دارات إلكترونية ١

المسائل الدراسية

المحاضرة الأولى: المفاهيم الأساسية في الدارات الإلكترونية.

المحاضرة الثانية: القوانين الرئيسة في الدارات الإلكترونية.

المحاضرة الثالثة: طرائق تحليل الدارات الكهربائية.

المحاضرة الرابعة: نظريات الدارات الكهربائية.

المحاضرة الخامسة: الديودات.

المحاضرة السادسة: تطبيقات الديودات.

المحاضرة السابعة: الديودات الخاصة.

المحاضرة الثامنة: الترانزستور ثنائي القطبية.

المحاضرة الأولى
المفاهيم الأساسية في الدارات الإلكترونية

لمحة تاريخية حول تطور علوم الكهرباء

- أول بحث كان في علوم الكهرباء والمغناطيسية كان من قبل العالم جلبرت عام ١٦٠٠.
- بقيت عندها هذه العلوم بعيدة عن التطور حتى عام ١٧٦٠، حيث وضع العالم أوثوفان أول آلة كهربائية تعمل على مبدأ الكهرباء الساكنة.
- في عام ١٧٧٥ استطاع العالم فولطا أن يصنع آلة كهربائية تعمل على مبدأ التأثير الكهربائي.
- في عام ١٧٩٠ استطاع العالم فولطا أن يصنع أول خلية ضوئية وعندها اكتشف التيار الكهربائي.
- في عام ١٨٣١ تمكن العالم فارادي من اكتشاف ظاهرة التحريض الكهرطيسي.
- في عام ١٨٣٢ تمكن العالم بيكسي من تصميم أول مولد كهربائي للتيار المستمر.
- في عام ١٨٣٧ تمكن العالم جاكوبي من اختراع المحرك الكهربائي.

- عام ١٨٤٧ وضع العالم كيرشوف قوانينه الشهيرة التي ساعدت على حل مسائل توزيع التيارات الكهربائية في حل مسائل توزيع التيارات الكهربائية في الدارات المتعددة الفروع.
- عام ١٨٨٥ اخترع العالم إستانلي المحول الكهربائي.
- عام ١٨٧٩ اخترع العالم اديسون المصباح الكهربائي.
- عام ١٨٨٣ اخترع العالم فارادي الآلة الكهربائية للتيار المتناوب.
- عام ١٨٨٨ أثبت العالم هرتز صحة العلاقات الرياضية التي أوجدها العالم ماكسويل والمتعلقة بالطبيعة الفيزيائية للأمواج الكهرطيسية والضوء.
- عام ١٨٨٩ استطاع العالم دوليفو من وضع الصورة المتعارف عليها للمولد ثلاثي الطور.
- عام ١٨٩١ استطاع العالم دوليفو من وضع أول خط نقل قدرة بالتوتر العالي.
- عام ١٩٣٦ اخترع العالم زوس الحاسب.
- عام ١٩٤٧ اخترع العلماء شوكلي ـ باردين ـ برانين الترانوستور.
- عام ١٩٥٨ اخترع العالم كيلبي الدارة المتكاملة.

عناصر الدارة الكهربائية

العنصر الكهربائي: هو اللبنة الرئيسة في بناء الدارات الكهربائية.

الدارة الكهربائية: عناصر كهربائية وإلكترونية موصولة مع بعضها البعض.

تحليل الدارة: ويعني تحديد الجهود عبر عناصر الدارة أو التيار المار بهذه العناصر.

الدارات الخطية: هي الدارات التي تحتوي على عناصر خطية.

العناصر الخطية: هي العناصر التي تملك علاقة خطية بين التوتر والتيار مثل المقاومات، منابع التيار والتوتر غير المستقلة.

يوجد نوعان من العناصر الكهربائية وهما:

أ- الفعالة: حيث تستطيع هذه العناصر توليد الطاقة الكهربائية وكأمثلة عليها نذكر: (المولدات، المدخرات، مضخمات العمليات).

ب- خاملة "غير فعالة": حيث لا تستطيع هذه العناصر تنفيذ مهمة توليد الطاقة الكهربائية وكأمثلة عليها نذكر: (المقاومة، المكثف، الملف).

العناصر الفعالة الأكثر أهميةً هي منابع التوتر أو منابع التيار.

يوضح الشكلان التاليان دارة كهربائية بسيطة:

الفرع Branch: يمثل عنصر وحيد مثل منبع توتر أو مقاومة، أي يمثل بطرفي عنصر ما.

العقدة Node: هي نقطة اتصال فرعين أو أكثر.

الحلقة Loop: هي أي مسار مغلق في دارة، ويقال عن الحلقة أنها مستقلة إذا كانت تحتوي عل الأقل فرعاً واحداً ليس جزءاً من أي حلقة مستقلة.

فإذا كان لدينا دارة تحتوي b فرعاً، و n عقدة، و L حلقة مستقلة، فإن عدد الفروع في هذه الدارة سيكون:

$$b = L + n - 1$$

يقال عن عنصرين أو أكثر أنهما على التسلسل إذا تشاركت هذه العناصر بعقدة وحيدة، وبالتالي يمر بها نفس التيار.

يقال عن عنصرين أو أكثر أنهما على التفرع إذا وصلت هذه العناصر إلى نفس العقدتين، وبالتالي يكون لهذه العناصر نفس التوتر.

الشحنة الكهربائية Electric Charge

هي الكمية الأساسية في الدارة الكهربائية، وهي تفسر جميع الظواهر الكهربائية، ويقال عن الجسم أنه متعادل كهربائياً إذا تساوت الشحنات الموجبة والسالبة، وبخلاف ذلك فإننا ننتقل إلى حالة عدم التعادل، وبناءاً على ذلك تم تصنيف الشحنات الكهربائية إلى سالبة أو موجبة، وأن الإلكترونات تدور حول النواة بسرعة عالية جداً دون أن تخرج عن مدارها بسبب القوى الكهربائية المؤثرة بين الذرة والنواة.

يعزى سبب هذه القوى الكهربائية إلى ما يسمى بالشحنة الكهربائية، والتي يرمز لها بالرمز q، وتقدر شحنة الالكترون بالقيمة: 1.602×10^{-19} C، حيث C هي الكولوم وهي وحدة قياس الشحنة الكهربائية.

الشحنة الكهربائية q: هي الخاصة الكهربائية لجزئيات الذرة التي تتشكل منها المواد في الطبيعة.

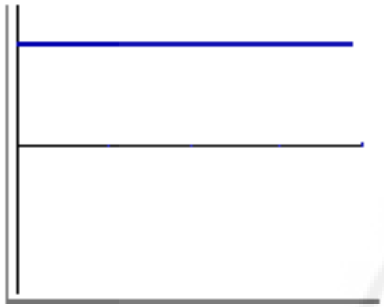
بينت التجربة أن الإلكترونات لا تتجاذب، وإنما تتنافر بين بعضها في حين تتجاذب مع النواة، وكذلك تتصرف شحنات نواة الذرة، فشحنة الإلكترونات تعد سالبة، بينما شحنة نواة الذرة تعد موجبة.

التيار الكهربائي

يعرف التيار الكهربائي بأنه عدد الشحنات الكهربائية التي تجتاز سطحاً مختاراً في مسارها خلال واحدة الزمن، أو هو معدل تغير الشحنة الكهربائية مع الزمن، ويقاس بالأمبير وعدد الشحنات الكهربائية ثابت خلال الزمن ويدعى التيار الكهربائي المستمر، فعند توصيل سلك ناقل إلى (مكون من عدد من الذرات) مدخرة، فإن الشحنات ستتحرك، وينشأ تيار كهربائي، واتفق على اعتبار جهة التيار هي بعكس جهة تدفق الشحنات السالبة.

للتيار نوعين هما:

١- التيار المستمر: هو التيار الذي تكون شدته واتجاهه ثابتين مع الزمن، وفي هذه الحالة يكون أحد قطبي المنبع موجباً بشكل دائم والقطب الآخر سالباً، وبالتالي يتدفق التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب عبر الحمل الكهربائي الموصل بينهما، ويمكن أن نعبر عن التيار الكهربائي بكمية كهربائية تسمى الشدة وهي كمية الشحنات الكهربائية المنتقلة خلال مقطع معين للناقل في واحدة الزمن أي: $I = dq/dt$، وعندما يكون التيار مستمراً، أي ثابتاً ولا تتغير قيمته مع الزمن أي: $I = q/t$.



حيث أن:

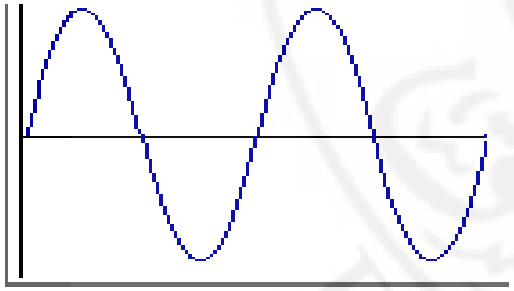
I: شدة التيار الكهربائي وتقاس بالأمبير **A**.

q: كمية الشحنات الكهربائية المنتقلة وتقاس بالكولوم **C**.

t: الزمن ويقاس بالثانية **S**.

٢- التيار المتناوب: وهو التيار الذي يتغير عادةً بشكل جيبي مع مرور الزمن.

لكي نميز بين كميات التيار المستمر والتيار المتناوب، فإنه يرمز بأحرف كبيرة للتيار المستمر، وأحرف صغيرة للتيار المتغير.



حيث أن:

i: القيمة اللحظية للتيار.

Im: القيمة العظمى للتيار.

t: الزمن.

w: السرعة الزاوية وتساوي $2\pi f$ وتقاس بالراديان.

f: التردد ويقاس بالهرتز.

فرق الكمون الكهربائي

هو النسبة بين العمل W المنفذ خلال نقل الشحنة الكهربائية بين نقطتين تقعان ضمن مجال حقل كهربائي ساكن، أو هو الطاقة اللازمة لتحريك واحدة الشحنة عبر عنصر من اللانهاية إلى النقطة المطلوبة دون إحداث أي تغيير في طاقتها الحركية، وواحدة فرق الكمون الكهربائي هي الفولط ويرمز لها بـ V، أي:

$$Va - Vb = W/q$$

الفولت: هو جهد نقطة أو فرق الجهد بين نقطتين يلزم جولاً واحداً لتحريك كولوماً واحداً بينهما.

هناك نوعان للتوتر هما:

أ- التوتر المستمر (DC): وهو توتر ثابت مع الزمن وعادةً يتولد من المدخرة، ويرمز له بحرف كبير V.

ب- التوتر المتناوب (AC): وهو توتر متغير مع الزمن بشكل جيبي وتتولد من مولد كهربائي، ويرمز له بحرف صغير v.

يوجد في الدارات الكهربائية نوعان للكمون وهما:

- النوع الأول عند المنابع، وتسمى بالقوة المحركة الكهربائية، وهي تمثل النسبة بين العمل اللازم لاستمرار الشحنة الكهربائية من المولد على قيمة هذه الشحنة.

- النوع الثاني يكون عند الأحمال، ويسمى بهبوط التوتر، ويرمز له بالرمز **U**، وهو يساوي النسبة بين العمل اللازم لإدخال الشحنة الكهربائية إلى ذلك الحمل على قيمة هذه الشحنة.

عندما يكون فرق الكمون بين أية نقطة مشحونة والأرض التي كمونها يساوي الصفر، فإننا نسمي فرق الكمون عندئذ بالتوتر الكهربائي، ويكون اتجاه فرق الكمون الكهربائي من الكمون العالي (قطب موجب) إلى الكمون المنخفض (قطب سالب).

الاستطاعة الكهربائية

على الرغم من أن التيار والتوتر هما المتغيران الأساسيان في الدارة الكهربائية فهما غير كافيان في حد ذاتهما، ومن الناحية العملية نحتاج لمعرفة استطاعة الجهاز الكهربائي الذي نتعامل معه، وتعرف الاستطاعة الكهربائية بأنها نهاية النسبة بين العمل الميكانيكي المنجز والزمن الذي يتم فيه العمل، أو أنها العمل المنجز خلال واحدة الزمن، أو هي المعدل الزمني لإنفاق أو استهلاك الطاقة الكهربائية، وتقاس بالواط، وفي الاستخدامات الميكانيكية يتم استخدام واحدة تسمى بالحصان وهي تعادل (حصان واحد = ٧٣٦ وات).

أي:

$$P = dWe/dt$$

لكن:

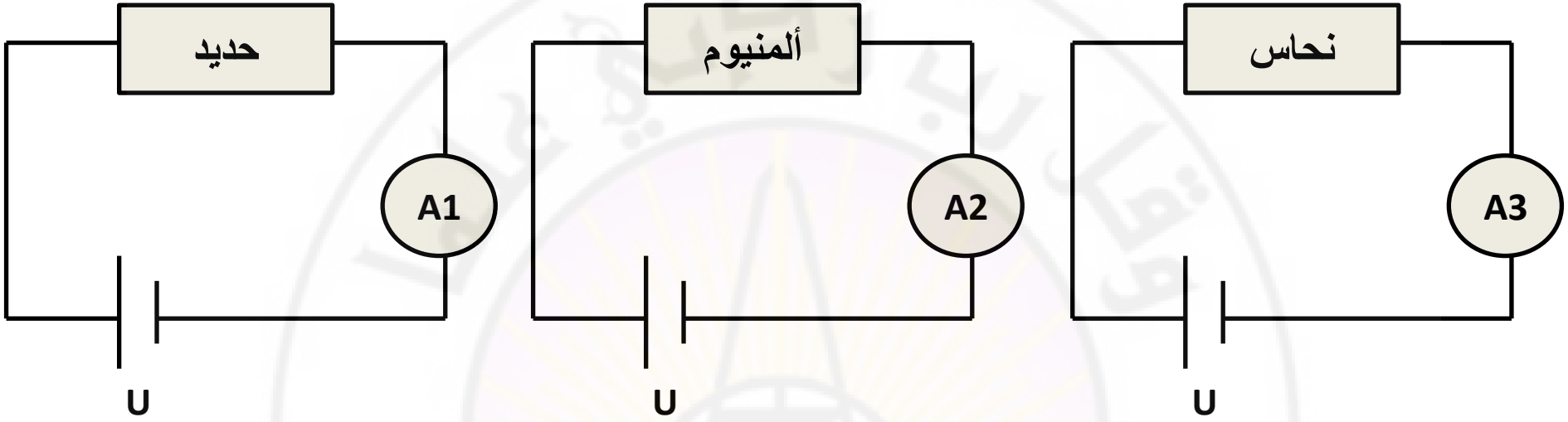
$$P = U.I = I2.R = U2/R$$

المقاومة الكهربائية Electric Resistors

إن التصادم الحاصل بين الإلكترونات الحرة داخل المادة المصنوع منها الناقل الكهربائي يحدد ما يسمى بمقاومة الناقل، وتعد هذه صفة خاصة بكل ناقل بحيث تختلف درجة التصادم من مادة لأخرى، فإذا كان لدينا ناقل معدني وطبقنا على طرفيه فرقاً في الكمون مقداره V، وكان التيار المار خلال هذا الناقل هو I، فإن النسبة الثابتة بين فرق الكمون والتيار المار تسمى المقاومة الكهربائية للناقل المعدني، ويرمز لها بالرمز R، وتقاس بواحدة تسمى الأوم Ω، ويوجد لها نوعين وهما: مقاومات ثابتة، ومقاومات متغيرة.

$$R = V/I$$

إذا أخذنا ثلاثة نواقل مصنوعة من معادن مختلفة (حديد، ألمنيوم، نحاس) لها الطول نفسه، والمقطع نفسه، وطبقنا عليها فرق الكمون نفسه كما في الشكل التالي:



وبواسطة مقاييس الأمبير الموجودة في كل دارة نلاحظ أن هناك قيماً مختلفة للتيارات المقاسة، حيث تتعلق قيم هذه التيارات بالتركيب الداخلي للمادة المصنوع منه الناقل، أي أن المواد تبدي مقاومة مختلفة للتيار عند تطبيق توتر معين ثابت، ومن هنا يمكن تعريف كمية فيزيائية جديدة تسمى المقاومة النوعية للمادة ويرمز لها بالرمز P.

وهي تمثل مقاومة ناقل طوله ١ متر، ومقطعه ١ ملم٢، عند درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية وتقاس بواحدة:

$$\Omega\ mm2/m$$

يلاحظ أن المقاومة النوعية للمادة تتعلق بعدد الشحنات الحرة الموجودة، فكلما زادات كثافة الشحنات الحرة نقصت المقاومة النوعية، ففي المعادن ذات العدد الكبير من الإلكترونات الحرة، فإن المقاومة النوعية صغيرة.

تجريبياً تبين أن المقاومة الكهربائية لأي ناقل كهربائي تتناسب طرداً مع طول الناقل وعكساً مع مقطعه أي:

$$R = K\ l/S$$

حيث أن:

K: ثابت التناسب، وتتعلق قيمته بطبيعة المادة المكونة للناقل.

l: طول الناقل ويقاس بالمتر.

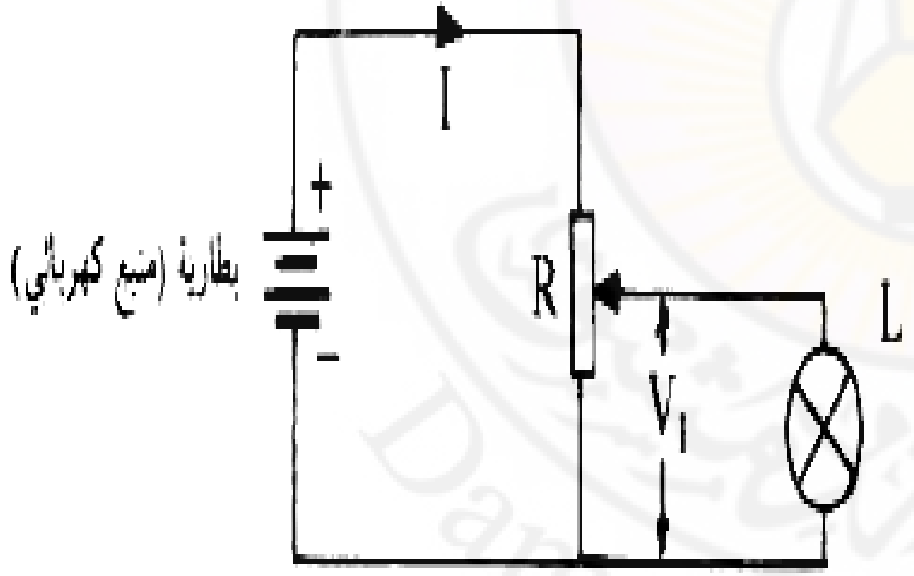
S: مقطع الناقل ويقاس بـ mm2.

ملاحظة: مقلوب المقاومة هو الناقلية Conductance، ويرمز لها بـ G وهي تساوي $G = 1/R$ وواحدتها السيمنس.

المقاومة: هي إحدى المكونات الكهربائية المستخدمة في الدارات الإلكترونية بكثرة لتقليل التيار المار في الدارة.

تستخدم المقاومات للتحكم في:

- **التيار الكهربي (توصيلها علي التوالي).**
- **الجهد(توصيلها علي التوازي).**
- **التيار يتناسب عكسياً مع المقاومة.**
- **كلما قلت قيمة المقاومة قل الجهد عليها والعكس صحيح.**



دائرة للتحكم في الجهد بواسطة مقاومة

يوضح الشكل الجانبي دارة كهربائية للتحكم بالجهد عن طريق المقاومة:

أنواع المقاومات

أ- المقاومة الثابتة، ولها العديد من الأنواع ومن أهمها نذكر:

١- المقاومة الكربونية Carbon resistor.

٢- المقاومة السلكية Wire-wound resistor.

٣- المقاومة الحرارية Thermistor.

٤- المقاومة الضوئية Photo resistor.

ب- المقاومة المتغيرة، ولها استخدامات عديدة نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر مايلي:

١- تستخدم كمفتاح للتحكم في درجة الصوت في أجهزة الاستقبال.

٢- تستخدم كمفتاح للتحكم في سرعة ماسح الزجاج للسيارة.

