الأطوار زوجياً .

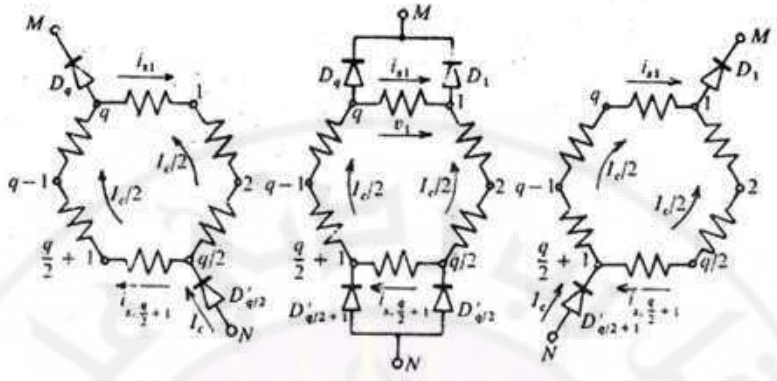
٤-٤-١-١ حالة عدد الأطوار زوجي :

قبل اللحظة t=0 ، حيث التوتر الثانوي V_q يكون موجباً بينما يكون التوتر V_1 سالباً مجموعة الملفات المشكلة للمضلع المغلق موصلة إلى النقطة M عن طريق الديود D_q الشكل (4-9-a) والتيار i_{s_1} في الطور الأول هو $\left(-\frac{I_c}{2}\right)$.

انطلاقاً من اللحظة t=0 حيث التوتر V_1 يصبح موجباً ، ينتهي الديود من مرحلة الحجز ويبدأ في الإقلاع ، عندئذٍ يجد الطور الأول نفسه مقصوراً لكون الديود D_1 وD_q في حالة توصيل مشترك شكل (4-9-b) .

تستمر فترة القصر هذه حتى اللحظة $t=\frac{\alpha}{w}$ حيث i_{s_1} يبلغ القيمة $+\frac{I_c}{2}$ والعنصر Dq ينتقل إلى حالة الحجز الكامل شكل (4-9-c) .

α: تساوي زاوية التطابق .



$$-\frac{T}{q}-\frac{\alpha}{\omega}<t<0 \qquad 0<t<\frac{\alpha}{\omega} \qquad \frac{\alpha}{\omega}<t<\frac{T}{q}$$

Représentation des trois étapes de l'inversion du courant dans les enroulements 1 *et* $\frac{q}{2}+1$ *(seules les diodes conductrices sont représentées).*

Cas où le nombre de phases est pair.

(a) **(b)** **(c)**

$$-\frac{T}{q}-\frac{\alpha}{w}<t<0 \qquad 0<t<\frac{\alpha}{w} \qquad \frac{\alpha}{w}<t<\frac{T}{q}$$

شكل (8-4) تمثيل المراحل الثلاث لانعكاس التيار في الأطوار 1 و $\frac{q}{2}+1$

في حالة عدد الأطوار زوجي (رسم فقط عنصر التقويم الموصل)

خلال الفترة (0 إلى $\frac{\alpha}{w}$) الطور الأول في حالة قصر أي :

$$L_2\frac{di_{s_1}}{dt}=V_1-V_m\sin wt$$

التيار i_{s_1} ، لا يمكن أن يتعرض لعدم استمرار وهو ذو قيمة أولية $-\frac{I_c}{2}$ تتغير حسب العلاقة :

$$i_{s_1}=-\frac{V_m}{L_2 w}\cos wt+\frac{V_m}{L_2 w}-\frac{I_c}{2}$$

في اللحظة $t = \frac{\alpha}{w}$ يساوي التيار $i_{s_1} = +\frac{I_c}{2}$ ومنه فالعلاقة التي تعطي زاوية التطابق هي :

$$\frac{I_c}{2} = \frac{-V_m}{L_2 w}\cos\alpha + \frac{V_m}{L_2 w} - \frac{I_c}{2}$$

أو :

$$1 - \cos\alpha = \frac{L_2 w}{V_m} I_c \quad \text{.....(4-12)}$$

هبوط التوتر $\Delta_1 U_c$:

خلال فترة القصر للطور الأول ، سيحذف من مجموع التوترات الموجبة توتر الطور الأول (V_1). وسينتج لدينا نقص أو ضياع قدره $\Delta_1 U_c$ من التوتر المتوسط المقوم يقدر :

حسب العلاقة :

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{T}\int_0^{\frac{\alpha}{w}} V_m \sin wt dt = \frac{q}{wt} V_m (1 - \cos\alpha)$$

وبالاعتماد على العلاقة الدالة على زاوية التطابق نجد :

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi} L_2 w I_c \quad \text{.....(4-13)}$$

التوصيل في الجهة الثانية :

خلال الفترة من (0 إلى $\frac{\alpha}{w}$) ، اللازمة لكي يعكس التيار المار في الطور الأول اتجاهه فإن مرور التيار في الملف $\frac{q}{2}+1$ من القيمة $\frac{I_c}{2}+$ إلى $\frac{I_c}{2}-$ يستلزم قصر هذا الطور أيضاً وذلك بوساطة الديودين ($D'_{\frac{q}{2}}$ و $D'_{\frac{q}{2}+1}$)وإن عملية حذف التوتر $V_{\frac{q}{2}+1}$ المساوي ($-V_1$) من مجموع التوترات السالبة يجعل التوتر السالب الناتج مساوياً التوتر الموجب بشكل تقريبي ، يساوي التيار المار في باقي أجزاء الدارة خلال هذه الفترة أي الأطوار غير المقصورة التي تحتفظ بتيارها السابق والمساوي $\left(\frac{I_c}{2}\right)$.

٤-٤-١-٢ حالة عدد الأطوار فردي :

إن دراسة التوتر المقوم والتيارات الثانوية في حالة كون q عدداً فردياً ، بإهمال كل الممانعات تعطي النتائج التالية :

a- إن تغيير الديود الموصل والذي يصل بين المضلع والنقطة M لا يتم في الوقت نفسه الذي يتغير فيه الديود الذي يصل المضلع بالنقطة N .

b- التيارات في طرفي الدارة والواصلين النقطة N بالنقطة M ليسا متساويين ، الدارة المكونة من $\frac{q+1}{2}$ طوراً ثانوياً يمر فيها التيار $\frac{I_c}{2}\left(1-\frac{1}{q}\right)$ والطرف الآخر من الدارة يمر فيه تيار $\frac{I_c}{2}\left(1+\frac{1}{q}\right)$. وبشكل خاص ، عند عكس التيار اتجاهه في أحد الأطوار فإنه يتحول من القيمة $\frac{I_c}{2}\left(1-\frac{1}{q}\right)$ إلى $-\frac{I_c}{2}\left(1-\frac{1}{q}\right)$ أو بالعكس .

a- تفرض فترة قدرها $\left(\frac{\alpha}{w}\right)$ من الزمن لكي يعكس التيار اتجاهه للملف الواقع تحت التقويم .

b- تعاكس التغيرات المفاجئة للتيار المار في الملفات غير الواقعة تحت التقويم .

سندرس هاتين الظاهرتين بفرض أن التيار المستمر (I_c) صغير بحيث تكون زاوية التطابق أصغر من $\left(\frac{\pi}{q}\right)$.

وفي هذه الحالة يكون لدينا عنصران في حالة عمل مشترك لفترة ما ، وثلاثة عناصر تقويم خلال الفترة الأخرى .

يبين الشكل (4-10) المراحل التي يتم فيها عكس التيار في الطور الأول وبداية عكسه في الطور $\left(\frac{q+3}{2}\right)$.

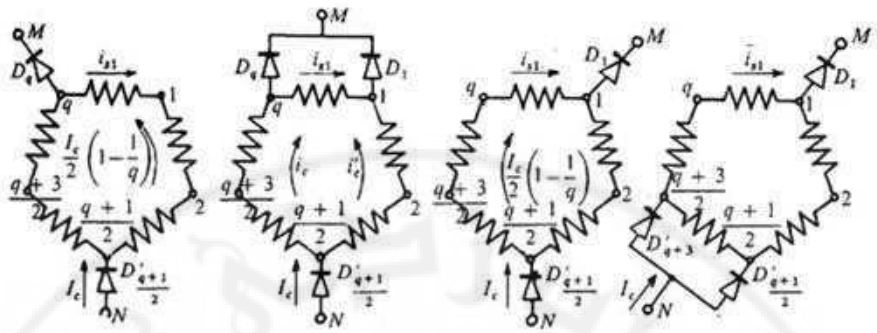


Fig. 48. *Cas où le nombre de phases est impair:*
Etapes de l'inversion du courant dans les enroulements.

(a) $-\frac{T}{2q}+\frac{\alpha}{w}<t<0$

(b) $0<t<\frac{\alpha}{w}$

(c) $\frac{\alpha}{w}<t<\frac{T}{2q}$

(d) $\frac{T}{2q}<t<\frac{T}{2q}+\frac{\alpha}{w}$

شكل (4-10) حالة عدد الأطوار فردي

المراحل التي يمر فيها التيار لكي يعكس نفسه (يغير اتجاهه)

٤-٤-٢ زاوية التطابق :

خلال الفترة من 0 إلى $\frac{\alpha}{w}$ التي يكون فيها الطور الأول مقصوراً عن طريق الديودين لدينا :

$$L_2\frac{di_{s_1}}{dt}=V_1=V_m\sin wt$$

$$i_{s_1}=-\frac{V_m}{L_2 w}\cos wt+etc$$

تعطي القيمة $-\frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$ للتيار i_{s_1} في اللحظة t=0 ثابت التكامل . وفي اللحظة $t=\frac{\alpha}{w}$ يساوي التيار $i_{s_1}=\frac{I_c}{2}(1-\frac{1}{q})$ ومنه :

$$1-\cos\alpha=\frac{L_2 w I_c}{V_m}(1-\frac{1}{q}) \quad \text{.....(4-14)}$$

٤-٤-٣ هبوط التوتر $\Delta_1 U_c$:

خلال الفترة 0 إلى $\frac{\alpha}{w}$ يعطى التوتر المقوم بالعلاقة :

$$U_c = V_{\frac{q+3}{2}} + V_{\frac{q+5}{2}} + ... + V_q - \frac{q-1}{2} L_2 \frac{di_s}{dt}$$

حيث أن :

$$(q-1) L_2 \frac{di_s}{dt} = -V_1$$

$$U_c = V_{\frac{q+3}{2}} + V_{\frac{q+5}{2}} + ... + V_q + \frac{V_1}{2}$$

أما مجموع التوترات الموجبة فقد طرح منه $\left(\frac{V_1}{2}\right)$.

بالمقابل ، خلال الفترة $\frac{T}{2q}$ و $\frac{T}{2q} + \frac{\alpha}{w}$ التوتر المقوم له القيمة :

$$U_c = V_{\frac{q+5}{2}} + V_{\frac{q+7}{2}} + ... + V_q - V_1 \frac{q-1}{2} L_2 \frac{di_s}{dt}$$

مع العلم بأن :

$$(q-1) L_2 \frac{di_s}{dt} = -V_{\frac{q+2}{2}}$$

إذن مجموع التوترات الموجبة سيضاف إلى القيمة السالبة :

$$\frac{1}{2} V_{\frac{q+3}{2}} = -\frac{V_m}{2} \sin(wt - \frac{\pi}{q})$$

إذاً هبوط التوتر $\Delta_1 U_c$ من التوتر المتوسط المقوم بسبب ظاهرة التطابق له القيمة :

$$\Delta_1 U_c = \frac{2q}{T} \int_0^{\frac{\alpha}{w}} \frac{1}{2} V_m \sin wt dt = \frac{q}{2\pi} V_m (1 - \cos\alpha)$$

$$\Delta_1 U_c = \frac{q}{2\pi} L_2 w I_c (1 - \frac{1}{q}) \text{.....(4-15)}$$

٤-٤-٤ الأسباب الأخرى لهبوط التوتر :

من أجل القيم الصغيرة لزاوية التطابق ، يمكن حساب الضياع بمفعول جول في المقاومات وعناصر التقويم وكذلك هبوط التوتر الموافق بعد معرفة التيار المار مع إهمال زاوية التطابق .

الهبوط الأومي $\Delta_2 U_c$ له القيمة :

$$\Delta_2 U_c = R_c I_c$$

حيث :

$$RI_c^2 = qr_2 I_s^2 + q_1 r_1 I_p^2 + q_1 r_1' J_p^2$$

من أجل ثلاثة أنواع من مجموعات التقويم المغذاة عن طريق شبكة ثلاثية الطور يعطى الهبوط الأومي بالعلاقات التالية :

حالة q=3 :

الابتدائي موصل بشكل مثلثي :

$$\Delta_2 U_c = \left[\frac{r_2}{\sqrt{2}} + 2(\frac{n_2}{n_1})^2(\frac{r_1}{3} + r_1')\right] I_c$$

الابتدائي موصول بشكل نجمي :

$$\Delta_2 U_c = \left[\frac{r_2}{\sqrt{2}} + \frac{2}{3}(\frac{n_2}{n_1})^2(r_1 + r_1')\right] I_c$$

حالة q=6 :

الابتدائي موصل بشكل مثلثي :

$$2U_c = \left[\frac{3}{2} r_2 + (\frac{n_2}{n_1})^2(3r_1 + 8r_1')\right] I_c$$

الابتدائي موصول بشكل نجمي :

$$2U_c = \left[\frac{3}{2} r_2 + \frac{8}{3}(\frac{n_2}{n_1})^2(r_1 + r_1')\right] I_c$$

يسمح كل ديود أو عنصر تقويم لمرور التيار فيه خلال الفترة $\left(\frac{T}{q}\right)$ من الدور وعملية الوصل بين النقطة M و N عن طريق المضلع تستلزم عمل عنصري تقويم على التسلسل بآن واحد ولذا فإن هبوط التوتر الناتج عن عناصر التقويم يعطي :

$$\Delta_3 U_c = 2(u) I_c$$

٤-٥ عمل المجموعة عند زوايا تأخير في الطور :

تتكون مجموعة التقويم التسلسلية من مجموعتين من عناصر التقويم كل منها ذو (q) عنصراً ، وذلك كما في حالة مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة ولدينا إمكانيتان للتوصيل وهما :

- وضع 2q ثيرستوراً وذلك لجعل التوتر يتغير بين $+U_{c_0}$ و $-U_{c_0}$.
- وضع q ثيرستوراً و q ديوداً بحيث أن التوتر المتوسط لا يعكس اتجاهه .

٤-٥-١ استخدام (2q) ثيرستوراً :

شكل موجة التوتر المقوم وقيمة التوتر المتوسط الناتج :

حسب كون عدد الأطوار فردياً أو زوجياً فإن التوتر المقوم U'_c له الدور $\frac{T}{2q}$ أو $\frac{T}{q}$.

في حالة كون q زوجياً :

فإن توصيل مختلف عناصر التقويم سوف يزاح بمقدار $\frac{\psi}{w}$ زاوية التأخير .

من أجل $\frac{\psi}{w} < t < \frac{T}{q} + \frac{\psi}{w}$ تكون عناصر التقويم th_1 و $th'_{\frac{q+1}{2}}$ موصلة.

ولدينا :

$$U'_c = V_{\frac{q+2}{2}} + V_{\frac{q+3}{2}} + ... + V_q + V_1$$

$$U'_c = \frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}} \cos(wt - \frac{\pi}{q})$$

من أجل $\frac{T}{q} + \frac{\psi}{w} < t < \frac{2T}{q} + \frac{\psi}{w}$ تكون عناصر التقويم th_2 و $th'_{\frac{q+2}{2}}$ موصلة .

$$U'_c = V_{\frac{q+3}{2}} + V_{\frac{q+5}{2}} + ... + V_q + V_1 + V_2$$

$$U'_c = \frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}} \cos(wt - \frac{3\pi}{q})$$

نرى أن التوتر المقوم ما زال دورياً وبفترة قدرها $\frac{T}{q}$ وهو عبارة عن جزء من موجة جيبية .

في حالة كون q فردياً :

في هذه الحالة توصيل عناصر التقويم لكلتا المجموعتين التسلسليتين لا يتم بشكل متقابل.

من أجل $\frac{\psi}{w} < t < \frac{T}{2q} + \frac{\psi}{w}$ لدينا العناصر th_1 و $th'_{\frac{q+1}{2}}$ موصلة .

$$U'_c = V_{\frac{q+3}{2}} + V_{\frac{q+5}{2}} + ... + V_1 = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}} \cos(wt - \frac{\pi}{2q})$$

من أجل $\frac{T}{2q} + \frac{\psi}{w} < t < \frac{T}{q} + \frac{\psi}{w}$ لدينا العناصر التقويم th_1 و $th'_{\frac{q+3}{2}}$ موصلة .

$$U'_c = V_{\frac{q-5}{2}} + V_{\frac{q+7}{2}} + ... + V_1 = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}} \cos(wt - \frac{3\pi}{2q})$$

التوتر المقوم مكون من 2q جزءاً من موجة جيبية خلال الدور T (2q قمة) مهما كانت قيمة q فإن العلاقة التي يعطي فيها التوتر المتوسط تبقى كما هي :

أ- حالة عدد أطوار زوجي :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{T} \int_{\frac{\psi}{w}}^{\frac{\psi}{w}+\frac{T}{2q}} \frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}} \cos(wt - \frac{\pi}{q}) dt$$

ب- حالة عدد أطوار فردي :

$$U'_{c_0} = \frac{2q}{T} \int_{\frac{\psi}{w}}^{\frac{\psi}{w}+\frac{T}{2q}} \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}} \cos(wt - \frac{\pi}{2q})dt$$

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi} V_m \cos\psi = U_{c_0} \cos\psi \quad \text{.....(4-16)}$$

٤-٥-٢ استخدام q ثيرستوراً و q ديوداً :

في أكثر التطبيقات العملية ، يكفي تغيير التوتر المقوم بين القيمة المتوسطة $\left(\frac{q}{\pi}V_m\right)$ والصفر . ويكفي عندئذ تبديل q ديوداً من المجموعة D_q و...وD_2 و D_1 بعناصر من الثيرستور ، وترك المجموعة الثانية D'_q و.....و D'_2 و D'_1 بعناصر تقويم من الديود

أيضاً في هذه الحالة يجب تمييز حالة كون عدد الأطوار فردياً وحالة عدد الأطوار زوجياً .

أ- حالة عدد الأطوار زوجي والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم :

مجموعة عناصر التقويم (الديود) السالبة D'_2 و D'_1 و....و D'_{2q} تصبح موصلة فور وصول التوتر الثانوي التابع لكل عنصر إلى القيمة السالبة ، يكون الديود $D'_{\frac{q}{2}+1}$ إذاً في حالة توصيل من أجل $0 < t < \frac{T}{q}$.

يكون العنصر th_1 موصلاً بين اللحظات :

$$t = \frac{\psi}{w} \quad \text{و} \quad t = \frac{\psi}{w} + \frac{T}{q}$$

يكون العنصر th_q موصلاً بين اللحظات :

$$t = \frac{\psi}{w} - \frac{T}{q} \quad \text{و} \quad t = \frac{\psi}{w}$$

في الحالة العامة من أجل زاوية تأخير قدرها ψ مفترضة

تعطى القيمة المتوسطة U'_{c_0} للتوتر المقوم :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi}\frac{V_m}{\sin\frac{\pi}{q}}\left\{\int_0^{\frac{\psi}{w}-K\frac{T}{q}} \cos(K+1)\frac{\pi}{q}\cos(wt+\frac{k\pi}{q})dt\right.$$

$$\left. + \int_{\frac{\psi}{w}-K\frac{T}{q}}^{\frac{T}{q}} \cos(\frac{K\pi}{q})\cos[wt-(k-1)\frac{\pi}{q}]dt\right\}$$

وبالحل نجد :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi}V_m\frac{1+\cos\psi}{2} \quad \text{.....(4-17)}$$

عند تأخير زاوية التأخير في الطور بين القيمة 0 و π فإن التوتر المتوسط يتغير بين القيمة العظمى $\left(\frac{q}{\pi}V_m\right)$ والصفر .

ب- حالة عدد الأطوار فردي والقيمة المتوسطة للتوتر المقوم :

كما في حالة التقويم العادي ، عندما يكون عدد الأطوار q فردياً ، فإن دخول عناصر التقويم في حالة التوصيل لكلتا المجموعتين السالبة، والموجبة ، تكون مزاحة بفترة $\frac{T}{2q}$.

عند زيادة t بمقدار $\frac{T}{q}$ فإن التوتر U'_c يزداد بوحدة توتر ، حيث التوتر U'_c في هذه الحالة له دور $\frac{T}{q}$ وليس $\frac{T}{2q}$ كما في حالة استخدام 2q ديوداً أو 2q ثيرستوراً .

خلال كل دور ، التوتر المقوم مكون من جزئين من موجة جيبية ، وقيمته لا تلحظ حالة عدم استمرار إلا في حالة توصيل أحد العناصر الثيرستورية . والقيمة المتوسطة محسوبة حسب الوضعيتين السابقتين هي :

إما أن تكون :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{T}\left\{\int_{\frac{-T}{2q}}^{\frac{\psi}{w}-2k\frac{T}{2q}}(V_{\frac{q+3}{2}} + ... + V_{q-k})dt + \int_{\frac{\psi}{w}+k\frac{T}{q}}^{\frac{T}{2q}}(V_{\frac{q+3}{2}} + ... + V_{q-k+1})dt\right\}$$

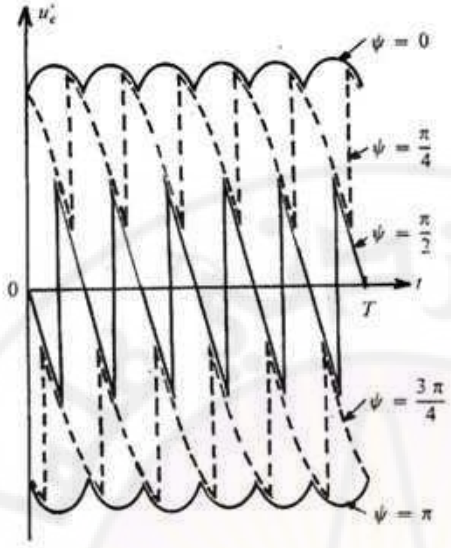
أو :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{T}\left\{\int_{\frac{\psi}{w}-(k+1)\frac{T}{q}}^{\frac{\psi}{w}}(V_{\frac{q+3}{2}} + ... + V_{q-k})dt + \int_{\frac{T}{2q}}^{\frac{\psi}{w}-k\frac{T}{q}}(V_{\frac{q+5}{2}} + ... + V_{q-k})dt\right\}$$

وفي كلتا الحالتين نجد :

$$U'_{c_0} = \frac{q}{\pi}V_m\frac{1+\cos\psi}{2} \qquad .....(4\text{-}18)$$

نجد من العلاقتين (4-17) و(4-18) أن القيمة المتوسطة للتوتر المقوم واحدة سواء أكان عدد الأطوار فردياً أم زوجياً ، وعند أية زاوية تأخير في الطور .

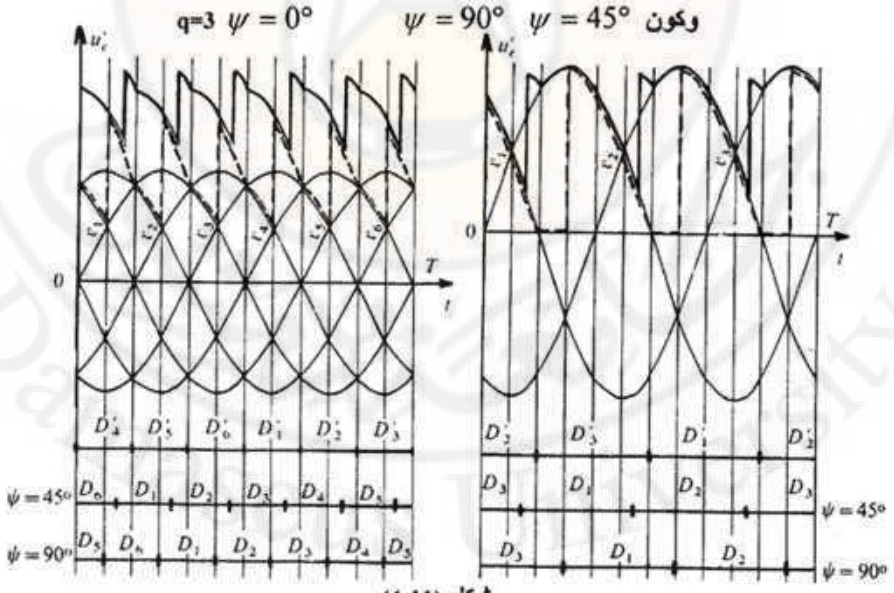


Forme d'onde de la tension redressée obtenue dans le cas du montage S3 pour diverses valeurs de l'angle ψ.

شكل (4-10)

شكل موجة التوتر المقوم في حالة استخدام 2q ثيرستوراً

وكون $\psi = 45°$ $\psi = 90°$ q=3 $\psi = 0°$



شكل (4-11)

شكل موجة التوتر المقوم في حالة استخدام q ثيرستوراً و q ديودا

وكون $\psi = 45°$ $\psi = 90°$

مسائل عامة

مسألة /١/ :

مجموعة تقويم ثيرستورية غذيت من منبع ثلاثي الطور عن طريق محول وصلت ملفاته الثانوية بشكل مثلثي ، توتر الطور الواحد 355.5v قيمة فعالة توتر الحمل الاسمي المطلوب هي 240v حملاً تحريضياً

١- ما هي زاوية التأخير في الطور الواجب تطبيقها على مجموعة التقويم لتغذية الحمل عند توتره الاسمي .

٢- ما هو شكل التوتر المقوم على طرفي الحمل التحريضي ثم بين تأثير كون الحمل التحريضي محرك تيار مستمر وبخاصة على شكل موجة توتر الخرج للمجموعة .

٣- ما هو شكل التوتر العكسي على أحد عناصر التقويم المستخدمة ؟ ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي الناتج .

مسألة /٢/ :

لديك محول ثلاثي الطور وصلت ملفاته الابتدائية بشكل مثلثي وملفاته الثانوية المكونة من ستة أطوار بشكل تسلسلي ، توتر الطور الواحد 200v . ربطت على الطرف الثانوي مجموعة تقويم مكونة من عناصر من الثيرستور تعمل عند زاوية تأخير في الطور تساوي $\psi = 45°$.

١- ارسم شكل موجة توتر الخرج الناتج ،عين تسلسل عمل عناصر التقويم المستخدمة ،وحدد شكل التوتر العكسي على أحد هذه العناصر وقيمته العظمى.

٢- اشرح بشكل مبسط أسلوب حساب قيمة التوتر العكسي على أحد العناصر .

٣- ما هي قيمة التوتر المتوسط المقوم عند الزاوية $\psi = 30°$.

٤- ما هي القيمة العظمى للتوتر العكسي على أحد عناصر التقويم عند العمل عند زاوية إزاحة بالطور $\psi = 150°$ وما هو شكل التوتر العكسي عندئذ .

مسألة /٣/ :

مجموعة تقويم تسلسلية مختلطة(q ثيرستوراً +q ديوداً) ربطت إلى الطرف الثانوي لمحول ذي ستة أطوار q=6 . توتر الطور الواحد 600v .

١- ما هي القيمة المتوسطة للتوتر المقوم عند زاوية تأخير في الطور $\psi = 60°$.

٢- ما هو شكل التوتر المتوسط المقوم على طرفي الحمل (حملاً تحريضياً) .

٣- ما هو شكل التوتر العكسي على أحد عناصر الثيرستور ، وما هو شكل التوتر العكسي على أحد عناصر الديود المستخدمة عند زاوية التأخير في الطور المفروضة .

٤- ما هو شكل التوتر في حال فصل الديود D_1' .

مسألة /٤/ :

في المسألة /٢/ لم تراع ظاهرة التطابق . الآن بافتراض أن حثية الطور للمحول منسوبة للطرف الثنوي L=0.002H وأن تيار الحمل المار I_c=15A .

١- ما هي قيمة زاوية التطابق الناتجة ، وما هو هبوط التوتر الناتج عن فترة التطابق . وذلك عند زاوية التأخير في الطور $\psi = 30°$.

٢- حدد شكل موجة توتر الخرج هذه باعتبار زاوية التطابق

٣- ما هي أقصى زاوية تطابق يمكن العمل عندها .

٤- بفرض تم حجز عمل الثيرستور Th_1 و Th_1' ما هو شكل التوتر الناتج .

الفصل الخامس

طرق توصيل مجموعات التقويم

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

طرق توصيل مجموعات التقويم

درسنا فيما سبق طريقة عمل مجموعة التقويم التفرعية البسيطة والمضاعفة ، كما درسنا عمل مجموعة التقويم التسلسلية ، وتعرفنا في كل دراسة على أشكال التوترات والتيارات وعوامل الاستطاعة . في هذا الجزء سنتعرف على طرق توصيل المجموعات التفرعية البسيطة أو المضاعفة ، أو التسلسلية مع بعضها بعضاً وذلك سواء على التسلسل أو على التفرع . وفي هذا يراد تحسين ظروف التشغيل ، والوصول إلى أفضل حالات استخدام مجموعات التقويم . هذا ويمكن للمجموعات المستخدمة أن تكون مغذاة من منبع واحد أو أكثر ولكل حالة ميزاتها وخصائصها .

وكما يجب الإشارة إلى أن هذه الطريقة في ربط مجموعات التقويم تختلف عن ربط مجموعات التقويم بالتعاكس (أي ربط مجموعتين بحيث أن القطب الموجب لمجموعة يتصل بالقطب السالب للمجموعة الأخرى) ، والذي سيرد ذكره في الجزء القادم .

٥-١ وصل المجموعات على التسلسل :

إن وصل مجموعتي تقويم تغذيان من منبع التوتر المتناوب نفسه على التسلسل لا يمثل عادةً اية مشكلة . ويمكن التساؤل : ألا يمكن وصل توترات متناوبة أو مستمرة ببعضها بعضاً بشكل تسلسلي ؟ .

إن الاحتياطات الواجب اتخاذها هي التالية :

- أن تكون كلتا مجموعتي التقويم قادرة على تحمل تيار الحمل الأعظمي المار، أي أن التيار الاسمي لكل عنصر تقويم يعادل قيمة تيار الحمل المعتبر .
- أن يكون توتر العزل بين مجموعتي التقويم والملفات المغذية لكل مجموعة كافياً .

عادةً يستغل الوصل التسلسلي للمجموعات ، للحصول على تحسين في نوعية كل مجموعة من المجموعات وتشغيلها مثلاً تحسين عامل التعريج للتوتر الكلي المقوم .

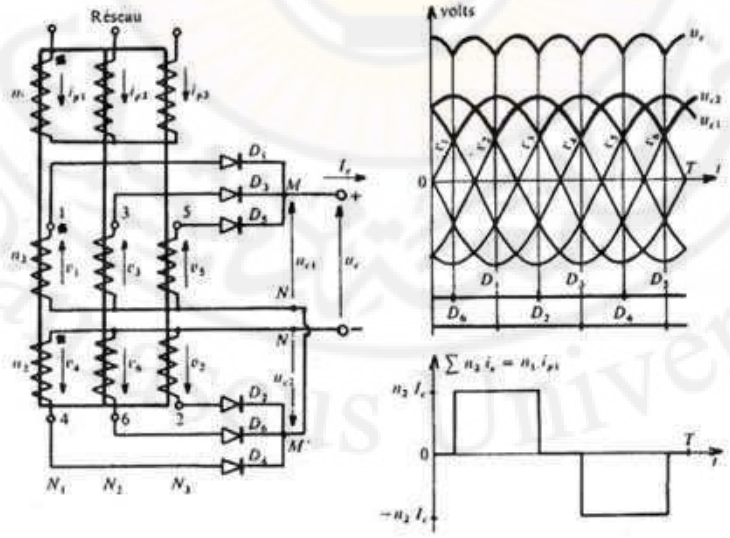
وكذلك تحسين عامل الاستطاعة في الملف الأولي المشترك وكذلك خط التغذية الأساسي.

بعض الأمثلة للوصل التسلسلي لمجموعات التقويم ستكون كافية لتفهم ومعرفة الملاحظات التي طرحناها بشكل عام أعلاه وإمكان استخدام هذه الطريقة من التوصيل عملياً .

- وهنا نشير إلى أن عملية وصل عناصر التقويم على التسلسل تختلف عن ربط المجموعات ، وعملية ربط عناصر التقويم على التسلسل تساعدنا كما نعلم للعمل عند توترات أطوار عالية ، وبخاصة في أنظمة النقل بالتيار العالي المستمر H.V.D.C وعندئذ يجب العودة لدراسة المقاومات الإضافية الواجب توفيرها ومعرفتها حتى يتم توزيع هبوط التوتر بانتظام على عناصر التقويم ، أيضاً حماية العناصر من حالة عدم التوصيل المباشر الآني لعناصر التقويم .

٥-١-١ الوصل التسلسلي لمجموعتي تقويم تفرعيتين ثلاثيتي الطور :(P_3+P_3)

للحصول على توتر مقوم من الرتبة السادسة بوساطة مجموعات تقويم تفرعية عادية (ذات مهبط مشترك) ، يمكن عوضاً عن استخدام مجموعة تقويم تفرعية سداسية ، حيث أن خصائصها متوسطة الجودة . استخدم مجموعتي تقويم تفرعيتين P3على التسلسل كما في الشكل (1-5) .



شكل (1-5)الربط التسلسلي لمجموعتي تقويم ثلاثيتي الطور P3

نرى من الشكل (1-5) أن مجموعة التقويم المشكلة من الأطوار (1-3-5) وعناصر التقويم (D_5, D_3, D_1) تعمل كمجموعة تقويم تفرعية عادية ثلاثية الطور . وكذلك الأمر بالنسبة للمجموعة المشكلة من الملفات (4-6-2) وعناصر التقويم (D_2, D_6, D_4) فهي مجموعة تقويم تفرعية عادية ثلاثية الطور .

القطب السالب للمجموعة الأولى موصول بالقطب الموجب من المجموعة الثانية ، والتوتر المقوم الكلي Uc هو مجموع التوتر المقوم الناتج من كل مجموعة :

$$U_c = U_{c_1} + U_{c_2}$$

$$U_c = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} + \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

$$= \frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

حيث أن U_{c_1} التوتر المقوم الناتج عن المجموعة الأولى (الأطوار (1-3-5)) . وأن U_{c_2} التوتر المقوم الناتج عن المجموعة الثانية (الأطوار (4-6-2)) .

والتوتر الكلي الناتج بالنظر إلى الشكل (1-5) نرى أنه مكون من ست قمم أي ذو رتبة سداسية وذلك خلال الدور T .