رمز المقاومة

طرق وصل المقاومات

١- الجمع التسلسلي للمقاومات: ويتم فيه وصل المقاومات مع بعض بحيث يكون التيار المار في هذه الدارة ثابتاً عند تطبيق جهد معين قدره U على قطبي الدارة، وتكون قيمة المقاومة المكافئة هي مجموع قيم المقاومات، أي:

$$R = R1 + R2 + R3 + \ldots\ldots Rn$$

٢- الجمع التفرعي للمقاومات: ويقصد به ربط الأقطاب الموجبة للمقاومات مع بعضها البعض والسالبة مع بعضها البعض أيضاً بحيث يكون التوتر الكهربائي المطبق على قطبي كل مقاومة مساوياً التوتر الكهربائي على قطبي الدارة الكهربائية، بينما يكون التيار الكلي المستجر من المنبع مساوياً لمجموع التيارات المارة في كل مقاومة من المقاومات، وتكون قيمة المقاومة المكافئة بهذا النوع من الربط هي (جداء المقاومات مقسوماً على مجموعها إذا وجد في الدارة فقط مقاومتين) ولكن بشكل عام، هي تساوي:

$$1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + \ldots\ldots + 1/Rn$$

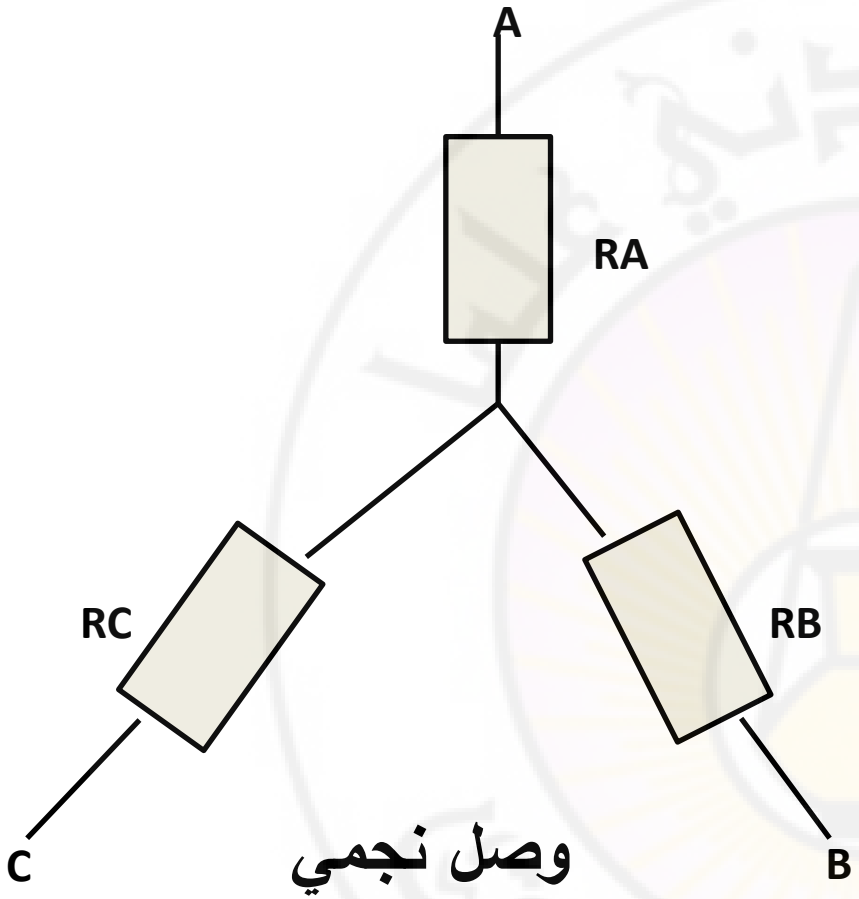
٣- الجمع المختلط للمقاومات: يمكن ربط المقاومات في دارة واحدة بشكل مختلط بحيث تربط مع بعضها على التسلسل، وبعضها على التفرع، وبالتالي باستخدام الحالتين السابقتين يمكن الوصول إلى المقاومة المكافئة لهذا النوع من الربط.

هذا النوع من الربط أو التوصيل يصادف بكثرة في الحياة العملية في شبكات التوزيع، حيث تكون المقاومة الداخلية للمولد ومقاومة أسلاك التوصيل موصولتين على التسلسل مع المقاومة المكافئة للأحمال الموصولة على التفرع في الشبكة.

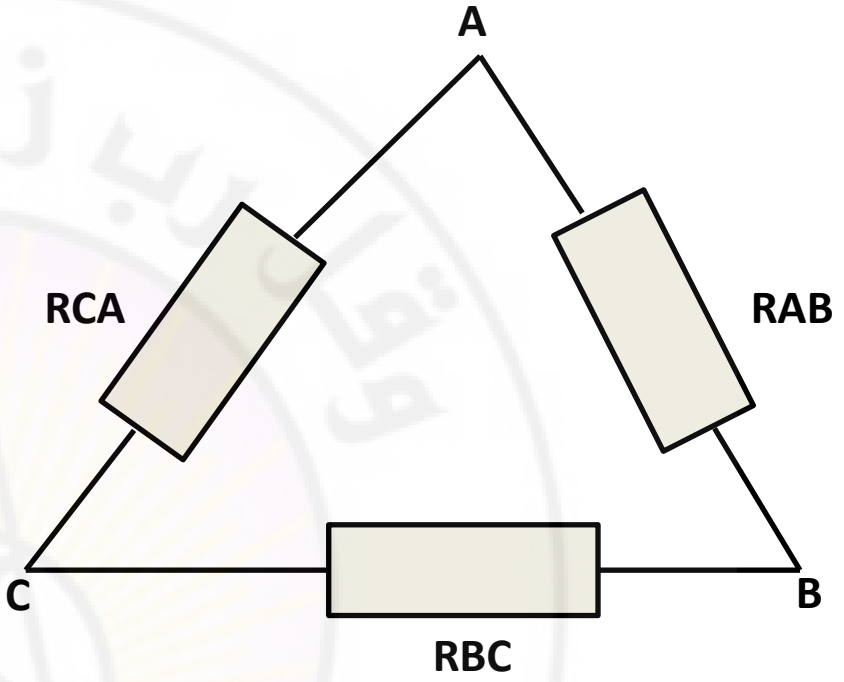
٤- الربط النجمي والمثلثي للمقاومات: يقصد بالربط النجمي للمقاومات أن توصل مع بعضها بحيث تكون نجمة ذات ثلاثة رؤوس، والنقطة المشتركة تسمى نقطة النجم.

الربط المثلثي وهو أن توصل المقاومات مع بعضها بحيث تكون أضلاع مثلث.

هذا واضح بالشكلين التاليين، ويوجد علاقات تحويل ما بين الربط النجمي والمثلثي (إذا وجد أحدها، فيمكن أن نستنتج الأخرى من الأولى).

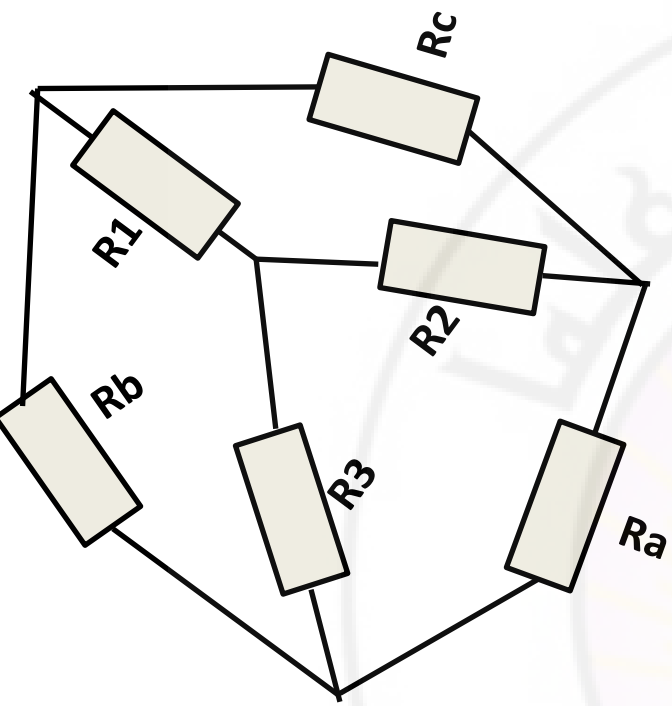


وصل نجمي



وصل مثلثي

هناك بعض الحالات التي لا يمكن فيها تبسيط الدارة الكهربائية وفق التوصيل التسلسلي والتفرعي، حيث تكون الدارة مؤلفة من عدة فروع موصولة بشكل نجمي أو عدة فروع موصولة بشكل مثلثي وفي هذه الحالة لابد من تبسيط الدارة وفق تقانة التحويل من نجمي إلى مثلثي أو بالعكس، ولإيجاد علاقات التحويل من المثلثي إلى النجمي نعتمد على قاعدتي الوصل التسلسلي والتفرعي.



كل مقاومة في دارة نجمية تساوي جداء المقاومتين في الضلعين المجاورين في الدارة مقسوماً على مجموع المقاومات في أضلع الدارة الثلاث، أي:

$$R1 = Rb.Rc / Ra + Rb + Rc$$
$$R2 = Ra.Rc / Rb + Ra + Rc$$
$$R3 = Rb.Ra / Rc + Ra + Rb$$

كل مقاومة في دارة مثلثية تساوي مجموع كل الجداءات الممكنة لمقاومات في دارة نجمية مأخوذة مثنى مثنى مقسوماً على المقاومة المقابلة في دارة النجمة، أي:

$$Ra = R1.R2 + R1.R3 + R2.R3 \,/\, R1$$
$$Rb = R1.R2 + R1.R3 + R1.R3 \,/\, R2$$
$$Rc = R1.R2 + R1.R3 + R1.R2 \,/\, R3$$

مجزئ الجهد ومجزئ التيار

إذا كان لدينا مقاومتين R1, R2 موصلتين على التسلسل في دارة تحتوي على منبع جهد U، فيكون الجهد الهابط على المقاومة R1 هو:

$$U1 = U \cdot R1/ (R1 + R2)$$

والجهد الهابط على المقاومة R2 هو:

$$U2 = U \cdot R2 / (R1 + R2)$$

وبشكل عام في حال تجزئي التوتر على عدد N من المقاومات (R1, R2, ...RN) الموصولة على التسلسل مع منبع توتر، فإن التوتر الهابط على طرفي المقاومة N سيعطى بالعلاقة التالية:

$$UN = RN \cdot V / (R1 + R2 + ... + RN)$$

إذا كان لدينا مقاومتين R1, R2 موصلتين على التفرع في دارة تحتوي على منبع جهد U، ويمر بها تيار I، فيكون التيار المار بالمقاومة R1 هو:

$$I1 = I \cdot R2 / (R1 + R2)$$

والتيار المار بالمقاومة R2 هو:

$$I2 = I \cdot R1 / (R1 + R2)$$

المكثفات الكهربائية Electric Capacitors

المكثف الكهربائي: هو عنصر غير فعال صمم لتخزين الطاقة في حقله الكهربائي، وهو من المكونات الكهربائية الأكثر شيوعاً مثله مثل المقاومة، ويتألف المكثف من ناقلين مفصولين عن بعضهما البعض بواسطة مادة عازلة يمكن أن تكون الهواء، أو أية مادة أخرى ذات ثابتة عازلية نسبية، ويستخدم لتخزين القدرة الكهربائية في الحقل الكهربائي الساكن المتشكل بين ناقليه، حيث أن أحد الناقلين يتم وصله مع القطب الموجب لمنبع التغذية، والناقل الآخر على القطب السالب للمنبع، وهذا الوصل سيؤدي إلى تجميع الشحنات الموجبة على اللبوس الأول، والشحنات السالبة على اللبوس الآخر.

إن زيادة جهد منبع التغذية المطبق على المكثف سيؤدي إلى زيادة شدة الحقل الكهربائي المتشكل بين اللبوسين، وستخزن طاقة كهربائية، وسيحمل الوجهان الداخليان للوجهين المتوازيان شحنات كهربائية متعاكسة بسبب فرق الجهد الكهربائي بينهما، وإن كمية الشحنة الكهربائية المخزنة في المكثف تتناسب طرداً مع فرق الجهد.

المنحني البياني للمكثف الكهربائي "علاقة الجهد مع الشحنة" يسمى المميزة الكهربائية للمكثف، وزاوية ميلان هذا المنحني تحدد السعة الكهربائية للمكثف.

المكثف هو نسبة الشحنة المخزنة في صفيحته إلى الجهد المطبق على طرفيه مقاساً بالفاراد. أي:

$$C = q / V$$

$$C = \varepsilon A / d$$

حيث:

ε: هو ثابت العزل.

A: مساحة سطح اللبوس.

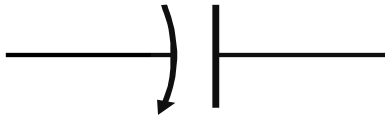
d: هي البعد بين اللبوسين.

عند وضع مادة عازلة بين لوحي مكثف، فإن سعة المكثف تزداد عنه قبل وضع المادة العازلة، ومقدار الزيادة يعتمد على نوع المادة العازلة، حيث أن لكل مادة عازلة لها ثابت عزل مختلف عن غيرها من المواد، وثابت العزل دائماً هو أكبر من الواحد.

المكثف هو دارة مفتوحة عند الجهود المستمرة، ومع ذلك إذا وصلت مدخرة بطرفي مكثف، فإن ذلك سيؤدي إلى شحن المكثف.

يقاوم المكثف تغيير الجهد الحاد على طرفيه.

هناك عدة أنواع للمكثف وذلك وفقاً لشكل النواقل التي يتألف منها المكثف ومن هذه الأنواع نذكر:



أ- المكثف المستوي.

ب- المكثف الأسطواني، وتعطى سعته بالعلاقة التالية:

$$C = 2.\pi.\varepsilon.l / \log(b/a)$$

حيث: a: هي نصف قطر دائرة اللوح الداخلي.

b: هي نصف قطر دائرة اللوح الخارجي.

l: طول المكثف.

ت- المكثف الكروي، وتعطى سعته بالعلاقة التالية:

$$C = 4.\pi.\varepsilon.\ A.b/(b-a)$$

حيث: a: هي نصف قطر دائرة اللوح الداخلي.

b: هي نصف قطر دائرة اللوح الخارجي.

وكذلك إما أن يكون المكثف:

أ- ثابت (كيميائي، سيراميك، بوليستر).

ب- متغير (الغشاء الرقيق، تريمر)، وتستخدم في ضبط الترددات مثل الموجودة في الراديو (مفتاح تبديل المحطات).

والأشكال التالية توضح ذلك:

٢٠ بيكوفاراد ± ٢٠ %
٥٠ فولت أي سي
أو ٤٠٠ فولت دي سي

٢٢٠٠ بيكوفاراد ± ١٠ %
القواس الحرارية غير معروفة

٢٠٠ نانوفاراد
٨٠ إلى – ٢٠ درجة مئوية
١٢ فولت دي سي

٤٧ بيكوفاراد ± ٢٠ %
معامل حرارة سالب ٢٢٠٠ جزء من المليون لكل درجة

شحن وتفريغ المكثف الكهربائي

إذا ربطنا مكثفاً كهربائياً سعته C على التسلسل مع مقاومة أومية قيمتها R، وطبقنا عليهما جهد عبر قاطع K، فإن التيار يمر في الدارة لفترة زمنية محددة تسمى زمن الشحن، وستنتقل الالكترونات من الصفيحة العليا، وتتوضع على الصفيحة السفلى، وانتقال الالكترونات سيكون بالبداية سريعاً، ويقفز التيار إلى قيمة عظمى ثم يتناقص هذا التيار إلى الصفر عند الشحن الكامل للمكثف، وفي نهاية هذه الفترة سوف تتجمع الشحنات الكهربائية على لبوسي المكثف، وهذا يؤدي إلى تشكيل فرق في الكمون على طرفيه، وفرق كمون على طرفي المقاومة، وعندما يصبح التوتر عبر المكثف مساوياً لتوتر المدخرة، فإن انتقال الالكترونات سوف يتوقف، وسيكون لصفحتي المكثف شحنة مقدارها: $q=c.v$.

أما تفريغ المكثف، فيتم بقصر قطبي المكثف، حيث نلاحظ أن المكثف قد فقد شحنته، وفي هذه الحالة يشكل المكثف المشحون منبعاً للتغذية الكهربائية، ويفرغ شحنته عبر المقاومة R.

تعطى الطاقة المخزنة بالمكثف بالعلاقة التالية: $W = ½ . C.V2$.

تتم عملية التفريغ والشحن بطريقتين وهما:

١- على التسلسل أو التوالي (شحن المكثف):
حيث يتم توصيل المكثف والمقاومة على التوالي (التسلسل)، ويتم الشحن تدريجياً، وتعمل المقاومة هنا على عملية إبطأ شحن المكثف.

٢- على التوازي (تفريغ المكثف):
حيث يتم توصيل المكثف والمقاومة على التوازي، ويتم التسريب أو التفريغ تدريجياً، وتعمل المقاومة على إبطأ عملية التفريغ للمكثف.

Damascus University

طرق وصل المكثفات الكهربائية

١- الوصل التسلسلي: ويقصد بذلك هو أن نربط اللبوس السالب للمكثف الأول مع اللبوس الموجب للمكثف الثاني واللبوس السالب للمكثف الثاني إلى اللبوس الموجب للمكثف الثالث وهكذا، وفي هذه الحالة، فإن الشحنات الكهربائية التي تتجمع على لبوسي المكثف الأول تكون مساوية للشحنات المتجمعة على الثاني والشحنات المتجمعة على الثالث، أي أن الشحنات متساوية، بينما فرق الكمون الكلي يساوي مجموع فروق الكمون على طرفي كل منها وبالتالي:

$$q1 = q2 = q3 = \ldots\ldots = qn = q$$

$$U = U1 + U2 + U3 + \ldots\ldots + Un$$

وتعطى علاقة فرق الكمون على المكثف بالعلاقة التالية:

$$U = q/C$$

وقيمة السعة المكافئة لسعات المكثفات تعطى بالعلاقة التالية:

$$1/C = 1/C1 + 1/C2 + 1/C3 + \ldots\ldots + 1/Cn$$

٢- الوصل التفرعي: ويقصد بذلك هو أن نربط اللبوس الموجب للمكثفات مع بعضها، واللبوس السالب للمكثفات مع بعضها، وفي هذه الحالة تكون التوترات على كل من المكثفات متساوية وتساوي التوتر المطبق على طرفي الدارة، بينما الشحنة المستجرة من المنبع تكون مساوية لمجموع الشحنات المتجمعة على المكثف، وبالتالي:

$$q1 + q2 + q3 + \ldots\ldots + qn = q$$

$$U = U1 = U2 = U3 = \ldots\ldots Un$$

وتعطى علاقة فرق الكمون على المكثف بالعلاقة التالية:

$$U = q/C$$

وقيمة السعة المكافئة لسعات المكثفات تعطى بالعلاقة التالية:

$$C = C1 + C2 + C3 + \ldots\ldots + Cn$$

المكثف المكافئ لـ n مكثف موصول على التفرع هو مجموعها.

مقلوب المكثف المكافئ لـ n مكثف موصول على التسلسل هو مجموع مقلوب كل منها.

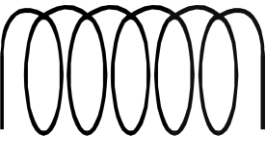
٣- الوصل المختلط: ويقصد بذلك هو أن بعض المكثفات تكون موصلة بشكل تفرعي، وبعضها الآخر موصلة بشكل تسلسلي بحيث تشكل دارة مغلقة.
يمكن حساب سعة المكثف المكافئ باستخدام النظريتين السابقتين (مكثفات الربط التسلسلي لوحدها ومكثفات الربط التفرعي لوحدها).

ملاحظة: المكثفات والملفات لا تبدد الطاقة كما في المقاومات، وإنما تخزنها، ثم تعيدها في وقت لاحق، لذلك تسمى هذه العناصر بعناصر التخزين.

ملاحظة: يتناسب جهد المكثف طردياً مع التكامل الزمني للتيار المار به.

تعطى الطاقة المخزنة في مكثف بالعلاقة التالية:

$$1/2 \ .C \ .V2$$



الملفات الكهربائية Electric Coils

الملف هو عنصر غير فعال مصمم لتخزين الطاقة في مجاله المغناطيسي، والملفات تستخدم في وحدات التغذية والمحولات وأجهزة الراديو والتلفاز والرادار، ... إلخ، والملف هو عبارة عن سلك ناقل ملفوف حول قلب اسطواني له طول، ومساحة مقطع، وعدد لفات.

إذا سمح لتيار أن يمر بملف، فإن الجهد على طرفيه يتناسب طرداً مع المعدل الزمني لتغير التيار، أي:

$$V = L.di/dt$$

حيث L: هو ثابت التناسب، ويسمى بالمعامل الحثي أو التحريضي.

ويتناسب تيار الملف طرداً مع التكامل الزمني للجهد المطبق على طرفيه.

الحثية هي الخاصية التي بها يبدي الملف ممانعة لتغير التيار المار به، وتقاس بالهنري (H)، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$L = N2 \ . \ \mu . \ A/l$$

حيث:

N: عدد اللفات.

l: طول الملف.

A: مساحة مقطع سلك الملف.

μ: معامل النفوذية المغناطيسية لقلب الملف.