يفرض أن V_m ترمز للقيمة العظمى الموجبة للتوتر في الطرف الثانوي للمحول وأن I_c التيار المستمر المار ذو القيمة الثابتة ، نرى أنه بالنسبة لكل مجموعة لدينا .

$$U_{c_{01}} = U_{c_{02}} = \frac{q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q}$$

$$U_{c_{01}} = U_{c_{02}} = \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{3}{2} V_m = 0.827 V_m$$

التيار الثانوي :

$$I_s = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

معامل الاستطاعة الثانوي للمحول :

$$f_s = \frac{U_c . I_c}{qVI_s}$$

$$f_s = \frac{\frac{2q}{\pi} V_m \sin\frac{\pi}{q} . I_c}{q . \frac{V_m}{\sqrt{2}} . \frac{Ic}{\sqrt{q}}}$$

$$f_s = 0.675$$

من أجل كل عنصر تقويم في الدارة لدينا :

القيمة المتوسطة للتيار :

$$i_{av} = \frac{I_c}{3}$$

القيمة العظمى للتوتر العكسي :

$$Vi_{\max} = \sqrt{3} . V_m$$

حيث أن :

$$\left[Vi_{\max} = 2V_m \cos\frac{\pi}{2q} \right]$$

ويمكن في هذه الحالة إذاً حساب قيمة التوتر المقوم الكلي الناتج :

$$U_{c_0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = (u_{c_1} + U_{c_2})$$

من علاقة الأمبير لفة للثانوي لكل نواة يمكن استخلاص التيار الابتدائي في الملفات الثلاثة الأولية . ومهما كان شكل التوصيل فإن علاقة الأمبير لفة في الفصل الثاني تكون محققة (علاقة مجموع الأمبير لفة تساوي الصفر) والتيار الابتدائي ذو قيمة :

$$I_p = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{n_2}{n_1} I_c$$

وهذا يعطي معامل استطاعة الابتدائي ويساوي :

$$f_p = \frac{U_{c_0} I_c}{3V_p I_p} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{\pi} . V_m . I_c}{3 \frac{n_1}{n_2} \frac{V_m}{\sqrt{3}} . \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} . \frac{n_2}{n_1} I_c} = \frac{3}{\pi} = 0.955$$

يمكن الملاحظة أخيراً أن فرق التوتر بين نقطتي الحياد N و N' ، حيث أننا جعلناهما

نقاط وصل لمجموعة الملفات الثانوية ، يساوي U_{c_2} . وأن التوتر الأعظمي بين النقطة (4,1) يساوي :

$$2V_1 - U_{c_2\max} = 2.65V_m$$

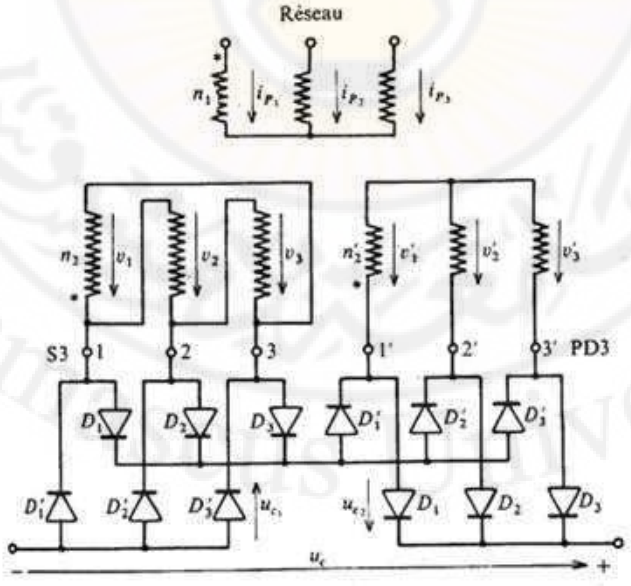
نرى أن الوصل التسلسلي لمجموعتي تقويم تفرعيتين بسيطتين تغذيان من ثانوي محول وحيد يمكن أن يعطي توتراً متوسطاً من الرتبة السادسة يعادل :

$$0.956Vi_{\max} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}V_m$$

وكما أنه يمكن أن يعطي توتراً من الرتبة الثالثة بقيم تساوي نصف القيمة السابقة .

٥-١-٢ الوصل التسلسلي لمجموعة تقويم ثلاثية الطور مضاعفة PD_3 مع مجموعة تقويم ثلاثية الطور تسلسلية S_3 :

للحصول على توتر من الرتبة (12) يمكن إضافة التوترات الناتجة عن مجموعتين مضاعفتين بعضهما بعضاً ، لتكن الأولى مجموعة تقويم ثلاثية الطور تفرعية مضاعفة PD3 والثانية مجموعة تقويم تسلسلية ثلاثية الطور S3 مغذيتين من المحول نفسه كما في الشكل (2-5) .



شكل (2-5) الوصل التسلسلي للمجموعة PD3 مع S3 المغذاة من المحول نفسه

لكي يتساوى التوتر المتوسط المقوم الناتج عن كل مجموعة تقويم (S3,PD3) أي أن يكون $U_{c_{01}} = U_{c_{02}}$ يجب أن يكون المطال V'_m للتوترات V'_1 و V'_2 و V'_3 والمطال Vm للتوترات V_3 وV_2 و V_1 مرتبطين بالعلاقة :

$$V_m = \sqrt{3}V'_m$$

ذلك لأن :

$$U_{c_{01}} = \frac{q}{\pi}V_m$$

$$U_{c_{02}} = \frac{2q}{\pi}V'_m \sin\frac{\pi}{q}$$

أي أن يكون عدد اللفات n_2 و n'_2 لطرفي الثانوي له النسبة $\frac{n_2}{n'_2} = \sqrt{3}$ تحتفظ كل مجموعة تقويم بكل خصائصها وميزاتها كما درست سابقاً .

من أجل مجموعة التقويم التسلسلية لدينا :

$$U_{c_{01}} = \frac{3}{\pi}V_m$$

عدد أطوار فردي $I_s = I_c\frac{\sqrt{2}}{3} = \frac{I_c}{2}\frac{\sqrt{q^2-1}}{q}$

عدد أطوار فردي $f_s = 0.955 = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{q^2-1}}\frac{q}{}$

$$i_{av} = \frac{I_c}{3} \text{ و } Vi_{\max} = V_m = \frac{V_m}{2\sin\frac{\pi}{2q}}$$

من أجل مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة :

$$U_{c_{02}} = \frac{3}{\pi\sqrt{3}}V'_m = U_{c_{01}}$$

$$I_s = I_c\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad , f_s = 0.955$$

مهما كان نوع التوصيل لملفات المحول الابتدائية فإن التيار المار له القيمة :

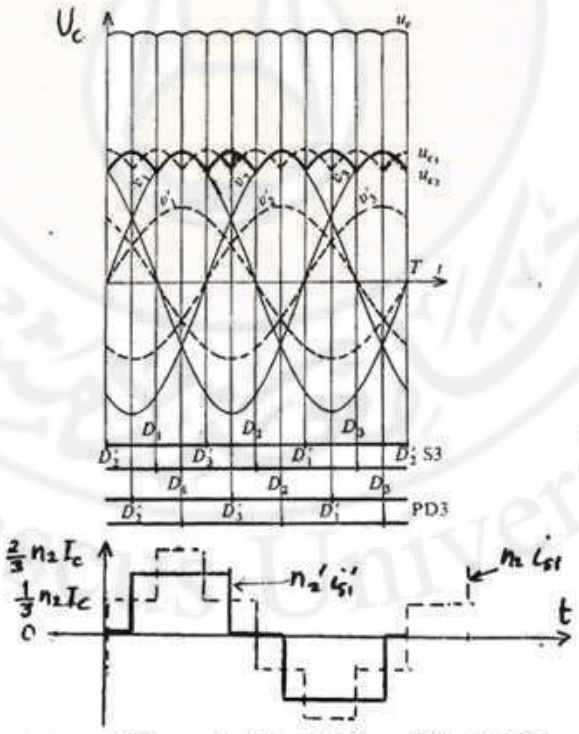
$$I_p = 0.91\frac{n_2}{n_1} I_c$$

هذا يعطي معامل الاستطاعة الابتدائي :

$$f_s = \frac{\frac{6}{\pi} V_m I_c}{3\frac{n_1}{n_2}\frac{V_m}{\sqrt{2}.0.91}\cdot\frac{n_1}{n_2} I_c}$$

نرى من النتائج المقتضبة التي أوردناها أن عملية توصيل مجموعتي التقويم PD_3 و S_3 على التسلسل تعطي توتراً مقوماً ذا معامل تعريج جداً منخفض ، وكذلك معامل استطاعة عال جداً والتوتر المقوم الناتج يساوي :

$$U_{c_0} = 1.91 Vi_{\max}$$



شكل (5-3) شكل موجة التوتر والتيار لمجموعة التقويم S_3+P_3

٥-١-٣ ملاحظات :

١- يظهر المثلان اللذان أوردناهما بوضوح الاستخدام العادي للتوصيل التسلسلي وكيفية الحصول على توتر مقوم كبير على الرغم من تحديد قيمة التوتر العكسي الممكن تطبيقه على عناصر التقويم . وإن إضافة التوترات المقومة تعوض المساوئ التي لا يمكن تجاوزها في هذه النظم ألا وهي هبوطات التوتر وأنها ستجمع لبعضها بعضاً على التسلسل .

نجد في التطبيقات العملية مجموعات تقويم موصلة على التسلسل وذلك بقصد الحصول على توترات مستمرة ذات قيم عالية مرتفعة ، وعناصر التقويم المستخدمة هي المقومات ذات القوس الكهربائي بمهبط سائل (مقومات زئبقية) ، حيث أن هذه الأخيرة تتحمل توترات عكسية تقارب عدة كيلو فولت وأحياناً عشرات الكيلو فولت .

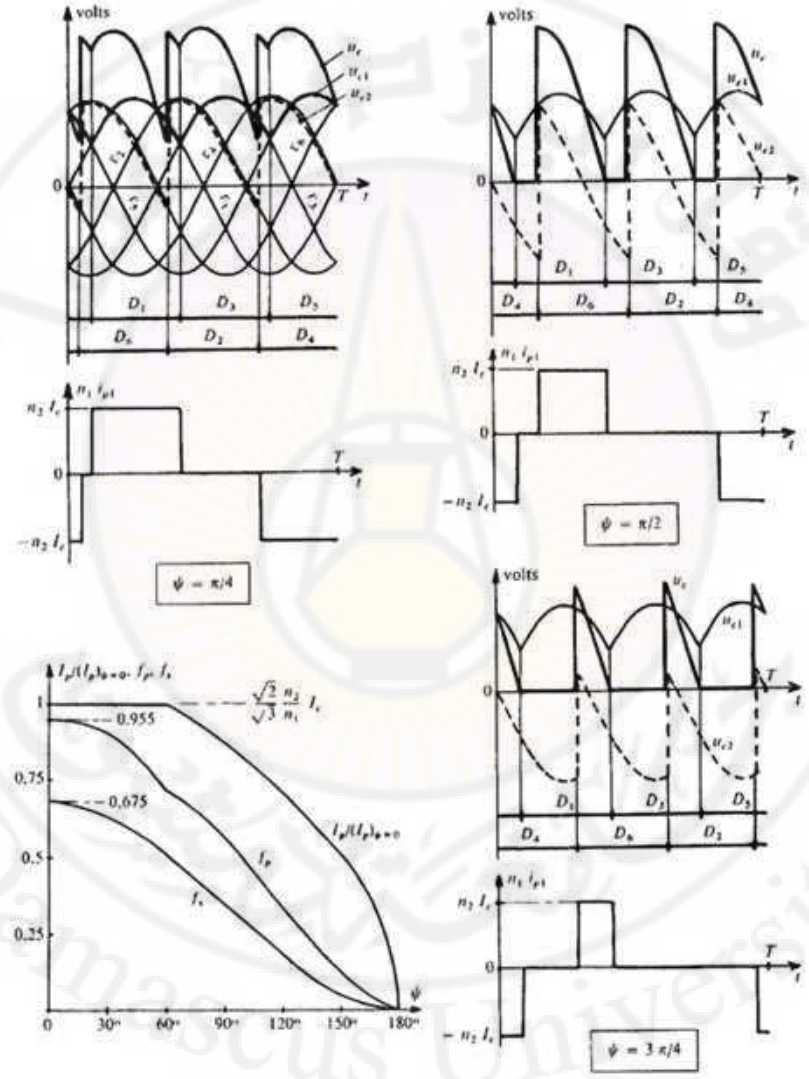
٢- عناصر التقويم المستخدمة يمكن أن تكون من الثيرستور وبهذا تمكننا تغيير قيمة التوتر المقوم الناتج وأحياناً عكس إشارة التوتر المقوم الكلي سواء بتغيير زاوية الفتح أو بإجراء تغيير جزئي على التوترات المقومة ضمن المجموعة .

يجب على كل حال الانتباه للسعة المتشكلة بين مجموعات التقويم الموصلة على التسلسل ، هذه السعات ذات أهمية خاصة إذا كانت الملفات الثانوية التابعة لمجموعة التقويم موضوعة على الدارة المغناطيسية نفسها . حيث أن أي تغيير للتوتر المقوم بوساطة تغيير زاوية الفتح (زاوية التأخير في الطور) يولد تغييراً مفاجئاً في شكل موجة التوتر المتناوب وذلك مهما كان شكل التوصيل وطريقته المستخدمة .

هذه التغيرات المفاجئة تجد نفسها متواجدة بين المجموعات المتصلة على التسلسل والسعات المتشكلة بين المجموعات بالنسبة لبعضها بعضاً (السعات المتبادلة) يمكن أن تحدث رفعاً في التوتر ذا تردد وسعة عاليتين تستلزم عادةً رفع نسبة العزل اللازمة بين المجموعات .

٣- يبين الشكل (6-5) من أجل ثلاث قيم لزاوية التأخير في الطور (ψ) شكل موجة التوتر المقوم الناتج والتيار الابتدائي ، كما يعطى أيضاً كتابع للزاوية ψ تغيرات التيار I_p وعامل الاستطاعة fp و fs .

يمكن ملاحظة طبيعة أشكال الأمواج الناتجة لدينا في هذه الحالة ومقارنتها باشكال الأمواج الناتجة في حال استخدام جسر PD_3 مكون من ثلاثة ثيرستورات وثلاثة ديودات.



شكل (5-6) الوصل التسلسلي لمجموعة P_3 من الديود مع مجموعة P_3 من الثيرستور (P_3+P_3) – شكل التوتر والتيار الابتدائي من أجل ثلاث قيم لزوايا التأخير .

– شكل التيار I_p وعوامله لاستطاعة f_p وf_s كتابع لـــ ψ .

والقول إن مجموعة التقويم التفرعية المضاعفة ألا يمكن أن تكافئ مجموعتي تقويم تسلسليتين تستخدم الملفات الثانوية نفسها ؟ .

طبعاً هنالك تشابه والخاصة المميزة هو أنه عندما يراد الحصول على توتر مقوم متغير بدءاً من الصفر فإن مجموعات التقويم المختلطة (ديود+ثيرستور) والتي تعمل سواء في مجموعات تقويم تفرعية أو تسلسلية تكون أفضل استخداماً ، من حالة وضع مجموعتي تقويم على التسلسل أحدهما مكونة من الديود والأخرى من الثيرستور (رافع خافض للتوتر) . والحالة التي يفضل فيها استخدام مجموعتي تقويم على التسلسل (مجموعة كاملة من الديود+ مجموعة من الثيرستور) هي الحالة التي يطلب فيها تغيير بسيط في التوتر المقوم المطلوب مثلاً ($0.8U_{\varphi 0}$) .

٥-٢ التوصيل التفرعي لمجموعات التقويم :

لربط شبكات التيار المستمر على التفرع ، فإننا سنعتمد الطريقة نفسها والأسلوب المستخدم في شبكات التوزيع ذات التيار المتناوب أي إن إعطاء القدرة الكهربائية من مصادر متعددة ، يجب أن يكون تحت توتر ثابت . ولذا فإن ربط عدة مجموعات من مجموعات التقويم على التفرع يتم إما مباشرة أو بوساطة خطوط تغذية معينة (بوساطة محطات عيارية أو قياسية متواجدة على طول خط التيار المستمر المستخدم للجر مثلاً).

الشروط اللازم توافرها للحصول على توزيع مثالي للأحمال الكلية المتواجدة على مجموعات التقويم الموصلة بالتفرع هي نفسها مهما كان نوع التوصيل المستخدم والتقيد بهذه الشروط يكون مقنعاً عند الاعتماد على المخطط نفسه لمجموعات التقويم المغذاة من شبكة واحدة والمحملة بحمل مشترك واحد .

ولكن غالباً يستغل الوصل التفرعي ، كما هو الحال في حالة الوصل التسلسلي ، للحصول على توتر مقوم ذي عامل تعريج منخفض ، لذا في هذه الحالة فإننا نستخدم مخططات توصيل مختلفة وذلك بإضافة ملف (inter phase) (ملف طور) ، حيث أن وجوده ضروري ، وعملية التشغيل على التفرع ليست فعالة ومثالية إلا بعد مرور تيار يتجاوز التيار الحدي (Intensite critique) .

وهذا التيار يتبع تصميم عناصر التقويم ومواصفاتها نفسها والمجموعة بأكملها .

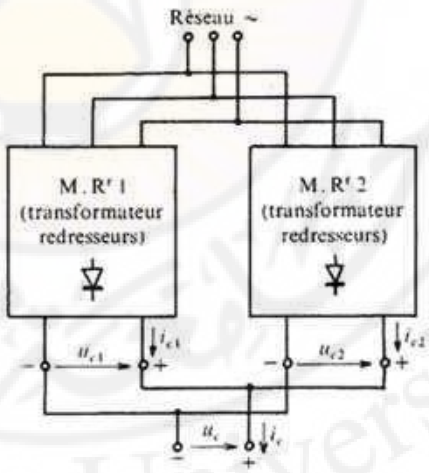
٥-٢-١ الشروط العامة للوصل التفرعي :

إن شروط وضع مجموعتي محولات ومقومات على التفرع ، يشابه إلى حد ما ، وضع مجموعة محولات على التفرع ، على كل حال ، فإن اتجاه التيار الخارج من مجموعة تقويم غير قابل للعكس ولذا سوف لا يكون لدينا تيار دائر (Courant de circulation) .

ليكن MR'_1 و MR'_2 مجموعتي التقويم المراد وصلهما على التفرع (الشكل (5-7)) حيث U_{c_1} التوتر الناتج عن المجموعة الأولى عندما تعطي التيار i_{c_1} و U_{c_2} التوتر الناتج عن المجموعة الثانية عندما تعطي التيار i_{c_2} .

إن Uc و ic هما التوتر والتيار المشترك للمجموعتين .

تمثل U_{c_1} و I_{c_1} و U_{c_2} و I_{c_2} وكذلك Uc و ic القيم المتوسطة للتيارات السابقة .



Représentation schématique de la mise en parallèle de deux montages redresseurs.

شكل (5-7) مخطط تمثيلي لربط مجموعتي تقويم على التفرع

عندما تعمل المجموعتان لدينا :

$$U_c = U_{c_1} = U_{c_2}$$

$$i_c = i_{c_1} + i_{c_2}$$

في لحظة ما إذا كان التوتر U_{c_1} أكبر من U_{c_2} المعطى من قبل MR2 ، فإن كل عناصر التقويم للمجموعة الثانية ستغلق وتكون محجوزة عن العمل ، لأن توتر مهبطها أصبح أكبر من توتر المصعد . عندئذ التوتر $U_c = U_{c_1}$ والتيار المار $i_c = i_{c_1}$ أي أن الجسر الأول يتحمل تيار الحمل كاملاً .

تحدث العملية نفسها عندما يصبح $U_{c_1} < U_{c_2}$ فإن الجسر الثاني سيتحمل كل أعباء الحمل .

إذا كانت مجموعات التقويم المستخدمة موصولة بالطريقة نفسها أي تعطي توتراً من الرتبة نفسها (توتراً مقوماً مشكلاً من عدد القمم نفسه في الدور والطور نفسه) .

فإن الشروط الواجب توافرها هي :

١- لكي تتحمل كلتا مجموعتي التقويم التيار الكلي المار ، يجب منذ البداية (من أجل التيارات الضعيفة) أن يكون التوتران المتوسطان على الفراغ ($U_{c_{10}}$ و $U_{c_{20}}$) متساويين . أي أن منحنيي $U_{c_1}(t)$ و $U_{c_2}(t)$ على الفراغ متطابقان.

٢- لكي تتقاسم مجموعتا التقويم التيار الكلي كل بالنسبة للتيار الاسمي لها يجب تطابق منحني التوتر الناتج لكل مجموعة مرسوماً للتيار الاسمي :

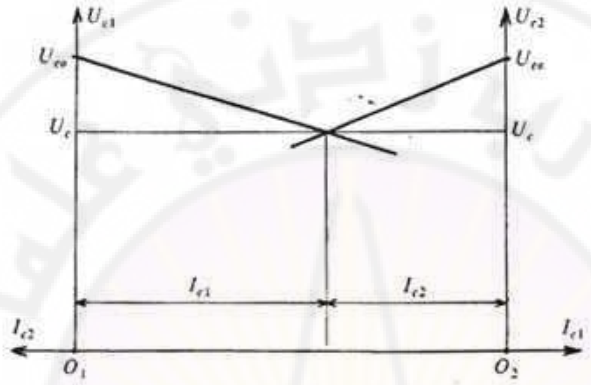
$$\frac{I_{c_{21}}}{I_{c_{2nom}}} \text{ و } \frac{I_{c_1}}{I_{c_{1nom}}}$$

٥-٢-٢ توزيع التيار بين مجموعتي تقويم تعطيان التوتر نفسه المقوم على الفراغ:

في حالة كون التوتر المقوم على الفراغ لكلتا المجموعتين متطابقاً ، فإن مرور التيار في إحدى المجموعات سيخفض قيمة التوتر المتوسط المقوم للمجموعة مسبباً بذلك وضع المجموعة الثانية تحت العمل (أي بدؤها بإعطاء تيار حمل معين) .

يمكن حساب تحديد توزيع التيار الكلي Ic بين مجموعتي التقويم ، بتقريب جيد بوساطة رسم المخطط الاعتيادي لمولدات التيار المستمر .

نرسم مخطط التوتر المقوم المتوسط U_{c_1} كتابع للتيار I_{c_1} .



Détermination du partage du courant total $I_{c1} + I_{c2}$ entre deux montages redresseurs groupés en parallèle.

شكل (5-8) تحديد طريقة توزيع التيار الكلي $(I_c = I_{c_1} + I_{c_2})$

بين مجموعتي التقويم الموصولة على التفرع

نحدد التيار الكلي المطلوب (المسحوب) I_c بالمسافة بين O_2 و O_1 بعدئذ نرسم مخطط التوتر U_{c_2} كتابع للتيار I_{c_2} للمجموعة الثانية $U_{c_2} = f(I_{c_2})$ وذلك بأخذ النقطة O2 كمبدأ للتيار المار I_{c_2} وقلب محور التيار بالاتجاه المعاكس .

إن نقطة التقاطع لكلا المنحنيين تحدد نقطة العمل والتيار المار في كل مجموعة $(U_c, I_{c_1} et I_{c_2})$ مبينة بالشكل (5-8) . ويلاحظ أنه ليس من الضروري تساوي التيار في كل مجموعة $I_{c_1} \neq I_{c_2}$ وأن قيمة التيار في كل مجموعة تتبع شكل منحني التوتر التيار لهذه المجموعة .

لكي يتحمل أو يتوزع التيار Ic بالتعادل بين الجسرين يجب ، من أجل كل القيم للتوتر أو تكون النسبتان $(\frac{I_{c_1}}{I_{c_1\ nom}})$ و $\frac{I_{c_2}}{I_{c_2\ nom}}$ متساويتين .

أي أن منحنيات الخواص لـــ :

$$U_{c_2} = f(\frac{I_{c_2}}{I_{c_2\ nom}}) \ ، \ U_{c_1} = f(\frac{I_{c_1}}{I_{c_1\ nom}})$$

يجب أن تكون متطابقة .

ويكفي عادةً ، مع كون منحنيات الخواص هذه ذات علاقة خطية ، التأكد من أن كل مجموعة تعطي توتراً مساوياً توتر المجموعة الأخرى ومساوياً التوتر الكلي عند الحمل الكامل الموافق لكل مجموعة .

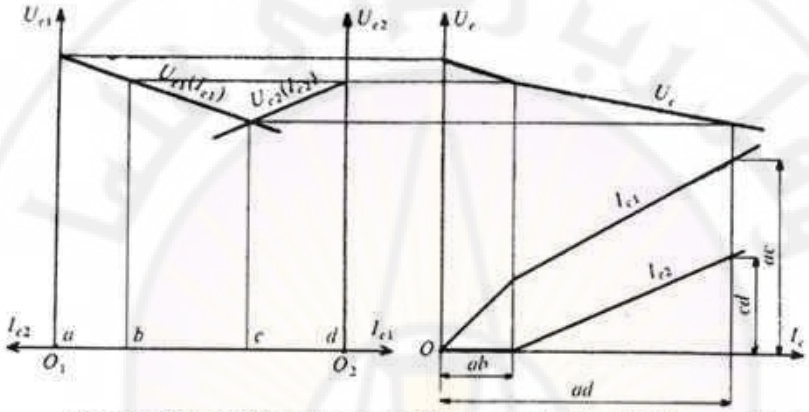
٥-٢-٣ تأثير فرق التوتر عند الفراغ في عمل المجموعة :

إذا كانت إحدى المجموعات وليكن $M.R_1$ تعطي توتراً على الفراغ أكبر من التوتر الذي يعطيه الجسر الآخر . أي أن U_{c_1} مكون من قيم جيبية ذات مطال أكبر من مطال التوتر U_{c_2} فإن من أجل القيم الصغيرة للتيار I_c فإن الجسر $M.R_1$ هو الذي سيغذي هذا الحمل وحده .

عندما يكون التزايد للتيار Ic والانخفاض للتوتر U_{c_1} الناتج كافيين لجعل هذا التوتر الأخير (U_{c_1}) مساوياً التوتر U_{c_2} على الفراغ ، في هذه النقطة يبدأ الجسر $M.R_2$ بإعطاء تيار حمل معين ، هذه العملية يمكنها أن تستمر أي أن يتعاون كلا الجسرين على تغذية تيار الحمل الكلي المطلوب I_c إذا استمر ، خلال الفترة المطلوبة ، كون التوتر U_{c_1} أصغر من U_{c_2} على الفراغ .

يمكن كتقريب أولي ، استخدام المخطط السابق (5-8) نفسه لرسم تغيرات التوتر U_c كتابع للتيار I_c وللتيارات I_{c_1} و I_{c_2} كما في الشكل (5-9) أدناه .

يلاحظ من الشكل أن المجموعة الأولى تعكس التيار (ab) من المجموعة الأولى وذلك حتى ينخفض توترها ويصبح مساوياً U_{c_2} . ثم بعد هذه القيمة من تيار الحمل تشترك كلتا المجموعتين في تزويد تيار الحمل بحسب علاقة منحني التوتر بالتيار الخاص بها.



Construction graphique des caractéristiques totales à partir des caractéristiques de tension des deux montages redresseurs mis en parallèle.

شكل (9-5)

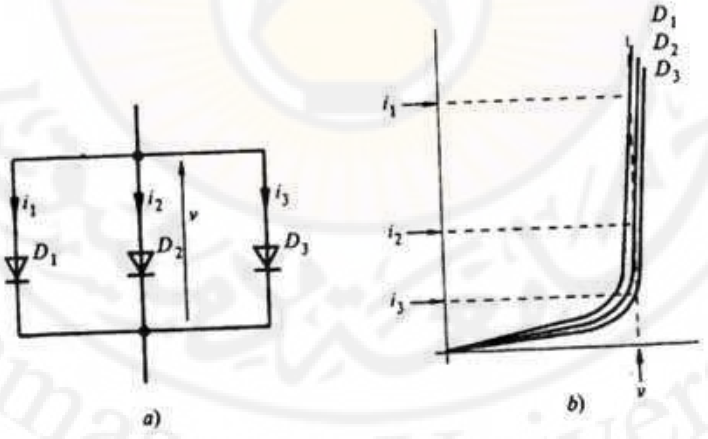
مخطط تمثيلي للخواص العامة لتوزيع التيارات اعتماداً على مخطط الخواص لمجموعتي تقويم موضوعتين على التفرع مع فرق توتر بين U_{c_1} و U_{c_2} على الفراغ

٥-٣ وصل عناصر التقويم على التفرع :

في التطبيقات حيث نحتاج لتمرير تيار حمل أكبر من التيارات الاسمية لعناصر التقويم المتوفرة ، يمكن عندئذ ربط الديودات على التفرع .الشكل (10-5) يظهر خطورة ربط عناصر تقويم على التوازي مع وجود بعض الاختلاف في الخواص للتوتر والتيار ، حيث أنه كما نرى ، لدى وجود اختلاف بسيط في مركبة المنحي لخواص الديود ،

تسبب تغير كبير في التيار المتوقع مروره في الديودات المربوطة على التفرع . للتخفيف من هذه الظاهرة يمكن ربط ملفات خانقة حسب الشكل (5-10-c) لكن هذه الطريقة غالية الثمن . كما يمكن إضافة مقاومات تسلسلية ، لكن هبوط التوتر والفاقد على هذه المقاومات كبير ، لذا لا يفضل استخدام هذه الأساليب وأفضل حل هو اختيار ديودات أو عناصر تقويم من نفس المعدل للتيار والتوتر ومن نفس الشركة الصانعة حتى نتلافى الفروقات الممكن حدوثها بين التيارات المارة في العناصر . كما أنه لحماية هذه العناصر من الأفضل وضع منصهرة لكل ديود .

في حال ربط الثيرستور على التوازي ، تزداد المشكلة و الفكرة الأساسية هنا هي قدح الثيرستورات عند نفس اللحظة ، لذا يجب استخدام دارة قدح واحدة لكل الثيرستورات المرتبطة على التفرع . كما يفضل أن تكون نبضات القدح ذات جبهة حادة وزمن استمرار طويل نسبياً حتى تتمكن جميع الثيرستورات من الانتقال لحالة الوصل مهما كان توتر المصعد منخفضاً وإن استخدام قطار نبضات لقدح الثيرستورات يحل عدد من المشاكل الفنية سواء من ناحية انخفاض تيار الحمل أو توتر المنبع .



Partage du courant entre des diodes en parallèle. *a*) Montage simple. *b*) Répartition du courant dans le cas de diodes non adaptées. Utilisation de bobines d'équilibrage. Mise en série de résistances.

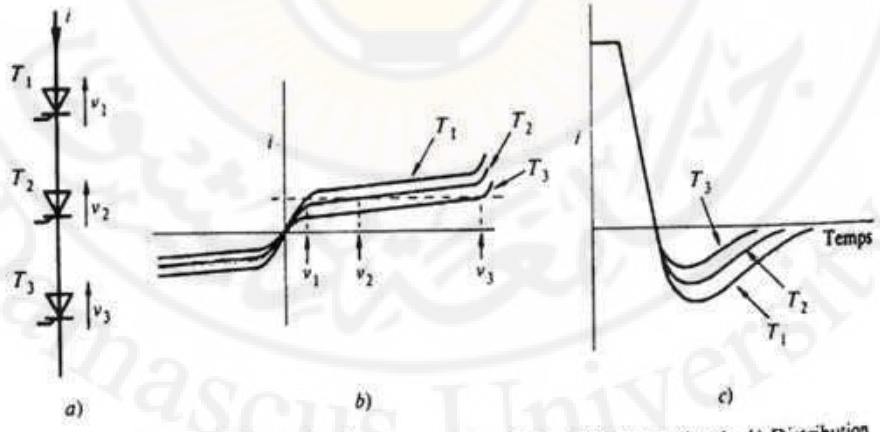
شكل (5-10)

٥-٤ وصل عناصر التقويم على التسلسل :

نتيجة ارتفاع التوتر العكسي في بعض الدارات ، وكي نستطيع العمل عند هذه الظروف نعمل على ربط عناصر التقويم على التسلسل ، في هذه الحالة كل عنصر تقويم يتحمل جزءاً من التوتر العكسي عند الحجز . لكن إذا كانت الخواص السالبة لهذه الثيرستورات غير متماثلة ، ونظراً لأنه عند الحجز سيمر تيار تسريب واحد في العناصر المربوطة على التسلسل .

ونظراً لعدم تساوي الخواص ، فإن كل ثيرستور سيتحمل توتراً أمامياً مختلفاً عن الآخر وقد يرتفع ،هذه التوتر لقيم قد تسبب تلف الثيرستور والشكل (11-5) يوضح ذلك.

هذه الظاهرة أيضاً تتجدد خلال زمن الفصل للثيرستور ، نظراً لعدم تساوي خواص وزمن الفصل ، نجد أن كل ثيرستور سينتقل لحالة الحجز عند زمن يختلف عن الثيرستور الأخر وبالتالي التوتر الكلي سوف لن يتوزع بانتظام على مجموعة الثيرستورات الموصلة على التسلسل ، والشكل (11-5-c) يوضح ذلك .



Partage de la tension dans un montage série. *a*) Montage simple. *b*) Distribution de tension au blocage dans le cas de thyristors non adaptés. *c*) Illustration des différences de recouvrement inverse.

شكل (11-5)

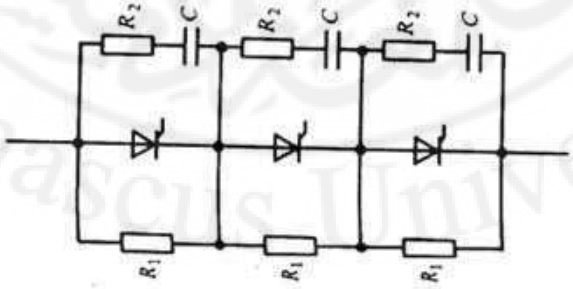
يمكن تنظيم مسألة التوزيع المنتظم للتوتر خلال فترة الحجز بوضع مقاومة (R_1) على التفرع مع كل ثيرستور من الثيرستورات الموصلة على التسلسل ، عندئذ توزيع التوتر على العناصر سيصبح مستقلاً عن تيار التسريب المار في العناصر ، ويعتمد على التيار المتوقع مروره في المقاومات التسلسلية (R_1) شكل (12-5) .

وضع مكثف على التوازي مع كل ثيرستور من الثيرستورات الموصلة على التسلسل كما في الشكل (12-5) يسمح بالانتقال لحالة الحجز ، عندئذ يستعيد الثيرستور الأول الشحنة المخزنة خلال فترة الحجز ، مكثفه التفرعي يتقبل التوتر العكسي ويتحمله . هذا يتطلب تيار حمل لا يستطيع المرور إلا عن طريق باقي الثيرستورات سامحاً لها بالانتقال لحالة الحجز .

وجود المكثفات على أطراف الثيرستورات تسبب مشكلة عند الوصل ، وذلك بسبب تفريغ شحنة هذه المكثفات بسرعة في الثيرستورات وبمعدل $\frac{dI}{dt}$ كبير جداً .

متجاوزة خواص العمل الممكن تحملها من قبل الثيرستورات ، وكي نحد من هذا المعدل نضيف غالباً المقاومة (R_2) شكل (12-5) .

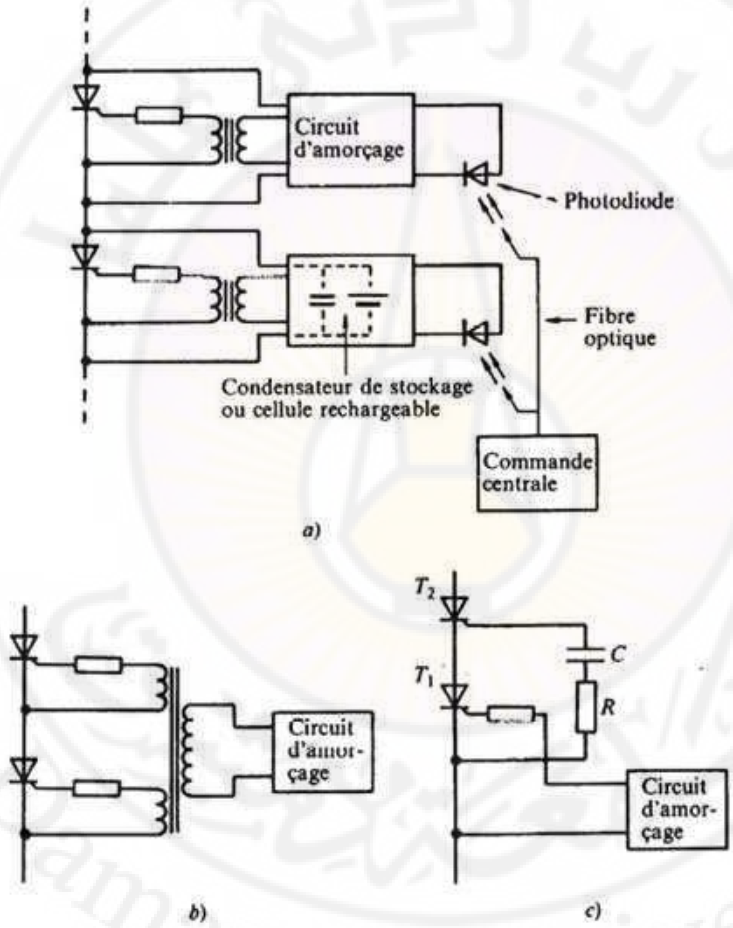
وجود المكثفات يعمل على جعل المعدل $\frac{dv}{dt}$ متساوياً على كل الثيرستورات خلال الفترات العابرة . وفي مثل هذه الحالات يمكن إضافة حثية مشبعة على التسلسل مع الثيرستورات لمنع تزايد التيار السريع في الدارة .