الملف عبارة عن سلك أو موصل ملفوف على قلب، وقد يكون هذا القلب هواء أو حديد أو مادة أخرى، وله الاستخدامات التالية:

- **يمنع مرور التيار المتردد AC، ويمرر التيار المستمرDC، حيث تعطى معاوقة الملف بالعلاقة التالية: $XL = 2.\pi.f.L$، ففي حالة التيار المستمر يكون التردد مساوياً الصفر، وفي حالة التيار المتردد يكون التردد كبير جداً.**

- **الملفات تختزن الطاقة المغناطيسية في المجال حولها مما يجعلها تقاوم التغيرات السريعة للتيار الكهربي المار فيها، وتسمى هذه الظاهرة بالحث الذاتي للملف.**

الحثية المكافئة لمجموعة حثيات ملفات موصولة على التسلسل هو مجموع هذه الحثيات، أي:

$$L = L1 + L2 + L3 + ... + Ln.$$

مقلوب الحثية المكافئة لمجموع حثيات ملفات موصولة على التفرع هو مجموع مقلوب هذه الحثيات، أي:

$$1/L = 1/L1 + 1/L2 + 1/L3 + ... + 1/Ln.$$

في حال وصل ملفين على التفرع، فإن الحثية المكافئة في هذه الحالة تكون:

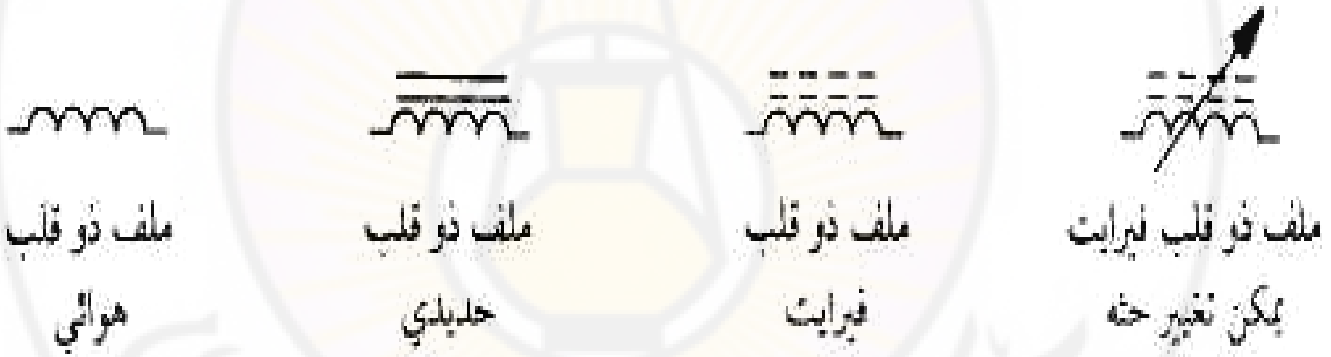
$$L = L1.L2/L1+L2$$

تعطى الطاقة المخزنة في ملف بالعلاقة التالية:

$$1/2 .L .I2$$

أنواع الملفات الكهربائية

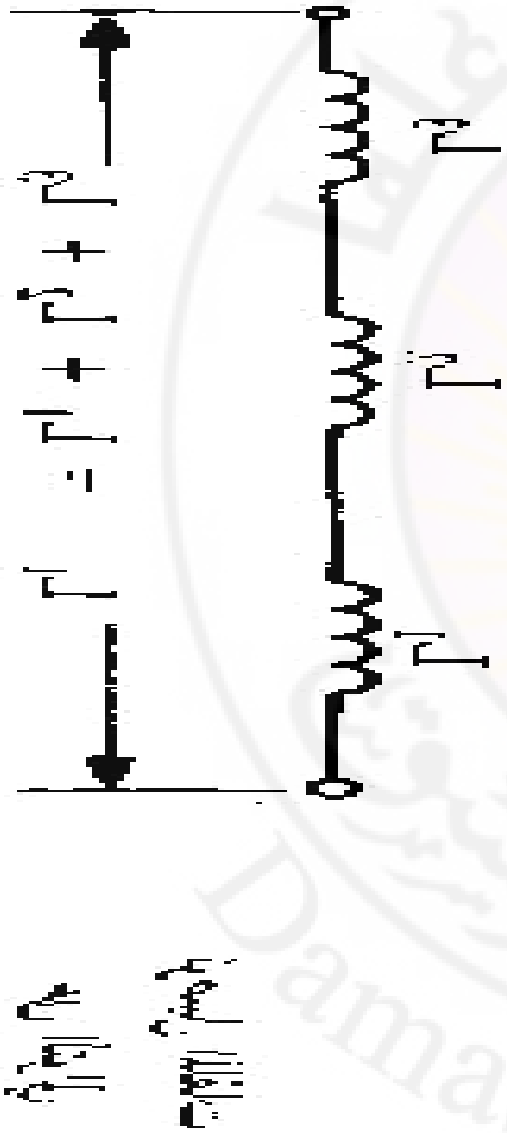
١- ملفات التوليف Tuning Coils.
٢- ملفات الهوائي Antenna Coils.
٣- ملفات خانقة Choke Coils.



رموز الأنواع المختلفة للملفات

- يمكن أن يظهر الملف على شكل اسطواني أو حلقي أو شرائحي.
- يعمل الملف كدارة مقصورة عند التيارات المستمرة.
- لا يمكن أن يتغير تيار الملف لحظياً.

أشكال توصيل الملفات في الدوائر الكهربائية

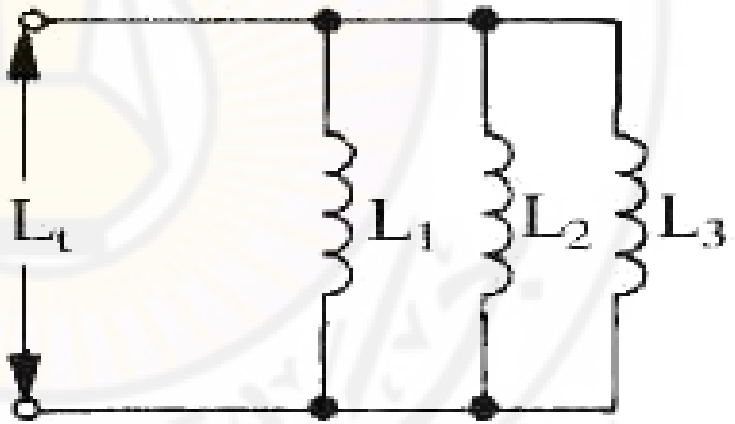


أولاً: التوصيل علي التوالي:

أشكال توصيل الملفات في الدوائر الكهربائية

ثانياً: التوصيل علي التوازي (التفرع):

توصيل الملفات
على التوازي



$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

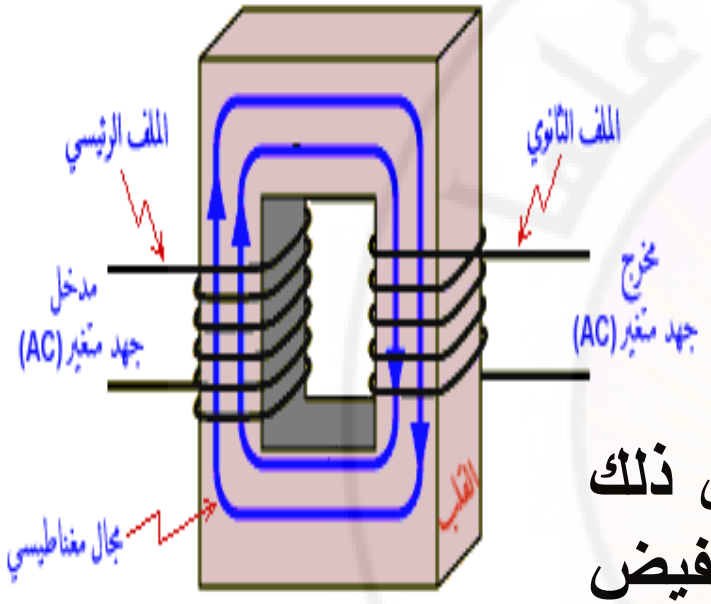
Electric Transformers المحولات الكهربائية

هي نوع خاص من الملفات يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسة وهي:

١- القلب.

٢- الملف الابتدائي.

٣- الملف الثانوي.



ويتمثل عمل المحول بـ:

عند مرور التيار المتردد في الملف الابتدائي يؤدي ذلك إلى تكون مجال مغناطيسي متغير يقطع الفيض المغناطيسي المتكون لفات الملف الثانوي، فينشأ جهد كهربي بالحث يسبب مرور التيار الكهربائي إلى الحمل، وتعطى نسبة التحويل بالعلاقة التالية:

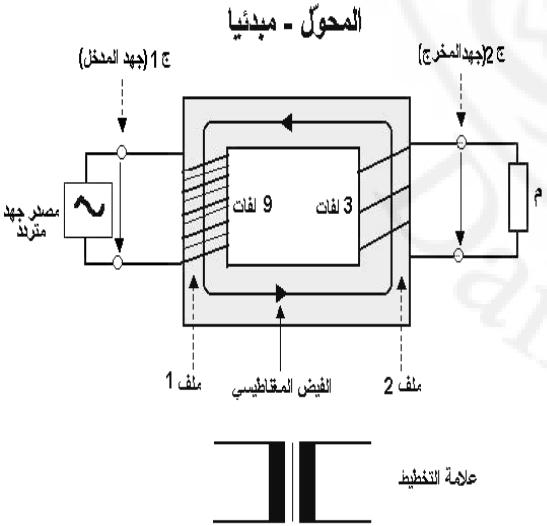
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

حيث N1: عدد لفات الملف الأولي.

N2: عدد لفات الملف الثانوي.

V1: الجهد الهابط على الملف الأولي.

V2: الجهد الهابط على الملف الثانوي.



المولدات الكهربائية

وفيها يتم تحويل الطاقة الميكانيكية أثناء عملية دوران هذه المولدات إلى قدرة كهربائية، وهذه المولدات تعطي توترات كهربائية عالية نسبياً بين قطبيها، وكما في حال البطاريات "المدخرات"، فإن هناك قوة محركة كهربائية تدفع التيار الكهربائي على المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل وشائع المولد ذاته ومن القطب الموجب نحو القطب السالب خارج المولد.

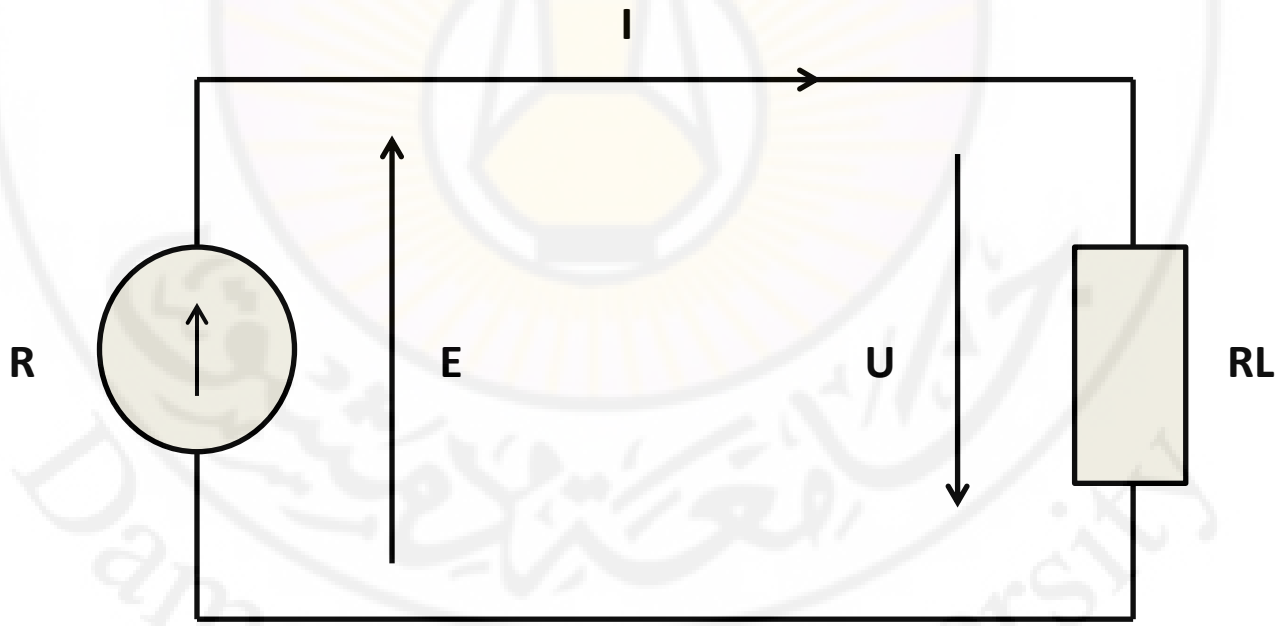
إن القوة التي تبذل العمل اللازم لتحريك الشحنات الكهربائية داخل المولد، والتي تولد القوة المحركة الكهربائية هي قوة ميكانيكية تتحول إلى قدرة كهربائية عن طريق التفاعل المتبادل بين الحقل المغناطيسي والتيارات الكهربائية التي تمر في وشائع المولد.

تجدر الملاحظة إلى أن المولدات هي منابع عكسية، حيث تتحول الطاقة أو القدرة الكهربائية إذا طبقت على المدخرات إلى طاقة كيميائية، وتحول أيضاً القدرة الكهربائية في المولدات إلى طاقة ميكانيكية حركية إذا ما طبقت على أقطابها على شكل توترات وتيارات كهربائية.

المنابع الكهربائية

١- منابع التوتر (الجهد) المستقلة: ويمكن أن نميز نوعين لهذه المنابع وهما:

أ- منبع التوتر الحقيقي: ويتألف هذا المنبع من قوة محركة كهربائية مع مقاومة موصولة على التسلسل كما هو مبين بالشكل التالي:



فعند وصل المنبع إلى حمل كهربائي RL، فإن هذا الأخير يستجر تياراً كهربائياً I، وبالتالي:

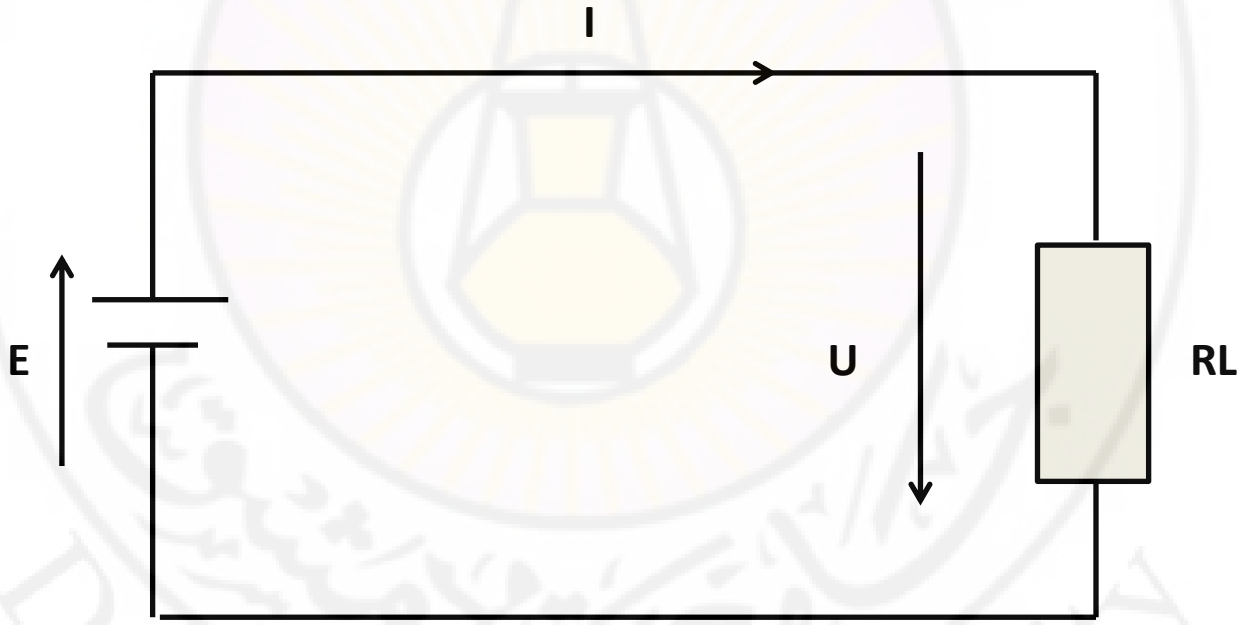
$$VL = E - R.I$$

نلاحظ من هذه المعادلة أن زيادة التيار يؤدي إلى نقصان في التوتر على طرفي الحمل ومنه نستنتج أن:

منبع التوتر الحقيقي غير ثابت، لذلك في المنابع الكهربائية يجب أن تكون المقاومة الداخلية R للمنبع صغيرة جداً بالمقارنة مع مقاومة الحمل RL بحيث يمكن إهمالها، وعندها يساوي التوتر على طرفي الحمل VL تقريباً القيمة E.

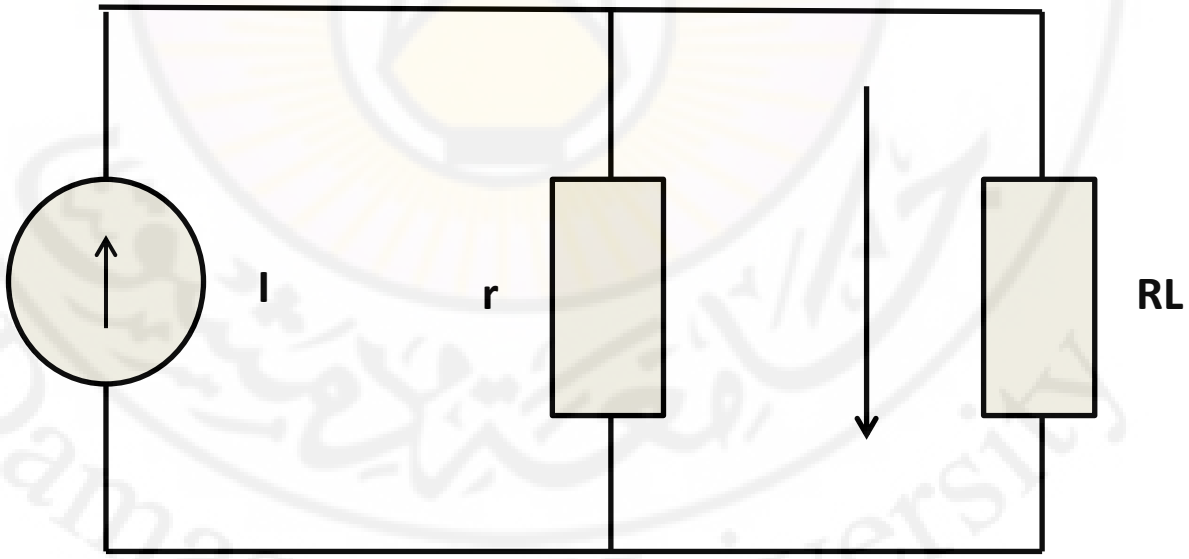
Damascus University

ب- منبع التوتر المثالي: ويتألف هذا المنبع من قوة محركة كهربائية فقط كما هو مبين بالشكل التالي، والتوتر على طرفي الحمل يبقى ثابتاً، ولا يتعلق بقيمة التيار المستجر.



٢- منابع التيار المستقلة: عملياً لا يوجد فرق بين منابع التوتر ومنابع التيار، فعلى سبيل المثال المدخرة الكهربائية يمكن عدها منبعاً للجهد ويمكن أيضاً عدها منبعاً للتيار، وإنما الفرق فقط في الدارة المكافئة لكل منهما ويمكن التميز بين نوعين من منابع التيار المستقلة وهما:

أ- المنبع الحقيقي: كما في الشكل التالي، حيث يتألف هذا المنبع من منبع ثابت للتيار مع مقاومة مربوطة على التفرع.



ب- المنبع المثالي: كما في الشكل التالي، حيث يتألف فقط من منبع ثابت للتيار دون أية مقاومة على التفرع.

٣- المنابع غير المستقلة: وتسمى أحياناً بالمنابع المفقودة وفي هذه المنابع تكون قيم منابع الجهد أو التيار محددة على أساس جهد أو تيار عنصر ما في الدارة ويرمز لها كما في الشكل التالي، وهذه المنابع ذات أهمية كبيرة في مجال الهندسة الكهربائية والإلكترونية.

المحاضرة الثانية
القوانين الرئيسة في الدارات الإلكترونية

قانون أوم

إذا ربطنا ناقلاً معدنياً مع منبع التغذية مولداً للتيار المستمر فإن هذا المنبع يولد فرقاً في الكمون بين طرفي الناقل وبالتالي:

$$VAB = VA - VB$$

وبسبب هذا الفرق فإنه يتولد داخل الناقل حقل كهربائي يؤدي إلى توليد تيار كهربائي شدته I وذلك بسبب انتقال الشحنات السالبة من الكمون الأصغر باتجاه الكمون الأعلى.

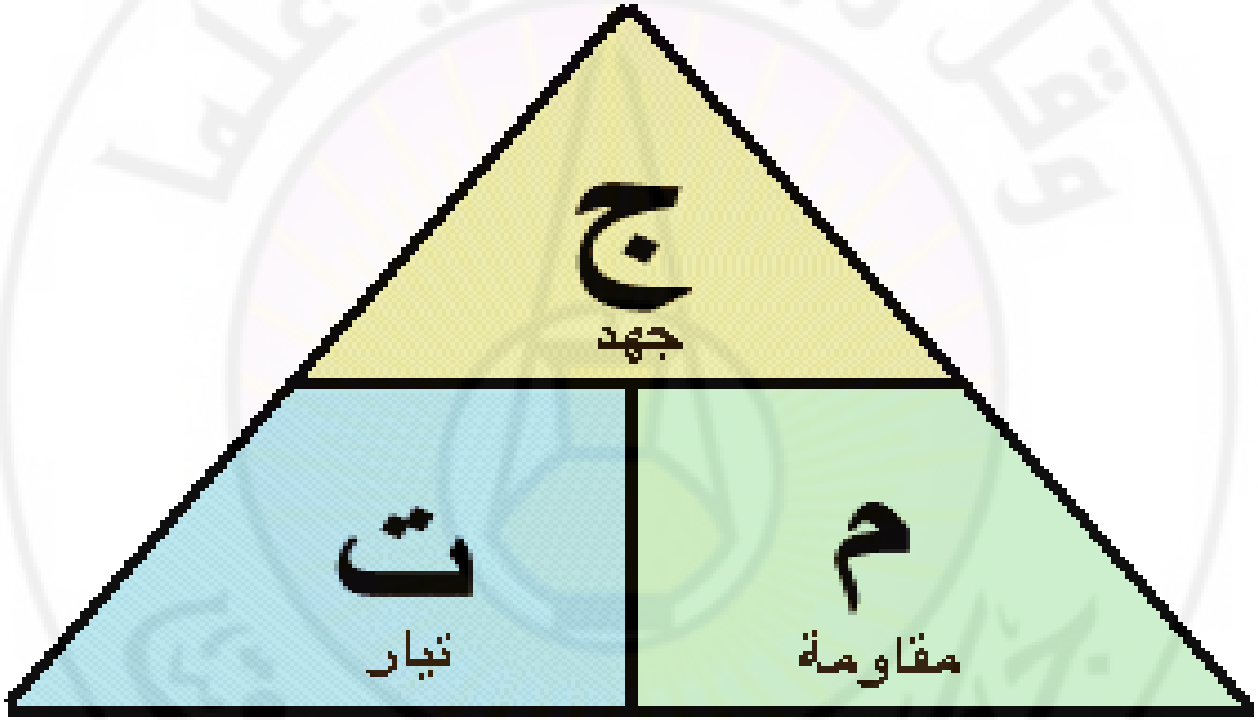
إن النسبة بين التوتر المطبق على طرف الناقل والتيار المار هي دائماً نسبة ثابتة وتتعلق بطبيعة المادة المصنوع منها الناقل وبالتالي:

$$VA - VB / I = R \qquad VAB = R.I$$

هذه العلاقة تسمى بقانون أوم.

نلاحظ من القانون أن شدة التيار تزداد بازدياد التوتر المطبق عند مقاومة حمل ثابتة وتنقص مع ازدياد الحمل عند توتر ثابت ومنه نجد أن قانون أوم ينص على مايلي: يزداد التيار الكهربائي بازدياد التوتر المطبق وينقص بازدياد المقاومة، أي أن الجهد على طرفي مقاومة يتناسب طرداً مع التيار المار فيها.