Égalisation des tensions d'un montage série.

شكل (12-5)

نقل الثيرستورات لحالة التوصيل يجب أن يكون لحظياً ، حيث يجب ربط كل بوابة للقيادة المركزية للبوابات بمحول نبضي مشترك ، أو لتفادي عملية العول ، يمكن استخدام الألياف الضوئية لقدح الثيرستورات كما في الشكل (13-5)



Autres dispositions d'amorçage. *a*) Liaison optique. *b*) Couplage par transformateur. *c*) Amorçage maître-esclave.

شكل (13-5)

مسائل عامة

مسألة /١/ :

تم تشكيل جسر (Dual Converter) مكون من جسرين كل منهما P3 (تفرعي بسيط ثلاثي الطور) . بين لنا ما يلي :

١- كيف يمكن قدح الثيرستورات المكونة لجسور التقويم .

٢- إذا كان الحمل تحريضياً ، وعمل الجسر الأول عند $\psi_1 = 60°$ والجسر الثاني $\psi_2 = 120°$ ما هو شكل التوتر المقوم الناتج عن كل جسر ، وما هو شكل التوتر الممكن رؤويته على طرفي الحمل . وذلك عند اللاحمل .

٣- ما هي القيمة المتوسطة للتوتر على طرفي الحمل عند هذه الزوايا . بين ما هو مجال تغيير التوتر على طرفي الحمل وذلك كتابع لزوايا الإزاحة بالطور

٤- ما هو شكل التوتر على ملفي الطور وشكل التيار الدائر الممكن مروره عندئذ.

٥- بدل الحمل التحريضي بحمل أومي ماذا تتوقع من تغيرات في شكل التوتر وقيمته المتوسطة . أفصل الحمل ماذا يحدث .

مسألة /٢/ :

يراد نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر ، باستخدام (Dual Converter) . وضع في كل طرف إرسال واستقبال جسر تقويم أحادي الطور (أربعة ثيرستورات) . توتر المنبع الأول المتناوب 100kV وتوتر المنبع الثاني المتناوب 90Kv . تردد المنبع الأول 60Hz وتردد المنبع الثاني 50Hz . استطاعة المنبع الأول 240MW واستطاعة المنبع الثاني 60MW يراد نقل القدرة الكهربائية من المنبع الأول للثاني . وبالعكس .

١- بين آلية عمل نظام النقل بالتيار المستمر العالي التوتر H.V.D.C المقترح .

٢- بين كيف يمكن التحكم بالاستطاعة وإرسالها من منبع لآخر وما هي قيمة الاستطاعة وزوايا الإزاحة بالطور عندئذ .

٣- حدد مواصفات عناصر التقويم المستخدمة (التوتر الاسمي –التوتر العكسي – التيار الأعظمي – المتوسط –الفعال) . ما هو شكل التوتر المتوقع على خط النقل وفي كلا الطرفين . ما هو شكل التيار المتوقع مروره في خط النقل .

٤- ما هي مبادئ التحكم بالاستطاعة المنقولة في خطوط النقل بالتوتر العالي العالية المعتمدة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

مجموعات التقويم – التعريج

(DUAL Converter)

Damascus University

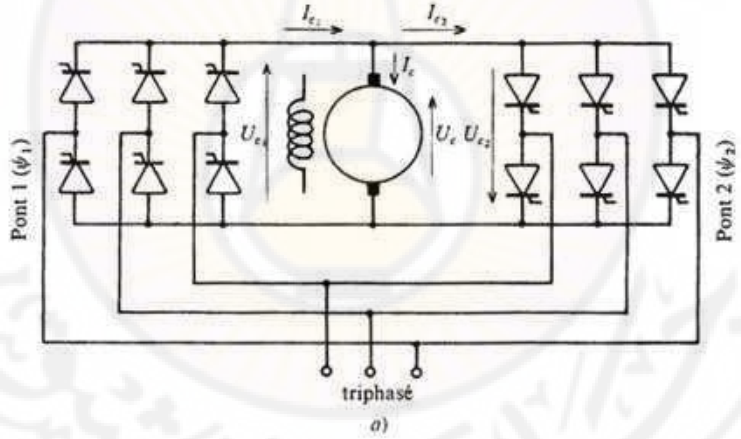
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مجموعات التقويم – التعريج (DUAL Converter)

٦- ١ مبدأ عمل مجموعات التقويم ــ التعريج ذات الاتجاه المزدوج للتيار :

نضع جسرين من الثيرستور بشكل متناظر ، كل منهما يمكنه إعطاء تيار حمل ذي اتجاه وحيد ، وتوتر الخرج يمكن أن يكون موجبا أو سالبا حسب قيم زوايا التأخير في الطور المطبقة على بوابات الثيرستورات المستخدمة .

يرتبط خرج مجموعتي التقويم على التوازي المتعاكس ، كما في الشكل (1-6) حسب أسلوب الربط هذا ، يستطيع التيار أن يمر في كلا الاتجاهين بالحمل ، عندما يكون اتجاه التيار موجبا يؤخذ التيار من الجسر الموجب ، وعندما يكون التيار سالبا يؤخذ التيار من الجسر السالب .



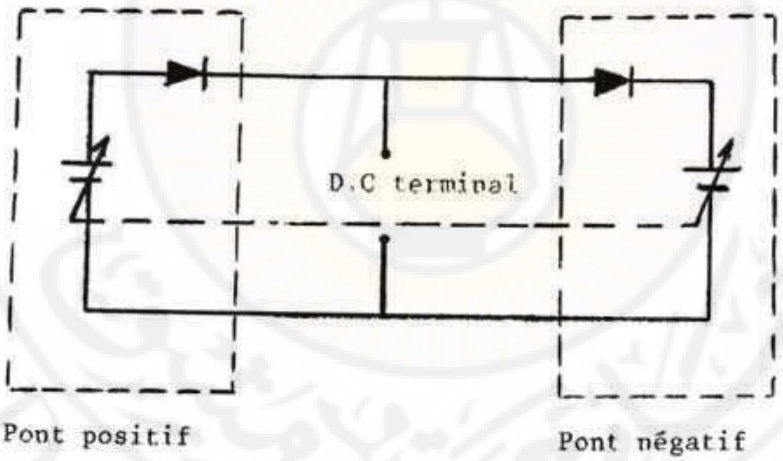
شكل (1-6) مخطط التوصيل للمجموعة

مبدأ العمل الأساسي يمكن تفهمه بالنظر إلى الشكل (2-6) حيث تم تبسيط دارة التيار المستمر ، وإهمال تعرجات التوتر المتواجدة على خرج كل مجموعة من مجموعات التقويم (قيم تعرجات التوتر هذه تعادل 1% من التوتر الكلي أو أقل من ذلك) .

تم في الشكل (2-6) تمثيل مجموعة التقويم (التعريج) بمنبع تيار مستمر ذي قوة محركة كهربائية E.M.F متغيرة ومقادة ، موصلة على التسلسل بد يود يحدد اتجاه التيار الوحيد لكل جسر من الجسور .

تتعلق الفكرة العامة للعملية بنظام التشغيل لهذه المجموعة ، بحيث أن نحصل على توتر مقوم في كل مجموعة في كل لحظة مساو للتوتر المقوم الناتج عن المجموعة الثانية ومن قطبية مماثلة لقطبية توتر الخرج للمجموعة المناظرة ، وذلك بالتحكم بزوايا التأخير في الطور لكل مجموعة .

إذاً ، عندما يعمل الجسر الموجب كمقوم ، يجب على الجسر السالب أن يعمل كعاكس (Inverter) معطيا القيمة المطلقة نفسها للتوتر المقوم وأنما باتجاه معاكس (قطبية معاكسة) أيضاً في حال عمل الجسر السالب كمقوم ، على الجسر الموجب أن يعمل كعاكس معطيا المواصفات السابقة نفسها .



شكل (2-6) الدارة المكافئة للمبدلة ذات الاتجاه المزدوج للتيار

حيث أن التوتر المقوم لكل جسر مساو للتوتر المقوم الناتج عن الجسر الآخر وهما من القطبية نفسها، وعليه فان قيمة التوتر المتوسط في خرج المجموعة يكون مساويا متوسط هذين التوترين . وفي الدارة المثالية نرى أن للتيار في الحمل حرية المرور المطلقة في كلا الاتجاهين و ذلك سواء أخذ من الجسر الموجب أو من الجسر السالب.

يظهر الشكل (3-6) العلاقة بين التوتر المتوسط المقوم وزوايا التأخير في الطور المطبقة لكلا الجسرين ، نرى أنه يجب على زوايا التأخير في الطور أن تحقق العلاقة:

$$\psi_P + \psi_N = 180°$$

حيث :

ψ_P: زاوية التأخير في الطور للجسر الموجب .

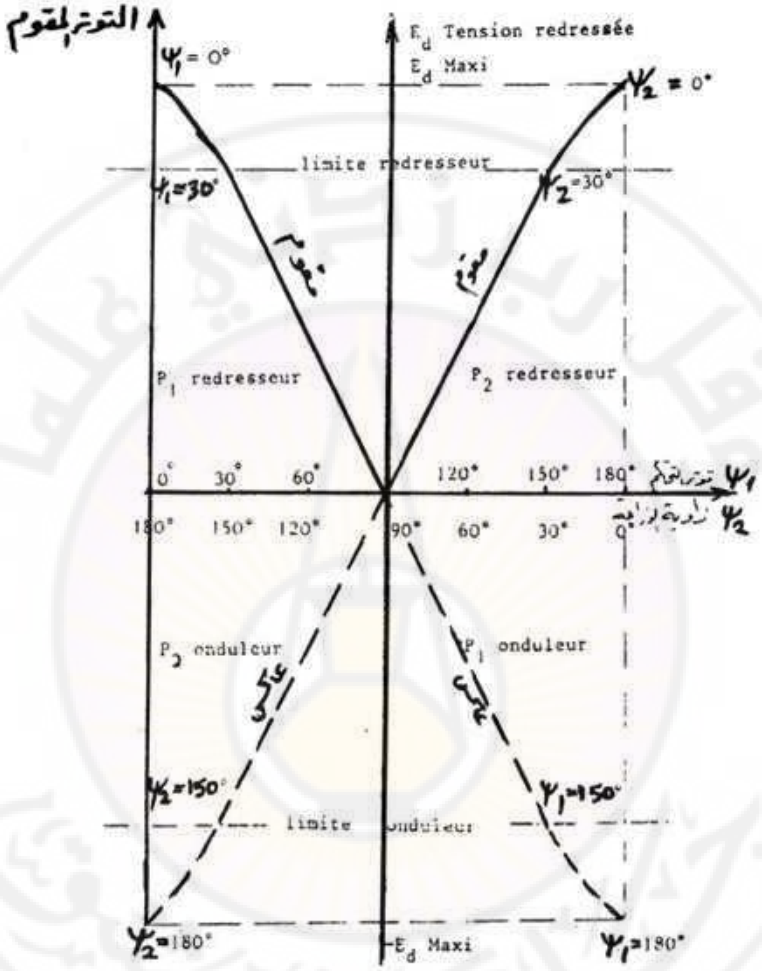
ψ_N: زاوية التأخير في الطور للجسر السالب .

تكون عادة في الحالة العملية ، لدى التحكم بزوايا التأخير في الطور وقيادة المجموعات، التوترات المتوسطة المقومة متساوية إنما هذا لا يمنع عدم ساوي القيم الحظية لتعرجات التوتر المقوم الناتجة عن كل جسر ، مما قد يؤدي إلى تمرير تيار دوار ذي قيمة نظرية لانهائية في كلا الجسرين . لذا يبدو من الضروري البحث عن طريقة لتحديد قيمة هذا التيار وهناك طريقتان عمليا لعمل هذه المجموعة :

١ــ الطريقة الأولى : عمل المجموعة بدون تيار دائر :

المبدأ المستخدم في هذه المجموعة هو عدم تشغيل كلتا المجموعتين بوقت واحد ، في هذه الحالة من المؤكد عدم مرور تيار دائر بين الجسرين ، حيث لا يسمح إلا بتشغيل جسر واحد في الوقت الذي يكون فيه الجسر الآخر متوقفا عن العمل كلية .

عندما يعكس التيار اتجاهه ، يجب إيقاف الجسر الذي كان في حالة عمل ، وتشغيل الجسر الثاني ذي اتجاه التيار المعاكس ، وهذا الجسر يجب أن يكون جاهزا لإعطاء القيمة نفسها للتوتر المتوسط المطلوب وقطبية ، كذلك تمرير تيار الحمل نفسه الذي عكس اتجاهه .



شكل (3-6)

خواص التوتر المقوم (Ed=(Vc أو $Ed = F(\psi)$ لمجموعة التقويم والتعريج

٢ــ الطريقة الثانية : المجموعة ذات التيار الدائر:

يتم في هذه الطريقة تشغيل كلا الجسرين الموجب و السالب بشكل دائم ، ويسمح بتمرير تيار دائر ذي قيمة محددة بالقدر الممكن ، وذلك بالتحكم بزوايا التأخير في الطور وإضافة ملف طور (Bobine inter phase) بين الجسرين . هذه الطريقة أكثر شيوعا بالنسبة للاستطلاعات الصغيرة والمتوسطة .

٦ــ١ــ١ نظرية عمل المجموعة ذات التيار الدائر :

Montage avec courant de circulation

تعطي الطريقة الأولى (بدون تيار دائر) مشكلات على مستوى القيادة لمجموعات التقويم ، لأن تشغيلها يستدعي استخدام مجموعات كشف اتجاه التيار المستمر ، وهذه المسألة تأخذ تعقيدا لدى كون تيار الحمل غير مستمر. فهي تحتاج لمجموعات قيادة منطقية ذات تعقيد معين للحصول على طريقة تشغيل مقبولة . لذا سنحاول مبدئيا تفهم أسلوب عمل الطريقة الثانية بتيار دائر ، حيث أن الدوائر الإلكترونية المستخدمة أقل تعقيدا كما يتم الاعتماد على ملف الطور لتحديد التيار الدائر بين الجسرين .

يحافظ هذا الملف ذاتيا على استمرارية توصيل كلا الجسرين واستخدامه يقدم ميزتين أساسيتين عند التشغيل وهما :

١ ــ تيار الحمل له الحرية بأن يسلك أي اتجاه في كل لحظات العمل ولسنا بحاجة كما نرى لكاشف اتجاه التيار (عند المرور بالقيمة صفر) لإعطاء الإشارة لإيقاف أحد الجسور وتشغيل الآخر .

٢ــ هنالك علاقة بسيطة بين التوتر المتوسط المقوم لكل جسر وزاوية التأخير في الطور وذلك دون النظر لتيار الحمل سواء أكان مستمرا أم متقطعا وأيضا في حال انعدام تيار الحمل كلية .

قيادة زوايا التأخير في الطور في نظام العمل هذا ، مشابهة للمبدأ الذي تطرقنا له في الدارة المثالية شكل (2-6) حيث أن زوايا التأخير في الطور يجب أن تطبق ليكون توتر الخرج لكل جسر مساويا توتر الخرج للجسر الآخر ومساويا له بالقطبية.

عندما يعمل أحد الجسور كمقوم معطيا قيمة معينة للتوتر على خرجه ، يعمل الجسر الآخر كعاكس inverter معطيا قيمة التوتر نفسها ولكن بقطبية معاكسة كما رأينا ، كما أن مجموع زوايا التأخير في الطور لكلا الجسرين يجب أن تكون 180° . تأتي ضرورة استخدام ملف الطور ، من أن التوتر المتوسط يحمل تعرجات غير متساوية لحظيا في كلا الجسرين وهذه التعرجات نظرا لكون مقاومة الجسر قريبة من القيمة صفر فان التيار المار عندئذ سيكون كبيراً ، ومهمة ملف الطور تحديد هذا التيار وعزل تعرجات التوتر هذه .

مبدأ العمل :

لشرح مبدأ عمل مجموعة مقوم ــ معرج ذات التيار الــدائر(DVAL – Converter) ، سنعتمد المجموعة أحادية الطور ذات المحولين المستقلين . كما سنتطرق إلى خــواص المجموعات الأخرى (ثلاثية الطور) وذلك لأجراء المقارنة بين التوترات الناشئة على ملف الطور ومنها :

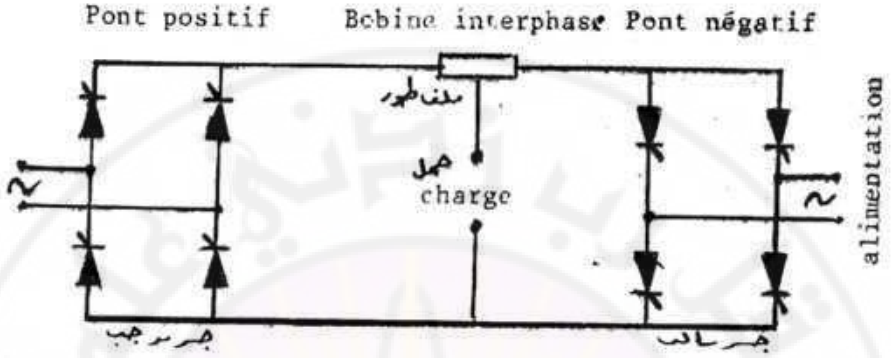
ــ المجموعة ثلاثية الطور بمحول تغذية وحيد وأربعة ملفات طور ، أو اثنين .

ــ المجموعة ثلاثية الطور بمحولين تغذية وملفي طور .

٦ــ١ــ٢ عمل المجموعة مقوم ــ معرج أحادية الطور عند اللاحمل :

هذه الحالة الخاصة من العمل ، بدون أي تيار حمل ، مفيدة ، لأنها تمثل حالة مــرور تيار وحيد وهو التيار الدائر ، وكما سنرى ذلك ، فان كلا المبدلين هما دائما في حالة تشغيل دائم (توصيل) . وشكل موجة التوتر في كلا المبدلين تكون محددة ومعروفــة . يمثل الشكل (4-6) دارة التوصيل . ويمثل الشكل (5-6) تشغيل المجموعة عنــد زوايــا تأخير في الطور مختلفة . يتعلق الشكل (a-5-6) بزوايا تأخير في الطور متساوية لكلا الجسرين وتساوي°90.

بافتراض الفترة الزمنية $t_1 - t_2$ والتي خلال التوتر اللحظي للجســر P_1 (الموجــب) يكون موجبا و التوتر P_2 للجسر السالب يكون سالبا ، نرى أنهما متســاويان بالقيمــة المطلقة . من هذه الحقيقة ، فان التوتر المطبق على ملف الطور والذي يســاوي كمــا نعلم الفرق بين التوترين السابقين يكون في الجهة الموجبة من الإحداثيات ، ويسبب في نشوء تيار دوار متزايد . خلال نصف الدور اللاحق $(t_2 - t_3)$ يصبح توتر الخــرج للجسر الموجبP_1 سالبا ، ويصبح توتر الجسر P_2 موجبا . أضحى التوتر المطبق على ملف الطور سالبا والتيار الدائر يتناقص حتى القيمة صفر .



شكل (4-6) مخطط توصيل مجموعة التقويم ــ التعريج أحادية الطور

نرى بسهولة أن تكامل موجة التوتر الناشئة على ملف الطور خلال الفترة الكاملة $(t_1 - t_3)$ مساوية الصفر و أن التيار اللحظي أيضا يساوي الصفر عند الزمن t_1 و t_2. يعود عند الزمن t_3 توتر الجسر P_1 ليصبح موجبا وتوتر الجسر P_2 يصبح سالباً ، إذاً فان التوتر المطبق على ملف الطور موجب مرة أخرى ، يبدأ التيار الدائر من جديد في التزايد والظاهرة نفسها تعيد نفسها .

تساوي قيمة التوتر المتوسط على مربطي الخرج القيمة المتوسطة لتوتر كل جسر على حدة . وفي هذه الحالة الخاصة حيث $\psi_P = \psi_N = 90°$ تساوي هذه القيمة المتوسطة الصفر . وهذه الحالة يمكن ملاحظتها بالنظر إلى أشكال الأمواج حيث لا نرى أية مركبة موجبة للتوتر ، أيضا ولا مركبة متناوبة . ولكن مع هذا يجب ملاحظة وجود تيار دائر ، يسير في اتجاه وحيد وذلك من الجسر الموجب إلى الجسر السالب ، مع العلم أن التوتر الذي يولد هذا التيار هو توتر متناوب (توتر ملف الطور كما في الشكل(6-5-a)) دون وجود أية مركبة موجبة . ونرى أيضا أن كلا المبدلين يعملان باستمرار على الرغم من غياب تيار الحمل الخارجي .

يوافق شكل الموجة في الشكل (6-5-b) الزوايا $\psi_P = 30°$ و $\psi_N = 150°$ يعمل الجسر الموجب عندئذ كمقوم ، مولداً $\frac{\sqrt{3}}{2}$ من توتره الأعظمي ، ويعمل الجسر

السالب كعاكس مولدا بالضبط التوتر المقابل نفسه . ويمكن الملاحظة هنا ، أن شكل موجة الخرج لكل جسر لا تشابه تماماً موجة الخرج للجسر الثاني إنما القيم المتوسطة دائما متساوية في كلا الجانبين .

في هذه الحالة بين الدرجة °30 والدرجة °150، يعطي كلا الجسرين توترا لحظيا متساويا وهو توتر التغذية ، نتيجة لذلك فان توتر ملف الطور خلال ذلك يساوي الصفر.

يغير بعد ذلك ، التوتر اللحظي للجسر السالب إشارته ويظهر توترا ما على ملف الطور. يكون هذا التوتر في البداية موجبا بين (°150 و °180) ويولد تيارا دائرا متزايداً ، بعد الدرجة °180 يغير المطبق على ملف الطور اتجاهه و التيار الدائر يتناقص حتى القيمة صفر .

للعمل عند الزوايا $\psi_P = 60°$ و $\psi_N = 120°$ الشكل (6-5-c) لدينا عملية مماثلة ولكن فترة تساوي التوتر لا تزيد على°60درجة .

يوافق الشكل (6-5-d) حالة كون $\psi_P = 150°$ و $\psi_N = 30°$ ويمكن ملاحظة أن التوتر الخارج من الجسرين سالب ، ولكن التيار الدائر مازال موجباً .من أجل زوايا تأخير أخرى تكون العمليات متشابهة .

٦ــ١ــ٣ التشغيل تحت الحمل ، تيار الحمل مستمر :

بفرض أن تيار الحمل موجب ، في هذه الحالة البسيطة ، شكل التيار الدائر نظريا مساو شكله في حالة اللاحمل . كنتيجة لذلك فان شكل تيار الجسر الموجب الناتج ، هو مجموع تيار الحمل والتيار الدائر عند اللاحمل . بينما تيار الجسر السالب في هذه الحالة يساوي فقط التيار الدائر عند اللاحمل .

في الحقيقة ، الشكل (6-6-a) نرى أن تيار الحمل ذو اتجاه موجب ، فهو ناتج إذا عن الجسر الموجب و أن التيار الكلي لهذا الجسر هو مجموع : $I_d + \hat{i}_c$ ، من ناحية أخرى تيار الجسر السالب فقط $\hat{i}_c$.

في الشكل (6-6-b) عندما يكون تيار الحمل سالبا تبقى القيمة المتوسطة للتوتر على طرفي الخرج ، من أجل زوايا التأخير المعتمدة موجبة ، يجب في هذه الحالة افتراض وجود منبع ما في دارة التيار المستمر الخارجية ، وأن هذا المنبع هو الذي يوفر نشوء هذا التيار بزيادة القيمة السالبة ((التوتر المقابل)) للجسر السالب .

تيار الجسر السالب عندئذ يساوي $I_d + \hat{i}_c$ ، بينما يعطي فقط الجسر الموجب التيار الدائر $\hat{i}_c$.

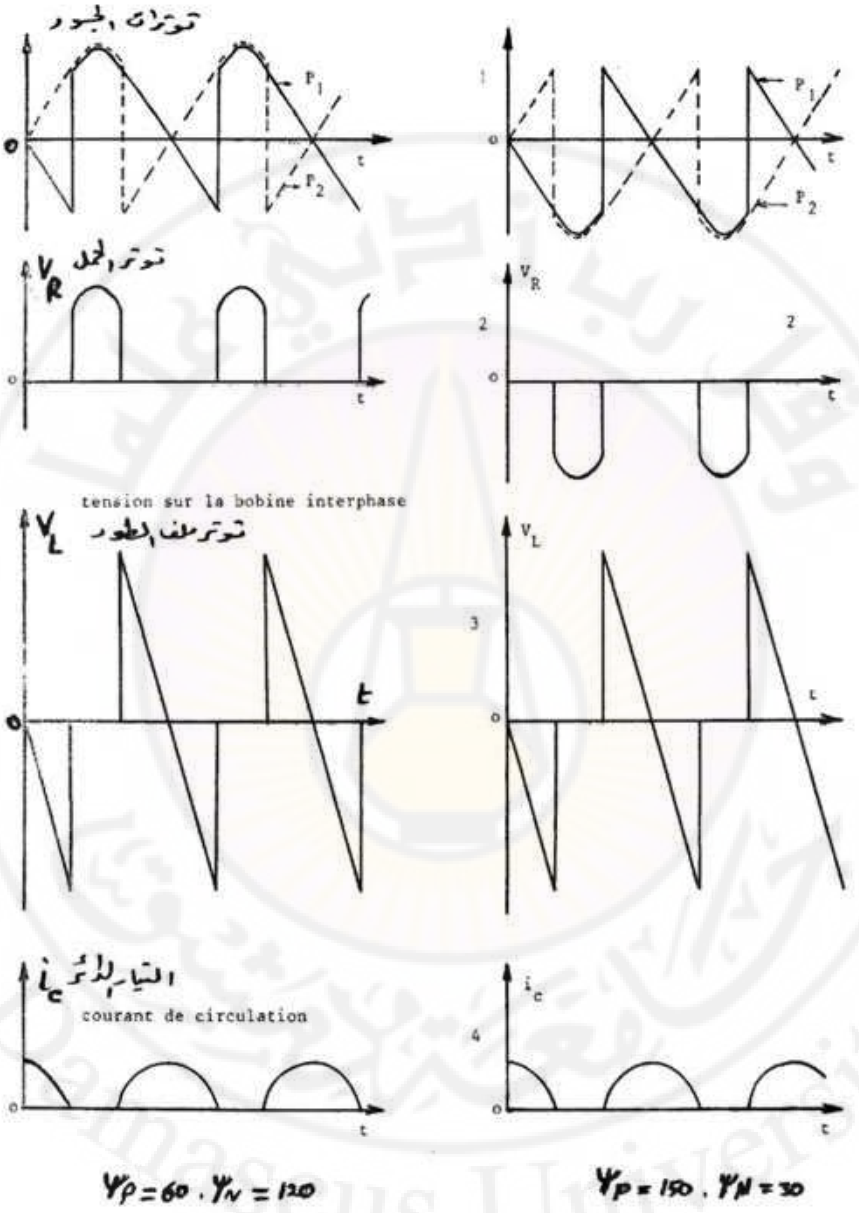
٦ــ١ــ٤ عمل المجموعة عند الحمل ، وتيار حمل متناوب :

في الحالة العملية ، التيار الناتج من المجموعة (beche– tete) ليس تماما ناعما . ويتضمن ولو أنه ناتج عن ضعف أو خطأ في الترشيح – تعرجات متبقية ناتجة عن تعرجات التوتر المحصل (والذي هو بالأصل السبب الأول في نشوء التيار الدائر) .

سبق أن رأينا ، أنه سواء في حالة اللاحمل ، أو عند تيار حمل مستمر ، فان كلا الجسرين يبقيان في حالة تشغيل دائم ، وشكل موجة التوتر المقوم هو نفسه في كلتا الحالتين (الحمل المستمر ، واللاحمل) .

ننتظر من ذلك ، ظهور شكل موجة التوتر نفسه عند حمل معرج وهو ما يحدث فعلا . ولكن يجب توضيح ذلك ، لأنه ليس من الواضح للنظرة الأولى .

أن وجود مركبة تيار متناوب في الممانعات لا تسبب نشوء توتر على ملف الطور



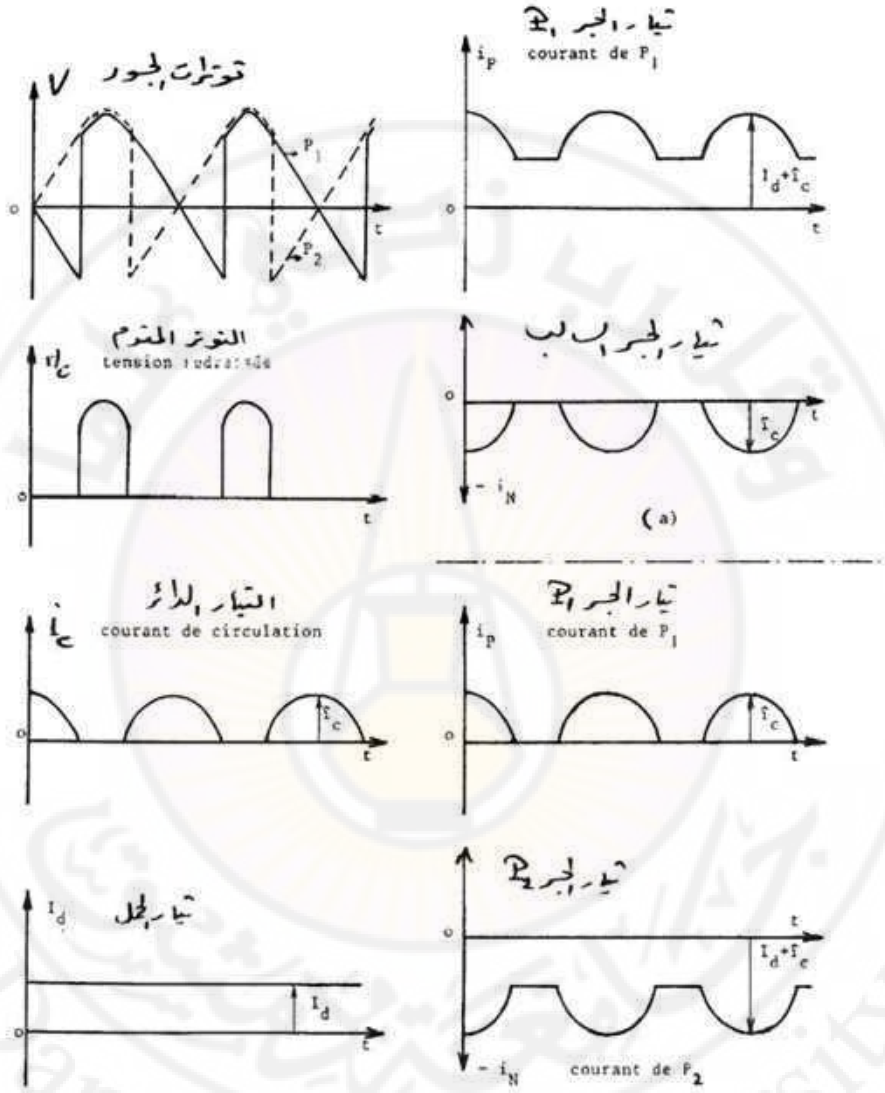
الشكل (5-6)

١ ــ توتر الخرج للجسر الموجب والجسر السالب .

٢ ــ التوتر المقوم المحصل على طرفي الحمل .

٣ ــ التوتر على ملف الطور .

٤ ــ التيار الدائر .

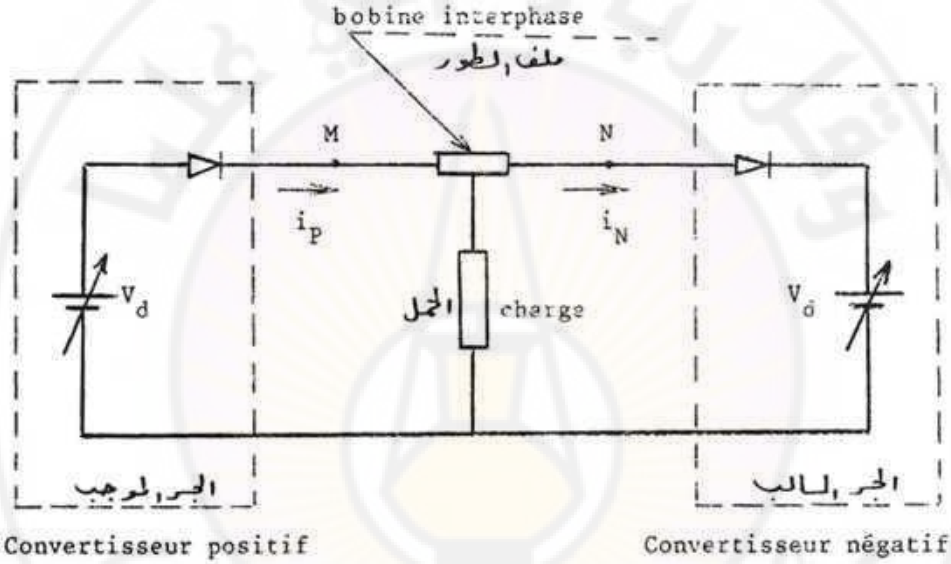


شكل (6-6) تشغيل لمجموعة عند تيار حمل مستمر

لشرح تفصيل العملية ، من المعتاد أولا إهمال وجود تعرجات متبقية في التوتر واعتبار دارة مثالية مكافئة الشكل (7-6) .

(من المعروف أن هذا التوتر المتبقي هو سبب نشوء التعرجات في التيار).

في الشكل (7-6) مثلنا الجسور بمنبع تيار مستمر وديود على التسلسل لتحديد اتجاه التيار.



الشكل (7-6) الدارة المكافئة المثالية المبدلة مقوم ــ معرج

شكل موجة التيار المتوقعة ، مكونة من مركبة موجبة مستمرة ، ومن مركبة متناوبة متراكبة عليها . بسبب ذلك فان التيار الكلي يمكن أن يصبح سالبا خلال فترات زمنية معينة .

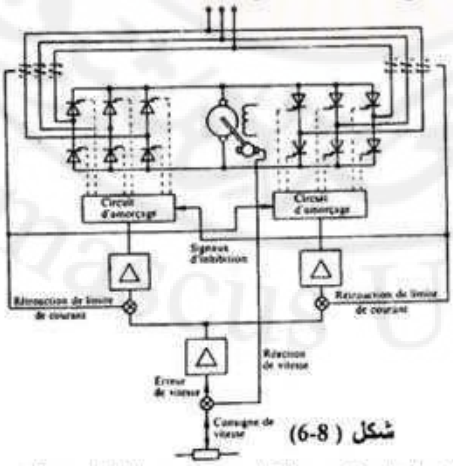
- عند تشغيل هذه المجموعة ، عند تيار دائر ، وعند أية زاوية إزاحة بالطور ، وسواء كانت المجموعات المشكلة للنظام أحادية الطور أو ثلاثية الطور ، يمكن لهذا النظام (DUAL Converter) أن يمرر أي تيار حمل ، مستمر أو متناوب . إذا كان هذا التيار دائما موجبا عمل الجسر الموجب على تمريره ، وكما أشرنا سابقا قام الجسر السالب بتمرير التيار الدائر . وإذا كان التيار سالبا عمل الجسر السالب على تمرير هذا التيار .

وإذا كان تيار الحمل جيبياً وتوتر الحمل جيبياً ، يستطيع هذا النظام العمل أيضا حيث أن الجسر الموجب يمرر دائما التيار الموجب ، والجسر السالب يمرر التيار السالب ، لأن الجسور موصلة بشكل دائم وللتيار في الحمل حرية المرور في أي جسر يشاء . وهذا ما يبرر استخدام هذا النظام لقيادة المحركات التزامنية (Cyclo converter). أو استخدامها في أي نظام يمر فيه تيار متناوب .

عندما يكون جداء التوتر بالتيار في الحمل موجبا تكون القدرة قادمة من الشبكة ، وعندما يكون جداء التوتر بالتيار سالبا تكون القدرة معكوسة قادمة من الحمل . شكل التوتر على طرفي الحمل ليس بالضرورة أن يكون مشابها للأشكال المعروفة الناتجة عن مجموعات التقويم ، وكما سنرى في الفصل الثاني للمادة أن مبدل التردد يؤمن توترا متناوبا مكوناً من أجزاء أقواس من موجات جيبية وتردد أقل بكثير من تردد المنبع .

٦ــ٢ : استخدام مجموعات التقويم التعريج (DUAL Converter) لقيادة محركات التيار المستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار .

يغذى ملف التحريض لآلة التيار المستمر من مجموعة تقويم نصف مقادة ، بقصد إمكانية تنظيم تيار التحريض (النوة المحركة الكهربائية العكسية) ويغذي المتحرض من خرج مجموعة ذات اتجاه مزدوج للتيار كما في الشكل (6-8) .



شكل (6-8)

مجموعة تقويم تعريج ذات اتجاه مزدوج للتيار وحمل محرك تيار مستمر

الجسر الأول P_1 يعمل خلال الربع الأول من إحداثيات التوتر و التيار على تقديم التوتر الموجب للمحرك إضافة للتيار الموجب وعند تيار تحريض شبة ثابت تقريبا سيدور المحرك باتجاه دوران عقارب الساعة (اتجاه موجب) .تبعاً لزاوية الإزاحة بالطور يمكن تغيير القيمة المتوسطة للتوتر المقوم الناتج وبالتالي تحدد هذه الزوايا سرعة الدوران ، ويمكن رسم علاقة التوتر بالتيار لمجموعة التقويم كعلاقة خط مستقيم مائل . يتقاطع مع المحور الشاقولي (محور التوتر) عند تيار حمل مساوٍ للصفر ويعطي الجسر عندئذ توتر اللاحمل V_{cl} وكلما زاد تيار الحمل زادت هبوطات التوتر (عند زاوية إزاحة بالطور ثابتة) وزاد ميل المستقيم .

الجسر الثاني P_2 خلال هذه الفترة يكون في حالة راحة ولا يستجر منه أي تيار . وفي حالة تشغيل النظام (بدون تيار دائر) يمكن عندئذ حجز النبضات عن الجسر الثاني .

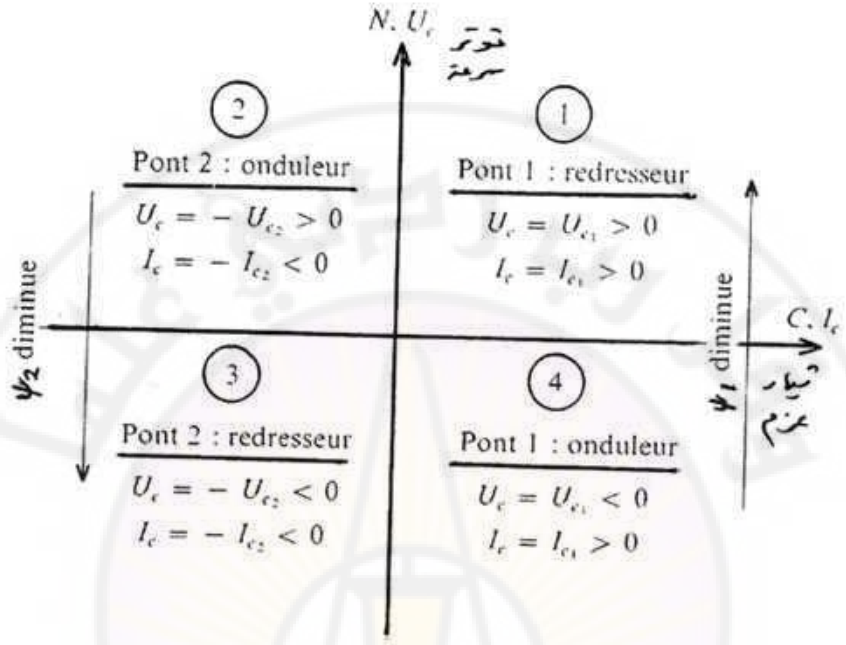
- إذاً تسارع المحرك لأي سبب من الأسباب ، وازدادت سرعة الدوران ، أو إذا أردنا فرملة أو إيقاف المحرك السابق ، يجب أولاً أن تتناقص قيمة التيار المستجر من المنبع حتى القيمة صفر ، عندئذ نكون عند حالة اللاحمل لأي / مستقيم عمل/ من المستقيمات المرسومة في الشكل(9-6) وسوف تتناقص عملياً قيمة هذا التيار ، لأن القوة المحركة الكهربائية العكسية المتولدة في متحرض محرك التيار المستمر تصبح أكبر من التوتر المتوسط المقدم من جسور التقويم . مع تزايد القوة المحركة الكهربائية ومع وجود الجسر الثاني في حالة تشغيل ، يمكن عندئذ للمحرك أن يبدا هو بتقديم التيار ليمر عبر الجسر الثاني المهيأ لتمرير هذا التيار ، المحرك أصبح مولداً لأنه يقدم التيار ، وقطبية التوتر على طرفيه لم تتغير . والجسر الثاني أصبح يستجر الاستطاعة من الحمل (المحرك السابق) ويحقنها في الشبكة أي أنة يعمل كعاكس ، والمحرك سيستمر في الدوران بنفس الاتجاه الموجب حتى يتوقف ،وكأننا في هذه الحالة قمنا بفرملة المحرك. كل هذا يتم خلال الربع الثاني من إحداثيات التوتر والتيار .(توتر موجب ــ تيار سالب).

الجسر الأول غير مفيد خلال هذه المرحلة ولا يقدم شيئا ، لذا إذا كان النظام في حالة بدون تيار دائم يمكن حجز النبضات عن بواباته .

في نهاية العمل الربع الثاني (فرملة المحرك) يجب أن ينتقل المحرك لحالة الوقوف لأننا عملنا على فرملته ، وعوضا عن استخدام فرملة بمفاقيد جول عملنا على استرداد كامل القدرة في المتحرض وحقناها في الشبكة عن طريق الجسر P_1 الذي عمل كعاكس.

ـ في الربع الثالث من إحداثيات التوتر و التيار ، يمكن تشغيل الجسر الثاني P_2 كمقوم، ونظرا لأنه موصل بشكل عكسي ، سيعمل على تطبيق توتر سالب على المحرك وبالتالي سيمر تيار سالب وسيدور محرك التيار المستمر في اتجاه دوران معاكس لاتجاه الدوران الأول (عكس عقارب الساعة) . وفي هذه الحالة نرى أن الجسر الثاني عمل كمقوم ، وأننا لسنا بحاجة للجسر الأول طالما أننا نعمل في حالة محرك . وكما حدث في الربع الأول ، يمكن أن يحدث في الربع الثالث وأن تزداد سرعة المحرك وبالتالي النوة المحركة الكهربائية العكسية ، أي سينقص التيار وننزلق على أحد المستقيمات التي نعمل عليها حتى تتقاطع مع المحور الشاقولي . إذا أردنا فرملة هذا المحرك سوف ننتقل عندئذ للعمل في الربع الرابع ، وفي هذه الحالة الجسر الأول هو الجسر الصالح للعمل ، لان التيار الذي يقدمه الحمل يناسب المرور في الجسر الأول ، وعندئذ يتم تشغيل هذا الجسر كعاكس أي زوايا إزاحة بالطور اكبر من تسعين درجة ، والعمل على استرداد القدرة من الحمل وحقنها في الشبكة ، وكنتيجة لذلك فرملة المحرك .

بالنظر للمراحل المبينة أعلاه . نلاحظ أن الجسر الأول P_1 كان فعالاً في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار (الربع الأول والرابع) . كما أن الجسر الثاني P_2 كان فعالاً في ربعين أيضا من إحداثيات التوتر والتيار (الربع الثاني والرابع) وان كل جسر عمل كمقوم وكعاكس ، وهذه حقيقة عمل هذه الجسور المقادة القادرة على العمل في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار ، ولتشكيل النظام ذي التيار الدائر والعمل في الإحداثيات الأربعة ، نرى أن خواص هذين الجسرين مرتبطة وكأنها تساند بعضها بعضاً كما في الشكل (10-6) .



شكل (10-6)

- نظام القيادة الذي تحدثنا عنه يعتبر من أحدث الأنظمة المستخدمة في قيادة محركات التيار المستمر . وتستخدم لمحركات التيار المستمر المراد قلب سرعة دورانها بسرعة كبيرة . مثلا المقصات (Shires) المستخدمة في معامل الحديد . في هذا النوع من الآليات يتم خلال نصف الدورة تشغيل محرك التيار المستمر كمحرك ، ثم فرملته و إعادة دورانه باتجاه معاكس ثم إيقافه .

كما يستخدم مثل هذه الأنظمة لقيادة المحركات في معامل النايلون وصنع الأكياس أو أية عمليات تجتاح لدوران باتجاه موجب ثم التوقف الفوري والعودة للدوران في اتجاه معاكس ثم التوقف عن الدوران .

- القطارات الكهربائية لاتستخدم هذا النظام كما هو موضح سابقا إنما تستخدم أنظمة فرملة أخرى سنتعرض لها لاحقاً في الفصل الثاني .

٦-٣ مبدأ حساب ملف الطور Calcul de la bobine interphase:

في مجموعات التقويم والتعريج الموصلة بشكل (tete-beche) (رأس - عقب) ثلاثية الطور أو الأحادية ذات التيار الدائر ، يجب وضع ملف بين الأطوار و أطلقنا عليه ملف اختصارا ، وذلك بدلا من ربطها مباشرة . وما أطلقنا عليه ملف الطور حتى الآن، يتركب من نواة أو أكثر بثغرة هوائية متغيرة ، مما يسمح بتغير الممانعة أو الحثية دون تغيير عدد اللفات التي تم تثبيتها لأول مرة.

في المجموعات أحادية الطور ، لدينا ملف واحد ذو نقطة حيادي ، هذا الملف يعمل قريبا من مبدأ المحول الذاتي ، حيث التيار الدائر يمثل تيار المغنطة ولكن يجب عدم تناسي أن تيار المغنطة يحتوي على مركبة موجبة مما يؤدي إلى تعقيد نظام التشغيل .

كما نوهنا سابقا فان فائدة استخدام الملفات هي تحديد قيمة التيار الدائر وحصره في قيمة مقبولة ، وحيث أن فرق الكمون على طرفي الملف يتغير تبعا لقيم زوايا التأخير في الطور ، فانه يجب حساب الممانعة من أجل أقسى زوايا التأخير في الطور . من ناحية أخرى يتبع فرق الكمون هذا نوع النموذج المستخدم .

لذا ، سوف نقوم بدراسة بعض الأمثلة لنماذج مستخدمة بشكل واسع ، وبالتالي تحديد في كل حالة التوتر على طرفي الممانعة وذلك للوصول إلى علاقة أساسية تسمح بحساب الممانعة كتابع للتيار الدائر .

سنبدأ بنظام ثلاثي الطور ثم ننتقل للنظام أحادي الطور .

٦-٣-١ المجموعة (رأس - عقب) (tete-beche) ذات محول وحيد ثلاثي الطور وأربع ممانعات :

في هذه الحالة أربع الممانعات S_1وS_2 وS_3 وS_4 افترض أنها ملفوفة على نوى منفصلة. في هذا النموذج من أجل $\psi_I = 30°$ و $\psi_N = 150°$.

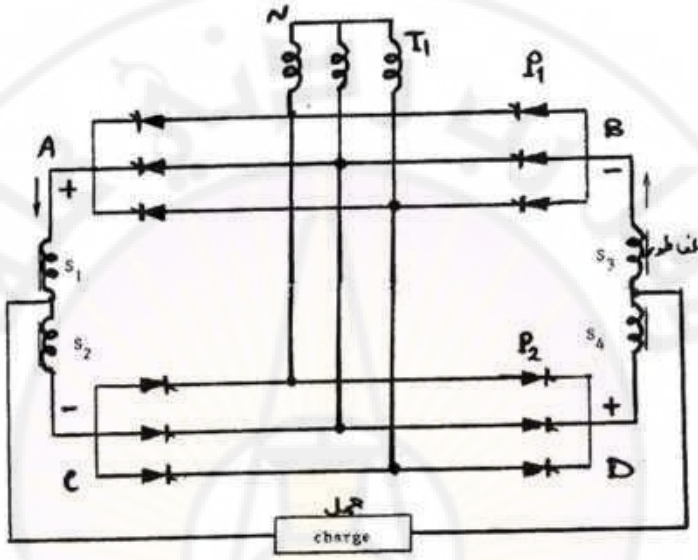
P_1 يعمل كمقوم وP_2 كعاكس . يمكن عدّ الممانعات S_1 وS_2 مشبعة فان التوتر على S_2 هو :

$$V_A - V_C = (V_A - V_N) - (V_C - V_N) = V_L$$

بالوقت نفسه على التوتر على الممانعة S_4 هو :

$$V_D - V_B = (V_D - V_N) - (V_D - V_N) = V_L$$

وبالرسم يمكن إيجاد شكل الموجة لهذا التوتر وقيمته .



شكل (6-11)

نجد (بدون رسم كل المخططات) أن هذا التوتر هو توتر متناوب مكسر ذو تردد 150Hz هرتزا مطاله يساوي $\frac{\sqrt{3}}{2}$ مرة مطال القيمة العظمى للتوتر المطبق (خط إلى حيادي).

من أجل $\psi_P = 60°$ و $\psi_N = 120°$ التوتر V_L له أيضا التردد 150Hz هرتزاً يساوي 1.5 مرة القيمة العظمى لتوتر الطور المطبق .

من أجل $\psi_P = 90°$ و $\psi_N = 120°$ التوتر V_L له تردد 300Hz وقيمته $\frac{\sqrt{3}}{2}$ القيمة العظمى لتوتر الطور المطبق .

يعطي الشكل (6-12) النتائج مرسومة من أجل $\psi_P = \psi_N = 90°$. في الشكل أعلاه غذي الجسران من محول وحيد وإنما ليس من الملفات نفسها ، لذا يجب الانتباه ويفضل دائما تغذيتها من ملفات مستقلة .

٦-٣-٢ المجموعة (tete-beche) المكونة من محولين ثلاثيي الطور وممـــانعتين أو من محول وحيد ذي ثانويين .

يفترض S_1 وS_2 ملفوفتين على نوى مستقلة . في هذه الحالة من أجـل $\psi_N = 150°$ و$\psi_P = 30°$. الجسر P_1 يكون مقوما ، الممانعة S_1 مشبعة ،التوتر على طرفي S_2 هو :

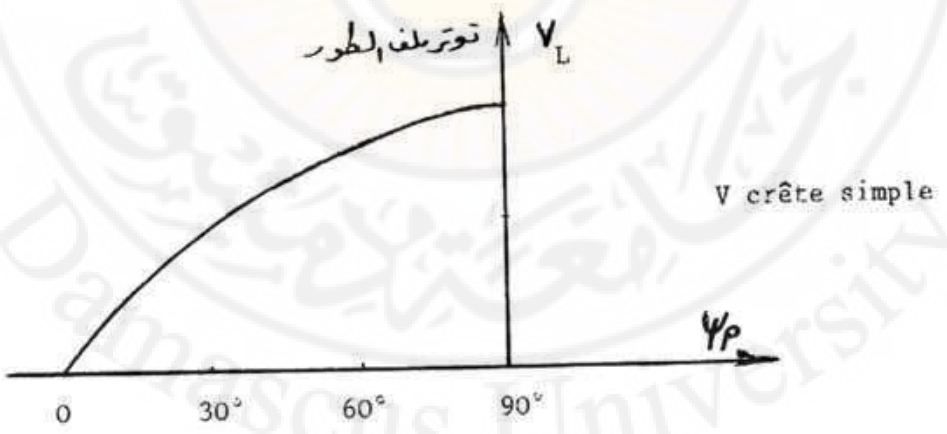
$$V_L = (V_A - V_B) - (V_C - V_D)$$

يبين الرسم أنه في هذه الحالـــة ، التـــوتر V_L متنـــاوب وذو تـــردد 300Hz مطالـــه مساوٍ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ مرة مطال التوتر الأعظمي لطور التوتر المطبق .

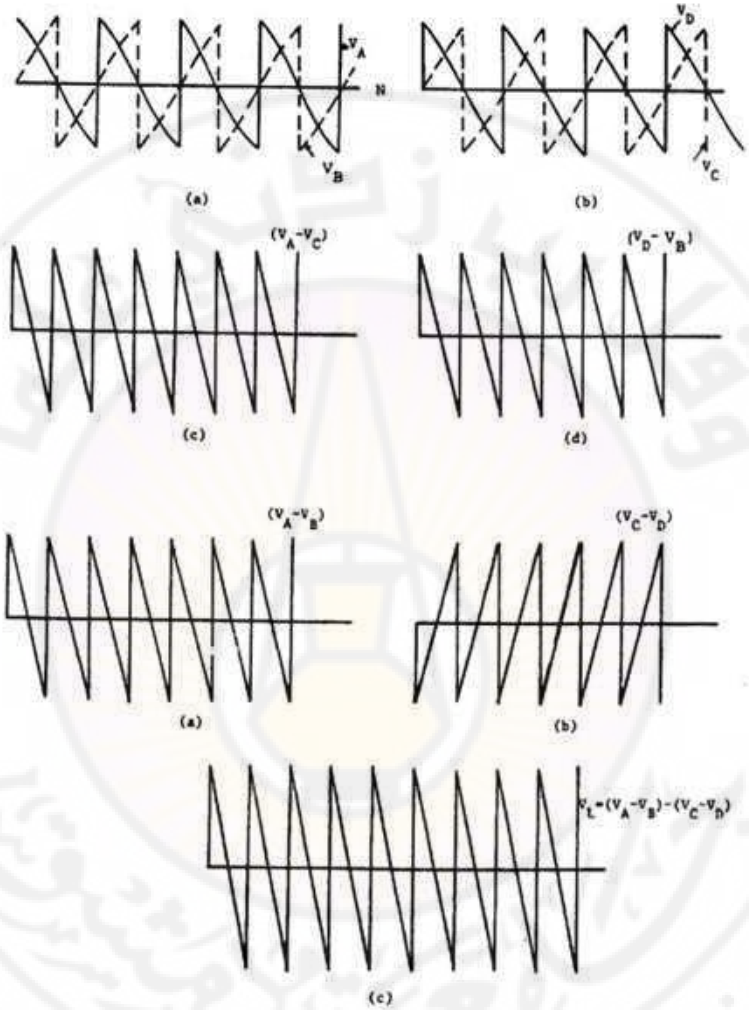
كذلك من أجل $\psi_P = 60°$ و $\psi_N = 120°$ يصبح مساويا 1.5مرة القيمة العظمى وذا تردد 300Hz.

من أجل $\psi_P = 60°$ و $\psi_P = \psi_N = 90°$ التوتر V_Lيصبح مساوياً $\sqrt{3}V_m$ وبتـــردد 300Hz حيث: $V_m = \sqrt{2}V$.

يبين الشكل (13-6) هذه الحالة الأخيرة .



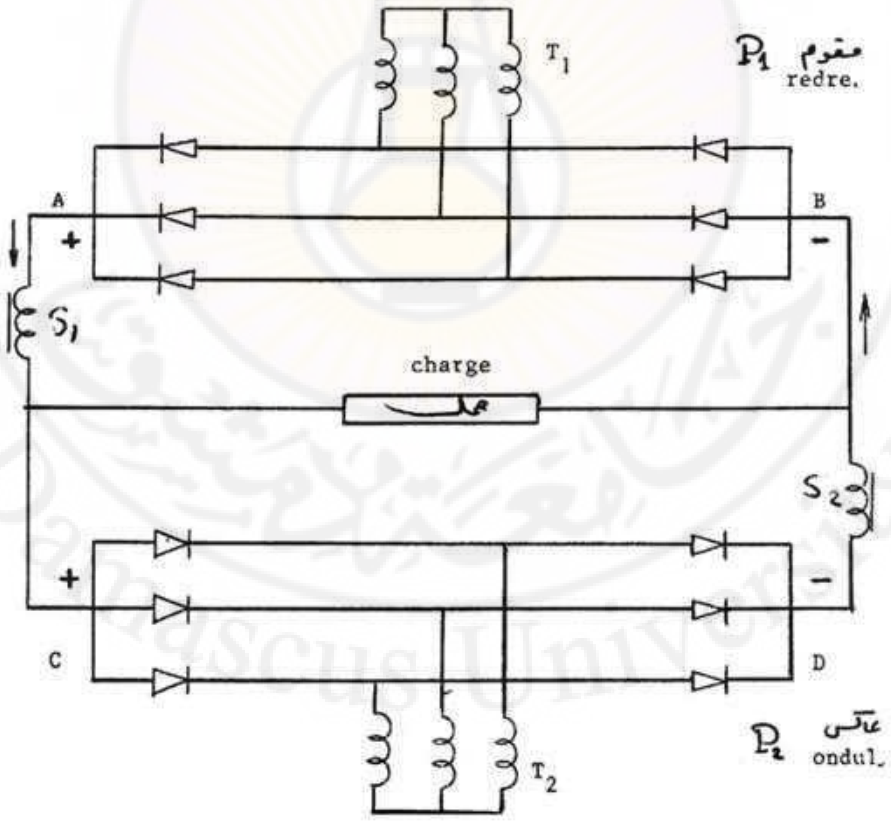
الشكل (14-6) تغير توتر ملف الطور كتابع لزاوية الإزاحة بالطور



تابع الشكل 14 توترات ملف الطور عند زوايا 90 = ψ.

دائما في المجموعات ذات المحولين وممانعتين ، تكون تغيرات التـوتر V_L العظمـى كتابع لزوايا التأخير ψ_P للمقوم $(\psi_N = 180 - \psi_P)$ كالتالي :

ψ_P	V_L crete
30°	$\frac{\sqrt{3}}{2}V$ crete simple $(V = \sqrt{2}$ توتر الطور$)$
60°	1.5 V crete simple
90°	$\sqrt{3}$ crete simple



الشكل (6-13)

هذه التغيرات تتبع العلاقة:

$$V_L = (\sqrt{3}\sin\psi_P).V\text{crete simple}$$

$\sin\psi_P$ (توتر الخط (V_L= (V crete entre phase)

تردد التوتر V_L هو 300Hz هرتز .

٦-٤ – أ حساب التيار الدائر من أجل مجموعة تقويم ــ تعريج ثلاثية الطور:

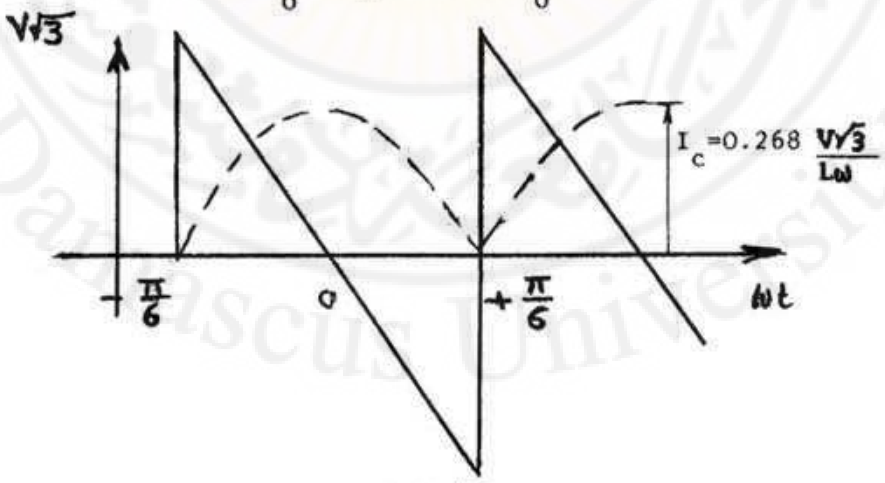
أشرنا إلى أنه يجب حساب قيمة الممانعة من أجل زاوية التأخير في الطور التي يكون عندها التوتر V_L على ملف الطور أكبر ما يمكن ، ووجدنا بأن هذا التوتر يكون أكبر ما يمكن عند الزاوية $\psi_P = \psi_N = 90°$. وفي هذه اللحظة ، يكون التيار الدائر له أيضا أكبر قيمة .

بالعودة للشكل (6-14-c) الذي أعيد رسم جزء منه من جديد أدناه ، انه من أجل $\psi_P = \psi_N = 90°$، يكون التوتر على إحدى الممانعتين بافتراض الأخرى مشبعة من الصيغة :

$$U_L = 2V\sqrt{3}\sin wt$$

بين($+\frac{\pi}{6}$ و $-\frac{\pi}{6}$)، V التوتر الأعظمي للطور من أجل :

$$wt = \frac{\pi}{6} \rightarrow V_L = 2V\sqrt{3}\sin\frac{\pi}{6} = V\sqrt{3}$$



شكل (6-15)

إذا :

$$U_L = -L\frac{dI_c}{dt}$$

$$\frac{dI_c}{dt} = \frac{U_L}{L}$$

$$I_c = -\frac{1}{L}\int_{-\frac{\pi}{6}}^{+\frac{\pi}{6}} U_L\,dt + K$$

I_c هو تيار مستقطب يدور بين الجسر المقوم والجسر المعرج .

بالتعويض عن U_L بقيمتها :

$$I_c = \frac{-2V\sqrt{3}}{Lw}\int_{-\frac{\pi}{6}}^{+\frac{\pi}{6}} \sin wt.dwt + K$$

$$I_c = K - \frac{2V\sqrt{3}}{Lw}\int_{-\frac{\pi}{6}}^{+\frac{\pi}{6}} \sin wt.dwt$$

من أجل $wt = \pm\frac{\pi}{6}$ $\quad I_c = K + \frac{2V\sqrt{3}}{Lw}\cos wt$

التيار الدائر ذو اتجاه وحيد ولا يمكن أن يعكس اتجاهه :

$$0 = K + \frac{2V\sqrt{3}}{Lw}\cos(\pm\frac{\pi}{6})$$

$$K = \frac{-2V\times 3}{Lw}$$

$$I_c = \frac{V\sqrt{3}}{Lw}(2\cos wt - \sqrt{3})$$

f :(تردد توتر التغذية) $w=2\pi f$

من أجل :

$$wt = \pm\frac{\pi}{6}$$

$$I_c = 0$$

من أجل :

$$wt = \pm\frac{\pi}{12}$$

$$I_c = \frac{0.2V\sqrt{3}}{Lw}$$

من أجل :

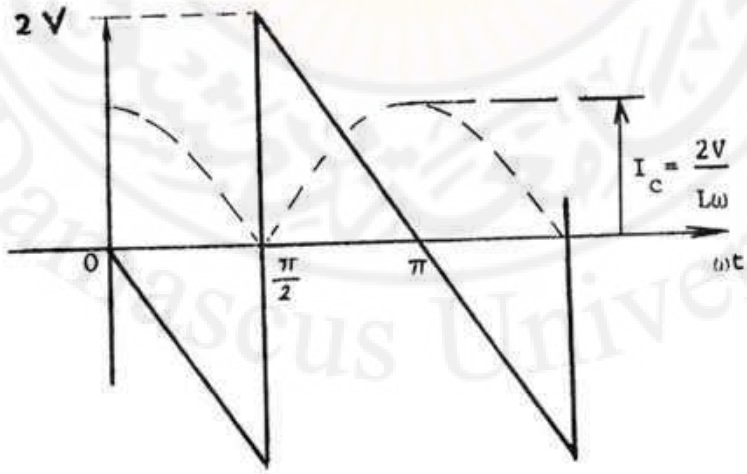
$$wt = 0$$

$$I_c = \frac{0.268V\sqrt{3}}{Lw}$$

هذه القيمة العظمى للتيار المار بين الجسرين من أجل ممانعة محددة مسبقا . ولكن عمليا نتبع المبدأ المعاكس حيث نختار قيمة التيار الدائر (كنسبة مئوية من تيار الحمل) وذلك حتى نستطيع تحديد الممانعة الضرورية .

ب - حساب التيار الدائر من أجل مجموعة (رأس-عقب) (tete-beche) أحادية الطور :

كما في حالة النظام ثلاثي الطور ، سنأخذ الحالة يكون فيها التوتر V_L له أكبر قيمة. انطلاقاً من الأشكال(6-5 a,b,c) نجد أن V_L له القيمة العظمى في الشكل (6-5-a3) من أجل $\psi_P = \psi_N = 90°$.



شكل (6-16)

التوتر V_L له الشكل $U_L = 2V_{max} \sin wt$ بين الزوايا (0 و π)

V_{max} : القيمة العظمى (خط لحظ) .

$$U_L = -L\frac{dI_c}{dt}$$

$$I_c = -\frac{1}{L}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} U_L dt + K$$

$$I_c = \frac{-2V\max}{Lw}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \sin wt dwt + K$$

$$I_c = K + \frac{2V_{max}}{Lw}\cos wt$$

ولكن $I_c = 0$ من أجل $wt = \pm\frac{\pi}{2}$

ولأن التيار الدائر لا يمكن أن يعكس نفسه . واستنادا لهذه الظاهرات فان :K=0 إذا :

$$I_c = \frac{2V_{max}}{Lw}\cos wt$$

I_c له قيمة عظمى من أجل wt=0

$$I_c = \frac{2V_{max}}{Lw}$$

وهو القيمة العظمى للتيار الدائر من أجل مجموعة تقويم تعريج أحادية الطور سوف نستخدمها لحساب الممانعة المربوطة بين الجسرين .

٦-٥ نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر

High Voltage DC. Transmission (H.V.DC)

ازدادت تطبيقات علم إلكترونيات القدرة الكهربائية في الصناعة مع تحسن خواص التوتر والتيار للعناصر الإلكترونية المستخدمة ومن هذه التطبيقات الهامة سنذكر :

١- نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر .

٢- أنظمة تحسين عامل الاستطاعة الساكنة Static Var Compensators .

٣- ربط أنظمة توليد الطاقات البديلة وأنظمة تخزين القدرة للشبكة العامة .

٤- أنظمة نقل الطاقة الكهربائية المتناوبة المرنة

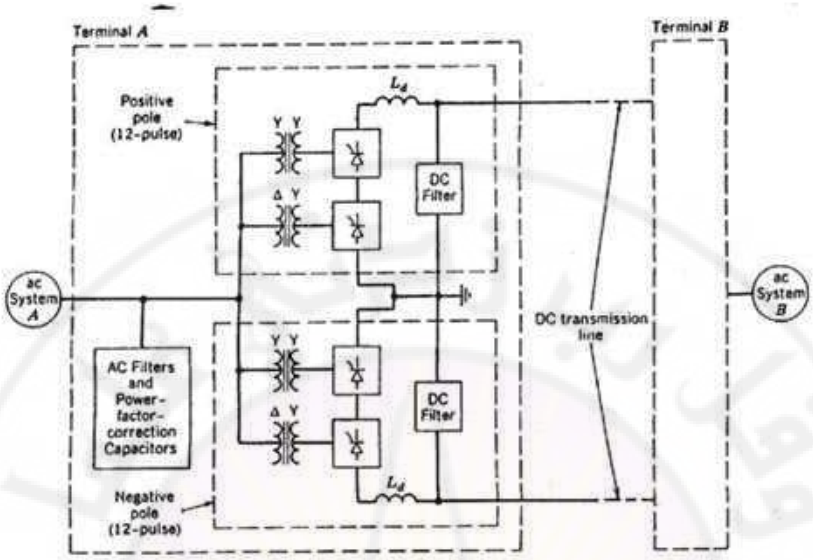
Systems (Facts)Flexible ac transmission

٥- المرشحات الفعالة Active Filters

نظام نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر ، إضافة لكونه من الأنظمة التي تستخدم إلكترونيات القدرة الكهربائية عند التوترات والتيارات العالية فإنه نظام يعتمد على مبدأ المجموعة المضاعفة ذات الاتجاه المزدوج للتيار أو Dual Converter في هذا النظام لا تقوم بتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر عند الإرسال ثم تبديله إلى تيار متناوب عند الاستقبال . المبدأ الأساسي لعمل هذا النظام هو أن جسور التقويم عند محطة الإرسال تقوم بتقويم التوتر المتناوب وتطبيقه على شبكة النقل بالتيار المستمر وعند الاستقبال تعمل على تشغيل جسور التقويم عند زوايا إزاحة بالطور أكبر من 90<Ψ<180 وفي هذه الحالة تعمل الجسور كعاكس أي أنها ستعمل على نقل الاستطاعة من الحمل (الشبكة في هذه الحالة) إلى المنبع وهو المحطة المتواجدة في الاستقبال . بنية الجسور عند الاستقبال لا تختلف عن بنية الجسور عند الإرسال ، لذا يمكن نقل الطاقة الكهربائية بالاتجاهين يكفي فقط التحكم بزوايا الإزاحة بالطور للجسور المستخدمة .

نحن نعلم أن محطات التوليد تولد الطاقة على شكل توتر وتيار متناوب . يتم نقل هذه الاستطاعة إلى مراكز الأحمال عبر شبكات نقل ثلاثية الطور عند ظروف متعددة .

بدا من الضروري نقل الطاقة الكهربائية عند توتر مستمر ، والمسافة الاقتصادية لشبكات النقل الهوائية تتراوح بين (400-600km) كم ، وأقل من ذلك عند استخدام الكابلات البحرية 40km . كما أن هناك عوامل أخرى تدعو للنقل بالتيار المستمر مثل ، تحسين الاستقرار العابر للشبكات ، وتحسين التخامد الديناميكي للشبكة . كذلك الربط بين شبكتين من تردد مختلف /60/Hz و /50/Hz كما في اليابان . الربط بين الشبكات غير المتزامنة وذات مستويات التوتر المختلفة نسبياً .



A typical HVDC transmission system.