يوضح الشكل التالي العلاقات التي تربط بارامترات قانون أوم:



فرق الجهد = التيار * المقاومة =ت * م

التيار = فرق الجهد / المقاومة =ج/م

المقاومة = فرق الجهد / التيار =ج /ت

قوانين كيرشوف
في
دارات التيار المستمر

قانون كيرشوف الأول

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات الكهربائية الداخلة والخارجة في عقدة معينة من شبكة كهربائية يساوي الصفر.

أي: أن مجموع التيارات الداخلة لعقدة ما يساوي مجموع التيارات الخارجة من هذه العقدة.

قانون كيرشوف الثاني

ينص هذا القانون على أن مجموع القوى المحركة الكهربائية في حلقة مغلقة يساوي مجموع هبوطات الجهد على العناصر الموجودة على هذه الحلقة.

المحاضرة الثالثة
طرق تحليل الدارات الإلكترونية

تحليل الدارات الإلكترونية

الميزة الرئيسة لتحليل الدارات باستعمال قوانين كيرشوف هو أنه يمكن تحليل الدارة دون تغيير بنيتها الأصلية والسيئة الرئيسة لهذه الطريقة هو حاجتها لعمليات حسابية طويلة ومملة في حالة الدارات الكبيرة والمعقدة، وقد أدت زيادة مجالات التطبيق للدارات الكهربائية إلى التطور من أبسط الدارات إلى أعقدها، وللتعامل مع الدارات المعقدة فقد طور المهندسون على مر السنين بعض النظريات لتبسيط الدارات وتحليلها وتشمل هذه النظريات نظرية ثيفينين ونظرية نورتون حيث تطبق هذه النظريات على الدارات الخطية (عناصرها خطية، منابع مرتبطة خطية، منابع مستقلة خطية).

ملاحظة: تحويل المنبع هو أداة أخرى لتبسيط الدارات وتستند على مفهوم التكافؤ حيث أن الدارة المكافئة هي الدارة التي تكون فيها خصائص الجهد والتيار متطابقة مع الدارة الأصلية أي، هو إجرائية يجري بمقتضاها تحويل منبع جهد موصول على التسلسل مع مقاومة إلى منبع تيار موصول على التفرع مع المقاومة والعكس بالعكس.

غالباً تحويل المنابع يدعى تحويل نورتن وثيفينين.

لدراسة أية دارة كهربائية يجب أن توجد عدداً من العلاقات الرياضية باستخدام القوانين والنظريات المعروفة بين الكميات المعلومة والكميات المجهولة ولكي يكون النظام الرياضي قابلاً للحل فإنه يجب أن يكون عدد هذه العلاقات مساوياً لعدد المجاهيل في تلك الدارة، وهناك عدة طرائق وتقانات يمكن بواسطتها معرفة جريان التيارات في الفروع المكونة للدارة الكهربائية ومنها:

١- التحليل باستخدام تيارات الحلقات:

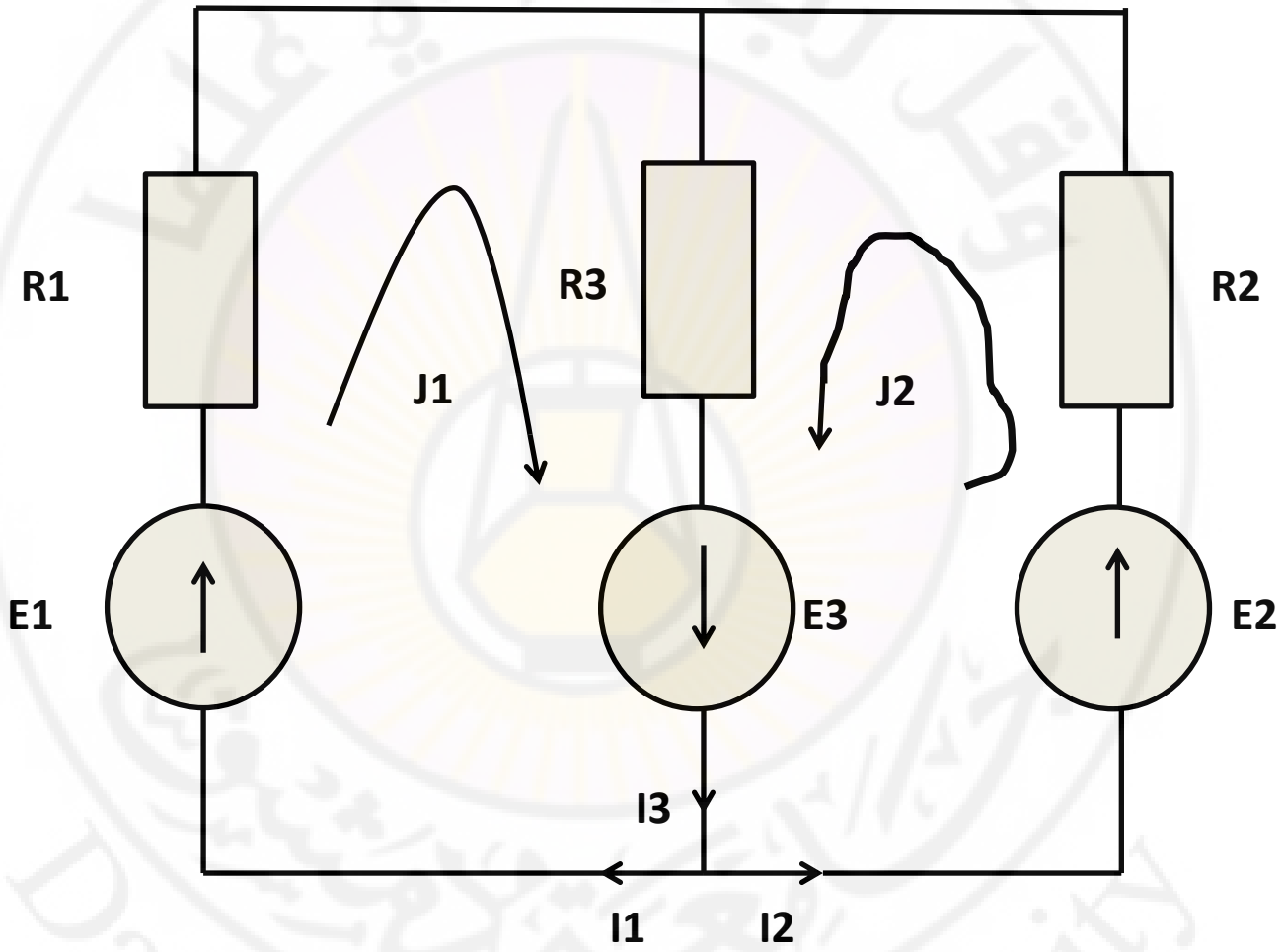
عندما تكون الدارة مؤلفة من عدد كبير من الفروع، فإن عدد المجاهيل سوف يزداد بازدياد فروع الدارة وبالتالي يزداد عدد المعادلات ويصعب معه حلها للحصول على قيم المجاهيل، لذلك تم استخدام تقانات وطرائق حديثة للحصول على المجاهيل في الدارة المدروسة وذلك بأقل عدد ممكن من المجاهيل.
تسمى هذه الطريقة بتيارات الحلقات لأنها تستعمل تيارات وهمية معرفة في كل حلقة مستقلة ويجري كل منها في جميع الفروع المشكلة لتلك الحلقة المدروسة.

يقدم تحليل الحلقة إجرائية عامة أخرى لتحليل الدارات باعتماد تيارات الحلقات كمتغيرات للدارة، حيث يخفض استعمال تيارات الحلقات عوضاً عن تيارات العناصر وعدد المعادلات التي ينبغي حلها، وتستعمل تحليل الحلقات قانون كيرشوف للجهود لإيجاد التيارات المجهولة.
تحليل الحلقات ليس عاماً تماماً كتحليل العقد لأنه لا يمكن تطبيقه إلا على الدارات المستوية (وهي الدارات التي يمكن رسمها في مستوي دون أن تتقاطع فروعها).

تعتمد هذه الطريقة على استبدال المجاهيل في نظام المعادلات الناتجة عن قوانين كيرشوف بمجاهيل جديدة معرفة بعلاقات محددة بحيث ينتج لدينا نظام معادلات عددها أقل من معادلات النظام الأساسي.

في الدارات الكهربائية تكون المجاهيل الجديدة تيارات تجري في الحلقات المستقلة وتسمى تيارات ماكسويل وهذا يعني أن عدد معادلات النظام الجديد ينخفض من L معادلة في حالة النظام الأساسي الناتج عن قوانين كيرشوف إلى B معادلة ودائماً كما هو معلوم فإن $B < L$.

لبيان كيفية تطبيق هذه النظرية نفترض أنه لدينا الدارة التالية والمبينة بالشكل التالي، حيث نلاحظ في هذه الدارة أن $L= 3$، وبالتالي هناك ثلاثة مجاهيل ويلزمنا لمعرفة هذه المجاهيل ثلاث معادلات ويمكن الحصول عليها من قوانين كيرشوف.


R1
R3
R2
J1
J2
E1
E3
E2
I3
I1
I2

نطبق قانون كيرشوف الأول على إحدى العقدتين:

$$I3 = I1 + I2$$

وقانون كيرشوف الثاني على كل من الحلقتين المستقلتين فيكون:

$$E1 + E3 = I1.R1 + I3.R3$$

$$E2 + E3 = I2.R2 + I3.R3$$

نختار في كل حلقة مستقلة تياراً وهمياً يمر في الفروع كافة المكونة لها ويكون J1 في الحلقة الأولى و J2 في الحلقة الثانية.

العلاقة بين التيارات الوهمية والتيارات الحقيقية هي:

$$I1 = J1$$

$$I2 = J2$$

$$I3 = J1 + J2$$

نعوض هذه التيارات في العلاقات السابقة فنحصل على:

$$E1 + E3 = J1.R1 + (J1 + J2).R3$$

$$E2 + E3 = J2.R2 + (J1 + J2).R3$$

وبذلك حصلنا على نظام معادلات جديدة فيه مجاهيل J1, J2 وعدد معادلاته يساوي عدد الحلقات المستقلة B.

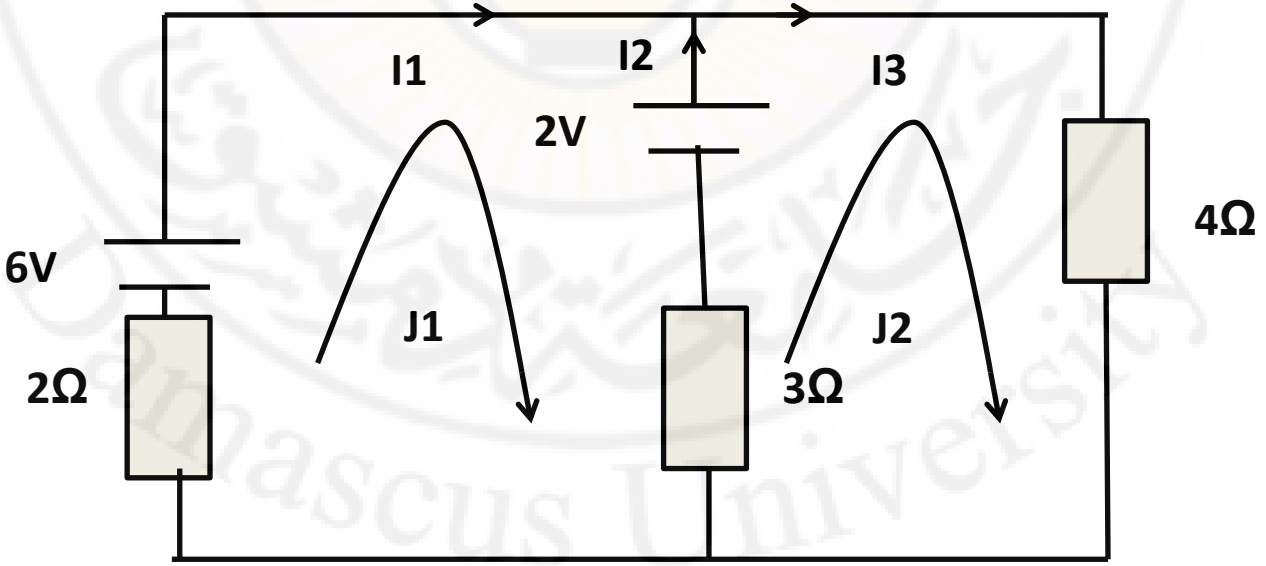
$$E1 + E3 = J1.R1 + (J1 + J2).R3 = (R1+R3)J1 + R3.J2$$
$$E2 + E3 = J2.R2 + (J1 + J2).R3 = R3.J1 + ((R2 + R3)J2$$

بالحل المشترك لهذه المعادلات نحصل على قيم J1, J2، ومن ثم نقارن التيارات الحقيقية مع التيارات الوهمية، وفي حال كان أحد التيارات ذا إشارة سالبة، فإن الاتجاه الحقيقي يعاكس الاتجاه المفروض.

مثال: لدينا الدارة الكهربائية التالية والموضحة بالشكل التالي وفيها:

$$R1 = 2\Omega, E1 = 6V, R2 = 3\Omega, E2 = 2V, R3 = 4\Omega$$

والمطلوب حساب التيارات في الفروع باستخدام تقانة تيارات الحلقات.



لدينا في الدارة L = 3, B = 2, N = 2

توجد حلقتان مستقلتان وبالتالي نختار تيارين وهميين هما J1, J2:

$$E11 = R11.J1 + R12.J2$$

$$E22 = R21.J1 + R22.J2$$

حيث:

$$R12 = R21 = 3\Omega$$

$$R11 = R1 + R3 = 2+3 = 5\Omega$$

$$R22 = R2 + R3 = 4+3 = 7\Omega$$

$$E11 = E1 - E2 = 6 - 2 = 4V$$

$$E22 = E2 = 2V$$

بالتعويض يكون:

$$4 = 5J1 - 3J2$$
$$2 = -3J1 + 7J2$$

$$D = \begin{pmatrix} 5 & -3 \\ -3 & 7 \end{pmatrix} = 26$$

$$D1 = \begin{pmatrix} 4 & -3 \\ 2 & 7 \end{pmatrix} = 34$$

$$D2 = \begin{pmatrix} 5 & 4 \\ -3 & 2 \end{pmatrix} = 22$$

Damascus University

$$J1 = D1/D = 34/26 = 1.3\ A$$

$$J2 = D2/D = 22/26 = 0.85\ A$$

بالمقارنة مع التيارات الحقيقية نجد:

$$I1 = J1 = 1.3\ A$$

$$I2 = J2 - J1 = 0.85 - 1.3 = -0.45\ A$$

$$I3 = J2 = 0.85\ A$$

نلاحظ أن التيار I2 ذو إشارة سالبة وهذا يعني أن الاتجاه الحقيقي يعكس الاتجاه المفترض.

تحليل الحلقة بطريقة مبسطة

يمكننا الحصول على معادلات تيارات الحلقة بطريقة مبسطة عندما تحتوي دارة المقاومات الخطية على منابع توتر مستقلة فقط، وبشكل عام إذا كان للدارة عدد N من الحلقات فإنه يمكن التعبير عن معادلات تيارات الحلقات بدلالة المقاومات كمايلي:

$$\begin{pmatrix} R11 & R12 & R1N \\ R21 & R22 & R2N \\ RN1 & RN2 & RNN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i1 \\ i2 \\ iN \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v1 \\ v2 \\ vN \end{pmatrix}$$

٢- التحليل باستخدام مبدأ التراكم:

تعتمد هذه النظرية على مبدأ التراكم العام المستخدم في العلوم الميكانيكية وبما أن العلاقة بين الجهد والتيار هي علاقة خطية فإنه يمكن تطبيق مبدأ التراكم لدراسة الدارات الكهربائية وتحليلها وينص هذا المبدأ على مايلي:

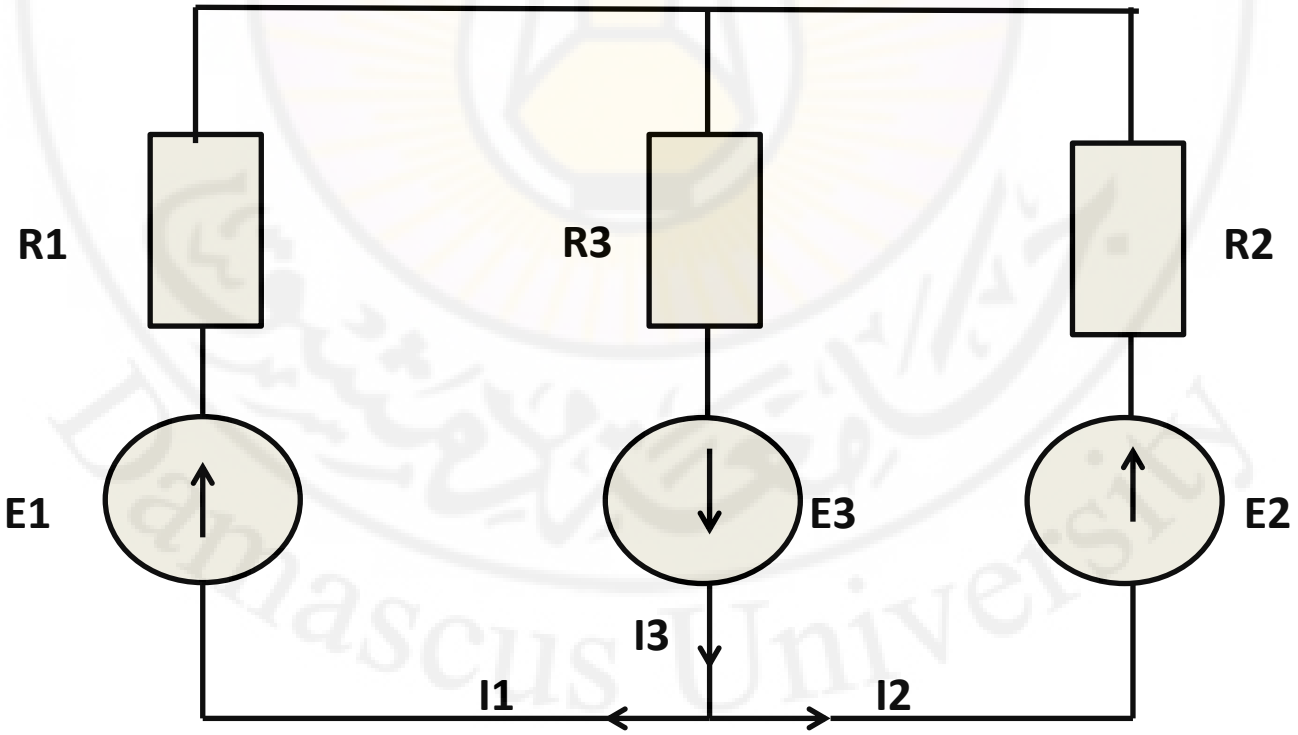
إذا أثرت مجموعة من القوى المحركة الكهربائية في دارة ما، فإن التيارات التي ستولد في كل فرع من فروع الدارة يمكن حسابها من تراكم التيارات التي تتولد في هذه الفروع فيما لو عملت في كل مرة قوة محركة كهربائية واحدة من مجموع القوى المحركة الكهربائية العاملة في هذه الدارة.

وطريقة تطبيق مبدأ التراكم تتم كمايلي:

- نحدد اتجاهات التيارات في فروع الدارة بشكل افتراضي.
- نقصر جميع القوى المحركة الكهربائية ما عدا واحدة على أن يبقى تأثير المقاومة الداخلية لهذه القوى المقصورة.
- نحسب التيارات في فروع الدارة كافة والناتجة عن أثر القوة المحركة الكهربائية المفروضة.
- نكرر عملية القصر على أن نترك واحدة في كل مرة حتى تكون جميع الحالات قد استنفدت وفى كل مرة نحسب التيارات التى تتولد فى الفروع.

– نراكم جميع التيارات الجزئية في كل فرع من الفروع لنحصل على التيار الكلي في الفرع المذكور.

ولبيان كيفية استخدام مبدأ التراكم نفترض أنه لدينا الدارة التالية والمبينة بالشكل التالي، والمؤلفة من ثلاث قوة محركة كهربائية هي E1, E2, E3 وثلاثة أحمال R1, R2, R3 ونريد أن نحسب التيارات في فروع الدارة وفق مبدأ التراكم.