الشكل (17-6) نظام نقل بالتيار المستمر عالي التوتر نموذجي

- كل طرف إرسال أو استقبال يتكون من قطبين ، قطب موجب وقطب سالب وكل قطب يحتوي خرج جسرين كل منهما يعطي توتر من الرتبة /12/ . نوصل المحولات (Δ-Y) و(Y-Y) . من جهة المنبع المتناوب نوجد الأحمال الأخرى الممكن تركيبها على بارات المحطة . كما نوجد المرشحات لتحسين عامل الاستطاعة والتوافقيات لكل محطة من جهة خط النقل بالتيار المستمر ، ومنعاً من ظهور تعرجات في التوتر المستخدم يتم استخدام ممانعة تنعيم (Ld) كما يوضع مرشح توتر مستمر على خرج كل جسر .
- في الشكل (18-6) نجد أن التوتر المقوم الكلي Vd هو مجموع التوترين $Vd=Vd_2+Vd_1$ ، التوتر Vd_2 مزاح عن التوتر Vd_1 بمقدار 30° حسب توصيل التوترات في محولات التغذية . تيار المنبع المتناوب $ia=ia_1+ia_2$. التوافقيات في تيار الدخل تبدأ من الرتبة (11).(13) بينما رتبة التوافقيات في ia_2,ia_1 هي من الرتب (13,11,7,5) .

- جانب التوتر المستمر نجد أن التوتر مكون من (12) قمة خلال الدور وعليه فإن رتب التوافقيات هنا ستبدأ من الرتبة (12) وصاعداً .

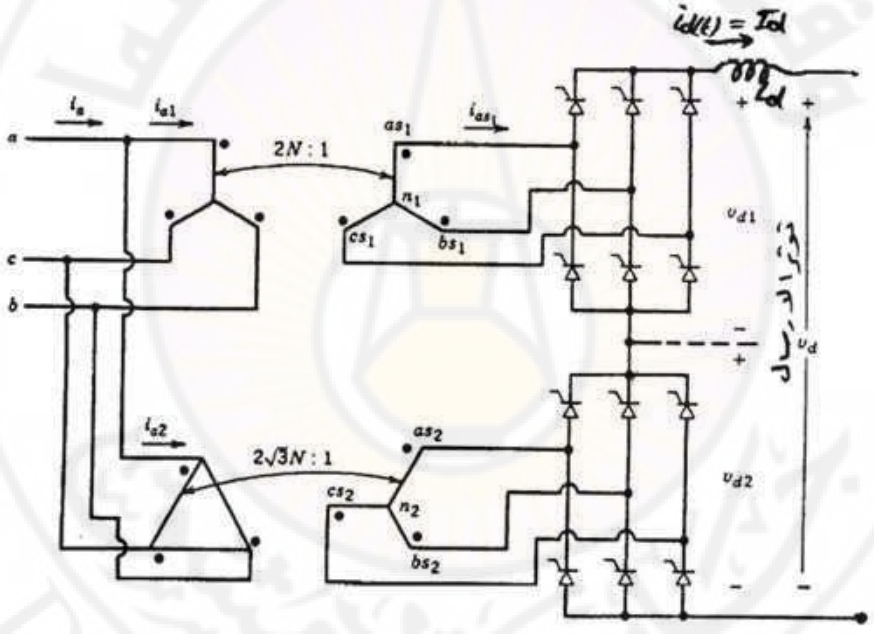
$$h=12K$$

K: عدد صحيح .

مطال هذه التوافقيات يتغير تبعاً لتغيرات زوايا الإزاحة بالطور للجسور .

- قيمة التوتر المتوسط الناتج عن كل جسر من الجسور تساوي :

$$Vd_1 = Vd_2 = \frac{Vd}{2} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_l \cos\psi - \frac{3wLs}{\pi} Id$$



Twelve-pulse converter arrangement.

شكل (18-6) نظام توليد توتر مستمر ذي إثني عشر قمة خلال الدور

حيث :

Ls: الممانعة الداخلية لشبكة التغذية .

Ψ : زاوية الإزاحة بالطور .

V_l: توتر الخط الفعال .

٦-٥-١ الاستطاعة الردية المستجرة بواسطة الجسور عند العمل كمقوم :

عندما تعمل جسور التقويم ، تستجر استطاعة ردية من المنبع ، تيار التوافقيات المولد من قبل الجسور ، يتم حذفه ولا يصل المنبع بواسطة المرشحات .

لذا فإن مركبة التيار الأساسية هي التي سيتم اعتمادها لحساب الاستطاعة الفعلية والردية المسحوبة من المنبع .

سنعتبر أن تيار المركبة الأساسي المتناوب مزاح عن التوتر بزاوية تساوي زاوية عامل الاستطاعة (D.P.F) $\phi_1 = \propto$.

وعليه فإن الاستطاعة الردية اللازمة لجسر كرينز تعطى بالعلاقة :

$$Q_1 = \sqrt{3} V_L \, Ias_1 \sin \propto$$

Ias_1 : القيمة الفعالة للمركبة الأساسية لتيار المنبع المتناوب .

تيار المنبع يمكن أن يعطى بدلالة تيار الحمل المستمر

$$Ias_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} Id$$

وعليه :

$$Q_1 = \sqrt{3} V_L (\frac{\sqrt{6}}{\pi}) Id \sin \propto$$

$$Q_1 = 1.35 . V_L . Id . \sin \propto$$

الاستطاعة الفعلية المنقولة للحمل لكل جسر عند Ls=0 تعطى بالعلاقة :

$$Pd_1 = Vd_1 Id = 1.35 V_L . Id \cos \propto$$

من أجل نقل استطاعة فعلية Pd_1 ، يجب إنقاص الاستطاعة الردية Q1 قدر الامكان . أيضاً Id يجب أن يحافظ عليه صغيراً قدر الإمكان كي تقلل من I^2R . وكي تقلل من Q1,Id وبما أن VL ثابتة القيمة فإن أفضل حل هو تصغير قيمة زاوية الإزاحة $\propto$ للمبدل أو المقوم والقيم العملية المعتمدة هي ضمن المجال (10°-20°) .

٦-٥-٢ حالة عمل الجسور كعاكس :

في حالة العمل كعاكس ، التوتر المستمر للمبدل يعمل بطريقة مشابهة للقوة المحركة الكهربائية العكسية المتواجدة في محركات التيار المستمر . لذا ، من الضروري والمريح تحديد اتجاه القطبية . شكل (6-19) لذا فالتوتر المستمر موجب عندما يكتسب خصيصاً للعاكس (حالة العمل كعاكس) . وفي حالة العاكس نعرف زاوية الإطفاء بدلالة زاوية الإزاحة بالطور وزاوية الأمان

$$\wp = 180° - (\psi + \propto)$$

Ψ : زاوية الإزاحة بالطور .

$\wp$: زاوية التقدم .

$\propto$: زاوية التطابق (Over lap angle)

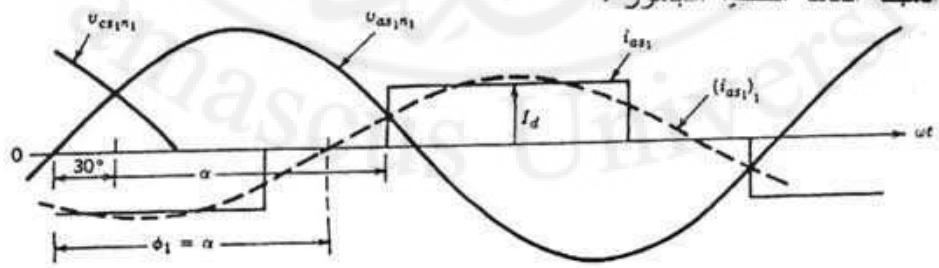
توتر العاكس في الشكل (6-19) يمكن الحصول عليه بالعلاقة :

$$Vd_1 = Vd_2 = \frac{Vd}{2} = 1.35V_{l.} \cos\wp - \frac{3wLs}{\pi} Id$$

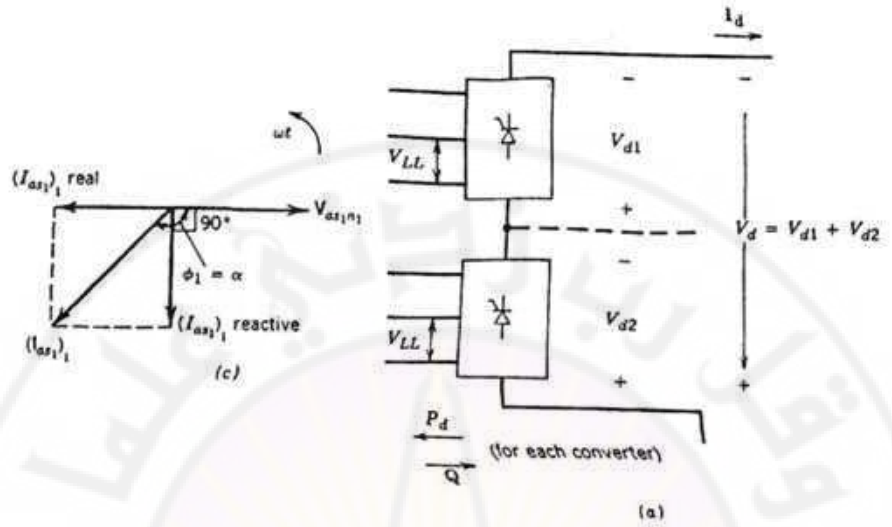
بفرض Ls=0 الشكل 17-4b(6-19-b) يوضح شكل اشكال التوتر Vas_1n_1 و ias_1 عند Ψ>90° الموافقة لحالة العمل كعاكس .

المركبة الأساسية لتيار الطور موضحة بالخط المقطع (ias_1) .

في الشكل (6-19-c) المخطط الشعاعي للمركبة الأساسية الردية تتأخر عن توتر (الطور – حيادي) ، وتشير إلى أنه حتى في حالة العمل كعاكس ، حيث انعكس اتجاه سريان الاستطاعة في الجسر ، ما زال الجسر يحتاج لاستطاعة ردية (متأخرة) من الشبكة العامة المغذية الجسور .



(b)



شكل (19-6) حالة العمل كعاكس

a- قطبيات التوتر واتجاه الاستطاعة b- توتر وتيار أحد الأطوار .

c- المخطط الشعاعي للتوترات والتيارات

باعتبار Ls=0 وزاوية التطابق $\alpha=0$ عندئذ $\varphi = 180° - \psi$ وبناء عليه يمكن كتابة الاستطاعة الفعلية والردية للجسر العامل كعاكس .

$$Q_1 = 1.35 V_{l} Id \sin\varphi$$

$$Pd_1 = 1.35 V_{l} Id \cos\varphi$$

حيث اتجاه الاستطاعة الردية والحقيقية مبينة في الشكل (20-6) .

في الجسور المرتبطة على التسلسل ، الاستطاعة الردية الكلية هي مجموع الاستطاعات اللازمة لكل جسر على حدة . ولإنقاص المفاقيد كما ذكرنا سابقاً يلزم إنقاص الزاوية φ حتى نصل لأصغر زاوية نطلق عليه زاوية الإطفاء . (φmin=Extintion angle) .

٦-٥-٣ قيادة المبدلات في خطوط النقل بالتيار المستمر :

جسور التقويم عند المحطة A يفرض أنها تعمل كمقومات وتعطي التوتر V_{dA} الموجب. والجسور المرتبطة بالمحطة B ستعمل كعاكس لذا فإن القطب المرتبط بخط النقل ذي القطبية الموجبة سيكون أيضاً موجباً V_{dB} . وفي حالة العمل الدائم لدينا :

$$Id = \frac{V_{dA} - V_{dB}}{R_{dc}}$$

R_{dC}: المقاومة بالتيار المستمر لخط النقل الموجب . وهي دائماً صغيرة القيمة لذا فـإن التيار Id المار في خط النقل سيكون كبيراً كلما زاد الفرق بين قطبيتي الجسرين وعليه يمكن اعتماد أحد الجسور للتحكم بالتوتر على خط النقل والجسر الثاني للتحكم بالتيـار Id وبما أن العاكس يجب أن يعمل عند زاوية تقدم شبه ثابتـة $\varphi = \varphi_{min}$ فـإن مـن الطبيعي أن نختار العاكس (المبدل المركب في المحطة B) للتحكم بـ Vd . عندئذ Id والاستطاعة المنقولة يمكن قيادتها من الجسر المقوم (المركب في المحطة A) .

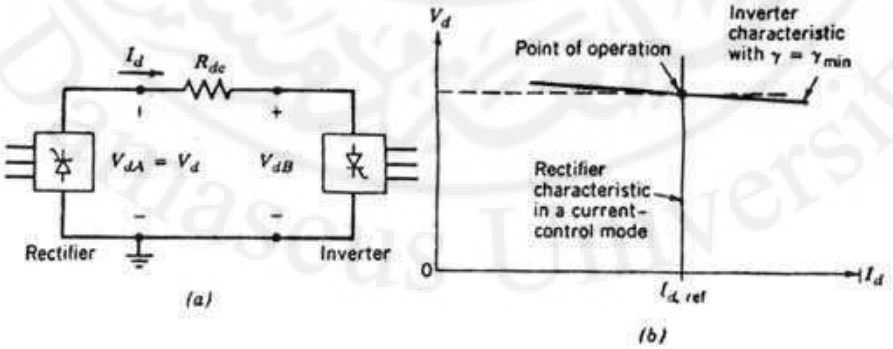
الشكل (6-20-b) يظهر خواص التشغيل للمقوم والعاكس (V_d-I_d) ، حيث V_d اختيـرت لتكون توتر المقوم : $V_d=V_{dA}$.

عند زاوية تقدم أصغرية $\varphi = \varphi_{min}$ ، العاكس يعطي توترا Vd يعطى بالعلاقة :

$$Vd = 2\times\left[1.35V_{l.}\cos\varphi_{min} - \frac{3wLs}{\pi}I_d\right] + R_{dc}I_d$$

$$= 2\times 1.35V_{l.}\cos\varphi_{min} - (\frac{6wLs}{\pi} - R_{dc})I_d$$

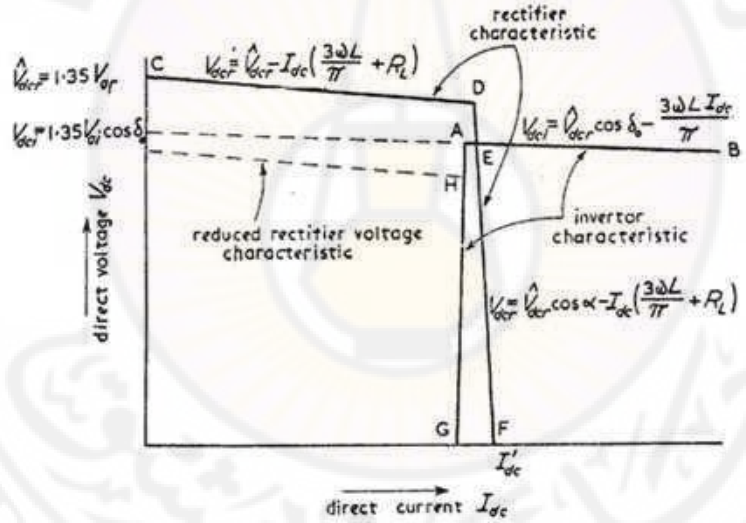
القيمة بين القوسين تعتبر موجبة .



Control of HVDC system.

شكل (6-20) قيادة خطوط نقل القدرة بالتيار المستمر عالي التوتر

يمكن التحكم بالجسر المقوم للحفاظ على Id ثابت ومساوي للقيمة المرجعية Id_{ref} .
يقاس التيار الفعلي المستجر Id والفرق $(Id-Id_{ref})$ إذا كان موجباً ، يعمل عندئذ على زيادة زاوية الإزاحة بالطور Ψ ، وإذا كان الخطأ أو الفرق سالباً يعمل على إنقاص الزاوية Ψ . بسبب الكسب الكبير لمنظم التيار ، نرى أن خواص العمل للجسر المقوم وخاصة عند نقطة العمل ، كأنها خط شاقولي شكل (6-20-b) عند Id_{ref} تقاطع المنحنيات تحدد توتر الخط V_d وتيار الحمل I_d .
الشكل (6-21) أدناه يوضح هذه المنحنيات بشكل أوسع وذلك لأنه في الشكل (6-19) أعلاه تم فقط التركيز على المنحنيات عند نقطة العمل .



Characteristics of bridge-connected rectifier and invertor with upper and lower current limits.

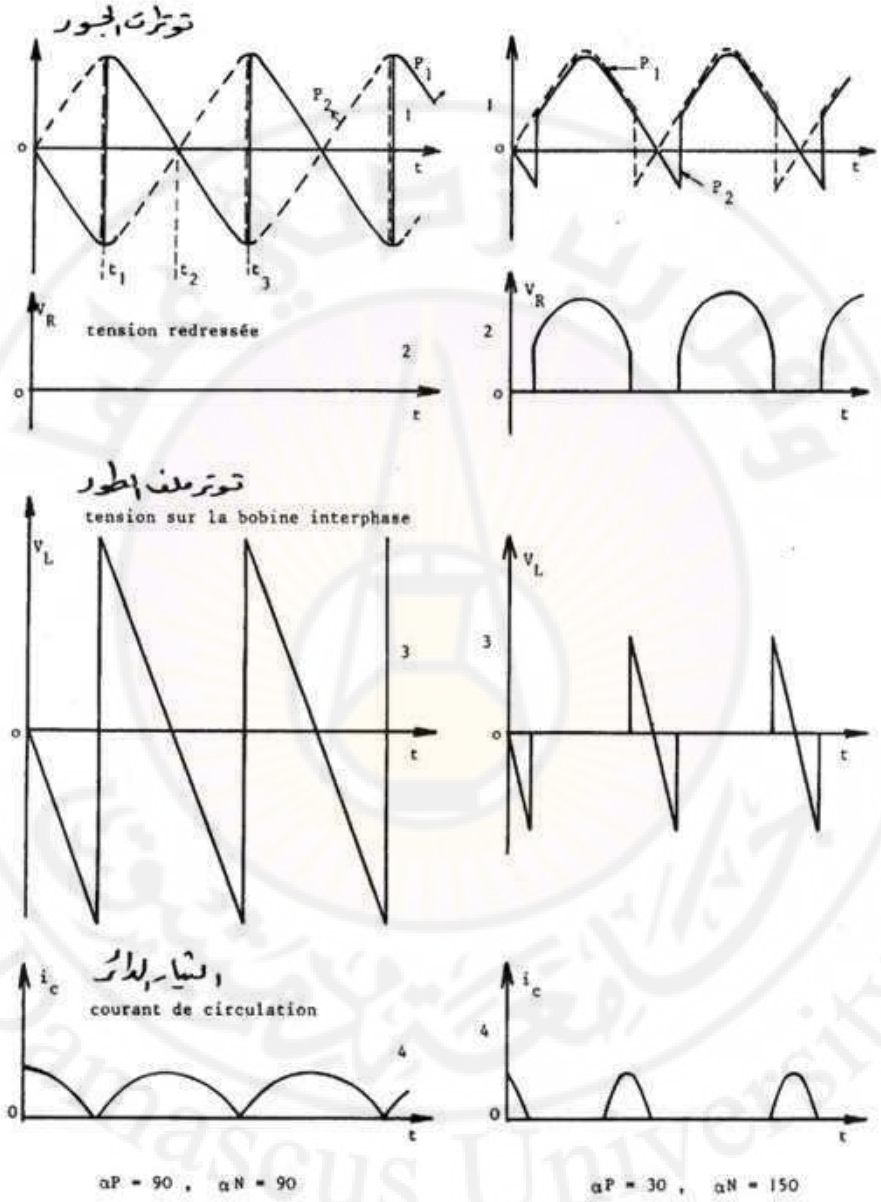
شكل (6-21) خواص منحنيات العمل للجسر المقوم والعاكس مع تيار الحمل المار

المناقشة السابقة تبين أن الاستطاعة الممكن نقلها $P_d=V_dI_d$ من المحطة A إلى B ويمكن التحكم بها عن طريق التحكم بالتيار I_d . والحفاظ على أعلى توتر لخط النقل لإنقاص المفاقيد I^2dR_{dc} في خط النقل . هذا النوع من القيادة يستدعي إنقاص Ψ لأصغر قيمة جهة المقوم وأصغر قيمة $\wp = \wp_{min}$ جهة العاكس . وهذا بالنتيجة

يخفض من الاستطاعة الردية المطلوبة من كلا الجسرين عملياً ، المحولات المركبات في كل محطة تحتوي على منظم عدد اللفات (Tap-changer) وباستخدام هذه المنظمات يمكن التحكم بالتوتر المتناوب المطبق على الجسور بقيم صغيرة ومحددة مما يضيف لعملية القيادة المرونة وزيادة الدقة.

من الشكل (21-6) نؤكد أيضاً أن نقطة العمل هنا هي E .

ويمكن القول أنه لدى حدوث تغير مفاجئ في التوترات المتناوبة المغذية للجسرين ، سوف تهبط منحنيات الخواص لجسور التقويم لقيم أدنى من منحنيات العاكس ، وذلك قد يكون لعدة ثواني ، أي حتى يقوم منظم عدد اللفات (Tap-changer) بتعديل قيمة التوتر . بما أن هذه الظاهرة سوف توقف إرسال الاستطاعة ، فإنه غالباً يطلب من الجسر العاكس تغيير الزاوية $\wp$ حتى تنخفض قيمة التوتر الناتج عن العاكس وإمكانية العمل عندئذ تصبح ممكنة على المنحني AHG والعمل سيكون عند النقطة H مع إنقاص في تيار الحمل حتى ينتهي العمل والوقت اللازم لمنظم عدد اللفات من إنهاء دوره . قيمة التيار بين النقطتين E,H يجب أن تكون كافية لعدم وضع المقوم والعاكس في حالة تغيير وضعيتهما آنياً .


توتر الجور
P1
P2
1
o
t
t1
t2
t3
VR
tension redressée
2
توتر ملف الطور
tension sur la bobine interphase
VL
3
التيار المدار
courant de circulation
ic
4
αP = 90 , αN = 90
αP = 30 , αN = 150

شكل (6-12)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق رقم /١/

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

دوائر الديود والتقويم : Diode Circuits and rectifiers

الديود عنصر نصف ناقل ، يستخدم لأغراض عديدة في دارات التقويم والتعريج وفي دارات المقطعات والمدرجات ، ويمكن القول إنه يستخدم في معظم دارات إلكترونيات القدرة الكهربائية كما سنرى في الأبحاث القادمة . عند وضع الديود تحت توتر متناوب يعمل مبدئياً الديود على تقويم التوتر ، ويعطي توتراً ثابتاً لا يمكن تغييره ، ولتسهيل معالجة الدارات يمكن اعتبار الديود مثالياً ((Ideal)) نعني بذلك أن زمن الاستعادة العكسي trr(Reverse recovery time) وهبوط التوتر الأمامي (Voltage drop) مهملة .

a) استخدام الديود في دارة تحتوي حمل RC :

الدارة شكل (1) تبين دارة ديود محمل بمقاومة ومكثف . عند إغلاق القاطع S1 عند الزمن t=0 تيار شحن المكثف i المار يمكن إيجاده من العلاقة :

$$V_S = V_R + V_C = V_R + \frac{1}{C}\int idt + V_C(t=0) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$V_R = R.i$$

باعتبار الشروط الأولية للدارة ، المكثف غير مشحون ، VC(t=0)=0 ، حل المعادلة (1).

باستخدام الجدول المرفق يمكن تحويله إلى تحويل لابلاس بالشكل :

$$\frac{V_S}{S} = RI(s) + \frac{1}{Cs} I(s)$$

بعد إجراء الحل من أجل I(s) يعطي :

$$I(s) = \frac{V_S}{R(s+\alpha)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث $\alpha = \frac{1}{Rc}$. التحويل العكسي للعلاقة (2) كتابع للزمن تعطي :

$$i(t) = \frac{VS}{R} e^{-\alpha t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

والتوتر على المكثف يعبر عنه بالعلاقة :

$$Vc(t) = \frac{1}{C}\int_0^t idt = V_S(1 - e^{-\alpha t}) \quad \text{.....(4)}$$

$$= V_S(1 - e^{t/\tau})$$

في الحالة المستقرة (Steady State) ، t=∞ .

$$I_S = i(t = \infty) = 0$$

$$V_C = V_C(t = \infty) = \frac{V_S}{R}$$

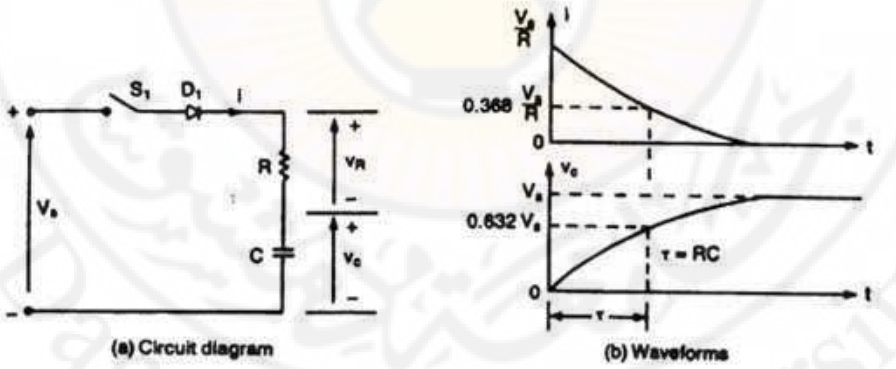
حيث $\tau = R_C$ ثابت زمن الحمل R_C .

معدل تغير توتر المكثف يعطى بالعلاقة :

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{V_C}{R_C} e^{-t/R_C} \quad \text{.....(5)}$$

والقيمة الأولية لمعدل تغير توتر المكثف عند (t=0) هي :

$$\frac{dV_C}{dt} / t = 0 = \frac{V_S}{R_C} \quad \text{.....(6)}$$



Diode circuit with *RC* load.

شكل (1) دارة ديود محمل بمقاومة ومكثف

b) استخدام ديود في دارة تحوي حمل RL :

لدى تحميل الديود بحمل RL كما في الشكل (2) ،عند إغلاق القاطع S_1 عند الزمن t=0 ، يزداد التيار في الملف (الحثية inductor) ويعبر عنه بالشكل :

$$V_S = V_L + V_R = L\frac{di}{dt} + R_l + E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

E : قوة محركة كهربائية وقد تكون موجودة في دارة الحمل في حال عـدم وجودهـا يمكن اعتبار E=0 .

عند الظروف الأولية $i(t=0)=I_1$. يتحول من العلاقة (7) أعلاه حسب لابلاس نجد :

$$\frac{V_S}{S} = LSI(s) - LI_1 + RI(s) + \frac{E}{s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

حل المعادلة (8) من أجل I(s) نجد :

$$I(s) = \frac{V_S - E}{Ls(s+\beta)} + \frac{I_1}{s+\beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

حيث : $\tau = \frac{L}{R}$ ثابت الزمن للملف . $\beta = \frac{1}{\tau}$

$$= \frac{V_S - E}{R}\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+\beta}\right) + \frac{I_1}{s+\beta}$$

بأخذ التحويل العكسي للابلاس نجد :

$$i(t) = \frac{V_S}{R}(1 - e^{-\pi}) + I_1 e^{-\pi}$$

بفرض أن التيار الأولي في الملف كان مساوياً للصفر $I_1=0$ نجد :

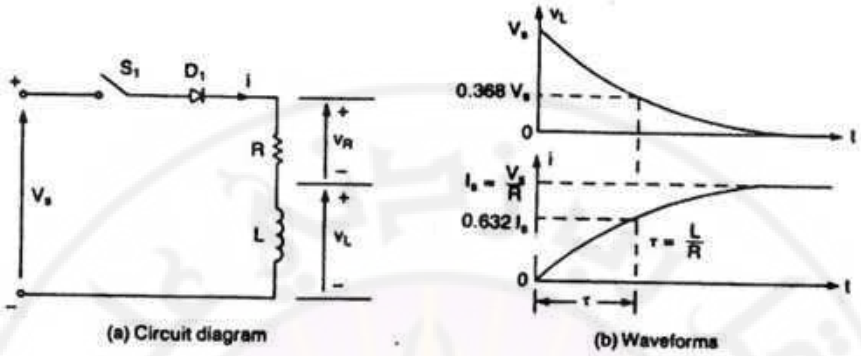
$$i(t) = \frac{V_S}{R}(1 - e^{-\pi}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

في الحالة الدائمة عند (t=∞) أي أن $t >> \frac{L}{R}$ نجد أن :

$$I_S = i(t=\infty) = V_S / R$$

وكما أن التوتر على الملف يعطى بالعلاقة :

$$V_L(t) = L\frac{di}{dt} = V_S e^{-t\,R/L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$



Diode circuit with *RL* load.

شكل (2) دارة ديود محمل بمقاومة وحثية

عند الاستقرار ووصول التيار للقيمة V_S/R ، إذا ما قمنا بفتح القاطع S1 ، عندئذٍ القدرة المخزنة في الملف ($1/2\ L.i^2$) سوف تتحول إلى توتر عكسي كبير على الديود والقاطع .

هذه القدرة سوف تصرف بشكل شرارة (Spark) عبر القاطع ، والديود D1 يمكن أن يحترق في هذه العملية . وكي نتجاوز مثل هذه الحالة ، نستخدم عادةً ديود حر (free wheeling diode) ونضعه على طرفي التحريضية ، الملف ، لتفريغ الشحنة .

c) استخدام ديود في دارة تحوي حمل LC و RLC :

الشكل (3) يمثل دارة ديود مع حمل LC ، عند إغلاق القاطع S عند t=0 تيار شحن المكثف i يعبر عنه بالعلاقة :

$$V_S = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt + V_c(t=0) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

باعتبار الظروف الأولية $V_C(t=0)$ و $i(t=0)=0$ ، بإجراء تحويل لابلاس للعلاقة (12) نجد:

$$\frac{V_S}{s} = LsI(s) + \frac{1}{Cs}I(s)$$

وبدلالة I(s) نجد :

$$I(s) = \frac{V_S}{L(s^2 + w_n^2)} \quad \text{.....(13)}$$

حيث $w = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ومنه فإن التحويل العكسي لمعادلة لابلاس يعطي :

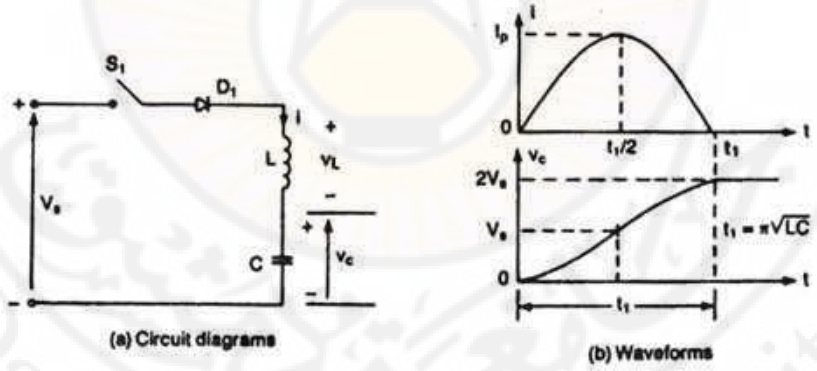
$$i(t) = V_S \sqrt{\frac{C}{L}} \sin(wt) = Ip \sin wt \quad \text{.....(14)}$$

حيث : $Ip = V_S \sqrt{\frac{C}{L}}$.

ونجد أن توتر المكثف يعطى بالشكل :

$$V_c(t) = \frac{1}{c} \int_0^t i(t)dt = V_S[1 - \cos(wt) \quad \text{.....(15)}$$

عند الزمن $t=t_1$ ويساوي $t_1 = \pi\sqrt{LC}$ يصل تيار الديود للصفر ويشحن المكثف للتوتر (2Vs) . الشكل (3) بين موجة التوتر V_L والتيار i .



Diode circuit with *LC* load.

شكل (3) دارة ديود محمل بملف ومكثف

الشكل (4) يمثل دارة مع حمل RLC . عند إغلاق القاطع S عند t=0 . ومن الشكل يمكن كتابة معادلة تيار الحمل بالشكل :

$$L\frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{c}\int idt + Vc(t=0) = V_S \quad \text{.....(16)}$$

عند الشروط الأولية $Vc(t=0)=V_0, i(t=0)$ بإجراء اشتقاق للمعادلة وقسمتها على / نجد:

$$\frac{d2i}{dt}+\frac{R}{L}\frac{di}{dt}+\frac{i}{LC}=0$$

عند ظروف التشغيل المستقرة النهائية ، سينشحن المكثف إلى توتر المنبع Vs ويصل التيار للصفر .

تحويل لابلاس للعلاقة أعلاه يعطي :

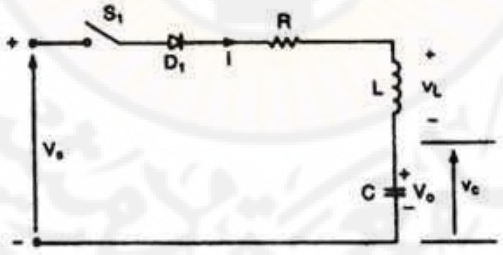
$$S^2+\frac{R}{L}S+\frac{1}{LC}=0 \quad \text{.....(17)}$$

جذور المعادلة (quadratic equation) تعطى بالشكل :

$$S_{1,2}=-\frac{R}{2L}\pm\sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2-\frac{1}{LC}} \quad \text{.....(18)}$$

نستطيع أن نعرف خاصتين هامتين من خواص المعادلة ذات الدرجة الثانية ،

عامل التخامد $\propto=\frac{R}{2L}$ وتردد الطنين $w_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$.



Diode circuit with $R\overset{p}{L}C$ load.

شكل (4) دارة ديود محمل بملف ومكثف

بتعويض هذه الخواص بالعلاقة (18) نجد :

$$S_{1,2} = -\propto \pm\sqrt{\propto^2 - w_0^2} \quad \text{.....(19)}$$

حل معادلة التيار ، والذي يعتمد على قيم $\propto$ و w_0 سوف يأخذ أحد الحالات الثلاث التالية:

- **الحالة الأولى** :إذا كانت $\propto = w_0$ الجذرين متساويين $S_1=S_2$ والدارة ستكون متخامدة بشكل حرج والحل سيكون من الشكل (Critically damped)

$$i(t) = (A_1 + A_2 t)e^{S_1 t} \quad \text{.....(20)}$$

- **الحالة الثانية** : إذا كانت $\propto > w_0$ الجذور حقيقية ، والدارة فوق متخامدة (Over damped) والحل يأخذ الشكل :

$$i(t) = A1e^{S_1 t} - A2e^{S_2 t} \quad \text{.....(21)}$$

- **الحالة الثالثة** :إذا كانت $\propto < w_0$ الجذور عقدية (Complex) ونقول إن الدارة غير متخامدة (Under damped) . والجذور هي :

$$S_{1,2} = -\propto \pm jw_r$$

حيث w_r هي تردد (ringing frequency) .أو تردد الطنين المتخامد و $wr = \sqrt{w_0^2 - \propto^2}$ والحل يأخذ الشكل :

$$i(t) = e^{-\propto t}(A_1 \cos w_r t + A_2 \sin w_r t) \quad \text{.....(22)}$$

والذي سيتخامد أو يتناقص بشكل جيبي .

الثوابت A_2, A_1 تحسب من الشروط الأولية للدارة . النسبة $\delta = \frac{\propto}{w_0}$ المعروف عامل التخامد أو نسبة التخامد (damping ratio) دارات إلكترونيات القدرة الكهربائية هي عموماً متخامدة وتيار الدارة يصبح شبه جيبي مسبباً ظهور توتر متناوب ينطفئ بسبب العنصر نصف الناقل .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق رقم /٢/

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تذكرة عن الأنظمة العابرة Reppels sur les Regimes Transitoires

عند تطوير أو تعديل حالة أو وضعية أي دارة (تطبيق توتر ، فتح الدارة ، إغلاق الدارة ، تغيير حالة نصف الناقل) المتحول χ سوف يعطى نتيجة حل المعادلة التفاضلية لهذه الدارة ، هذا الحل عادةً يعبر عنه كمجموع حلين :

- الحال العام للمعادلة (homogene) المتجانسة مع جزء ثاني معدوم .