مرحلة ١:

نحدد اتجاهات التيارات في الفروع ونقصر E2, E3 ونبقي فقط E1 ونحسب التيارات الناتجة في الفروع لتصبح الدارة على الشكل التالي.

$$Req1 = R1 + R2.R3/R2 + R3$$

$$I'1 = E1/Req1 = E1.\ R2+R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

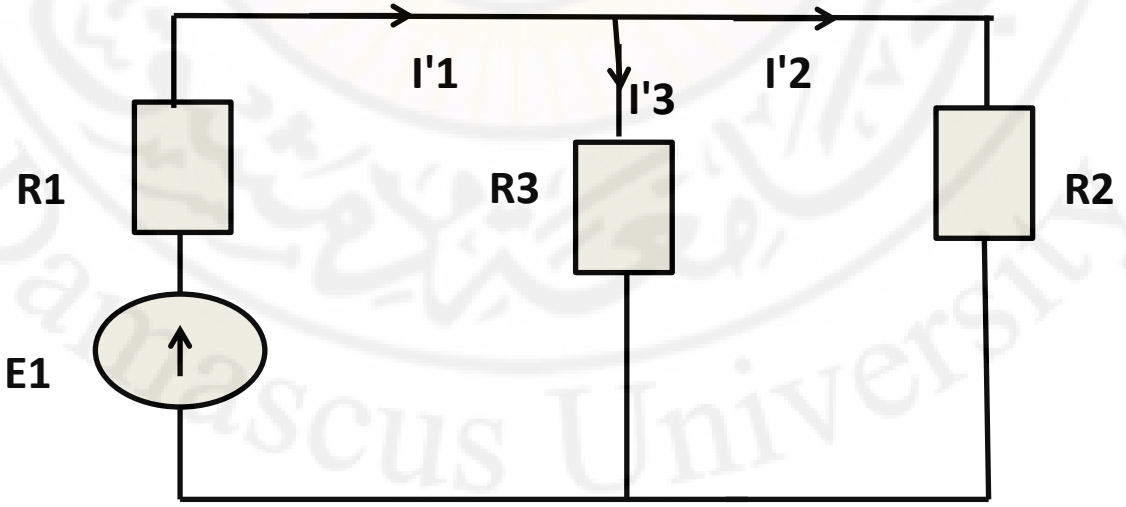
وحسب قاعدة مجزئي التيار يكون:

$$I'2 = I'1\ .\ R3/R2 + R3 =$$

$$= E1.\ R2+R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3\ .\ R3/R2 + R3$$

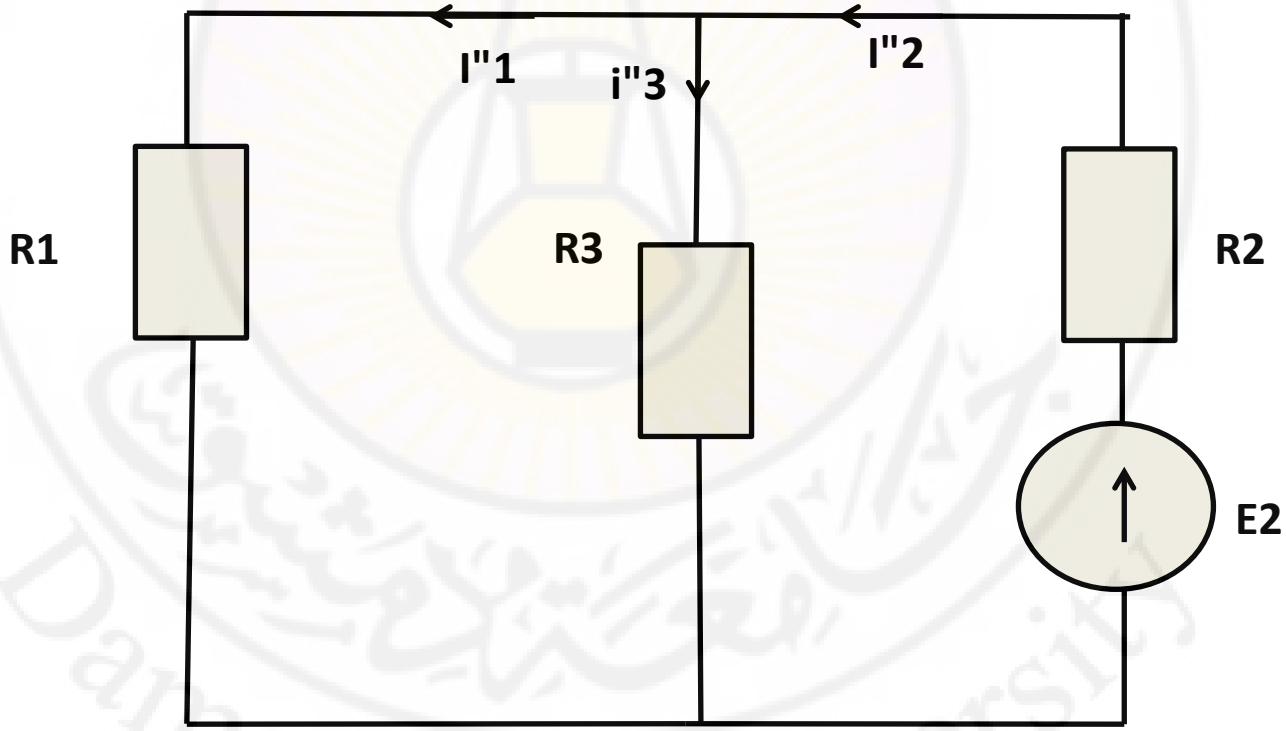
$$I'2 = E1.\ R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

$$I'3 = E1.\ R2/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$



مرحلة ٢:

نقصر E1, E3، ونترك فقط E2، ونحسب التيارات الناتجة في الفروع، فتصبح الدارة على الشكل التالي:



$$Req2 = R2 + R1.R3/R1 + R3$$

$$I''2 = E2/Req2 = E2.\ R1+R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

وحسب قاعدة مجزئي التيار يكون:

$$I''1 = I''2\ .\ R3/R1 + R3 =$$

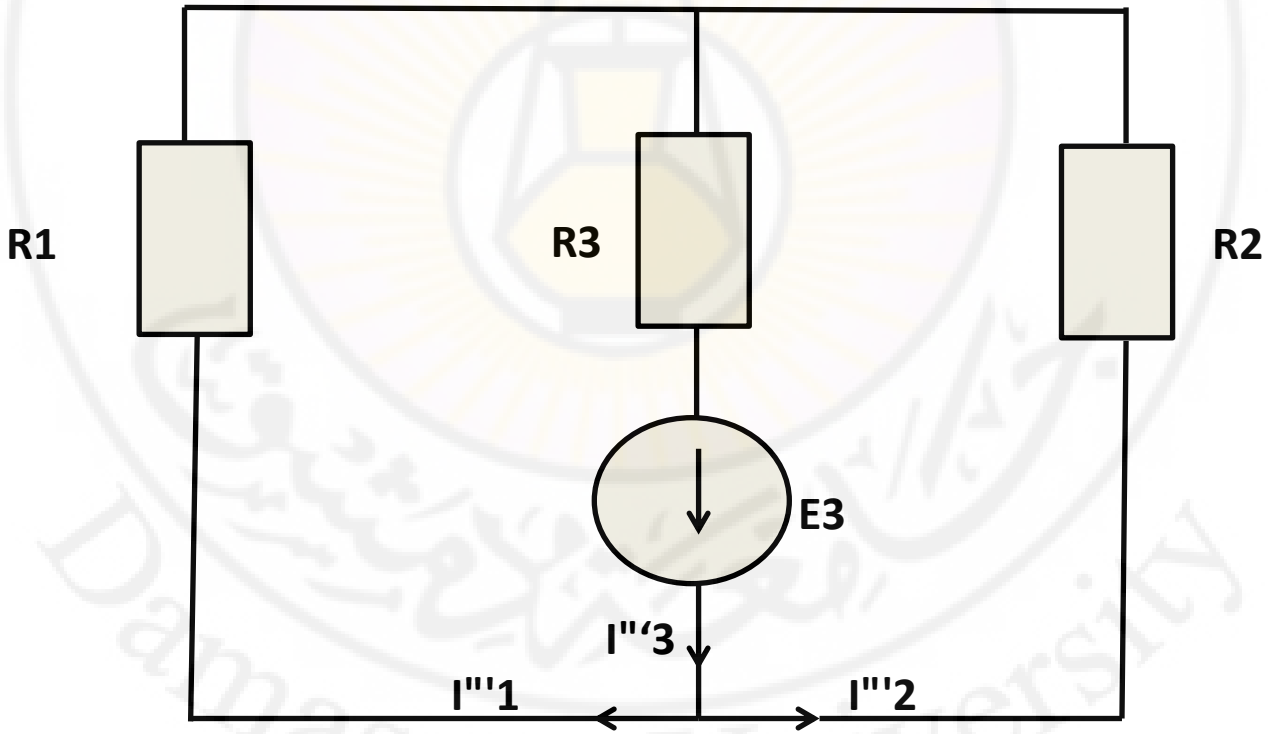
$$= E2.\ R1+R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3\ .\ R3/R1 + R3$$

$$I''1 = E2.\ R3/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

$$I''3 = E2.\ R1/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

مرحلة ٣:

نقصر E1, E2 ونترك فقط E3 ونحسب التيارات الناتجة في الفروع فتصبح الدارة على الشكل التالي:



$$Req3 = R3 + R1.R2/R1 + R2$$

$$I''3 = E3/Req3 = E3.\ R1+R2/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

وحسب قاعدة مجزئي التيار يكون:

$$I''1 = I''3\ .\ R2/R1 + R2 =$$

$$= E3.\ R1+R2/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3\ .\ R3/R1 + R2$$

$$I''1 = E3.\ R2/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

$$I''2 = E3.\ R1/\ R1.R2 + R1.R3 + R2.R3$$

Damascus University

مرحلة ٤ مرحلة التراكم:

لحساب التيارات الأصلية الناتجة عن تأثير القوى المحركة الكهربائية الثلاث تراكم هذه التيارات الجزئية مع الأخذ بعين الاعتبار اتجاهات هذه التيارات (إذا كانت موافقة لاتجاه التيار الأصلي المفترض في البداية عندها تكون إشارتها موجبة وإذا كانت بعكس الاتجاه المفترض للتيار الأصلي عندها تؤخذ بإشارة سالبة)، وهذا موضح بالمعادلات التالية:

$$I1 = I'1 - I''1 + I'''1$$

$$I2 = - I'2 + I''2 + I'''2$$

$$I3 = I'3 + I''3 + I'''3$$

إذا كان أحد التيارات ذا إشارة سالبة، فإن الاتجاه الحقيقي يكون بعكس الاتجاه المفترض.

يمكن تحليل الدارات الخطية من خلال حساب التوترات والتيارات التي ينتجها كل منبع مستقل عندما يكون موجود في الدارة بمفرده ثم إضافتها لتلك الناتجة عن المنابع الأخرى.

عندما يعمل أحد المنابع في الدارة، فإن المنابع المستقلة الأخرى تعتبر مساوية للصفر وعند اعتبار منبع التوتر مساوياً للصفر، فإن ذلك يعادل دارة كهربائية مقصورة وعند اعتبار منبع التيار مساوياً للصفر، فإن ذلك يعادل دارة كهربائية مفتوحة.

٣- تحليل العقد

تحليل العقد هو إجرائية عامة لتحليل الدارات باستعمال جهود العقد كمتحولات، حيث أن اختيار جهود العقد بدلاً من جهود العناصر يقلل عدد المعادلات المطلوب حلها، وإجرائية تحليل العقد تتلخص بالخطوات التالية:

١- اختيار النقطة المرجعية: وتعرف عادةً بالأرضي لأن جهدها يساوي الصفر وبعدها نسمي جهود العقد المتبقية غير المرجعية.

٢- نطبق قانون كيرشوف للتيار على كل عقدة غير مرجعية في الدارة المعنية كي نتجنب وضع عدد كبير من المعلومات على نفس الشكل، مع العلم أن التيار يمر في المقاومة من الكمون المرتفع إلى الكمون المنخفض.

٣- حل المعادلات بدلالة جهود العقد، حيث إذا قمنا بتطبيق قانون كيرشوف على (n-1) عقدة ينتج لدينا (n-1) معادلة.

تحليل العقد بطريقة مبسطة

بشكل عام إذا كانت الدارة ذات منابع التيار المستقلة لها N عقدة غير مرجعية، فيمكن كتابة معادلات التوترات للعقد بدلالة الناقلية G كمايلي:

$$\begin{pmatrix} G11 & G12 & \cdots & G1N \\ G21 & G22 & \cdots & G2N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ GN1 & GN2 & \cdots & GNN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V1 \\ V2 \\ \vdots \\ VN \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i1 \\ i2 \\ \vdots \\ iN \end{pmatrix}$$

مقارنة بين التحليل بالعقد والتحليل بالحلقات

يقدم كلا التحليلين طريقة منهجية لتحليل الدارات المعقدة والسؤال المنطقي أي طريقة أفضل للاستخدام؟

يحدد الطريقة الأفضل عاملان هما:

العامل الأول: طبيعة الدارة المعنية، فالدارات التي تحتوي على العديد من العناصر الموصولة على التسلسل، وعلى منابع الجهود هي الأكثر ملائمةً للتحليل بالحلقات، في حين الدارات التي تحتوي على العديد من العناصر الموصولة على التفرع، وعلى منابع التيارات هي الأكثر مناسبةً للتحليل بالعقد، والدارات التي تحتوي على عقد أقل من الحلقات يناسبها التحليل بالحلقات.

العامل الثاني: المعلومات المطلوب إيجادها، فإذا كان المطلوب حساب جهود العقد فمن المناسب استعمال التحليل بالعقد وإذا كان المطلوب حساب تيارات العناصر أو تيارات الحلقات، فمن المناسب استعمال التحليل بالحلقات.

بالتالي من المفيد الإلمام بكلتا طريقتي التحليل لسببين على الأقل وهما:

١- استعمال طريقة منهما للتحقق من نتائج الطريقة الأخرى.

٢- لكل طريقة من الطرائق محدودية في استعمالها، فقد يكون من الأنسب استعمال طريقة منهما لتطبيق معين ومن غير المناسب استعمال الطريقة الأخرى، فعلى سبيل المثال طريقة التحليل بالحلقات هي الطريقة الوحيدة المستعملة في تحليل الدارات الترانزستورية غير أنه لا يمكن استعمالها بسهولة لتحليل دارات مضخمات العمليات، والتحليل بالعقد هو الخيار الوحيد لتحليل الدارات غير المستوية والأنسب أيضاً لبرامج التحليل الحاسوبية لبرامج SPICE مثلاً.

ملاحظة: إذا كان منبع التوتر (مستقل أو غير مستقل) موصولاً بين عقدتين غير مرجعيتين، فإن العقدتين غير المرجعيتين يشكلان عقدة عامة، ونطبق كلا قانوني كيرشوف للتيار والجهد لتحديد توترات العقد.

المحاضرة الرابعة
نظريات الدارات الإلكترونية
وأنصاف النواقل

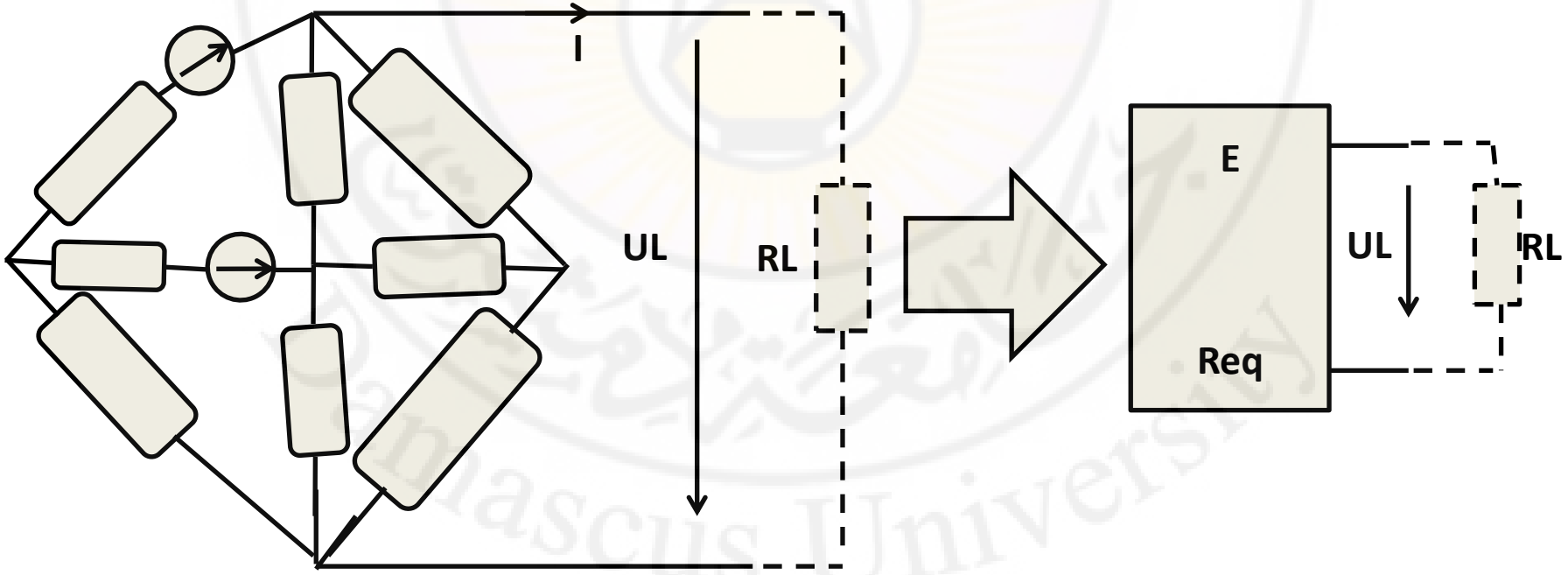
نظرية ثيفينين

تنص هذه النظرية على أن كل دارة كهربائية ذات نهايتين وتحتوي على عدد من المنابع الكهربائية والمقاومات يمكن استبدالها بدارة تسلسلية مؤلفة من مقاومة وحيدة ومنبع للجهد، وقيمة المقاومة تساوي مقاومة الدارة منظوراً إليها من بين نهايتيها وذلك بعد قصر جميع منابع الجهد والاستعاضة عنها بمقاومتها الداخلية وفتح منابع التيار، أما قيمة الجهد فتساوي الجهد بين نهايتي الدارة.

تستخدم هذه النظرية من أجل تبسيط الدارات وحساب الجهود والتيارات في أقسام مختلفة من الدارة وتسمى هذه النظرية بنظرية مولد الجهد المكافئ لأنها تستعيض عن الدارة فقط بمولد جهد وحيد ومقاومة مكافئة تسلسلية ويمكن وفق هذه النظرية أن نحسب التيار المار في مقاومة ما من دارة كهربائية باتباع الخطوات التالية:

- نفصل المقاومة المراد حساب التيار فيها ولتكن RL.
- نحسب مقاومة الدارة منظوراً إليها من بين طرفي المقاومة المفصولة وذلك بعد قصر منابع الجهد واستبدالها بمقاوماتها الداخلية وفتح منابع التيار ويرمز لهذه المقاومة عادةً بـ Rth.
- التيار المار في المقاومة RL يعطى بالعلاقة التالية:

$$IL = Vth/Rth + RL$$



تفيد نظرية ثيفيتين المكافئة في إيجاد الاستطاعة العظمى الممكن نقلها إلى الحمل في دارة خطية حيث افترضنا أنه يمكن ضبط مقاومة الحمل RL إذا استبدلنا الدارة بأكملها بدارة ثيفتين المكافئة لها باستثناء مقاومة الحمل أي:

$$P = i2 \,.\, RL = (VTH \,/\, RTH + RL\,)2 \,.RL$$

Damascus University

نظرية نورتون

تنص هذه النظرية على أن أية شبكة كهربائية ذات نهايتين A, B وتحتوي على عدد من المنابع المستقلة والمقاومات يمكن استبدالها بشبكة بسيطة مؤلفة من منبع تيار مثالي مع مقاومة على التفرع وقيمة منبع التيار تساوي قيمة التيار المار في السلك الذي يقصر النهايتين A, B.

أما المقاومة فتساوي مقاومة الشبكة منظوراً إليها من بين A, B بعد قصر منابع الجهد واستبدالها بمقاوماتها الداخلية وفتح منابع التيار.

تستخدم هذه الطريقة من أجل تبسيط الدارات وحساب الجهود والتيارات في فروع الدارة وتسمى أيضاً بنظرية مولد التيار المكافئ لأنها تستعيض عن الدارة فقط بمولد تيار وحيد ومقاومة تفرعية مكافئة.

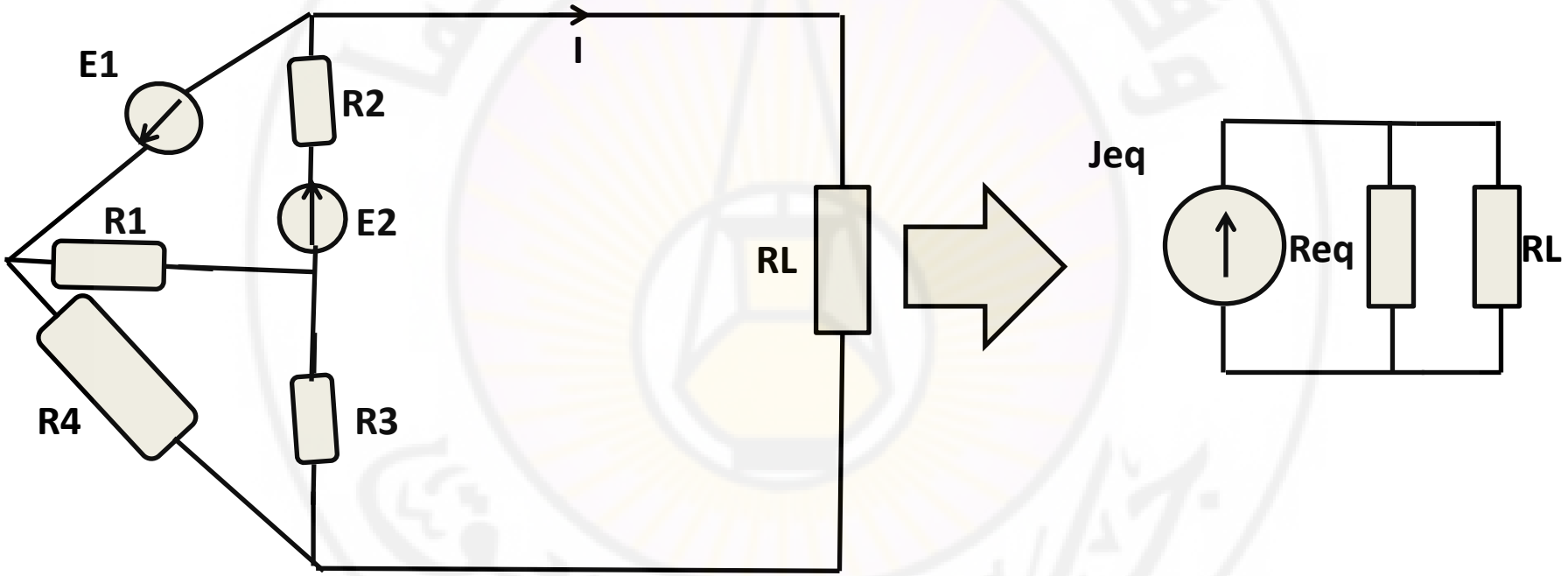
يمكن وفق هذه النظرية أن نحسب التيار المار في مقاومة ما من دارة كهربائية بإتباع الخطوات التالية:

- نفصل المقاومة المراد حساب التيار فيها ولتكن RL.

- نحسب مقاومة الدارة منظوراً إليها من بين طرفي المقاومة المفصولة وذلك بعد قصر منابع الجهد واستبدالها بمقاوماتها الداخلية وفتح منابع التيار ويرمز لهذه المقاومة عادةً بـ RN.
- نقصر نهايتي المقاومة المفصولة A, B ونحسب التيار IN.

- التيار المار في المقاومة RL يعطى بالعلاقة التالية:

$$IL = IN \cdot RN/RN + RL$$


E1
R2
I
R1
E2
RL
R4
R3
Jeq
Req
RL

أنصاف النواقل

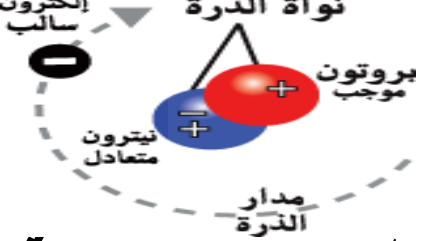
يعد مجال الالكترونيات الصناعية الحقل الأنشط من حيث سرعة التطور الحاصل على مستوى التجهيزات والأداء والكلفة الاقتصادية وقد لا نجد مجالاً إلا ويحتاج مصدراً للتغذية الكهربائية على مختلف مستوياتها:

- **وحدات التغذية ضمن أجهزة الحاسب.**
- **الأنظمة الرقمية.**
- **تجهيزات الإنارة.**
- **أنظمة الاتصالات.**
- **المحركات والمشغلات الكهربائية.**
- **... الخ.**

Damascus University

- تستعمل العناصر الالكترونية الصناعية بدءاً من الصمامات المفرغة من الهواء بأنواعها وانتهاءً بالعناصر نصف الناقلة التي ظهرت في بداية الستينات كعناصر صناعية يمكن الاعتماد عليها بكفاءة عالية.
- تتطلب دراسة الدارات الإلكترونية العديد من المهارات والخبرات التي ينبغي على الشخص الراغب دخول هذا المجال أن يلم بها، ومن هذه الأمور نذكر:

١. الدراية في بناء وتصميم الدارات الرقمية والتماثلية من أجل بناء دارات التحكم.
٢. الإلمام بتقانات معالجة الإشارة الرقمية ولاسيما عند الحاجة إليها من التطبيقات المعقدة.
٣. الإلمام بتفاصيل تصميم وتشغيل المحركات بأنواعها.
٤. الإلمام بتفاصيل تصميم وتركيب ولف المحولات بأنواعها.
٥. الدراسة المعمقة لأنظمة التحكم وحلقات التحكم المغلقة ومسائل معالجة التغذية العكسية.
٦. الخبرة في مجال نمذجة ومحاكاة الأنظمة باستخدام الحاسب.



البنية الذرية للأجسام

يمكن الاعتماد على نظرية Bohr لكي نستطيع فهم أغلب الظواهر الكهربائية والمغناطيسية، حيث تقول هذه النظرية: أن أية مادة ذات وزن معين وحجم فراغي، فإنها تتألف من جزئيات ناتجة عن اتحاد جسيمات صغيرة تسمى الذارات، والذرة تتألف من:

- جسيمات عنصرية أولية ذات شحنة كهربائية سالبة تسمى الإلكترونات.
- جسيمات عنصرية ثانوية ذات شحنة كهربائية موجبة وتسمى بالبروتونات.
- جسيمات معتدلة من حيث الشحنة الكهربائية تسمى بالنيترونات.

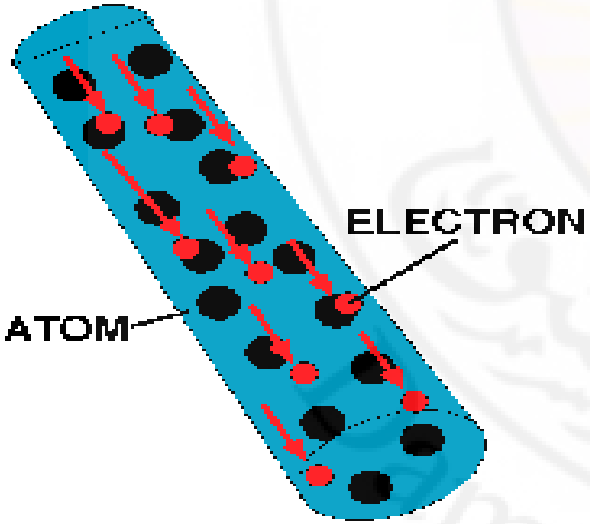
تتوضع البروتونات والنيترونات ضمن نواة الذرة، بينما تدور الإلكترونات حول النواة وفق مدارات خاصة يمكن أن تكون دائرية أو على شكل قطع ناقص بحيث يكون عدد هذه الإلكترونات المتوزعة على المدارات مساوياً لعدد البروتونات المتوضعة ضمن النواة، وبذلك تكون دائماً متعادلة كهربائياً.

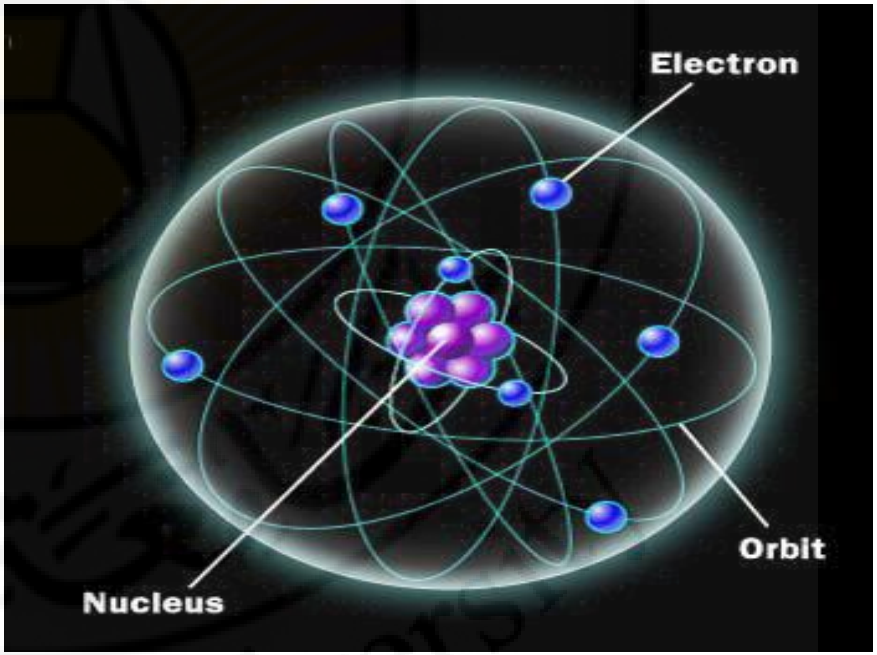
يختلف عدد البروتونات الموجودة في النواة، وكذلك عدد الإلكترونات التي تدور حولها من مادة لأخرى.

تقع الإلكترونات أثناء دورانها حول النواة تحت تأثير قوتين اثنتين إحداهما ناتجة عن قوة التجاذب بين الشحنة الموجبة للنواة والشحنة السالبة للإلكترون، وهذه القوة متجهة نحو الداخل، بينما القوة الثانية ناتجة عن دوران الإلكترون، وتسمى بالقوة النابذة المركزية، وهي دائماً متجهة نحو الخارج، ونتيجةً لتساوي هاتين القوتين بالقيمة واختلافهما في الاتجاه، فإننا نلاحظ أن الإلكترون لا ينجذب نحو النواة، وإنما يبقى متحركاً على مداره بشكل دائم.

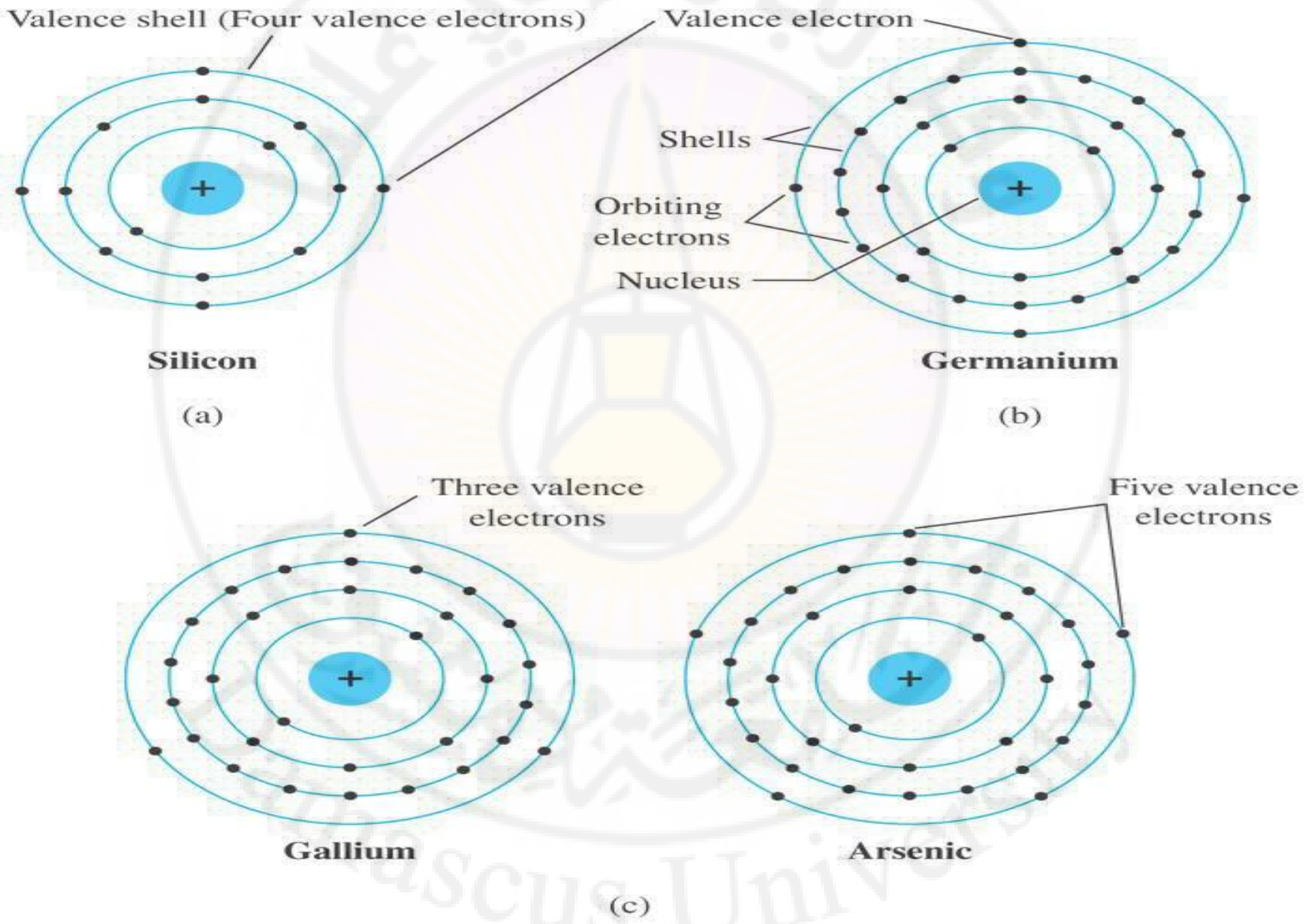
تعتمد الخواص الكيمائية والكهربائية للذرات على عدد الإلكترونات المتوضعة على المدار الأخير، وغالباً ما يكون عدد هذه الإلكترونات أقل من السعة القصوى لذلك المدار وتسمى بالإلكترونات المكافئة، وتصبح الذرة نشيطة كيمائياً، وتسعى لأن تجعل عدد الإلكترونات على المدار الأخير مساوياً السعة الأعظمية، ويتم ذلك إما بجذب إلكترونات من ذرات أخرى، وعندها تصبح الشحنة السالبة أكبر من الشحنة الموجبة للنواة مشكلة الأيون السالب أو بالتخلي عن الإلكترونات الموجودة على المدار الأخير لتلتحق بذرات أخرى، وعندها تصبح الشحنة الموجبة للنواة أكبر من الشحنة السالبة مشكلة في هذه الحالة الأيون الموجب.

بناءاً على الطبيعة الذرية للمادة يمكن الاستنتاج أن الشحنات الكهربائية هي طبيعة جسيمية، وأن أي شحنة كهربائية موجبة هي مضاعفات شحنة البروتون، وكذلك أي عملية شحن لأي جسم هي عملية نزع الإلكترونات منه أو إضافة الإلكترونات إليه، وأن أي إلكترون يكسبه جسم ما يجب أن يفقده جسم آخر وبالعكس.





يوضح الشكل التالي البنية الذرية لبعض أنصاف النواقل:



مقدمة عن أهمية أنصاف النواقل

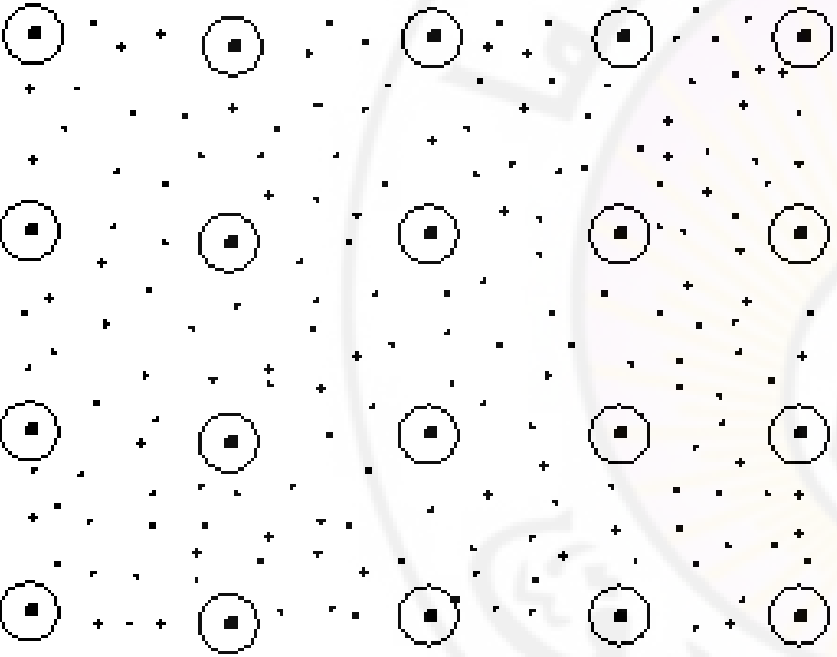
كان هناك أنظمة الكترونية قبل اختراع أنصاف النواقل تعتمد على الصمامات المفرغة ولكن لهذه الصمامات مساوئ نذكر منها:
الحجم الكبير، الوزن الكبير، استهلاك كبير للاستطاعة، ارتفاع درجة حرارته، قبل البدء باستخدامها فهي تحتاج إلى تحمية، عدم الوثوقية في العمل بحيث تعمل بشكل جيد لفترة زمنية معينة، وهذا حد من امكانية تطوير الأنظمة الإلكترونية اعتماداً على هذه العناصر، ومن أجل هذا كان لابد من تطور البحث العلمي كي يتمكن من صناعة نظم إلكترونية أكثر تعقيداً، أي يجب أن نوجد نوع آخر من العناصر صغير الحجم، وخفيف الوزن، ويحتاج إلى استطاعة قليلة، وكان العمل جاري على أنصاف النواقل.
كتتويج لهذا البحث فقد تم اختراع أول ترانزستور سنة ١٩٤٧ من قبل العالمين جون باريدن ووانتر براتين مما شكل قفزة نوعية في هذا المجال.

تعتمد جميع العناصر الإلكترونية في بنيتها الأساسية على أنصاف النواقل.

- تنقسم المواد الصلبة من حيث القدرة على التوصيل الكهربائي إلى: موصلات (مواد ناقلة) وأشباه موصلات (نصف ناقلة) ومواد عازلة.

١- المواد الناقلة (موصلة): وهي مواد تحرر التيار الكهربائي بسهولة عند تطبيق جهد كهربائي عليها، وذلك لوجود إلكترون واحد أو اثنين في المدار الخارجي لذرات هذه المواد مثل الذهب، الفضة، النحاس، الألمنيوم.

- الرابطة التي تجمع ذرات المواد الموصلة هي الرابطة الفلزية.
- تزيد مقاومة الموصلات بزيادة درجة الحرارة.
- حاملات الشحنة الكهربية في الموصلات هي الالكترونات الحرة سالبة الشحنة.
- مقاومة الموصلات لتدفق الشحنات الكهربية أقل جداً من مقاومة أشباه الموصلات، وبالتالي فإن الموصلية الكهربية للمواد جيدة التوصيل الكهربائي أعلى منها في حالة أشباه الموصلات عند نفس درجة الحرارة.
- العلاقة بين فرق الجهد (V) بين طرفي موصل وشدة التيار (I) المار فيه هي علاقة خطية تحقق قانون أوم .



- الالكترونات القريبة من نواة الذرة، والتي ترتبط بها ارتباطاً قوياً تسمى الالكترونات المقيدة، وتمثل الدوائر في الشكل الجانبي ذرات الموصل بالكتروناتها المقيدة.
- الالكترونات الموجودة في المدار الخارجي للذرة تعرف باسم الكترونات التكافؤ.
- يتكون الإلكترون الحر عندما تتعادل جميع القوى الالكتروستاتيكية المؤثرة على إلكترون التكافؤ بفعل أنوية الذرات المحيطة بما فيها نواة الذرة التى ينتمي إليها، وتمثل النقط التى بين الدوائر في الشكل الجانبي الالكترونات الحرة.

٢- المواد نصف الناقلة (شبه الموصلة): وهي مواد تقع بين المواد العازلة والناقلة، ولا تنقل التيار الكهربائي في درجة حرارة الصفر المطلق، ولكنها تمرر التيار الكهربائي بشكل ضعيف في درجة حرارة الغرفة العادية.

- ترتبط ذرات أشباه الموصلات فيما بينها برابطة تسمى الرابطة التساهمية.
- تقل مقاومة أشباه الموصلات بارتفاع درجة الحرارة.
- بعض من أشباه الموصلات تتأثر بالضوء، فتقل مقاومتها وتزيد موصليتها.
- المقاومة الكهربية في أشباه الموصلات أعلى منها في حالة الموصلات وأقل منها في حالة العازلات.
- المقاومة النوعية لشبة موصل مثل الجرمانيوم النقي هي تقريباً $(0.6\Omega.m)$ ، بينما المقاومة النوعية لموصل جيد مثل النحاس هي $(1.72\times10^{-8}\Omega.m)$ ، أما المواد العازلة فتقع مقاومتها بين $(10^{8}-10^{14}\Omega.m)$، وذلك إذا تم القياس عند درجة حرارة الغرفة.
- حاملات الشحنة الكهربية في أشباه الموصلات هي كل من الالكترونات الحرة سالبة الشحنة والفجوات موجبة الشحنة.
- العلاقة بين فرق الجهد (V) وشدة التيار (I) في أشباه الموصلات هي علاقة غير خطية.

- تسبح الالكترونات الحرة بين الذرات في حركة تشبه إلى حد كبير حركة جزيئات غاز يتحرك حركة عشوائية بين كرات ثابتة.
- دائماً ما تكون كثافة الالكترونات الحرة في الموصل من نفس النوع قيمة ثابتة ما لم تحدث تغيرات طبيعية كارتفاع درجة الحرارة.
- تكون كثافة الذرات في موصل جيد مثل النحاس هي $\left(8.4\times10^{22}\ atoms/cm^3\right)$ وعدد الالكترونات الحرة هي $\left(11\times10^{22}\ electrons/cm^3\right)$ بمعنى أن كل ذرة لا ينطلق منها سوى ١.٣ الكترون حر في المتوسط من مجموع ٢٩ إلكترون هي عدد الالكترونات في كل ذرة نحاس.
- يتشكل الفلز (الموصل) من ايونات فلزية موجبة الشحنة متراصة وسط غاز من الالكترونات حرة الحركة.
- تمنع قوة الجذب الكهروستاتيكي بين الشحنات المختلفة الالكترونات من مغادرة سطح الفلز.
- تتحرك الالكترونات الحرة عندما يتم وضع الموصل تحت تأثير مجال كهربائي خارجي في اتجاه عكس اتجاه المجال.

- يمر تيار كهربائي في الموصل عندما تتم تغذية أحد أطراف الموصل بالالكترونات وسحبها من الطرف الآخر (كأن يتصل الموصل بقطبي بطارية).
- مرور التيار الكهربائي فى الموصل هو نتيجة لحركة الالكترونات الحرة (السالبة) ويكون اتجاه التيار المعتاد فى عكس اتجاه حركة الالكترونات.

٣- المواد العازلة: وهي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي في درجات الحرارة العادية، أي هي المواد التي تبدي مقاومة نوعية عالية لمرور التيار الكهربائي، وتشتد فيها قوة جذب النواة لإلكترونات المدار الخارجي فلا تستطيع الخروج من الذرة.

Damascus University

مفهوم نطاق النقل بور ونطاق التكافؤ والبنية الذرية

المواد بشكل عام تتألف من ذرات صغيرة مرتبطة مع بعضها البعض بروابط مشتركة وتحتوي الذرة على نواة مركزية.

تحتوي كل ذرة على نواة وبداخلها بروتونات (موجبة الشحنة) ونيوترونات (معتدلة الشحنة).

حول الذرة يدور عدد من الإلكترونات (سالبة الشحنة) في مدارات خاصة حول النواة حيث يكون عدد البروتونات يساوي عدد الإلكترونات.