وهو يعطي الحالة الحرة x_l للدارة (regime Libre) ، وهو دائماً ، وعملياً تابع متخامد بسبب وجود مقاومات في الدارة .

- والحل الخاص للمعادلة (Solution Particuliere) مع جزء ثاني غير معدوم .

هذا يعطي المركبة العشرية xf (regime force) والذي يفرضه على الدارة الخلل أو الخطأ الحاصل (حالة عدم الاستقرار) .

- الحل العام يسبب ظهور عدد من ثوابت التكامل (Constantes d integration) مساوٍ لرتبة المعادلة التفاضلية ، وقيم هذه الثوابت يحدد من الشروط التالية :

- بعض القيم لا تستطيع أن تتعرض لانقطاع (عدم استمرار) ،مثل حالة تيار في حثية أو التوتر على طرفي المكثف .
- معادلة الدارة الموضوعة بعد الخلل يجب أن تكون سليمة وموافقة للدارة التي وضعت من أجلها ، وبشكل خاص ، اللحظات الأولى القصيرة بعد حدوث الخلل ، أو حالة عدم الاستقرار .

مثال حالة معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى :

بفرض x هو المتحول (Variable) .

x_0 القيمة اللحظية عند اللحظة t=0 من بدء العطل أو الخلل (عدم الاستقرار) .

x_{f0} قيمة المركبة القسرية عند الزمن t=0 .

المعادلة التفاضلية من الشكل العام :

$$a\frac{dx}{dt} + bx = f(t) \quad \text{.....(1)}$$

$$x = (x_0 - x_{f_0})e^{-\frac{b}{a}t} + x_f \quad \text{.....(2)}$$

$\tau = \frac{a}{b}$ ثابت زمن الدارة . وفي حالة دارة مكونة من L,R المعادلة التفاضلية تأخذ الشكل :

$$L\frac{di}{dt} + Ri = F(t)$$

$$i = (i_0 - i_{f_0})e^{-\frac{R}{L}t} + i_f \quad \text{.....(3)}$$

وفي دارة مكونة من C,R لدينا :

$$Ri + u = f(t)$$

بما أن $i = C\frac{du}{dt}$ نجد :

$$Rc\frac{du}{dt} + u = f(t)$$

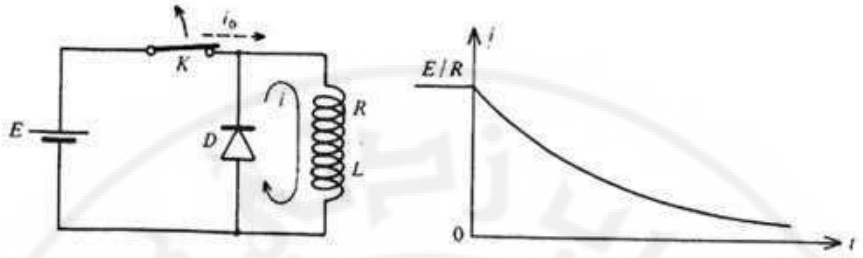
$$u = (u_0 - u_{f_0})e^{-\frac{t}{Rc}} + u_f \quad \text{.....(4)}$$

معادلات من الدرجة الأولى ، مثال تطبيقي :

١ - تفريغ ملف ومقاومة عبر ديود (حالة عابرة غير دورية) :

في الشكل (1) عند كون القاطع K مغلقاً ، من أجل t<0 يكون الديود في حالة حجز لأن التوتر على طرفيه يساوي E- . التيار الدائم الذي كان ماراً في الدارة يساوي $i_0 = \frac{E}{R}$ ، عند فتح القاطع K والتيار i يرغب بأن ينقطع أو ينتهي ، وإذا انعدم هذا التيار المار في R,L لحظياً فإن القيمة $L\frac{di}{dt}$ ستصبح مساوية ∞- .

وهذه هي مشكلة فتح القاطع في دارة تحريضية .



شكل (1) تفريغ ملف عبر ديود ومقاومة

وجود الديود على طرفي الحمل يسمح للتيار i أن يتخامد أو ينطفئ كفاقد في المقاومة R أي تسريب القدرة $\frac{1}{2}Li_0^2$ المخزنة في الملف ، لأن الديود D يقصر الدارة R,L بدءاً من اللحظة t=0 لحظة فتح القاطع K لدينا :

$$Ri + L\frac{di}{dt} = 0 \qquad i = i_0 e^{-\frac{R}{L}t}$$

الديود D ، بوضعه هذا ، يعوض وبشكل مفيد إضافة مقاومة تفريغ على طرفي الحمل لتجنب ارتفاع التوتر لحظة فتح الدارة التحريضية .

٢ - تغذية ملف تحريضي بتوتر متناوب عبر ديود (حالة عابرة دورية) :

عند حجز الديود D ، التيار i معدوم ، التوتر على الديود U_D يساوي توتر المنبع ، وتستمر حالة عدم التوصيل طالما أن توتر المنبع سالباً (V=Vm sinwt) .

عند الزمن t=0 ، يصبح التوتر V موجباً ، وينتقل الديود للتوصيل . بدءاً من تلك اللحظة لدينا :

$$L\frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin wt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

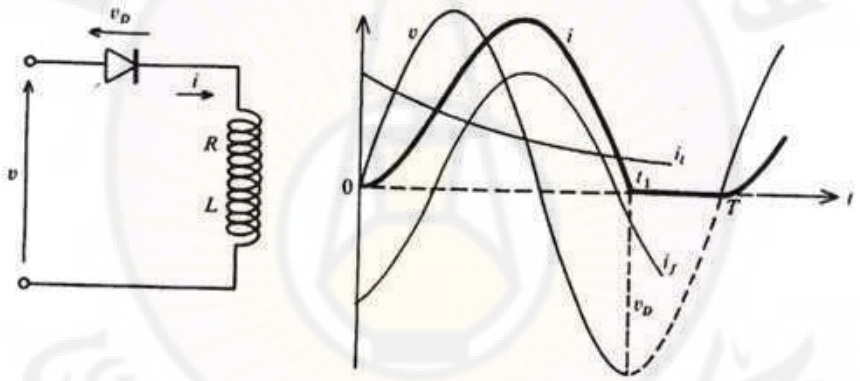
إذاً :

$$i = i_f + i_t = \frac{V_m}{Z}[\sin(wt - \varphi) + \sin\varphi e^{-\frac{R}{L}t}] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

حيث :

$$\varphi = arc\ tg\frac{Lw}{R}\ \ ,Z = \sqrt{R^2 + L^2 w^2}\ \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

يتوقف توصيل الديود عند اللحظة $t=t_1$ حيث ينعدم التيار i .



شكل (2) تيار الديود كتابع لثوابت الحمل

قيمة الزمن t_1 تعطى بالعلاقة :

$$\sin(wt_1 - \varphi) = -\sin\varphi e^{-\frac{R}{L}t_1}\ \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

قيمة الزمن t_1 أكبر من نصف الدور T/2 ويقترب من الدور T كلما كبرت قيمة الثابت L/R .

خلال الزمن $t=t_1$، $t=T$ الديود D سيكون في حالة حجز .

$V_D=V$ $\quad i=0$

- يقف الديود عن التوصيل عند انعدام التيار i ورغبته للانتقال لقيمة سالبة ، أي بدءاً من $t = t_1$ حيث : $\sin wt_1 = Rcw \cos wt_1$.
- خلال الفترة (t_1) إلى $(T+t_0)$ يفرغ المكثف نفسه عبر المقاومة R ويصل التوتر u للقيمة $(u)_{t0}$ من أجل $t = T+t_0$.

ملاحظات :

a) القيم $\frac{u}{V_m}$ و $i/(V_m / R)$ تعتمد فقط على Rcw . نحسب أولاً wt_1 من العلاقة :

$$wt_1 = arctg(-Rcw)$$

ومنه $(u)_{t_1} = V_m \sin wt_1$ وبعدئذ نحسب wt_0 من العلاقة :

$$V_m \sin wt_0 = V_m \sin wt_1 \, e^{(\frac{2\pi + wt_0 - wt_1}{Rcw})}$$

b) إذا كانت القيمة Rcw مهماة (صغيرة) $R >> \frac{1}{cw}$ عندئذ $wt_1 \approx \pi \, , wt_0 \approx 0$.

التوتر u يساوي التوتر V خلال الدور الموجب ، ومعدوم خلال الدور السالب ، قيمته المتوسطة $\frac{V_m}{\pi}$.

c) إذا كانت القيمة Rcw كبيرة جداً . $R << \frac{1}{cw}$ عندئذ wt_0, wt_1 تقترب من $\frac{\pi}{2}$.

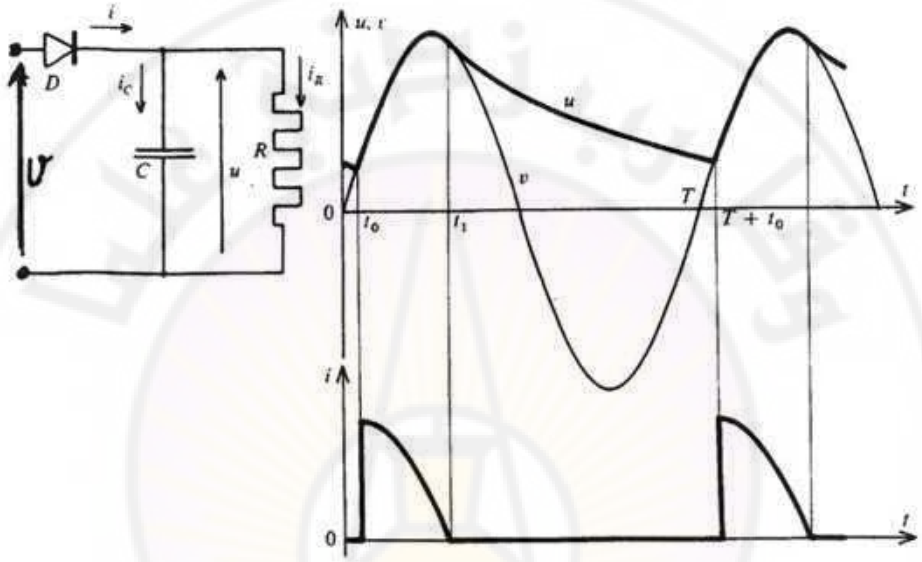
التوتر u ، التوتر V_m ، والمنبع يقدم الاستطاعة $\frac{V_m^2}{R}$ خلال الفترة t_0 والفترة t_1 تكون قصيرة جداً .

- كلما زادت سعة المكثف C ، كلما صغرت تعرجات التوتر u . القيم المتوسطة للتوتر Uc ترتفع وفترات الشحن تنقص أي أن مطال نبضات التيار i المقدم من المنبع تكبر وتزداد كبراً .

٥- تغذية مكثف ومقاومة موصلين على التفرع بتوتر متناوب عبر ديود ومقاومة تسلسلية :

كي نحد من ارتفاع تيار المنبع المفاجئ والذي سيمر عبر الديود ، غالباً نضيف ممانعة تسلسلية ذات مقاومة داخلية R' . شكل (5) .

٤ – تغذية مكثف ومقاومة موصلين على التفرع بتوتر متناوب عبر ديود :



شكل (4) تغذية مكثف ومقاومة على التفرع عبر ديود

يشكل المكثف C مرشح للتوتر المطبق على المقاومة R . طالما أن تـوتر المنبـع V أصغر من التوتر على طرفي المكثف u ، الديود D يكون محجوزاً ، ينتقل للتوصـيل بدءاً من اللحظة $t = t_0$ حيث التوتر V يصبح أكبر من u . $V_m \sin wt_0 = (u)t_0$

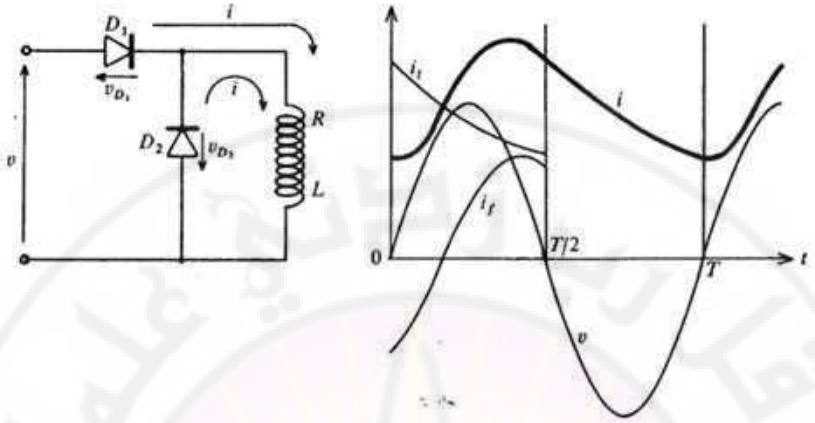
من أجل : $t > t_0$ لدينا :

$$u = V = V_m \sin wt \quad \text{.....(11)}$$

$$i_R = \frac{u}{R} = \frac{V_m}{R} \sin wt \quad \text{.....(12)}$$

$$i_C = C\frac{du}{dt} = CwV_m \cos wt \quad \text{.....(13)}$$

$$i = V_m\left(\frac{\sin wt}{R} + Cw\cos wt\right) \quad \text{.....(14)}$$



شكل (3) تغذية ملف عبر ديود مع وجود ديود حر

- من أجل $\frac{T}{2} < t < T$ ، التوتر V سالب القيمة ، الديود D2 موصل (توصيل الديود D_2 يجعل التوتر على الديود D_1 $V_{D1}=V$) .

الحمل يبدو مقصوراً عبر الديود D_2 (الديود الحر) وعليه فإن :

$$L\frac{di}{dt} + Ri = 0$$

$$i = i_{\frac{T}{2}} e^{-\frac{R}{L}(t-\frac{T}{2})}$$

- عند نهاية الدور على التيار i أن يأخذ القيمة i_0 .

$$i_0 = i_{\frac{T}{2}} e^{-\frac{RT}{L2}} = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi e^{-\frac{RT}{L2}} + (i_0 + \frac{V_m}{Z}\sin\varphi)e^{-\frac{R}{L}T}$$

حيث :

$$i_0 = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi \frac{e^{-\frac{RT}{L2}} + e^{-\frac{R}{L}T}}{1 - e^{-\frac{R}{L}T}} \quad \text{.....(9)}$$

$$i_{\frac{T}{2}} = \frac{V_m}{Z}\sin\varphi \frac{1 + e^{-\frac{RT}{L2}}}{1 - e^{-\frac{R}{L}T}} \quad \text{.....(10)}$$

- عند اللحظة $t=t_1$ نلاحظ ظهور توتر مفاجئ على الديود ، وعليه يمكن استخدام مثل هذا التركيب للحصول على توتر نبضي ، حيث التوتر V_D على الديود يؤخذ كتوتر خرج .
- إذا كانت القيمة $\frac{Lw}{R}$ قريبة من الصفر (حمل أومي صرف) الزمن t_1 يساوي عندئذ نصف الدور T/2 . والتيار $i=\frac{V_m}{R}\sin wt$ من أجل $0<t<\frac{T}{2}$ ويساوي الصفر لباقي الدور $\frac{T}{2}<t<T$ وهو عبارة عن موجة جيبية موجبة كل دور .
- إذا كانت القيمة $\frac{Lw}{R}$ كبيرة جداً وتساوي اللانهاية (حمل تحريضي صرف) الزمن t_1 يساوي عندئذ الدور T والتيار i يأخذ القيمة :

من أجل $0<t<T$ $\qquad i=\frac{V_m}{Lw}(1-\cos wt)$

التيار مكون من مركبة ثابتة ومركبة جيبية ولا ينعدم إلا عند t=0 .

٣- تغذية ملف تحريضي بتوتر متناوب عبر ديود مع ديود حر :

المثال السابق يظهر عملية التقويم لتوتر متناوب جيبي وحيد الطور وحمل مكون من L,R . لإنقاص تعرجات التيار (Ondulstion du Courant) المقوم المقدم للحمل وحذف حالة انعدام التيار في الحمل ، يمكن إضافة ديود على التفرع مع الحمل ، وهو ديود عودة للتيار (Retour) أو ما يطلق عليه (Libre Circulation) أو (Free wheeling) شكل (3) .

الشكل (3) يبين الدارة المستخدمة وأشكال التوتر و التيار المتوقع مروره في الدارة .

في اللحظة t = t0 حيث يصبح التوتر v أكبر من توتر الحمل (المكثف) u ينتقل الديود للتوصيل $V_m \sin wt_0 = (u)_{t0}$.

بدءاً من اللحظة $t = t_0$ التيار القادم من المنبع يساوي : $i = i_R + i_C$ حيث :

$$i = \frac{u}{R} + C\frac{du}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(15)$$

بتعويض ذلك في العلاقة : $V = R'i + u$

نجد :

$$V = R'(\frac{u}{R} + C\frac{du}{dt}) + u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(16)$$

ومنه المعادلة التفاضلية التالية :

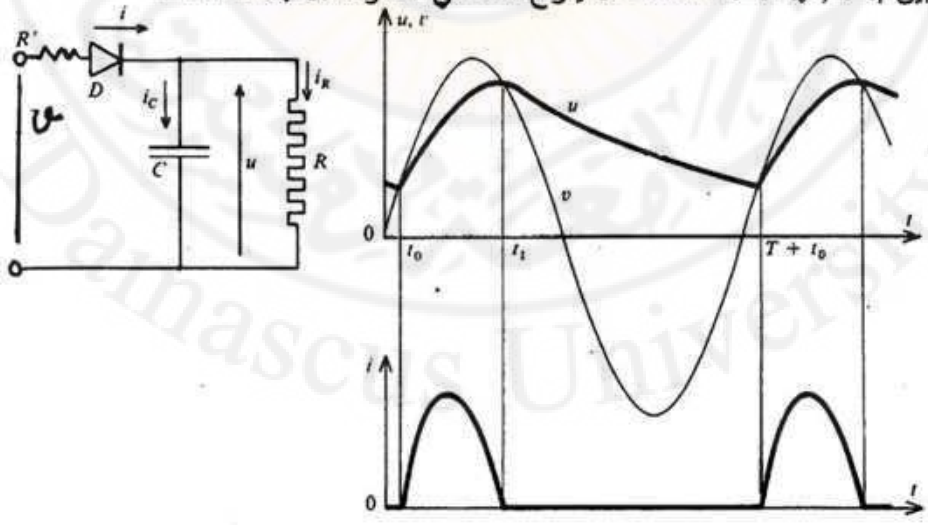
$$R'C\frac{du}{dt} + u(1 + \frac{R'}{R}) = V_m \sin wt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

هذه المعادلة نستخلص منها المتحولات u, u_ℓ, u_j ومختلف التيارات .

عند اللحظة t_0 =t ، التيار i ، المعطى بالعلاقة $(V-u)/R'$ ، لا يتعرض لعدم استمرار لأن التوترات V,u لا تتعرض لذلك .

توصيل الديود D يتوقف عند اللحظة $t=t_1$ حيث انعدم التيار i .

بين $t=t_1$, $t=T+t_0$ ، المكثف C يفرغ نفسه في المقاومة R تبعاً للعلاقة :



شكل (5) تغذية مكثف ومقاومة على التفرع عبر ديود ومقاومة تسلسلية

$$u = (u)_{t_1} e^{-(\frac{t-t_1}{Rc})} \quad \text{.....(18)}$$

والتوتر u يصل القيمة $(u)_{t_0}$ عند اللحظة $t=T+t_0$ مما يسمح لنا بتحديد هذه القيمة .

ملاحظات :

a. إذا استبدلنا المقاومة R' بممانعة L ، شحن المكثف عندئذ سوف يتبع معادلة تفاضلية من الرتبة الثانية .

$$V = L\frac{di}{dt} + u \quad \text{.....(19)}$$

حيث $$i = \frac{u}{R} + C\frac{du}{dt}$$

وهذا يعطي :

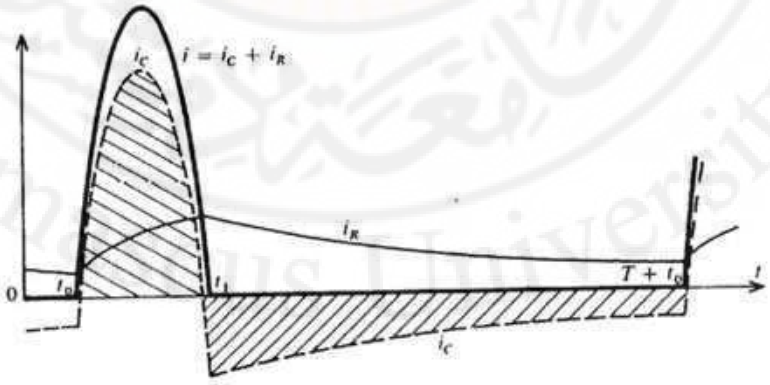
$$LC\frac{d2u}{dt} + \frac{L}{R}\frac{du}{dt} + u = V_m \sin wt \quad \text{.....(20)}$$

b. كلما كانت الفترة الزمنية للشحن t_0-t_1 قصيرة ، كلما كان التيار i ذي قيم أكثر حدة بالمقارنة مع التيار i_R (انظر الشكل (6))

في الحقيقة : $i_R = \frac{u}{R}$ كل فترة الدور

$i_C = \frac{-u}{R}$ خلال فترة حجز الديود .

i_C له قيمة متوسطة معدومة ، المساحات المهشرة متساوية .



شكل (6) تيار المنبع النبضي لدى زيادة قيمة المقاومة

٦- دوائر ذات معادلة تفاضلية من الرتبة الثانية :

- إذا كانت χ المتحول ، المعادلة العامة لها الشكل :

$$a\frac{d2x}{dt^2}+b\frac{dx}{dt}+cx=f(t)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(21)$$

الجزء الموافق للحالة الحرة (Regime libre) هو

$$x_r = A_1e^{r_1t} + A_2e^{r_2t}$$

حيث A_2,A_1 ثوابت يمكن استخلاصها من الشروط الأولية .

r_2,r_1 جذور المعادلة الخاصة $(ar^2+br+c=0)$.

$$\begin{matrix} r_1 \\ r_2 \end{matrix} = -\frac{b}{2a} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4a^2}-\frac{c}{a}}$$

وعادةً نفرض أن $\beta_0 = \sqrt{\frac{c}{a}}$ ، $\propto = \frac{b}{2a}$,

$\propto$ تمثل عامل التخامد ، β_0 (pseud0-pulsation) الطنين إذا كانت $\propto$ معدومة .

تبعاً لقيم $\propto$ وβ_0 ، تختلف طبيعة الثوابت r_2,r_1 ، يكفي الإشارة لثلاث حالات :

$\propto > \beta_0$ ، حالة تخامد قوي

- الجذور حقيقية .
- حالة حرة غير دورية متخامدة .

$\propto = \beta_0$ ، حالة تخامد حرج :

- الجذور مضاعفة .
- حالة حرة غير دورية متخامدة .

$\propto < \beta_0$ ، حالة تخامد ضعيفة

- الجذور عقدية .
- حالة حرة طنين دوري pseudo periodiqu

لكل حالة ، يوجد طريقة لتمثيل x_r تسهل حساب ثوابت التكامل .

- نستنتج الثوابت من حقيقة أنه إذا كانت f(t) ذي قيمة محددة منتهية عندئذ x , $\frac{dx}{dt}$ لا يمكن أن يحدث لها حالة عدم استمرار .

ونرمز للمتحولات بالشكل :

x_0 قيمة x عند t=0 .

x'_0 قيمة $\frac{dx}{dt}$ عند t=0 .

x_{f_0} قيمة x_f عند t=0 .

x'_{f_0} قيمة $\frac{dx_f}{dt}$ عند t=0.

وتحدد ثوابت التكامل بدءاً من هذه القيم الأربعة

$\underline{\alpha > \beta_0}$

$$x = x_f + A_1 e^{r_1 t} + A_2 e^{r_2 t}$$

avec

$$r_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$

$$r_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \beta_0^2}$$

$$A_1 = \frac{r_2(x_0 - x_{f_0}) - (x'_0 - x'_{f_0})}{r_2 - r_1}$$

$$A_2 = \frac{r_1(x_0 - x_{f_0}) - (x'_0 - x'_{f_0})}{r_2 - r_1}$$

$\underline{\alpha = \beta_0}$

$$x = x_f + e^{\alpha t} \ (A_1 + A_2 t)$$

avec

$$A_1 = (x_0 - x_{f_0})$$

$$A_2 = (x'_0 - x'_{f_0}) + \alpha(x_0 - x_{f_0})$$

$\underline{\alpha < \beta_0}$

$$x = x_f + A e^{\alpha t} \sin(\beta t + y)$$

ou

$$x = x_f + e^{\alpha t}(A'_1 \cos \beta t + A'_2 \sin \beta t)$$

avec

$$\beta = \sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2}$$

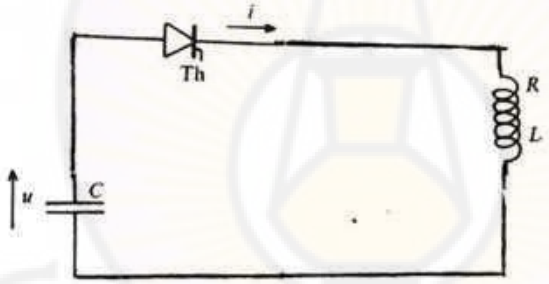
$$A_1' = (x_0 - x_{f_0})$$

$$A_2' = \frac{(x_0' - x_{f_0}') + \alpha(x_0 - x_{f_0})}{\beta}$$

٧- أمثلة على معادلات من الدرجة الثانية :

٧-١ تفريغ مكثف في دارة L,R عبر ثيرستور :

في الشكل (7) التوتر على طرفي المكثف ، أو على طرفي الثيرستور كونه في حالة الحجز ذي قيمة موجبة u0 . عند اللحظة t=0 نرسل نبضة قدح للثيرستور th



شكل (7) تفريغ مكثف عبر ملف ومقاومة

بدءاً من الزمن t=0 لدينا :

$$u = Ri + L\frac{di}{dt}$$

حيث :

$$i = c\frac{du}{dt}$$

وعليه فإن التوتر u يمكن التعبير عنه بالمعادلة التفاضلية :

$$LC\frac{d2u}{dt}+RC\frac{du}{dt}+u=0$$

حيث لدينا a=LC , b=RC , C=1

$$\propto=\frac{R}{2L} \quad , \quad \beta_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

لإيجاد ثوابت التكامل لدينا :

$u_F=0$ و $u_0\neq0$ وعليه فإن $u_{f0}=0$

$$u'_{F_0}=0 \quad \text{وعليه فإن} \quad u'_F=0 \quad ,u'_0=\frac{i_0}{c}=0$$

سنعمل على دراسة الأنواع الثلاثة الممكنة للنظام الحر بالتتابع :

أ- **حالة $\propto>\beta_0$:**

$$u=A_1e^{r_1t}+A_2e^{r_2t}$$

$$r_1=-\propto+\sqrt{\propto^2-\beta_0^2}<0$$

$$r_2=-\propto-\sqrt{\propto^2-\beta_0^2}<0$$

$$(r_1-r_2)>0 \ et|r_2|>|r_1|$$

$$A_1=\frac{r_2u_0}{r_2-r_1}>0$$

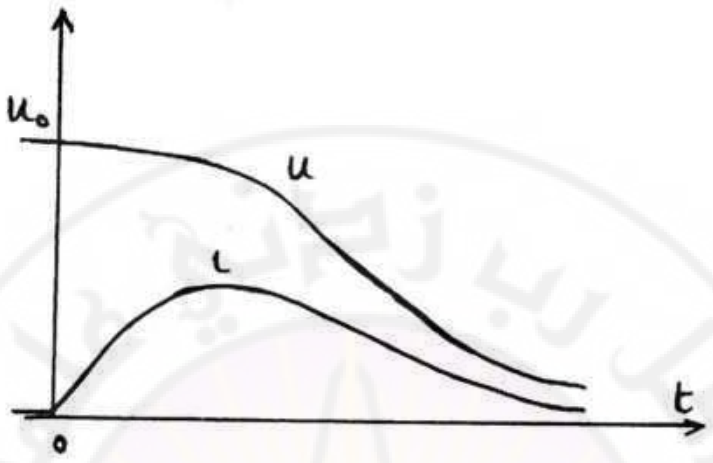
$$A_2=\frac{r_1u_0}{r_1-r_2}<0 \qquad (|A_1|>|A_2|$$

ومنه يمكن أن نحصل عل شكل موجة التوتر u في الشكل (8) ومعادلة التيار من الشكل:

$$i=-c\frac{du}{dt}=-cA_1r_1e^{r_1t}-CA_2r_2e^{r_2t}$$

$$=cu_0\frac{r_1r_2}{r_1-r_2}(e^{r_1t}-e^{r_2t})$$

بما أن e^{r_1t} دائماً أكبر من e^{r_2t} ما عدا عند الزمن t=0 ، فإن التيار i ينطلق من الصفر ويبقى دائماً موجباً . عملية استمرار th تؤمن التفريغ الكامل للمكثف .



شكل (8) توتر وتيار التفريغ

ب- **حالة $\alpha = \beta_0$:**

$$u = e^{-\alpha t}(A_1 + A_2 t)$$

مع $A_1 = u_0$, $A_2 = \alpha u_0$

$$u = u_0 e^{-\alpha t}(1 + \alpha t)$$

$$i = -c\frac{du}{dt} = -cu_0 e^{-\alpha t}(-\alpha - \alpha^2 t + \alpha)$$

$$i = Cu_0 \alpha^2 t e^{-\alpha t}$$

التيار i دائماً موجب ، تيار تفريغ ، وكأن زمن التفريغ نظرياً لا متناهي .

ت- **حالة $\alpha < \beta_0$**

$$u = e^{-\alpha t}(A_1' \cos \beta t + A_2' \sin \beta t)$$

$$\beta = \sqrt{\beta_0^2 - \alpha^2}$$

$$A_1' = u_0 \qquad , A_2' = \frac{\alpha}{\beta} u_0$$

$$u = u_0 e^{-\alpha t}(\cos \beta t + \frac{\alpha}{\beta} u_0 \sin \beta t)$$

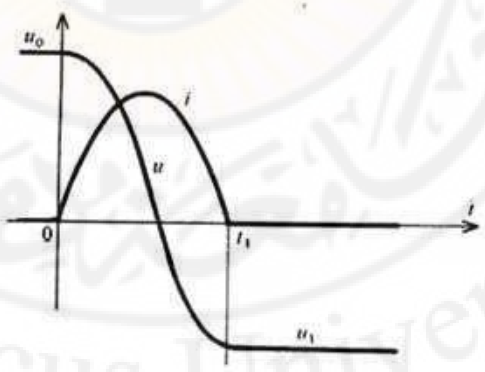
التيار i ويعطى بالعلاقة :

$$i = -c\frac{du}{dt} = -cu_0(-\beta \sin \beta t + \propto \cos \beta t - \propto \cos \beta t - \frac{\propto^2}{\beta} \sin \beta e)e^{-\propto t}$$

$$i = c\frac{\beta_0^2}{\beta} u_0 e^{-\propto t} \sin \beta t$$

التيار i ينطلق من الصفر عند $t=0$ وينعدم مرة ثانية عند الزمن $t_1 = \frac{\pi}{\beta}$. بدءاً من اللحظة $t=t_1$ شكل (9) . الثيرستور يكون في حالة الحجز ، والتوتر على طرفي المكثف يأخذ قطبية توتر معاكسة وثابتة وهنا سالبة . وهذه الظاهرة هي التي تستخدم في المعرجات لعكس قطبية المكثفات واستخدام المكثفات عمليات الفصل القسري للثيرستور. ومعادلة توتر المكثف من الشكل :

$$u_1 = -u_0 e^{-\frac{\propto \pi}{\beta}}$$



شكل (9) توتر وتيار تفريغ المكثف

الملحق رقم /٣/

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تبريد الثيرستور

تبريد أنصاف النواقل :

مردود الثيرستور ، أو الترانزستور ينخفض بشكل كبير كلما ارتفعت درجة حرارة الوصلات الداخلية للثيرستور ، وبشكل تقريبي يمكن القول أن ثيرستور ذي تيار إسمي 100A يتحمل هذا التيار طالما أن حرارة الوصلات الداخلية أقل من (90-95°) درجة ، لكن عند ارتفاع حرارة الوصلات لقيم أكبر ، لا يستطيع هذا الثيرستور تمرير التيار الاسمي 100A وقد لا يستطيع تمرير تيار أكبر من 50A ، وكلما زادت درجة الحرارة كلما نقص التيار الذي يمكن تمريره . لذا فإن عملية التبريد مسألة أساسية لاستمرار عمل الثيرستور أو الترانزستور . ويجب العمل بشتى الوسائل لعدم ارتفاع حرارة نصف الناقل .

أسباب ارتفاع حرارة أنصاف النواقل هي :

١- المفاقيد خلال مرحلة التوصيل ، وهو يكافئ جداء هبوط التوتر المباشر بتيار التوصيل . وهو السبب الرئيسي في حصول المفاقيد وذلك سواء عند التردد الصناعي الاسمي أو تردد عمل أقل .

٢- مفاقيد ناجمة عن تيار التسريب الناشئ في حالة الحجز .

٣- المفاقيد في بوابة الثيرستور ، عملياً قدح الثيرستور بنبضات قدح تجعل هذا الفاقد مهملاً .

٤- المفاقيد خلال عمليات الفصل والوصل (Commutation) . هذا الفاقد يزداد كلما ازداد تردد العمل ويصل للقيم العظمى عند تردد عمل بحدود (1kHz) .

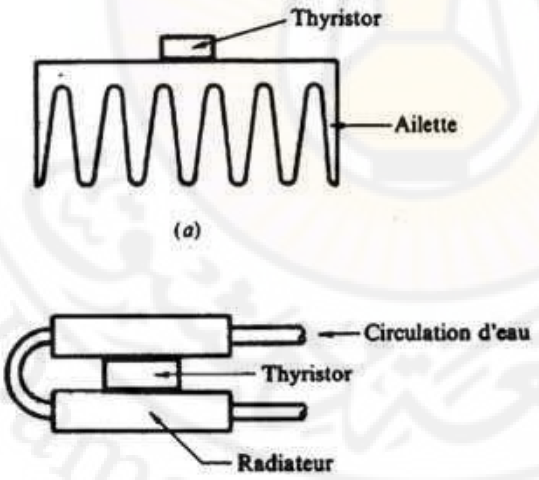
المفاقيد تولد الحرارة وترفع حرارة العنصر حتى يحدث التوازن بين الحرارة المولدة والحرارة المبددة . الحرارة المولدة في منطقة التوصيل (طبقات الثيرستور المختلفة) (Janction) ، تنتقل للغلاف الخارجي (boitier) ، ثم تنتقل للمشع (Radiateur or heat-sink) تبريد الحرارة بالإشعاع (rayonnement) ضعيف ، بسبب عدم السماح للغلاف برفع حرارته . لذا فإن الحرارة تبرد بشكل رئيسي عن طريق المبرد الموصلة إلى الغلاف والهواء المحيط بالغلاف ينقل الحرارة المشعة من

سطح المبرد ، ذي الشفرات العديدة شكل (1) وإذا كانت كمية الحرارة المشعة بالهواء العادي غير كافية يمكن استخدام تيارات هوائية قسرية ، كما يمكن استخدام الماء النقي للتبريد .

تنتقل الحرارة من المنطقة الحارة إلى المنطقة الأقل حرارة ، الاستطاعة الحرارية P المنقولة تتناسب طرداً مع الفرق بين درجتي الحرارة للمنطقتين وعكساً مع المقاومة الحرارية R . وعليه نجد :

$$P = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

حيث T_1, T_2 درجة الحرارة لكل منطقة ، يعبر عن الاستطاعة المنقولة بالوات ، ودرجة الحرارة بالدرجات (C°) ولمقاومة الحرارية بـ (C°/w) .



a) Radiateur à refroidissement par air. *b*) Radiateur à refroidissement par eau.

شكل (1) مشع يبرد بالهواء ومشع يبرد بالماء

وعليه فإن حرارة الوصلات تنتقل للهواء المحيط عبر الغلاف المعدني للعنصر وعبر المشع . والمقاومة الحرارية الكلية هي مجموع المقاومات الحرارية التسلسلية لكل جزء من الأجزاء المستخدمة . وعليه فإن المقاومة الحرارية الكلية من الوصلة حتى الهواء المحيط تساوي :

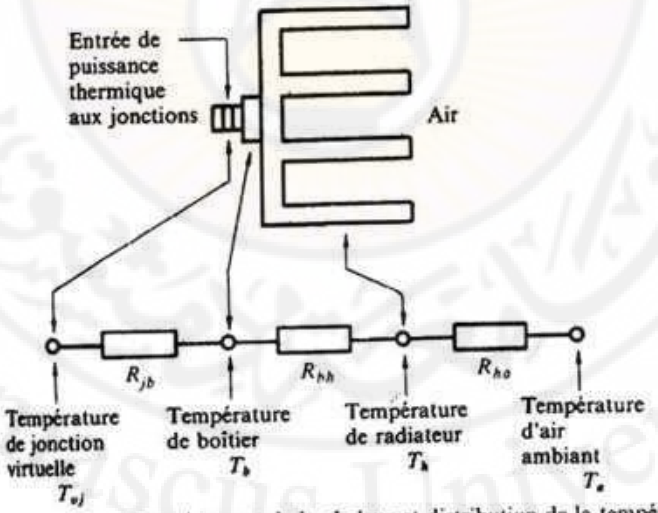
$$R_{ja} = R_{jb} + R_{bh} + R_{ha}$$

حيث R_{ha}, R_{bh}, R_{jb} هي المقاومات الحرارية بين الوصلة والغلاف ، بين الغلاف والمبرد ، بين المبرد والهواء . وبناءً عليه تعرف حرارة الوصلة بأنها تساوي :

$T_{rj} = T_a + PR_{ja}$.

Ta : درجة حرارة المحيط .

الشكل 1.23 يمثل الدارة المكافئة لعملية التبادل الحراري والتي يمكن عن طريقها معرفة الحرارة الحقيقية للوصلة .



Cheminement de la chaleur et distribution de la température.

شكل (2) آلية تسريب الحرارة وتوزعها

مثال :

لدينا في جسر تقويم ، هبوط التوتر الأمامي على الثيرستور $V_{th(on)}$=1.5V وذلك عند تيار مستمر دائم I_A=50A القيمة العظمى للمقاومة الحرارية بين الوصلة والغلاف R_{jb}=0.55 C°/w وبين الغلاف والمبرد R_{bh}=0.11 C°/w . إذا طلبنا عدم ارتفاع درجة حرارة الوصلة عن 120 C° وإذا كانت حرارة الجو المحيط 60 C° . حدد المقاومة الحرارية العظمى للمبرد هواء R_{ha} الممكن استخدامها .

الحل :

بما أن الثيرستور معرض لفتر توصيل طويلة ، يمكن اعتبار أنه من أجل أقصى تيار حمل 50 A فإن الحرارة المستقرة للوصلة هي 120 C° . وعليه فإن الاستطاعة المولدة عند الوصلة هي :

$$P = V_{th(ON)} I_A = 1.5 \times 50 = 75 watt$$

من العلاقة التقريبية :

$$R = \frac{\Delta T}{P}$$

$$R_{ja} = \frac{(T_j - T_A)}{P} = \frac{(120-60)}{75} = 0.8 C°/w$$

نعلم أن :

$$R_{ja} = R_{jh} + R_{hh} + R_{ha}$$

وعليه :

$$R_{ha} = R_{jh} + R_{jh} + R_{hh}$$

$$R_{ha} = 0.8 - 0.55 - 0.11 = 0.14 C°/w$$

حجم ونوعية المبرد يمكن أن تحدد تبعاً للمقاومة الحرارية المطلوبة بالعودة للمواصفات العامة للمبردات .

والجدول التالي /1/ يعطي المقاومة الحرارية لبعض نماذج المبردات والتي تعطى من الشركات الصانعة ، مع اشكال هذه المبردات .

وباستخدام علاقة ستيفان بولنترمان (Stefan-Bolt2mann) يمكن أن تساهم في حساب مساحة سطح المبرد وأبعاده .

نقل الحرارة بالإشعاع حسب العلاقة :

$$P_{rad} = 5.7 \times 10^{-8} E.A(T_s^4 - T_a^4)$$

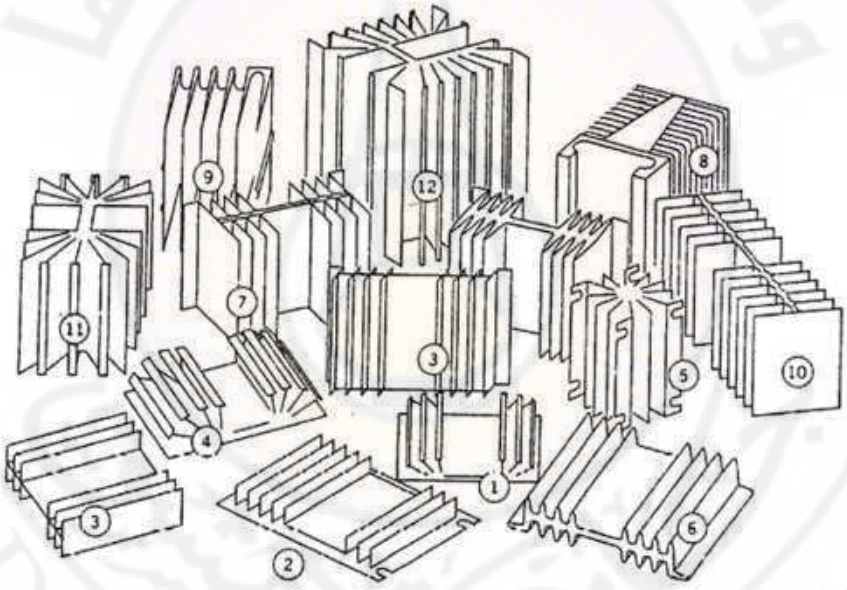
حيث : P_{rad} : الاستطاعة المشعة بالوات .

E : استطاعة السطح (Emissivity) وهي تساوي 0.9 من أجل الألمنيوم المدهون بالأسود (Polished aluminum) . ويمكن أن تصل E لقيم حتى (0.05) .

T_s : حرارة سطح المبرد بالكالفن (K) .

T_a : حرارة المحيط الخارجي .

A : السطح الخارجي للمبرد بالمتر المربع .



Heat sink no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R_{\theta sa}$ (°C/W)	3.2	2.3	2.2	0	2.1	1.7	1.3	1.3	1.25	1.2	0.8	0.65
Vol. (cm^3)	76	99	181	0	198	298	435	675	608	634	695	1311

A selection of available heat sinks.

جدول (1) المقاومة الحرارية لبعض نماذج المبردات مع حجم المبرد وشكله

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق رقم /٤/

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تذكير بالقيم الدورية غير الجيبية :

١- <u>قيم متحول دوري غير جيبي :</u>

عادةً ، نوصف متحول دوري بقيمته الفعالة (efficace) ، وهي الجذر التربيعي لمربع القيمة الوسطى . إذا كان لدينا مثلاً تيار حيث : $i = f(t) = f(t+T)$.

القيمة الفعالة لهذا التيار تعطى بالعلاقة :

$$I = \sqrt{(i)^2 av} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt}$$

نستخدم أيضاً تعبير القيمة المتوسطة بالعلاقة : :

$$i_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T i dt$$

ونستخدم تعبير القيمة المتوسطة المقومة :

$$\bar{i}_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T |i| dt$$

كما نستخدم تعبير القيم العظمى .

للتعبير عن عامل الشكل لتوتر ما أو تيار ما (Facteur de forme) ، نعبر عنه بالنسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة المقومة وعليه فإن عامل الشكل للتيار هو :

$$f_F = \frac{I}{\bar{i}_{av}}$$

في أغلب التطبيقات القيمة الفعالة ذات أثر أكبر من القيمة المتوسطة ، فمثلاً بالنسبة لتيار غير جيبي كما في الشكل (1) نجد أن :

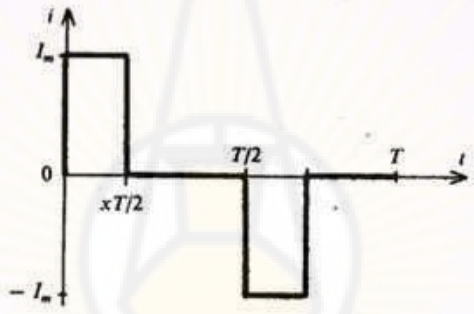
$$I = \sqrt{\frac{1}{T}(2x.\frac{T}{2})} = \sqrt{x} I_m$$

والقيمة المتوسطة :

$$\bar{i}_{av} = \frac{1}{T} I_m 2x.\frac{T}{2} = x I_m$$

أي أن عامل الشكل يساوي $f_f = \frac{1}{\sqrt{x}}$ وهو يتزايد كلما صغرت x .

$0<x<1$.



شكل (1) موجة تيار غير جيبي

٢ – الاستطاعة :

الاستطاعة المستجرة P من قبل حمل يمر به تيار i عند توتر على طرفيه قدره u ، تعادل القيمة المتوسطة للاستطاعة u.i و واحدتها بالوات W .

$$P = (u.i)_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T u.i.dt \qquad (watt) .$$

وهنا يجب أن نميز هذه الاستطاعة بالوات عن الاستطاعة الظاهرية S ، والتي تمثل جداء القيم الفعالة للتوتر والتيار وواحدتها بالفولت أمبير (V.A) S=U.I .

عامل الاستطاعة هو حاصل قسمة الاستطاعة بالوات على الاستطتعة الظاهرية بالفولت أمبير .

$$f = \frac{P}{S}$$

وعادةً لا توجد علاقة بسيطة بين عامل الاستطاعة f وتجيب الزاوية إلا في الأمـــواج الجيبية . وقيم عامل الاستطاعة أقل من الواحد دائماً ، بسبب الفرق بين أشكال الأمواج للتيار والتوتر ، وبسبب الإزاحة بين هذه الأمواج .

في حالة وجود توتر جيبي يقدم تيار على شكل موجة مربعة شكل (2) نجد :

$$u = V_m \sin wt$$

من أجل : $\frac{\pi}{2} + \propto - x\frac{\pi}{2} \langle wt \langle \frac{\pi}{2} + \propto + x\frac{\pi}{2}$ التيار $i = I_m$.

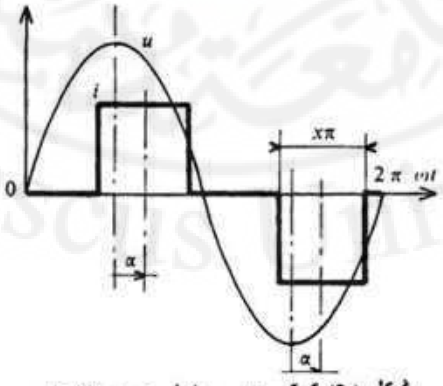
ومن أجل $\frac{3\pi}{2} + \propto - x\frac{\pi}{2} \langle wt \langle \frac{3\pi}{2} + \propto + x\frac{\pi}{2}$ التيار $i = I_m$.

وهذا التيار يساوي الصفر خلال باقي الدور . وعليه فإن القيمة الفعالة تساوي :

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad I = I_m\sqrt{x}$$

الاستطاعة الظاهرية تعطى بالشكل :

$$S = UI = U_m . I_m \sqrt{\frac{x}{2}}$$



شكل (2) توتر جيبي وتيار مربع الشكل

الاستطاعة P تساوي :

$$P=\frac{1}{2\pi}\left[\int_{\frac{\pi}{2}+\alpha-x\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}+\alpha+x\frac{\pi}{2}} U_m.I_m \sin wt\,dwt+\int_{\frac{3\pi}{2}+\alpha-x\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}+\alpha+x\frac{\pi}{2}} -U_m.I_m \sin wt\,dwt\right]$$

$$P=\frac{2U_mI_m}{\pi}\cos\alpha \sin x\frac{\pi}{2}$$

عامل الإستطاعة عندئذ يساوي :

$$f=\frac{2\sqrt{2}}{\pi\sqrt{x}}\cos\alpha \sin x\frac{\pi}{2}$$

إذا كانت $\alpha=0$ f=0.9 من أجل x=1

f=0.955 من أجل x=2/3

f=0.78 من أجل x=1/3

f=0.57 من أجل x=1/6

f تميل نحو القيمة صفر كلما قاربت x من الصفر ، ومن أجل x معطاة ، f تتناسب مع $\cos\alpha$.

٣- التوافقيات Harmonics

أشكال الأمواج لمعظم المقومات والمعرجات المستخدمة في إلكترونيات القدرة الكهربائية غير جيبية ، تحتوي على مركبات توافقية (مدروجات) سوف نتعرف على مختلف التوافقيات في الأمواج وأثر هذه الأمواج على المنبع والحمل وفي معظم التطبيقات نحتاج إلى تخفيف نسبة التوافقيات وتحسين أشكال الأمواج ، ونلجأ عندئذ لاستخدام المرشحات.

٣-١تحليل التوافقيات أو فورييه : Analyse Harmonique ou de fourier :

يمكن اعتبار أن كل الأمواج الدورية مكونة من تراكب موجة أو مركبة مستمرة Continue ، ومن مركبة جيبية صافية (أساسية fondamentale) ، ومن أمواج جيبية نقية من رتب مختلفة للتوتر الأساسي ندعوها التوافقيات (المدرجات Harmonique). الموجة غير الجيبية يطلق عليها موجة مركبة (Complexe) . وتعطى رياضياً بالشكل:

$$V = V_0 + V_1 \sin(wt + \varphi_1) + V_2 \sin(2wt + \varphi_2) + V_3 \sin(3wt + \varphi_3) + ...+ V_n \sin(nwt + \varphi_n) \quad .....(1)$$

في هذه المعادلة لدينا :

V : القيمة اللحظية للتوتر .

V_0 : القيمة المتوسطة أو المستمرة للتوتر .

V_1, V_2, V_3, V_n : مطال المركبات للتوترات من الرتبة الأولى ، الثانية ، الثالثة ، أو من المرتبة n .

φ : زاوية الإزاحة النسبية .

$w=2\pi f$: السرعة الزاوية (pulsation) و f : تردد الموجة الأساسية و $T=1/f$ الدور .

لتبسيط الأمور ، من الأفضل رياضياً التعبير عن المتحول بـ χ بدلاً من wt وللتابع بـ y عوضاً عن رمز التوتر أو التيار . وعليه نكتب :

$$y = f(\chi) = R_0 + R_1 \sin(\chi + \varphi_1) + R_2 \sin(2\chi + \varphi_2) + R_3 \sin(3\chi + \varphi_3) + ...+ R_n \sin(n\chi + \varphi_n) \quad .....(2)$$

كما يمكن أيضاً التعبير عن هذه المعادلة بالشكل :

$$y = f(\chi) = A + a_1 \sin\chi + a_2 \sin 2\chi + a_3 \sin 3\chi + ...+ a_n \sin n\chi + b_1 \cos\chi + b_2 \cos 2\chi + b_3 \cos 3\chi + ...+ b_n \cos n\chi \quad .....(3)$$

المعادلة (3) يطلق عليها سلسلة فوريه ، ولدى التعبير عن التابع $f(\chi)$ رياضياً يمكن الحصول على التعابير التالية للثوابت :

$$A = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\chi)\,d\chi \quad .....(4)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\chi)\sin n\chi\,d\chi \quad .....(5)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\chi)\cos n\chi\,d\chi \quad .....(6)$$

العلاقات (2),(3) متكافئة ويمكن أن نقول :

$$a_n \sin n\chi + b_n \cos n\chi = R_n \sin(n\chi + \varphi_n) \quad .....(7)$$

هذه المساواة تعطينا مطال التوافقيات ذات الرتبة (n) .

$$R_n = (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(8)}$$

والإزاحة :

$$\varphi_n = arc\tan\frac{b_n}{a_n} \quad \text{.....(9)}$$

العامل الثابت الموصف بالعلاقة (4) هو القيمة المتوسطة للتابع ، يعطي التوتر المستمر (المتوسط) لخرج جسر تقويم مثلاً .

من ملاحظة شكل الموجة يمكن استخلاص عدة نتائج تبسط العمليات الحسابية لأمواج معقدة نسبياً .

a- التناظر بالنسبة لمحور الزمن :

الموجة الموجبة مماثلة للموجة السالبة ، بإشارة معاكسة ، و إذا زلقت الأمواج على محور السينات ، نجد أو نحصل على تناظر بالنسبة للمحور (t) محور الزمن الشكل (3).

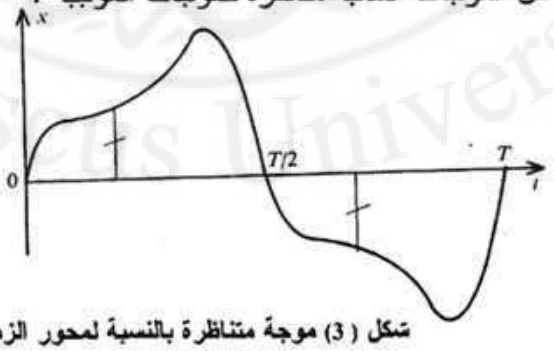
حيث :

$$f(\chi + \pi) = -f(\chi)$$

أو

$$\chi(t + \frac{T}{2}) = -\chi(t)$$

في هذه الحالة A=0 وفي هذه الحالة أيضاً لا توجد مركبات زوجية من الرتب (2,4,...8) كل الموجات السالبة مناظرة للموجات الموجبة :



شكل (3) موجة متناظرة بالنسبة لمحور الزمن

b- التناظر بالنسبة للصفر :

إذا أخذنا كمبدأ للزمن لحظة المرور بالصفر شكل (4)

$$\chi(t) = -\chi(-t)$$

أو

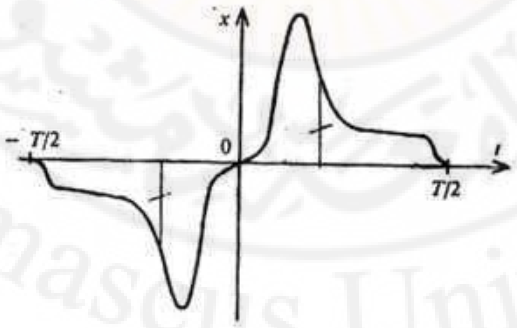
$$-f(\chi) = f(-\chi)$$

عندئذٍ $b_n=0$ أو أن كل المركبات المتعلقة بالتجيب (cosin ns) الزوجية معدومـــة و X_0 المركبة المستمرة معدومة .

وحساب العوامل التابعة لتابع الجيب يعطي :

$$a_n = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \chi \sin nwt\, dt$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\chi)\sin n\chi\, d\chi$$



شكل (4) التناظر بالنسبة لمحور العينات

ج- التناظر بالنسبة لمنتصف الموجة :

إذا كانت كل موجة متناظرة بالنسبة لمحور يمر من منتصفها شـكل (5) وإذا أخـذنا كمبدأ للزمن أحد محوري التناظر عندئذٍ .

$$\chi(t) = \chi(-t)$$

أو

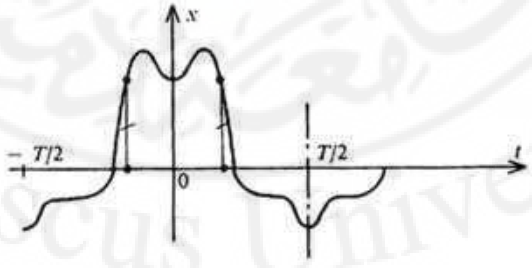
$$f(\chi) = f(-\chi)$$

أي أن كل العوامل ذات المركبات المتعلقة بالجيب sin معدومة . وعندئذٍ لدينا :

$$b_n = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \chi \cos n w t dt$$

أو

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\chi)\cos n\chi d\chi$$



شكل (5) التناظر بالنسبة لمنتصف الموجة

ملاحظة :

نجد أحياناً أمواج لها أشكال تناظر تحقق كل الحالات الثلاث ، مثـل الشـكل (6) إذا أخذنا كمبدأ للزمن منتصف الموجة ، سوف لن نجد سوى المركبات الزوجية التجيب

$$\chi = b_1 \cos wt + ... + b_n \cos nwt$$

حيث :

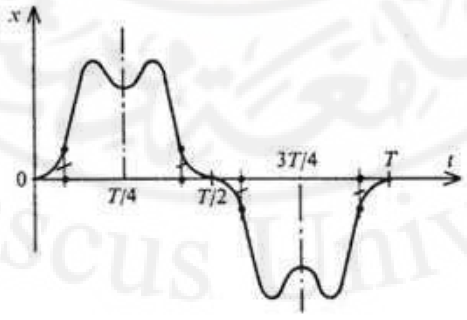
$$b_n = \frac{8}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} \chi \cos nwt\, dt$$

وإذا أخذنا كمبدأ لحظة المرور بالصفر ، سنجد فقط المركبات الفردية (sinas) :

$$\chi = a_1 \sin wt + ... + a_n \sin nwt$$

و

$$a_n = \frac{8}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} \chi \sin nwt\, dt$$



شكل (6) تمثيل حالات التناظر الثلاث

٣-٢ العلاقات بين القيم الفعالة ، الإستطاعة ، وتحليل فوريه :

القيمة الفعالة لعامل هي الجذر التربيعي لمجموع مربعات القيم الفعالة لمختلف ثوابت المركبات الجيبية التي نجدها ضمن تحليل فوريه .

$$X = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T X^2 dt} = \sqrt{X_0^2 + X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2}$$

$$X = \sqrt{X_0^2 + X_1^2 + X_2^2 \ldots\ldots + X_n^2}$$

- الاستطاعة هي مجموع الاستطاعات الناتجة سواء من العوامل الثابتة أو من كل رتبة من التوافقيات إذا كان التوتر u على طرفي دارة والتيار i المار ولهما تحليل فوريه التالي :

$$u = U_0 + U_1 \sin(wt + \psi_1) + \ldots\ldots + U_n \sin(nwt + \psi_n)$$

$$i = I_0 + I_1 \sin(wt + \psi_1 - \varphi_1) + \ldots\ldots + In\sin(nwt + \psi_n - \varphi_n)$$

وتعطى الاستطاعة بالعلاقة :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u.i.dt = U_0 I_0 + \frac{1}{2}U_1 I_1 \cos\varphi_1 + \ldots\ldots + \frac{1}{2}U_n I_n \cos\varphi_n + \ldots$$

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos\varphi_1 + \ldots\ldots + U_n I_n \cos\varphi_n$$

- عامل التشوه الناتج عن توافقية ، هو النسبة بين القيمة الفعالة للتوافقية والموجة الأساسية وعامل التشوه الكلي Total harmonic Distortion يعطى بالعلاقة :

$$T.H.D = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \ldots\ldots V_n^2}}{V_{eff}}$$

٣-٣ أثر التوافقيات على الحمل :

التوتر المقوم على طرفي الحمل ، الناتج عن جسر تقويم ، يحتوي على نسبة توافقيات رتبة التوافقيات في موجة التوتر للحمل تعادل على الأقل رتبة التوتر المقوم . كما تتواجد توافقيات من رتب أعلى . وحسب أشكال الأمواج على الحمل ، يلاحظ أن

التوافقيات الناتجة عن الجسور المقادة أكبر من التوافقيات الناتجة عن الجسور غير المقادة .

بالتأكيد ، كل توتر توافقي يولد تياراً توافقياً من نفس تردد التوتر في الحمل . ونحن خلال دراستنا للتسهيل نعتبر أن ممانعة الحمل لا نهائية ، ونعتبر أن تيار الحمل مستمر ، لكن الواقع غير ذلك وغالباً تيار الحمل يحتوي العديد من التوافقيات .

أثر هذه التوافقيات على الحمل يمكن تقديره تبعاً لطبيعة الحمل . وغالباً ما تسبب التوافقيات زيادة المفاقيد داخل الحمل وخاصة إذا كان الحمل محرك تيار مستمر .

كما أن التوتر المتناوب الناتج عن المعرجات أو مبدلات التردد ، يحتوي على توافقيات ناجمة من لحظات التبديل . كما أن عمليات التبديل السريعة هذه ، تجعل الحمل يبث أمواج بترددات راديوية في محيطها وتؤثر على الأجهزة الإلكترونية .

التوافقيات الناتجة في الحمل تؤثر على أمواج توتر الدخل ، لذا فإنها تشوه دوائر توليد النبضات التي تستخدم ظاهرة المرور بالصفر (passage a Zero) لتوتر التغذية .

وعندئذ تتأخر نبضات القدح ويختلف توافقها . ومثل هذه الظواهر أطلق عليها اسم (gigue) .

من أجل موجة توتر مقوم ناتجة عن جسر تقويم ثلاثي الطور مضاعف ذي عدد أطوار q كما في الشكل (7) نجد أن معادلة التوتر المقوم تعطى عادةً بالشكل :

$$A = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{+\pi} V_{max}\cos wt\, d(qwt) = \frac{qV_{max}}{\pi}\sin\frac{\pi}{q}$$

باعتبار عدم وجود إزاحة بالطور أو تطابق . وباعتبار المحور الشاقولي يمر من قمة التوتر المقوم . يمكن عندئذ اعتبار التوتر المقوم متناظراً بالنسبة للمحور الشاقولي أي أن: $f(-qwt) = f(qwt)$ أي أن $u_n=0$.

وعليه :

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{+\pi} V_{max}\cos wt\cos mqwt\, d(qwt)$$

$$b_n = \frac{qV_{max}}{\pi}\sin\frac{\pi}{q}\left[\frac{2}{m^2q^2-1}\right]\left[-\cos m\pi\right]$$

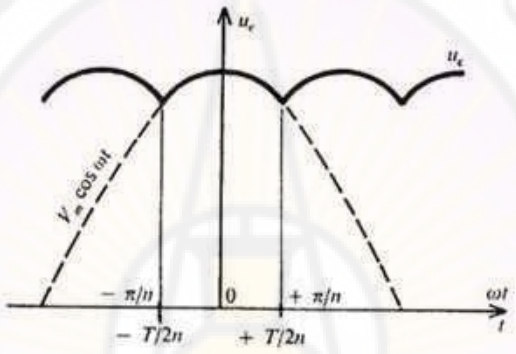
$$mq=n \quad ,m=1,2,3,$$

حيث $\cos m\pi$ تدل على تغير إشارة الثابت .

من مقارنة العلاقة A,b_n نجد أن المطال النسبي للتوافقيات في التوتر المتوسط تساوي:

$$\frac{2}{h^2-1}$$

أصغر توافقية تحدث عند m=1 أي عند q مرة تردد الدخل .



شكل (7) موجة توتر الخرج لجسر ثلاثي الطور مضاعف q=3

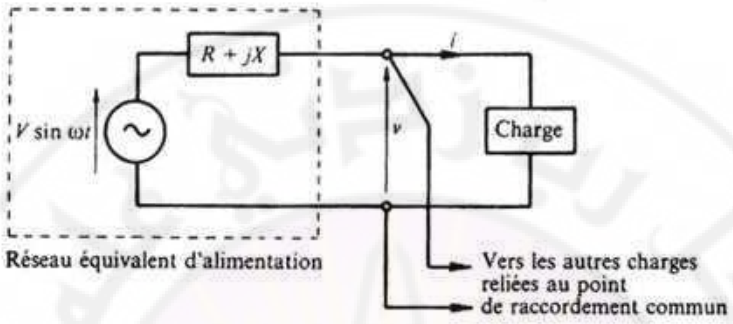
٣-٤ أثر التوافقيات على المنبع :

نتيجة التبديل من عنصر إلى أخر في جسور التقويم ، فإن تيار المنبع سيكون دائماً غير جيبي ، منبع التغذية يقدم توتراً متناوباً ، الحمل يحول جزءاً من استطاعة الدخل لاستطاعة عند تردد أعلى من استطاعة المنبع ، ويعيد حقن استطاعة التوافقيات في منبع التغذية ، وكأن الحمل مولد توافقيات .

إذا كان المقوم غير مقاد ، تيار الدخل المتناوب الثلاثي الطور يحمل مركبتين توافقيتين إحداهما من رتبة أعلى مباشرة من تردد الشبكة والأخرى من رتبة أقل .

إذا كانت ممانعة الحمل لا نهائية ، أي أن تيار الحمل مستمر ، فإن مطال هذه المركبات التوافقية للتيار ستكون متناسبة عكسياً مع رتبتهما .

لتأكيد هذه الحقائق ، لنأخذ معادلات الدخل للتوتر والتيار ولنحسب منهما الاستطاعة اللحظية :



Alimentation d'un réseau de charge.

شكل (8) الدارة المكافئة لمنبع وحمل

توتر وتيار التوافقيات يمكنه أن يدخل في كل مستويات نظام التغذية ويزيد من المفاقيد ، ويسبب خطأ في القياس ، وبعض الأخطاء والخلل لدى المستثمرين .

مسألة ظهور مركبة تيار مستمر في الخط الحيادي للنظام مشكلة كبيرة ، حيث يمكنها تحريض المحولات باستمرار وحملها على الإشباع وكما أنها تزيد من تيار حمل الحيادي

– إذا راقبنا نظاماً ثلاثي الطور متوازناً ، التوافقيات ذات الرتبة من جداء الثلاثة ، أي من الرتبة 3m حيث m=1,2,3 تكون متوافقة بالطور وتبعاً للعلاقات التالية :

$$i_a(3m) = I \sin 3mwt$$

$$i_b(3m) = I \sin[3m(wt - \frac{2\pi}{3})] = I \sin 3mwt$$

$$i_c(3m) = I \sin[3m(wt - \frac{2\pi}{3})] = I \sin 3mwt$$

إذاً :

$$i_a(3m) = i_b(3m) = i_c(3m)$$

واعتماداً على الشكل (9) ونظراً لتساوي هذه التيارات الثلاث فإن التيار لا يمكن أن يمر سوى عبر تركيب موصل على شكل نجمي مع حيادي و لا يمر تيار التوافقيات في الخطوط الموصلة لمحول موصل بشكل مثلثي .

في حالة الوصل النجمي واستناداً للمركبات المتناظرة فإن تيار الحيادي سيكون مساوياً مجموع التيارات الثلاثة للخطوط . وإذا كان الحمل غير موصل بالحيادي فإنه لن يمر تيار التوافقيات في الخطوط .

$$V_a = V \sin wt$$

$$i_a = I\left\{\sin wt + \frac{\sin[(n-1)wt]}{n-1} + \frac{\sin[(n+1)wt}{n+1}\right\}$$

معادلات التيار للطور (b),(c) مشابهة ما عدا الإزاحة $(wt - \frac{2\pi}{3}),(wt + \frac{2\pi}{3})$ وعليه الاستطاعة اللحظية الكلية هي :

$$V_a i_a + V_b i_b + V_c i_c$$

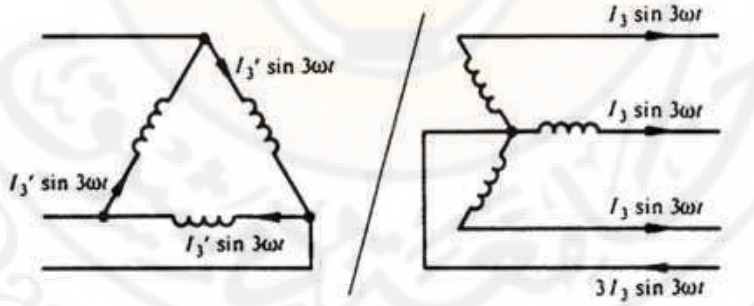
$$= VI(1.5 - \frac{3}{n^2 - 1}\cos nwt)$$ وتساوي :

تبعاً لهذه المعادلة أعلاه ، أي مركبة توافقية للتوتر من الرتبة n مرتبطة بمركبتين توافقيتين من الرتب (n+1),(n-1) لتيار التغذية ، وبمطال يتناسب مع $(\frac{1}{n+1}),(\frac{1}{n-1})$.

في حالة مقوم مثالي ذي عدد أطوار (q) ، وذي تيار حمل مستمر ، بدون مفاقيد وبدون تطابق ، فقط التوافقية ذات الرتبة $(r = mq \pm 1)$ حيث m=1,2,3 هي المتواجدة في تيار الدخل . مطال التوافقية يساوي $(\frac{1}{r})$ مرة مطال الموجة الأساسية .

وعليه كلما زادت رتبة التوتر أو عدد الأطوار كلما حذفنا عدداً من التوافقيات لانخفاض مطالها ذلك لأن mq=n و (n) هي رتبة التوافقيات . لكن عملياً معظم الجسور مقادة لذا فإن مطال التوافقيات سوف لن يحسب بدلالة $(\frac{1}{r})$ كما بينا أعلاه .

الدارة المبينة بالشكل (8) ، مثلنا فيها شبكة التغذية بما يكافئها حسب ثفينين ، الحمل هنا يستجر تيار i وواقع تحت توتر مستمر V يختلف عن توتر الدخل المتناوب Vsinwt ، هبوط التوتر على ممانعة الدخل (R+jx) ، يتناسب وقيمة هذه الممانعة عند التردد الاسمي ، لكن بسبب وجود التوافقيات فإن هذه الممانعة ستختلف تبعاً لتردد التوافقية وسوف يتشوه ، هذا سينعكس أيضاً على شكل التوتر المقوم ، وكل الأحمال المرتبطة بالتوازي سوف نرى هذا التوتر المستمر المشوه . حقن التوافقيات القادمة من الحمل ، في المنبع يعتمد على ردود فعل مكونات النظام عند كل تردد . مثلاً المكثفات ، نظراً لانخفاض ممانعتها كلما زاد التردد والتي يمكن تواجدها بين خطوط التغذية بقصد تحسين عامل الاستطاعة سوف تمتص تيار التوافقيات بقيمة أكبر ، ويمكن للنظام الدخول في حالة الطنين عند ترددات معينة للتوافقيات .



Distribution de l'harmonique 3 de courant dans un système triphasé.

شكل (9) التوافقية الثالثة وتوزعها في ملفات المحول

معادلات التيارات لتوافقيات من رتبة (3m-1) هي :

$$i_u(3m-1) = I\sin[(3m-1)wt]$$

$$i_b(3m-1) = I\sin[(3m-1)(wt-\frac{2\pi}{3})] = I\sin[(3m-1)wt+\frac{2\pi}{3}]$$

$$i_c(3m-1) = I\sin[(3m-1)(wt+\frac{2\pi}{3})] = I\sin[(3m-1)wt-\frac{2\pi}{3}]$$

تتابع الأطوار للتوافقيات ذات الرتب (3m-1) يعاكس تتابع الأمواج الأساسية مثلاً ، توافقية من الرتبة 5 (m=2) سوف تولد مركبة عزم مقاوم في المحرك التحريضي إذا احتوى توتر الدخل على هذه التوافقية .