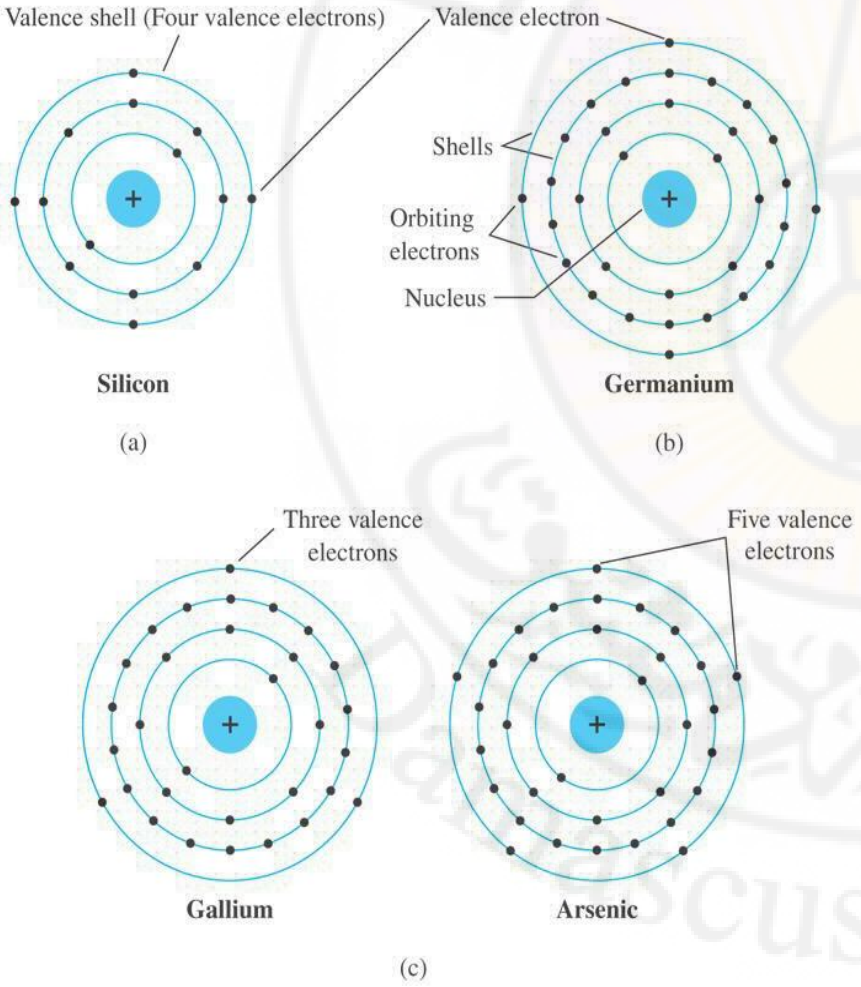
الرقم الذري للمادة: هو عدد البروتونات الموجبة الموجودة في النواة.

نطاق التكافؤ: هو المدار الخارجي حول الذرة أي أبعد مدار عن النواة حيث تدور فيه الإلكترونات وتسمى هذه الإلكترونات التي تشغل نطاق التكافؤ بإلكترونات التكافؤ.

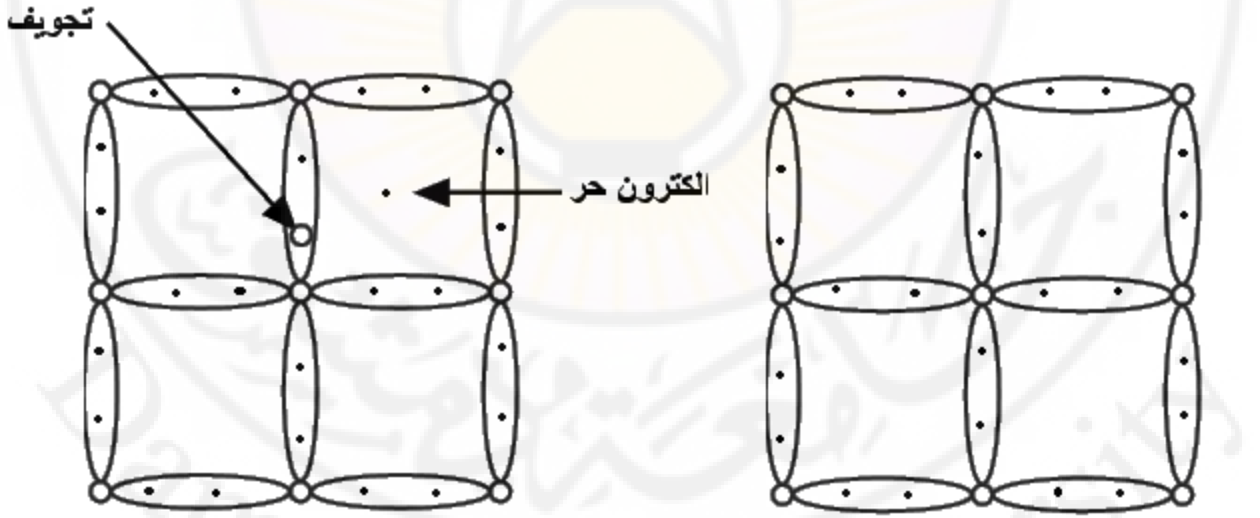
نطاق النقل: هو النطاق ذو المستوى الأعلى من نطاق التكافؤ في المواد المتداخلة أو المتلاصقة، حيث تتواجد فيه نيترونات حرة بعد اكتسابها طاقة كافية لعبور الفجوة الطاقية بين نطاق التكافؤ ونطاق النقل، ويعرف أيضاً بأنه النطاق التي توجد فيه الإلكترونات الحرة بعد تحررها من نطاق التكافؤ بحيث يمكن التحكم بها وتوجيهها بالاتجاه المناسب.

تعتبر الإلكترونات الحرة حاملة للتيار حيث تتحدد جهة التيار الكهربائي بعكس حركة هذه الإلكترونات.

نعرف الفراغ الذي يتركه الإلكترون أثناء انتقاله من نطاق التكافؤ إلى نطاق النقل بعد اكتسابه طاقة كافية لتخطي الحاجز بين نطاق التكافؤ ونطاق النقل بالثقب وهو ذو شحنة موجبة.



- من أهم أشباه الموصلات السيلكون والجرمانيوم وهى عناصر لها تكافؤ رباعي.
- كل إلكترون من الكترونات التكافؤ الأربعة لكل ذرة من أشباه الموصلات يشترك مع آخر من إلكترونات تكافؤ الذرة المجاورة لتنشأ روابط ثنائية متشابهة (الرابطة التساهمية) كما هو موضح بالشكل التالي (أ)، والنتيجة مادة صلبة ثابتة كيميائياً وطبيعياً.

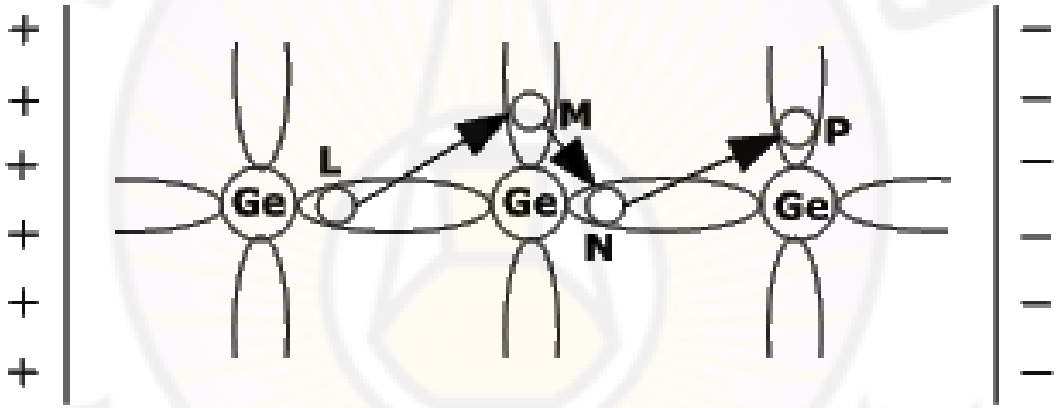


(أ) حالة شبه موصل نقى (جميع روابطة الزوجية سليمة)

(ب) أحد الروابط الزوجية وقد تركة الكترون وترك وراءة تجويفاً

- لا توجد إلكترونات حرة في أشباه الموصلات النقية عند درجة الصفر المطلق، وبالتالي فهي رديئة التوصيل للكهرباء، وبمعنى آخر أشباه الموصلات النقية تسلك سلوك المواد العازلة عند درجة الصفر المطلق.
- تنشأ حاملات الشحنة الكهربية في أشباه الموصلات النقية، وهى كل من الالكترونات الحرة والفجوات عندما تتحطم الروابط الزوجية بفعل التأثيرات الحرارية.
- دائماً ما يكون عدد الالكترونات الحرة مساوياً لعدد الفجوات في أشباه الموصلات النقية عند نفس درجة الحرارة.
- لا يستمر رباط ما محطماً لمدة طويلة بل يوجد تحطيم وتكوين للأربطة بإستمرار.
- الإلكترون الذي يتحرر من رباطة المحطم هو في درجة حرية الإلكترون الحر في المعدن العادي، وهو بذلك يمكنه أن يدخل في تكوين تيار كهربائي إذا سلط عليه مجال كهربي.
- تنشأ الفجوة من تحرر إلكترون من أحد الروابط الزوجية (الشكل السابق ب).
- ليس الإلكترون المتحرر فحسب هو الذي يمكنه الحركة بل أيضاً التجويف الموجب.

- إذا تحرك إلكترون تحت تأثير انفعال حراري أو مجال كهربائي مسلط ليملئ تجويفاً، ويترك خلفه تجويفاً جديداً، فالحقيقة تبدو أنه لم يتحرك سوى إلكترون إلا أن التأثير هو أن تجويفاً موجباً هو الذي تحرك في اتجاه مضاد لحركة هذا الإلكترون وهذا موضح بالشكل التالي:



- حركة فجوة موجبة نحو القطب السالب من L ← M ← N ← P
- حركة إلكترون سالب نحو القطب الموجب من P ← N ← M ← L

شكل تخطيطى يوضح حركة الفجوة تحت تأثير جهد كهربى

- يجب أن نعلم أن الطاقة التي تدخل في تحريك إلكترون من رباط زوجي إلى رباط غير ممتلئ تختلف عن تلك اللازمة لتحريك إلكترون حر داخل تكوين بللورى ومن ثم فالفجوة حقيقية.

- كل من الإلكترون الحر والفجوة يشترك في تكوين التيار الكهربائي الناتج من أشباه الموصلات.

- كثافة الالكترونات الحرة والفجوات في أشباه الموصلات تتوقف على نوع المادة ودرجة الحرارة.

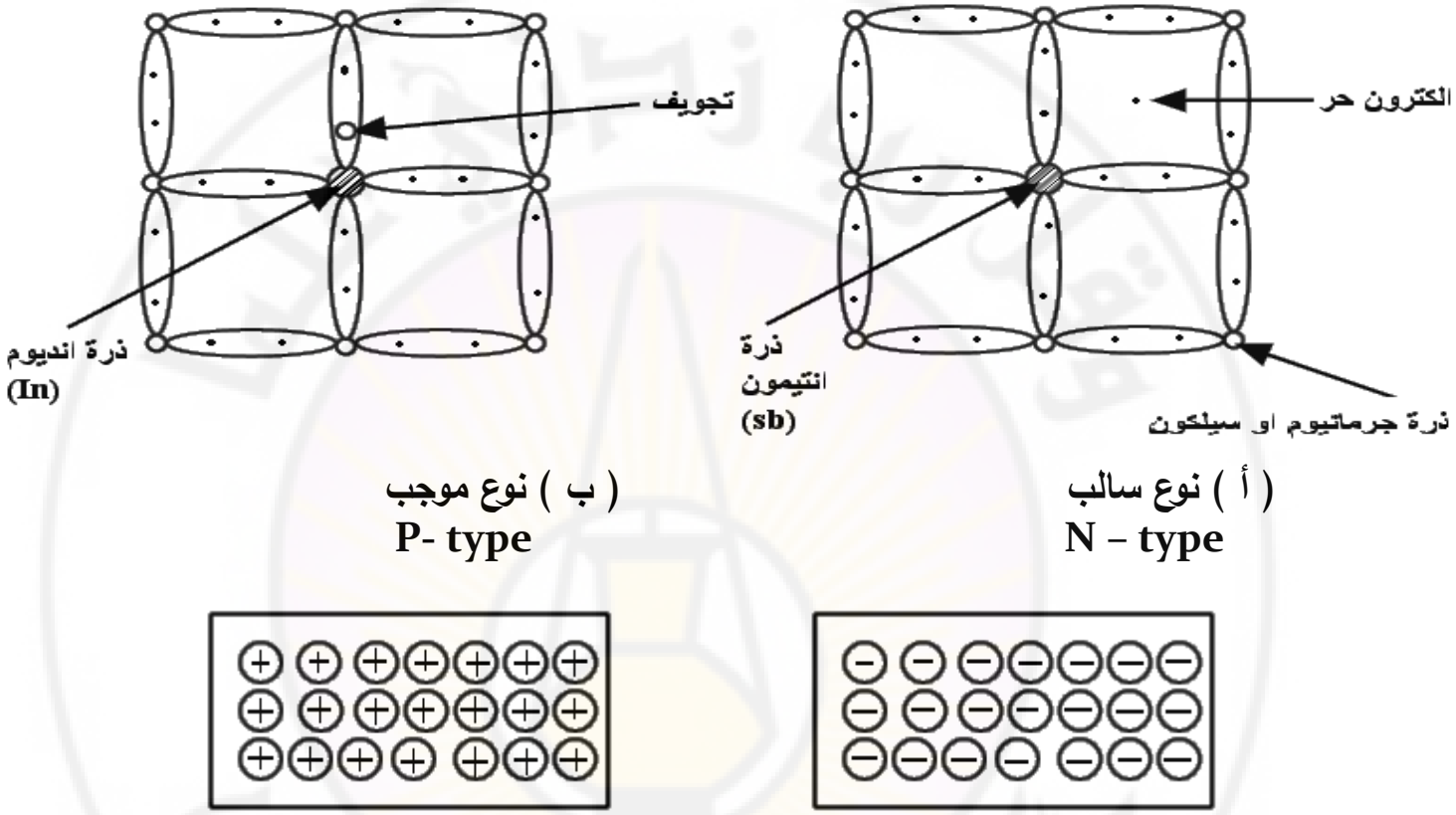
تأثير الشوائب على أشباه الموصلات:

- نقوم بإضافة شوائب لشبه موصل نقى مثل السليكون أو الجرمانيوم لزيادة الموصلية الكهربية، وانتاج أشباه الموصلات النافعة، والتي تدخل في تصنيع المكونات الالكترونية المختلفة.

- الشوائب التي يتم إضافتها إما أن يكون تكافؤها ثلاثياً أو خماسياً.

- عند إضافة شائبة خماسية التكافؤ مثل ذرات الانتيمون، فإنها تحل محل بعض من ذرات شبة الموصل في الشبكة البلورية، وتعطي إلكتروناً حراً أزيد من المقدار اللازم لإتمام الروابط الزوجية كما هو موضح بالشكل التالي أ، وتسمى الشوائب خماسية التكافؤ التي يتم إضافتها إلى أشباه الموصلات النقية بالشوائب الواهبة، وشبه الموصل الذي يحتوى على وفرة من الذرات الواهبة يسمى شبه موصل من النوع السالب (N–type)، وذلك لإن حاملات الشحنة السائدة هي الالكترونات ذات الشحنة السالبة.

- عند إضافة شائبة ثلاثية التكافؤ مثل ذرات الانديوم، فإنها تحل محل بعض من ذرات شبة الموصل في الشبكة البلورية إلا أن إلكتروناً ينقصها لكي تكتمل الروابط الزوجية الأربعة، ومن ثم ينشأ تجويفاً يستطيع أن يستقبل إلكتروناً من ذرة أخرى كما هو موضح بالشكل التالي ب، وتسمى الشوائب ثلاثية التكافؤ التي يتم إضافتها إلى أشباه الموصلات النقية بالشوائب القابلة.

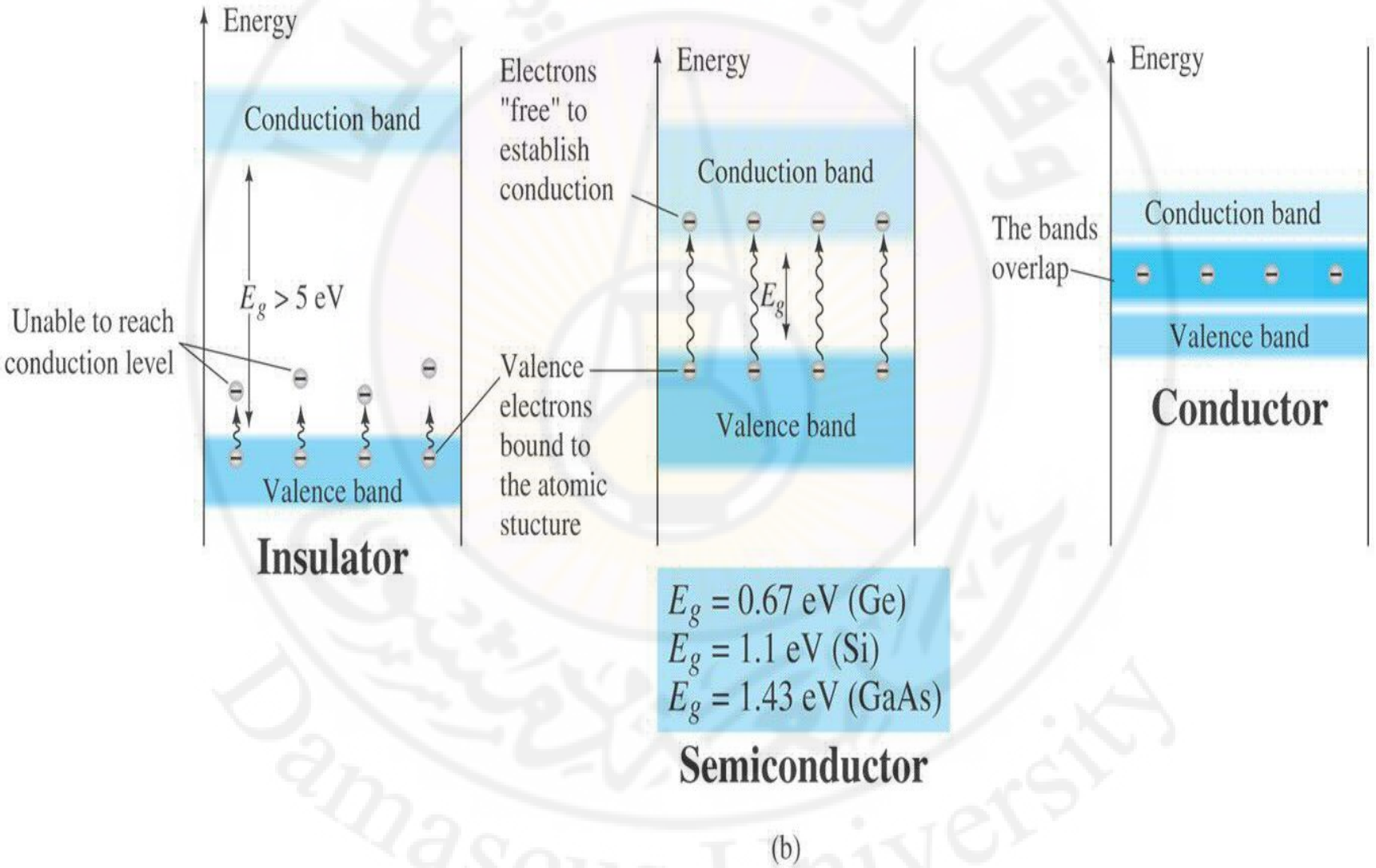


- الدائرة المفرغة تمثل ذرة جرمانيوم أو سيلكون.
- الدائرة المظللة في الشكل(أ) تمثل ذرة خماسيه التكافؤ(زرنيخ – انتيمون– فوسفور).
- الدائرة المظللة في الشكل(ب) تمثل ذرة ثلاثية التكافؤ(جاليوم–انديوم–بورون– الومنيوم).

- شبة الموصل الذي يحتوى على وفرة من الذرات القابلة يسمى شبه موصل من النوع الموجب (P–type)، وذلك لإن حاملات الشحنة السائدة فيه هي الفجوات ذات الشحنة الموجبة.

- هناك نوعاً آخر من الشحنات في كل من أشباه الموصلات الموجبة والسالبة، ويسمى بالشحنات غير السائدة وهى بفعل التأثيرات الحرارية في البلورة الأم.
- حاملات الشحنة غير السائدة في أشباه الموصلات من النوع السالب هي الفجوات، بينما في أشباه الموصلات من النوع الموجب هي الالكترونات.
- هناك نوع ثالث من الشحنات يسمى بالشحنات الثابتة، وهى شحنات موجبة في أشباه الموصلات من النوع السالب، وتنتج من ايونات الذرات الواهبة، بينما في أشباه الموصلات من النوع الموجب تكون شحنات سالبة تنشأ من ايونات الذرات القابلة.
- ينتج معظم التوصيل الكهربائي في المكونات الالكترونية المصنعة من أشباه الموصلات من الالكترونات الحرة والتجاويف الناتجة من إضافة الشوائب.

سويات الناقلية والتكافؤ للعازل ونصف الناقل والناقل مبينة بالشكل التالي:



يحدد التباعد بين مدار (سوية) التكافؤ ومدار الناقلية خواص المواد كمايلي:

أ- العوازل:

- تملك فراغ طاقي كبير.
- لا تستطيع الالكترونات الانتقال من سوية التكافؤ إلى سوية الناقلية.
- لا تمرر تيار.

ب- النواقل:

- لديها فراغ طاقي صغير جداً.
- يمكن للالكترونات أن تقفز بسهولة إلى سوية الناقلية نتيجة الطاقة الحرارية.
- تمرر التيار بسهولة.