معادلات التيار لتوافقيات من رتبة (3m+1) هي :

$$i_a(3m+1) = I\sin[(3m+1)wt]$$

$$i_b(3m+1) = I\sin[(3m+1)(wt-\frac{2\pi}{3})] = I\sin[(3m+1)wt-\frac{2\pi}{3}]$$

$$i_c(3m+1) = I\sin[(3m+1)(wt+\frac{2\pi}{3})] = I\sin[(3m+1)wt+\frac{2\pi}{3}]$$

وعليه فإن التوافقيات من الرتبة (3m+1) أي الرتبة 7 (m=2) لها نفس تتابع الموجة الأساسية .

على وزارة الكهرباء عادةً أن تعمل على عدم السماح للزبائن بحقن تيار توافقي في الشبكة وخاصة على بارات الربط لعدم تشويه توتر وتيار الشبكة لباقي الزبائن .

إضافة لوجود توافقيات من مضاعفات تردد الشبكة ، قد تنشأ توافقيات أقل من مضاعفات تردد الشبكة (Sous multiple) . وهذه التوافقيات تؤثر على التجهيزات الضوئية وعلى الأشخاص .

تيارات التوافقيات المستجرة من قبل أحمال مربوطة على التوازي ، هي غالباً مزاحة عن بعضها البعض وقد تعدم بعضها البعض .

لحظات الفصل والوصل للثيرستورات غالباً تسبب تشويش ذي تردد عالٍ وهذا التردد يؤثر على التجهيزات ذات التردد الراديوي . يحدث مثل هذا التشوه عند وجود خطوط على التوازي مثل الخطوط المغذية للسكك الحديدية وخطوط الاتصالات للقطارات ، ولذا يجب دائماً تحجيب نواقل الاتصالات .

٣-٥ المرشحات :

تقوم المرشحات بتغيير قيمة التوافقيات المتبقية لدى المرور فيها ، لذا تستخدم لتنعيم التوتر المقوم الناتج عن مجموعات التقويم أو تستخدم على خرج المعرجات لترشيح التوترات البعيدة عن التردد النظامي 50Hz هرتز أو التردد المطلوب .

تعمل المرشحات على عدم انعكاس التوافقيات على دخل النظام ، كما تعمل على حذف المركبات والترددات التي تسبب التشويش الراديوي .

٣-٥-١ تنعيم موجة الخرج للمقومات :

في الشكل (10) يمكن وضع مرشح على خرج جسر أحادي الطور ، هذا المرشح يأخذ مكونات عديدة ، في الحالة (b) ثم وضع ملف خانق ، هذا الملف كما نرى يعمل على تنعيم تيار الحمل ، ويعمل على عدم انقطاع تيار الدخل ، ويمكن دراسته كأنه حمل تحريضي .

في الحالة c تم إضافة مكثف ، كما نعلم يتم شحن المكثف حتى يصل توتر المكثف إلى قمة الموجة الجيبية ثم يفرغ نفسه عبر المقاومة تبعاً لثابت الزمن RC . في هذه الحالة تيار المنبع له شكل نبضي بجهة صعود حادة نظراً لسرعة وقصر زمن الشحن .

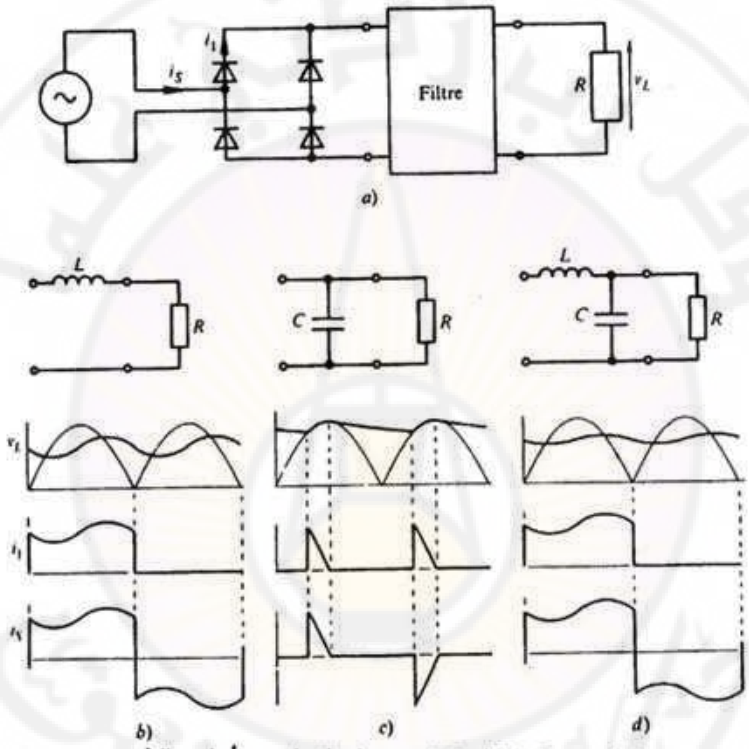
في الحالة d تمثل حالة مشتركة لملف ومكثف ، المكثف يعمل على جعل توتر الحمل ثابتاً ، والملف الخانق ينعم التيار وهذا يسبب استجرار تيار منبع شبه مربع الشكل .

يمكن تحديد مدى تخميد المرشح LC باعتبار أن موجة توتر الخرج للمقوم مكونة من القيمة المتوسطة والمركبات التوافقية . وتحليل عمل المرشح عند كل تردد .

إذا انتهت مقاومة الحمل للانهاية ، فإن نسبة توتر الخرج للمرشح إلى توتر الدخل تساوي :

$$\frac{\frac{1}{wc}}{wL-\frac{1}{wc}}=\frac{1}{w^2Lc-1}$$

التوافقيات ذات الرتبة الأعلى هي الأكثر تخميداً . الترددات المراد حذفها تتناسب وعدد الأطوار أي ، كلما زاد عدد الأطوار ، كلما صغر حجم المرشح ، وقل سعره عند نفس مجال التخميد .



شكل (10) إمكانيات تركيب مرشحات لجسر أحادي الطور

يمكن ايضاً إنقاص تعرجات التوتر على طرف الحمل ، بربط عدة مرشحات بسيطة على التسلسل .

بالتعريف ، نسبة التخميد للتوتر تساوي مجموع التوترات الفعالة للمركبات التوافقية على القيمة المتوسطة .

نسبة التخميد :

$$\frac{V_1^2 + V_2^2 + \ldots\ldots\ldots + V_n^2}{V_{av}} = \frac{(V_{eff}^2 - V_{av}^2)^{1/2}}{V_{av}}$$

V_{eff} : التوتر الفعال الكلي .

٣-٥-٢ المرشح على خرج المعرجات :

أشكال أمواج توترات الخرج للمعرجات غالباً مربعة أو مربعة مهشرة باستخدام نظام التعديل النبضي وكي نقلل من التوافقيات في هذه الأمواج يجب أن نمررها على المرشح.

يوجد عدد وأشكال مختلفة للمرشحات كما في الشكل (11) المعادلة (1) تعطي نسبة توتر اللا حمل /توتر الدخل لمرشح تمرير تردد منخفض بسيط مكون من LC ممثل بالشكل (11-a) ، هذا المرشح يكون مناسباً إذا كان w^2Lc ليس أكبر بكثير من التردد الأساسي .

المرشح المهتز شكل (11-b) يكون مناسباً أكثر من أجل التوافقيات ذات الرتبة الأقل ، الذراع التسلسلي L_1C_1 والذراع التفرعي L_2C_2 يدخلان بالاهتزاز (الطنين) عند تردد الخرج للمعرج ، حيث ممانعة الدارة التسلسلية تكون معدومة عند التردد الأساسي ، لكن تزداد الممانعة بشكل لا نهائي عند الترددات الأعلى .

ممانعة الدارة التفرعية لا نهائية عند التردد الأساسي ، لكن تتناقص عند الترددات الأعلى .

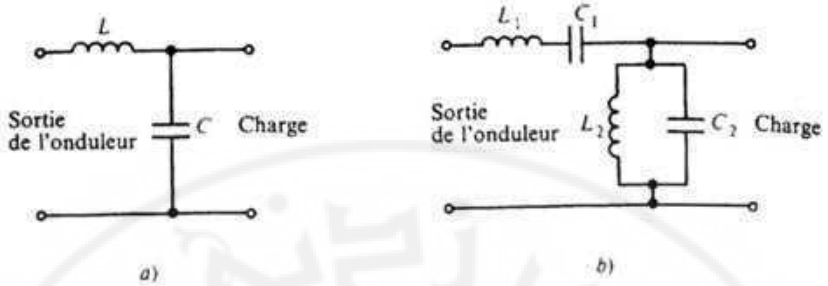
عند السرعة الزاوية الأساسية :

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2C_2}}$$

بفرض $C_1=AC_2$ $L_2=AL_1$ $w=nw_0$

وباعتبار (n) رتبة التوافقية نجد أن :

$$\frac{V_0}{Vi} = \frac{1}{1-\frac{1}{A}(n-\frac{1}{n})^2} \quad \text{.....(1)}$$



Deux types de filtres. *a*) Filtre passe-bas. *b*) Filtre résonnant.

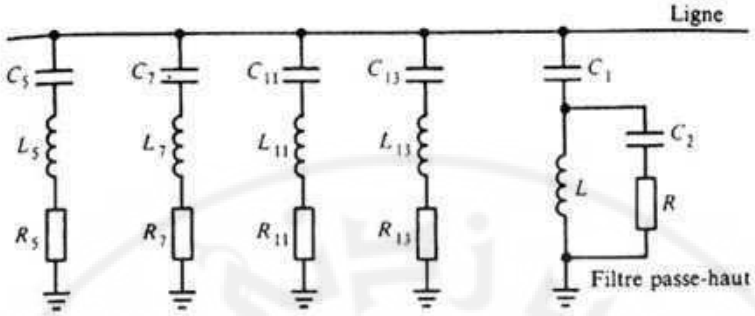
شكل (11) استخدام نوعين من المرشحات a- مرشح تمرير منخفض b- مرشح مهتز

٣-٥-٣المرشحات على خطوط التوتر المتناوب :

كي نستطيع الحد من انعكاس التوافقيات الناتجة من جسور التقويم المركبة في الأحمال على الشبكة المتناوبة المغذية لهذه الجسور ، يلزم ربط مرشحات بين الخطوط والخط الحيادي .

الشكل (12) يمثل طريقة من طرق ربط المرشحات لحذف التيارات التوافقية . في حالة جسر ذي (6) قمم خلال الدور ، نضع مرشحات مهتزة للتوافقيات ذات الرتب (5,7,11,et13) . وللتوافقيات الأعلى تستخدم مرشحات تمرير تردد عال . هذه المرشحات يجب أن لا تسبب ضياعاً ملحوظاً في القدرة ، لكن لا بد من الإشارة إلى عملية انزياح تردد الشبكة الذي قد يصل للقيمة ±2% في نظام تغذية متناوب ، شبكة عامة . وكي تعطي هذه المرشحات أفضل أداء يجب أن يتم ربطها بشكل آلي ووصلها أيضاً آلياً .

وإن شبكات النقل بالتيار المستمر عال التوتر هي الشبكات الأكثر استخداماً لمثل هذه المرشحات . كما أنه في حال وجود مجموعات تقويم باستطاعات مركبة عالية لابدمن إضافة المرشحات (معامل الدرفلة مثلاً.) .



Suppresseurs d'harmoniques de ligne.

شكل (12) توافقيات خط النقل

٣-٦ تيار التوافقيات وعامل الاستطاعة :

كما ذكرنا أعلاه في الفقرات السابقة ، مجموعات التقويم والمعرجات تعتبر مصادر أساسية لتوليد تيار التوافقيات ، ولدى ربط هذه الجسور على البارات الرئيسية فإن الأحمال الخطية الأخرى ستتأثر بتيار التوافقيات ، كما أن المنبع الرئيسي سيتأثر بذلك .

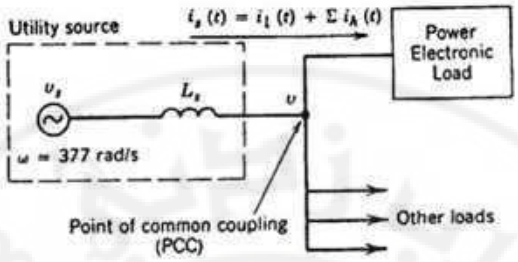
يمكن تمثيل الشبكة بالشكل (13) حيث ℓ_s ممانعة شبكة التغذية ، ويعبر عنها بتيار القصر I_{sc} الممكن مروره بالشبكة عند حدوث القصر المباشر الثلاثي الطور وذلك بالعلاقة :

$$I_{sc} = \frac{V_s}{wL_s}$$

Vs : القيمة الفعالة لتوتر طور الشبكة المتناوبة الجيبية وإذا تم تقسيم $\frac{I_{sc}}{I_1}$ فإنها تمثل سعة الشبكة بالنسبة للتردد الأساسي لتيار الحمل .

تيار الشبكة $i_s(t) = i_1(t) + \sum i_n(t)$.

أي أن تيار الشبكة يمثل دائماً المركبة الأساسية I_1 ومجموع المركبات التوافقية .



Utility interface.

شكل (13) طريقة تمثيل شبكة التغذية والبارات

جسور التقويم الثيرستورية تولد عدداً من التوافقيات لتيار المنبع ، وخاصة عند وجـود إزاحة بالطور ، كمثال للدلالة على نسبة تيار التوافقيات (In) بالنسبة للتيار الأساسي I_1 سنأخذ كمثال جسر تقويم أحادي الطور مغذى من الشبكة العامة شـكل ( ) 18.2 إذا قمنا بقياس التوافقيات في التيار المولدة من هذا الجسر في تيار المنبع يمكـن وضـع الجدول التالي :

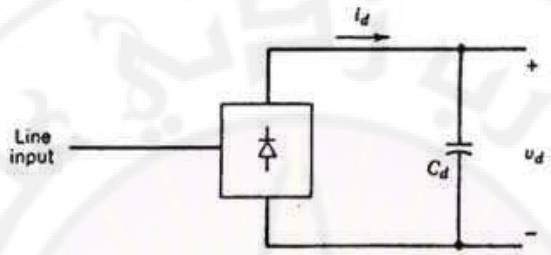
h	3	5	7	9	11	13	15	17
I_h/I_1%	73.2	36.6	8.1	5.7	4.1	2.9	0.8	0.4

هذه التوافقيات تسبب تشوها كبيرا لتوتر المنبع لأنها ستمر عبر ممانعـة الشـبكة Ls وكلما كبرت هذه الممانعة إزداد التشوه .

في جسور التقويم الثلاثية الطور التفرعية البسيطة أو التفرعيـة المضـاعفة ، سـواء كانت غير مقادة أو مقادة ، سيبدأ عنصر التقويم الأول بالعمل بعد الزاوية $\left(\frac{T}{4}-\frac{T}{2q}\right)$

أي عند كون عدد الأطوار q=3 فإن الزاوية تعادل 30° وعند كون عدد الأطـوار q=6 فإن الزاوية ستصبح 60° ، أي أن زاوية الإزاحة بالطور للتيار المار في الطور الأول والذي سيبدأ عندما يعمل الثيرستور أو الديود الأول فإنه سيكون مزاحاً بالنسبة للتـوتر بالزاوية 30° أو 60° . سنطلق على هذه الزاوية بزاوية انزياح عامل الاستطاعة δ أو

(Displacement power factor) . وعليه لدى تطبيق إزاحة بالطور على الجسور الثيرستورية بالقيمة ψ مثلاً عندئذ زاوية انزياح عامل الاستطاعة النهائية ستكون مساوية لمجموع الزاويتين :



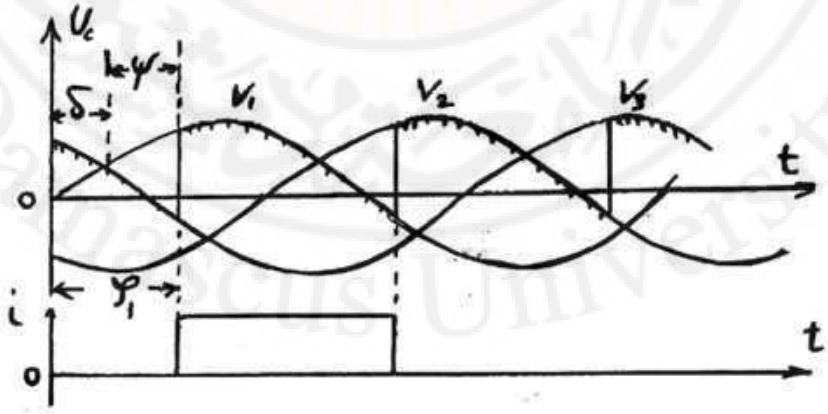
Diode rectifier bridge.

شكل (14) دارة تقويم لجسر من الديود ومكثف تنعيم

$$\phi_1 = \left(\frac{T}{4} - \frac{T}{2q}\right) + \psi =$$

$$\phi_1 = \delta + \psi$$

الشكل أدناه (15) يبين مفهوم هذه الزاوية ϕ_1 عند زاوية إزاحة بالطور $\psi=30°$.



شكل (15) زاوية الإزاحة وعامل الاستطاعة

نحن نعلم أن الاستطاعة المتوسطة تساوي :

$$P = \frac{1}{T_1}\int_0^{T_1} V_s(t).i_s(t).dt$$

$$V_s = \sqrt{2}V_s \sin w_1 t$$

$$i_s(t) = \sqrt{2}I_{s_1} \sin(w_1 t - \phi_1) + \sum_{h\neq 1} \sum_{h\neq 1} \sqrt{2}I_{sh} \sin(w_h t - \phi_n)$$

وعليه :

$$P = \frac{1}{T_1}\int_0^{T_1} \sqrt{2}V_s \sin w_1 t.\sqrt{2}I_{s_1} \sin(w_1 t - \phi_1) dt$$

$$P = V_s I_{s_1} \cos\phi_1$$

نلاحظ أن مركبة التيار التوافقي لا تكافئ القيمة الحقيقية للاستطاعة المسحوبة من المنبع الجيبي .

الاستطاعة الظاهرية S والتي تساوي جداء التوتر الفعال V_s بالتيار الفعال I_s :

$$S = V_s.I_s$$

عامل الاستطاعة يعطى بالشكل :

$$pF = \frac{P}{S}$$

$$pF = \frac{V_s I_{s_1} \cos\phi_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s_1}}{I_s}\cos\phi_1$$

عامل الاستطاعة المزاح Displacement Power Factor(DPF) في هذه الحالة يساوي:

$$DPF = \cos\phi_1$$

وعليه فإن عامل الاستطاعة عند تيار غير جيبي هو :

$$pF = \frac{I_{s_1}}{I_s} DPF$$

ويمكن التعبير عنه بالعلاقة :

$$pF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_1^2}} DPF$$

ذلك لأن :

$$THDi\% = 100\frac{\left(I_s^2 - I_{s_1}^2\right)^{\frac{1}{2}}}{I_{s_1}}$$

$$THDi\% = 100 \times \sqrt{\sum_{h\neq 1} \frac{\left(I_{sh}\right)^2}{I_{s_1}}}$$

بالمناسبة هنا يمكن ذكر عامل (Crest factor) وهو نسبة أقصى تيار منبع I_{speak} بالنسبة للتيار الفعال Is للمنبع .

$$crest\ factor = \frac{I_{speak}}{I_s}$$

زيادة الانزياح هذه تقلل من قيمة الاستطاعة الفعلية الممكن استجرارها من الشبكة ، وهذا ينعكس على المحولات المراد استخدامها لتغذية الجسور ، إذا كان المحول مصمم للعمل عند تيار ثابت ، وتوتر اسمي . فإن انخفاض هذا العامل يرفع قيمة التيار دون استجرار استطاعة فعلية ويجب الحد من التيار . لذا غالباً الاستطاعة الاسمية للمحولات الموضوعة لتغذية جسور تقويم تؤخذ أكبر بكثير من الاسمية الفعلية للحمل وللجسر .

٣-٧ النورمات والتوصيات المعتمدة لنسبة التوافقيات :

نظراً لازدياد سعة تجهيزات إلكترونيات القدرة الكهربائية المرتبطة بالشبكة العامة ، قامت بعض الوكالات والهيئات المحلية والدولية بتحديد ووضع نظم للحد من نسبة التوافقيات الممكن حقنها بالشبكة وذلك للحفاظ على نوعية جيدة للطاقة .

بناءً عليه ظهر العديد من النظم (Standards) والتعليمات التي تصف حدود وقيمة تيار التوافقيات ونسبة تشوه التوترات لمختلف رتب التوافقيات ، من هذه الأنظمة نذكر :

- أنظمة IEC,VDE,CENELEC وصفت الحدود المسموحة لتوتر كل توافقية (كنسبة من التوتر الاسمي) بالتواجد على الشبكة . كما أن IEEE-519 المنقح ، الذي يحتوي توصيات عملية ومستلزمات التحكم بالتوافقيات لنظام كهربائي . وفي الجدول (2) يذكر قيم تيار التوافقيات التي يسمح فيها للمستثمرين بحقنها في الشبكة العامة ، كما أن

الجدول (1) يحدد مجال توتر التوافقيات المسموح للمستثمر حقنه بالشبكة وتبعاً لتوتر العمل .

	2.3-69kV	69-138kV	>138kV
Maximum for individual harmonic	3.0	1.5	1.0
Total harmonic distortion	5.0	2.5	1.5

جدول (1) نسبة توتر التوافقيات العلوية المسموحة تبعاً لتوتر الشبكة

تشوه التوتر عند بارات التوزيع ، شكل (13) تعتمد على قيمة الممانعة الداخلية لمنبع التغذية المتناوب وعلى قيمة تيار التوافقية المحقون . عملياً ، الممانعة الداخلية للمنابع كبيرة القيمة وتم تسميتها بـ L_s في الشكل (13) . عند وجود تيار التوافقية من الرتبة h بالنسبة للتردد النظامي للشبكة ، نجد أن القيمة الفعالة لتوتر التوافقية الذي سينشأ على القضبان هو :

$$V_h = (hwL_s)I_h$$

I_h : تيار التوافقية ذو الرتبة h .

الممانعة الداخلية L_s ، غالباً يمكن التعبير عنها بالاستناد إلى تيار القصر I_{sc} عند القضبان. وباعتبار الطور كأساس ، فإن I_{sc} هو التيار المقدم من المنبع لكل طور عند القصر الثلاثي الطور أي :

$$I_{sc} = \frac{V_s}{wL_s}$$

Vs: القيمة الفعالة لتوتر طور المنبع المتناوب الجيبي . كلما كبر Isc دل ذلك على كبر استطاعة المنبع أو الشبكة . ومن العلاقات السابقة يمكن التعبير عن توتر التوافقيات بدلالة التوتر الاسمي Vs للمنبع .

$$\%V_h = \frac{V_h}{V_s} \times 100 = h\frac{I_h}{I_{sc}} \times 100$$

إذا كان I_1 تيار المركبة الأساسية للتيار المستجر من الحمل الإلكتروني وبقسمة العلاقة أعلاه على هذا التيار نجد :

$$\%V_h = h\frac{I_h / I_1}{I_{sc} / I_1} \times 100$$

في العلاقة أعلاه المقدار (I_{sc}/I_1) يمثل استطاعة الشبكة بالنسبة للفولت أمبير للحمل .

نسبة تيار التوافقيات I_h/I_1 يكون كبيراً كلما كبرت النسبة I_{sc}/I_1 كما هو وارد في الجدول (2) وبما أن ممانعة الشبكة كبيرة ، لذا كلما زادت رتبة التوافقيات h كلما نقصت نسبة تيار التوافقيات المسموح به I_h/I_1 في الشبكة (وهو غير خطي) .

ونسبة التشوه الكلي في تيار الدخل تعطى بالشكل : Total harmonic Distortion (THD)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

نسبة التشوه الكلي بالتوتر يمكن حسابها بطريقة مماثلة لحساب نسبة التشوه الكلي بالتيار ولدينا بعض القيم كما في الجدول (2) .

Table 2 Harmonic Current Distortion (I_h/I_1)

I_{sc}/I_1	Odd Harmonic Order h(%)					Total Harmonic Distortion(%)
	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

جدول (2) نسبة توتر التوافقيات في التيار كتابع لتيار القصر ورتبة تيار التوافقيات

وتعطى نسبة التشوه الكلي للتوتر بالشكل :

$$Voltage\%THD = \frac{\left[\sum Ih \times wL_{x_1})^2\right]^{\frac{1}{2}}}{V_{phase}} \times 100$$

والقيم المعتمدة عالمياً مبين في الجدول (3) أدناه

جدول (3) عمق الفجوات ومساحتها وعامل التشوه المئوي .

Table 3 Line Notching and Distortion Limits 460V Systems

Class	Line Notch Depth ρ(%)	Line Notch Area (V.μs)	Voltage Total Harmonic Distortion (%)
Special application	10	16.400	3
General system	20	22.800	5
Dedicated system	50	36.500	10

Damascus University

المراجع

1-Hashem OIRKOZEK Compensation de la résistance des enroulements de travail d'une machine synchrone déstinee àl'analyse dés réseaux éléctriques -Thèse-1976.

2-Guy SEGUIER-DUNOD Les montages redresseurs –etude general -Paris .

3-B.R.PELLY-WILEY Thyristor phase – Controlled converter and Cycloconverter -INTERSCIENCE-1972 .

4- Rex M.DAVIS Power Diode and Thyristor Circuits . -IEE Monograph SERIES 1970 .

5- S.B.DOWAN&A.STANGHEN Power SEMICONDUCTOR Circuits . -WILLY-INTRSCIENCE.

6- Semiconductors –Thyristors & TRIACS.Troizieme Partic.Foucher-PARIS.

7- G .Sequir L'Electronique de puissance DUOND-1979-Paris

8- G .Sequir Les Convertisseurs de L'electronique de Puissance. –B.I.U.1983.

9- Electronic Power Control and Digital Technique .Texas Instruments Electronics Series.

10-Hansruedi Buhler Traite d'Electricite Electronique.1.electronique de Puissance-Lausane-1988.

11- SEMIKRON-Innovation+SERVICE-1988.

12-Mohan/VNDELAND/ROBBINS Power Electronics- -Wily-Second Edition 1995 .

13-M.H.Rashid Power Electronics-Circuits, Devices, and Applications Second Edition . -Hall international .Inc.1993

14-Cyrial W.Lander -Electronique De Puissance- Cours et exe rcices-Ediscience-1994

15-Marcel Ivanes –Robert Perret Elements De Genie Eléctronique Connaissances de base et machines Statiques- Hermes -1994- .

16-Philip T.Krein Elements Of Power Electronics. - Oxford-1998.

جدول المصطلحات الأجنبية

فرنسي	إنكليزي	عربي
	A	
AFFAIBLESSEMENTDU CHAMP	FIELD WEAKEN	إنقاص الحقل
ALLUMAGE	FIRING	قدح
ANGLE DE RETARD	DELAY ANGLE	زاوية تأخير
ALIMENTATION DE SECURITE	EMERGENCY SOURCE	منبع احتياطي
	B	
BARRIERE DE POTENTIEL	DEPLETION LAYER	
BOITIER	CASE	الغطاء
BLOQUE	OFF	الحجز
	C	
COMMANDE DE GRILLE	GATE CONTROL	التحكم بالبوابة
CATHODES COMMUNES	COMMUN CATHODES	مهابط مشتركة
CRENEAU	RECTANGULAR-PULSE	موجة مربعة
COURAN CONTINU	DIRECT CURRENT	تيار مستمر
CONVERTISSEUR	CONVERTER	مبدل
COMPOSANT	COMPONENT	عنصر الكتروني
CHUTE DE TENTION	VOLTAGE DROP	هبوط توتر
COMMUTATION	COMUTATION	التبديل من عنصر لأخر
COURANT DE FUITE	LEAKAGE CURRENT	تيار التسريب
COUPLE	TOURQE	العزم
COMMANDEPLEINEONDE	FULLWAVE CONTROL	قيادة كامل الموجة ١٨٠ درجة
CHARGE INDUCTIVE	INDDUCTIVE LOAD	حمل تحريضي
CHARGE RESISTIVE	RESISTIVE LOAD	حمل أومي
CONDUCTION CONTINUE	CONTINUOUS CONDUCTION	توصيل مستمر

CONDUCTIONDIS CONTINUE	DISCONTINUOUSCONDUCTION	توصـــيل غيـــر مستمر
COURAN ETABLIT	GENERATED CURRENT	التيار اللذي تـــم تمريره
COUCHE	LAYER	طبقة
CONDUCTIVITE THERMIQUE	THERMAL CONVECTION	عامل التوصـــيل الحراري
CONSTITUTIONDES COMPOSANTS	COMPONENT CONSTITUTION	بنية العناصر
COUPLE DE DECROCHAGE	BRAKING TOURQUE	عزم الفرملة
COURANT DE MAINTIEN T	HOLDING CURRENT	تيار الاســتمرار بالاشعال
CARTE ELECTRONIQUE	ELECTRONIC CARTE	كرت الكتروني
COURANT MOYEN	AVARGE CURRENT	التيار المتوسط
COURAN EFFICACE	EFFECTIVE CURRENT	التيار الفعال
COURANDE ACHETTE	GATE CURRENT	تيار البوابة
COURAN DE FUITE	LEAKAGE CURRENT	تيار التسريب
CONVERTISSEURS STATIQUES	STATIC CONVERTER	مبدل ساكن
	D	
DIFFUSION	DIFFUSION	انتشار الحوامل
DEPHASAGE	DISPLACEMENT	إزاحة
DECALAGE	DISPLACEMENT	إجـــراء ازاحـــة ،انحراف
DIODELIBRE FREE	WHEELING DIODE	ديود حر
DISSIPATIOND'ENERGIE	DISSIPATED ENERGY	القدرة المبددة
DIVISEUR CAPACITIF	CAPACITIVE DIVIDER	مجزء سعوي
DEBITANT	CIRCULATING	يمر ، يدور
	E	
ELECTRONIQUEDEPUISSANCE	POWERELECTRONIQUE	الكترونيات القدرة الكهربائية
EFFORT DE FREINAGE	BRAKING EFFORT	عزم الفرملة

ELECTRIFICATION	ELECTRIFIED	كهربة نظام
ENERGIE PERDUE	LOSED ENERGY	القدرة الضائعة
EXTINCTION DES THYRISTOR	EXTINCTION OF THYRISTOR	إطفاء الثيرستور
ECHAUFFEMENT	HEATING	تسخين
EVACUER	EVACUETE	تفريغ -خلخلة
EPAISSEUR	THIKNESS	ثخانة – سماكة
	F	
FREQUENCE ELEVEE	HIGH FREQUENCY	تردد عال
FILTER D'ENTRÉE	INPUT FILTER	مرشح دخل
FILTER DE SORTIE	OUT PUT FILTER	مرشح خرج
FACTEUR DE PUISSANCE	POWER FACTOR	عامل الاستطاعة
	G	
GRADATEUR STATIC	SWITCHE	مدرج - قـاطع منبع متناوب
	H	
HACHEUR	CHOPPER	مقطع
HACHEUR SERIE	BUCK	مقطع تسلسلي -خافض للتوتر
HACHEUR PARALLEL	BOOST	مقطع تفرعي -رافع للتوتر
HACHEUR INVERSE EN COURANT	BUCKOOST	مقطع عكسي بالتيار
HACHEUR INVERSE EN TENSION	CUK	مقطع عكسي بالتوتر
HARMONIC	HARMONICs	توافقيات
	L	
LENT	SLAW	بطيئ
	I	
INTERRUPTEUR UNIDIRECTIONNEL.	ONE DIRICTION SWITCH	قـاطع أحـادي الاتجاه
INTEGRANTE	INTEGRAL	عدد صحيح

ISOLANT ELECTRIQUE	ELECTRICAL ISOLATER	عازل كهربائي
INTRINSEQUE	INTRINSIC ,SINGLE CRYSTAL	بلورة
INFERIEURE	LESS	أقل
	M	
MONTAGE REDRESSEUR TOUT THYRESTOR	THYRESTOR BRIDGE	جســـر تقـــويم ثيرستوري
MONO PHSE	ONE PHASE	وحيد الطور
MODULATIONDELARGEURD'IMPULSION (M.L.I.)	PULSEWIDTHEMODULATION(P.W.M.)	تعـــديل عـــرض النبضات
	N	
NUMEROTER LES THYRESTORS	FIRING SEQUENCE	تتابع القدح
	O	
ONDULEUR AUTONOME	INVERTER	معرج
ONDULEUR NON AUTONOME	INVERTER	عاكس
ONDULATION	RIPPLES	تموجات تعرجات
ONDULEUR DE COURAN	CURRENT INVERTER	معرج تيار
ONDULEUR DE TENSION	VOLTAGE INVERTER	معرج توتر
ONDULEUR A RESONANCE SERIE	SERIESRESONANTINVERTER	معرج مهتز
	P	
PORTEURS	CARRIERS	حوامل
POLARISEE	POLARISED	مستقطب
PONT MIXTE	HALF-CONTROLLED CONVERTER	جسر نصف مقاد
PONT COMPLET COMMANDE	FULL CONVERTER BRIDGE	جسر مقاد
PERIODIQUE	PERIODIC	دوري
PASSANT(FERME)	ON	موصل
PERTE	LOSS	مفاقيد
PASSAGE A ZERO	ZERO COSSING	المرور بالصفر
PERTES PAR COMMMUTATION	COMMUTATION LOSSES	مفاقيد التبديل
PULSATION ANGULAR	SPEED	السرعة الزاوية

PUISSANCE MOYENNE	AVAREGE POWER	الاستطاعة المتوسطة
PUISSANCE DISSIPEE	DISSIPATED POWER	الاستطاعة المبددة
PAVE DE SILICON	SILICON WAFER	شريحة سيليكونية
PERTURBATION	FAULTE	خطأ-عدم استقرار
	Q	
QUARTER –QUADRANTS	FOUR QUADRANT	
RHEOSTATIQUE, RHEOSTAT	RHEOSTATIC	أومي
	R	
RAPPORT CYCLIQUE	DUTY CYCLE	عامل الدور
REDRESSEUR S POLYPHASES	MANY PHASE CONVERTERS	مقومات متعددة الأطوار
REVERSIBLE	REVERSIBLE	عكسي
RESONNANT	RESONANT	مهتز
RECUPERATION DE L'ENERGIE	ENERGY RECUPERATION	استعادة القدرة
RADIATEUR	HEAT SINK	مبرد -مشع
RESISTANCE THERMIQUE	THERMAL RESISTANCE	مقاومة حرارية
RAPIDE	FAST	سريع
REDRESSEUR MONO ERNANCE	HALF WAVE BRIDGE	مقوم نصف موجة
REGIME PERMANENT	STEADY STATE	نظام عمل دائم - مستقر
REGIME TRANSITOIRE	TRANSIENT STATE	نظام عمل عابر -غير مستقر
RESEAU ALTERNATIF	ALTERNATING NETWORK	شبكة توتر متناوب
	S	
SEMI CONDUCTEUR	SEMI CODUCTOR	نصف ناقل

SYNCHRONISATION	SYNCHRONASATION	تزامن
SUCCEDENT DANS L'ORDER	SUCCESSIVE IN ORDER	متتابع بانتظام
SINUSOIDAL	SINUSOIDAL	جيبي
SATURATION	SATURATION	إشباع
	T	
TENTION DE COMMUTATION	COMMUTATION VOLTAGE	توتر التبديل
TAUX D'ONDULATION	DISTORTION FACTOR	عامـــل التشـــوه -التعرج
TEMPERATURE AMBIANTE	AMBIENT TEMPERATURE	حرارة المحيط
DE PUISSANCE ENERGY	TRANSFERT TRANSFER	نقل الاستطاعة
VENTILATEURS	FANS	مراوح التبريد
	Ψ	زاوية الإزاحة بالطور
	$\wp$	زاوية التقدم
	$\propto$	زاوية التطابق (Over lap angle)

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المدقق اللغوي

د. محمود سالم محمد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University