ج- أنصاف النواقل:

- لديها فراغ طاقي متوسط.
- فقط بعض الالكترونات يمكنها القفز إلى سوية الناقلية تاركةً وراءها ما يسمى بالثقوب، ويعرف الثقب على أنه مكان شاغر للالكترون في سوية التكافؤ.
- تمرر تيار صغير.

- نصف الناقل: هو المادة التي خواصها ليست كخواص المواد الناقلة ولا العازلة.
- أشهر أنصاف النواقل:

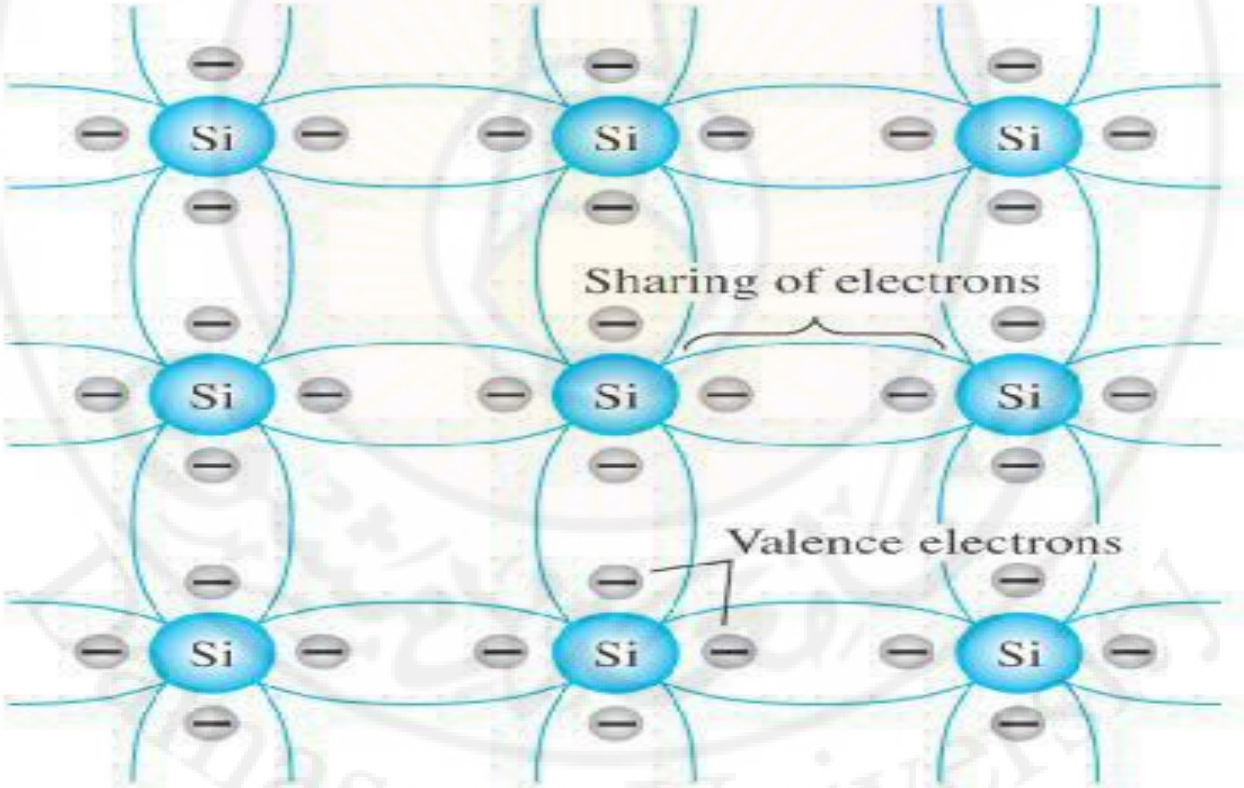
– الأساسية: وهي السيلكون Si، وهو الأكثر شيوعاً، وكذلك الجرمانيوم Ge .

– المركبة: أي تتألف من أكثر من مادة كالفوسفور والغاليوم – GaP، والفوسفور والألمنيوم Aluminum phosphors.

- يعتبر السيلكون النقي Pure هو المادة الأساسية التي تدخل في تصنيع الديودات، والترانزستورات.

يمكن تعديل ناقلية أنصاف النواقل من خلال إضافة الشوائب إليها.

- يسمى السيلكون بدون عملية إشابة بالسيلكون النقي.
- يمتلك السيلكون على أربع الكترونات تكافئ والتي تشكل أربع روابط مع ذرات السيلكون المجاورة، والشكل التالي يوضح ذلك:



الإشابة أو التطعيم Doping

هي من أهم الطرق التي تحسن خواص المواد النصف ناقلة وفق طرق تكنولوجية خاصة، وتتم العملية بإضافة شوائب إلى نصف الناقل النقي لجعله مناسباً للاستخدام في تصنيع العناصر الالكترونية، ومن أهم العناصر المستخدمة في عملية الإشابة نذكر: الأنتيمون، الفوسفور، الزرنيغ، البورون، وأكثرها استخداماً الفوسفور والبورون.

تتشارك ذرة البورون بثلاث الكترونات (كون تكافؤها ثلاثي) مع ذرات السيليكون المجاورة ثلاث أربطة تكافؤ ذراع في الرابط الرابع مشكلاً ما يسمى بالثقب، وتدعى هذه الثقوب حوامل الشحنة الموجبة ويسمى نصف الناقل من النوع P.

معلوم أن السيليكون رباعي التكافؤ، حيث تشكل أربعة الكترونات من الكترونات التكافؤ للفوسفور (خماسي التكافؤ) روابط مشتركة مع أربع ذرات سيليكون مجاورة، وسيبقى الالكترون الخامس دون رابطة مشتركة ضمن النسيج البلوري ومن السهل التأثير على هذا الالكترون تحت تأثير جهد خارجي على شريحة السيلكون، فيصبح من السهل نقل هذا الالكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق النقل (يصبح حر)، وبما أن الشريحة تحتوي على عدد كبير من ذرات الإشابة سيتولد لدينا عدد كبير من الالكترونات الحرة، ومن السهل تحركيها تحت تأثير جهد كهربائي وبذلك أصبح لدينا نصف ناقل مشاب من النوع N.

الفرق بين ذرة السيليكون والجرمانيوم:

- ذرة السيليكون تحتوي ٤ الكترون تكافؤ و ١٤ بروتون..
- ذرة الجرمانيوم تحتوي ٤ الكترون تكافؤ و ٣٢ بروتون.

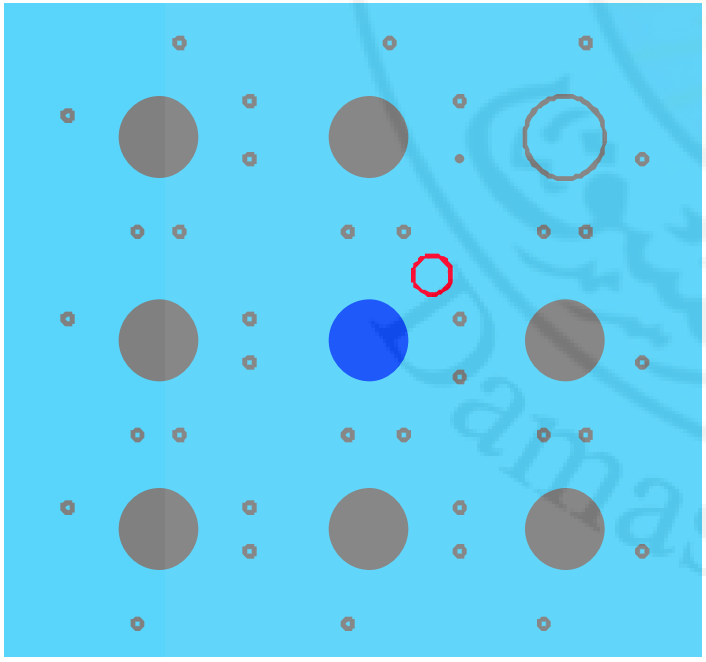
- يمكن زيادة ناقلية أنصاف النواقل من خلال إضافة شوائب وذلك من خلال زيادة عدد حوامل الشحنة (إضافة الالكترونات أو ثقوب زائدة).
- العناصر (الشوائب) التي تملك في مدارها الأخير ٥ الكترونات تضيف الكترون زائد وتسمى بالشائبة المعطية أو (المانحة للالكترون).
- العناصر التي تحوي ٣ الالكترونات تكسب الكترون من السيلكون وتسمى بالشائبة الأخذة (المتلقية).

يعتبر الفوسفور من الشوائب المانحة، وإذا أضيف الفوسفور إلى بنية السيلكون فسيكون هناك الكترون زائد (حر) ليتحرك من خلال التيار الكهربائي.

وهذا بدوره يعطينا سيلكون من النوع (n−) type،

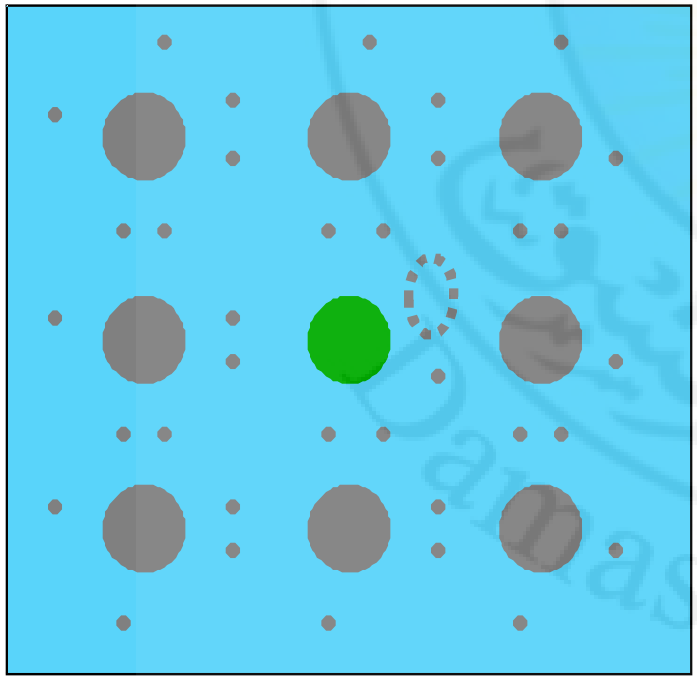
ويمكن بزيادة الإشابة أن نصل إلى

النوع (n+)type .



- يملك البورون أو الغاليوم على ٣ الكترونات في مداره الأخير وبالتالي سيكون لدينا ثقب عندما تضاف ذرة منه إلى بنية السيلكون.
- يعتبر البورون شائبة متقبلة.

وهذا يشكل سيلكون مشاب من نوع p–type.



تستخدم في الدارات الالكترونية العناصر الالكترونية التالية:

١- الديود.

٢- الثايرستور.

٣- الترانزستورات ثنائية القطبية (BJT: Bipolar Junction Transistors).

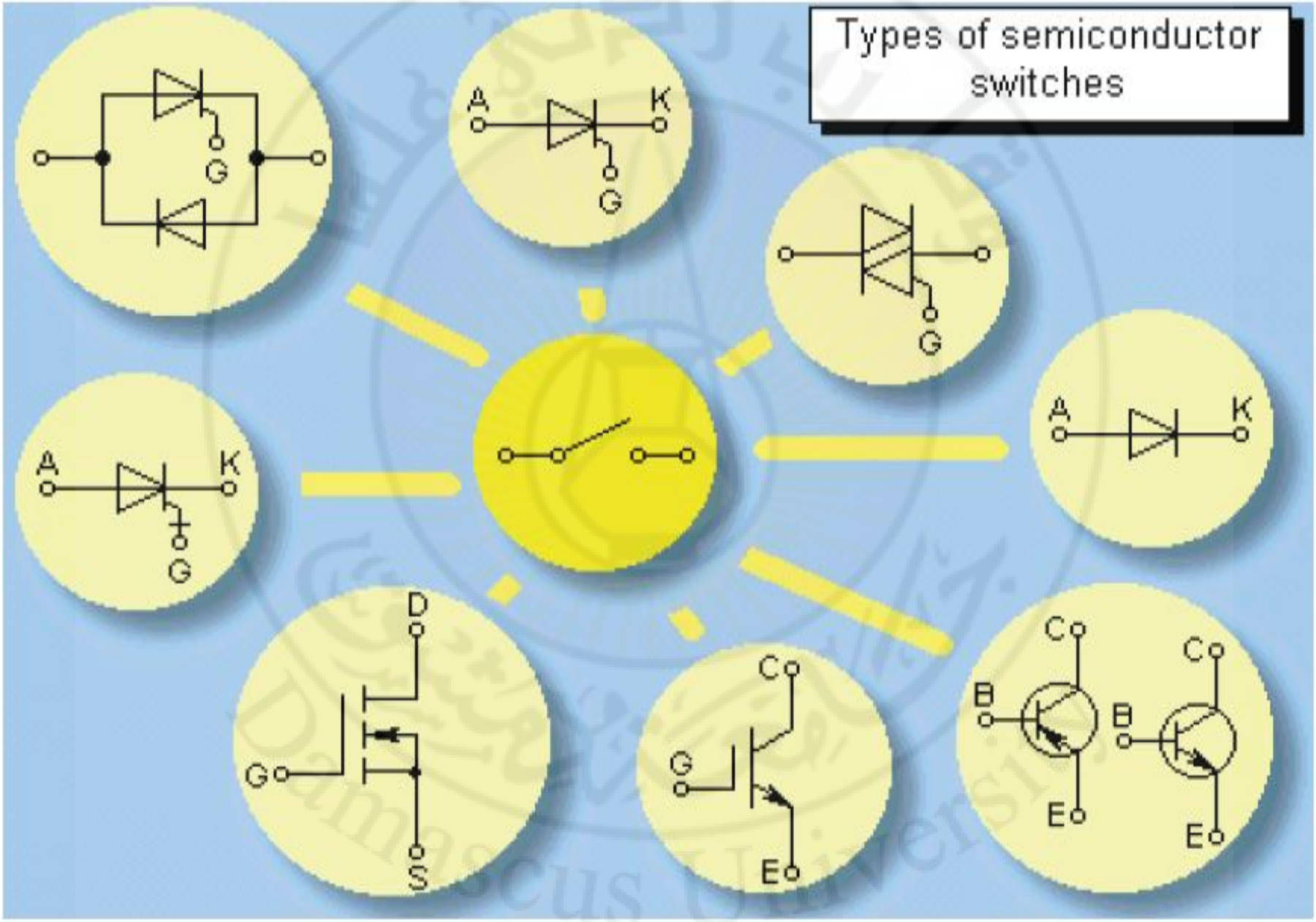
٤- ترانزستورات التأثير الحقلي ذات البوابة المعزولة بأكسيد المعدن

MOSFET : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors

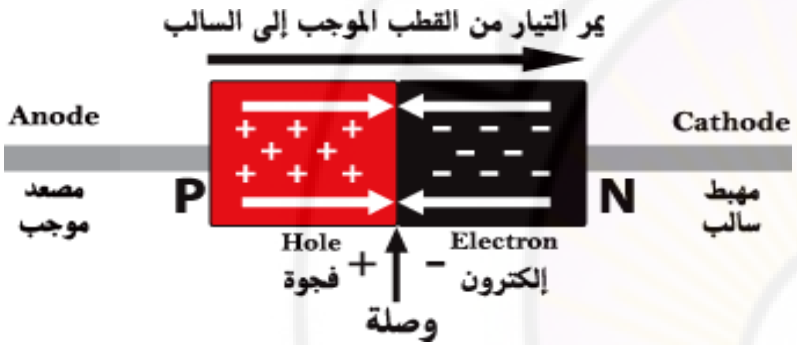
٥- الترانزستورات ثنائية القطبية ذات البوابة المعزولة

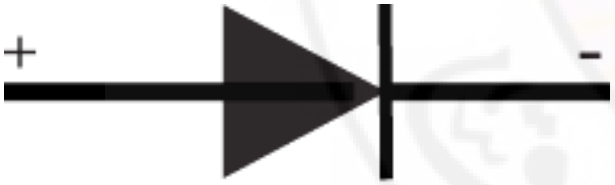
(IGBTs : Insolated Gate Junction Transistors).

- **بعض أشكال العناصر الالكترونية المستخدمة في الدارات الالكترونية:**

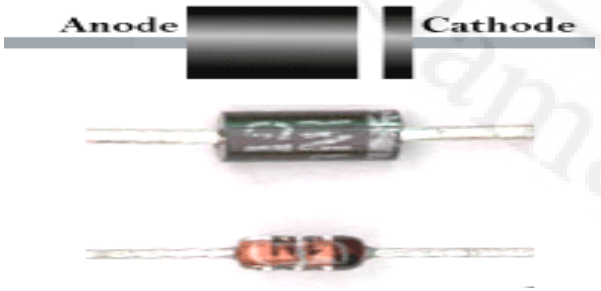


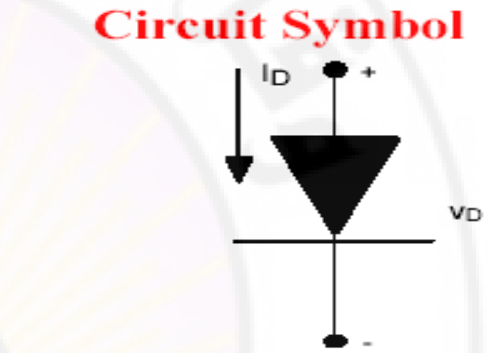
الرمز العلمي والعملي للوصلة الثنائية

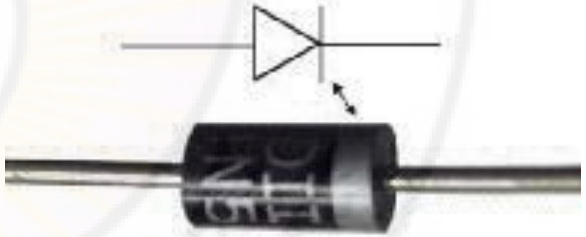




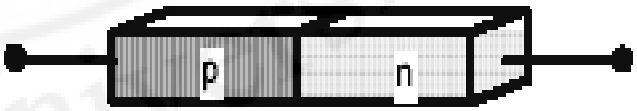
يمر التيار من القطب الموجب إلى السالب







Physical Model

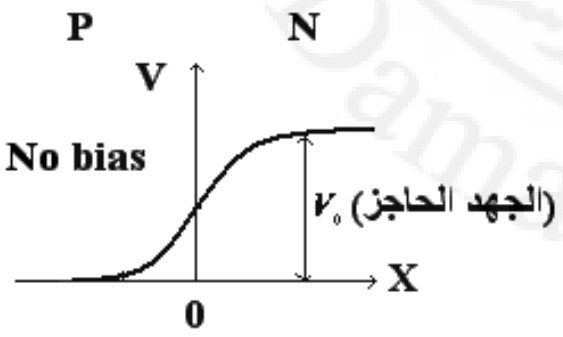


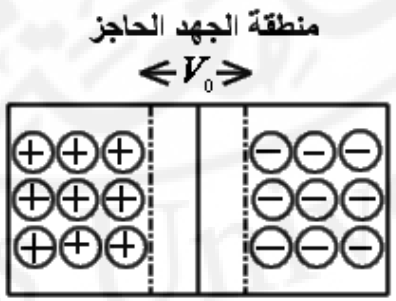
المحاضرة الخامسة
الديود أو الثنائي

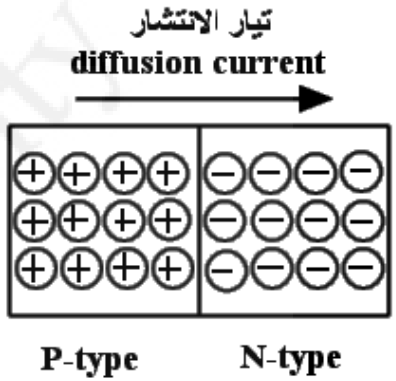
الثنائي أو الديود Daiode

الديود: هو عنصر إلكتروني يتكون من بلورتين يسمح بمرور التيار باتجاه واحد وهو مؤلف من وصلة (p – n) وأقطاب معدنية موصولة بـ n و p لتطبيق جهد كهربائي على هذه الوصلة وهو من مادة نصف ناقلة ويتألف من وصلة من النوع p–type متصلة مع وصلة n–type.

في اللحظة الأولى تنتقل الإلكترونات القريبة من المنطقة n إلى الثقوب الأعظمية الموجودة في p–type وتترك وراءها شوارد موجبة والإلكترونات عندما تنتقل إلى الثقوب تحل مكانها شوارد سالبة، وتتكون منطقة تفصل بين الشحنات وتدعى منطقة الشحنة الفراغية (الجهد الحاجز) وهي خالية من الشحنات وتحتوي فقط على شوارد موجبة وسالبة.

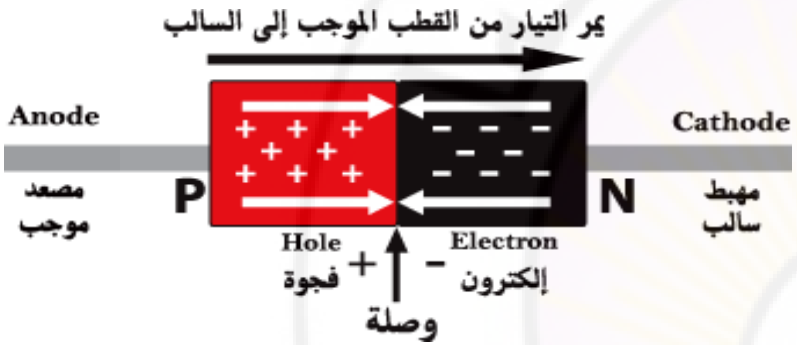


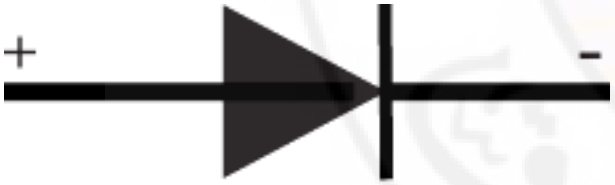




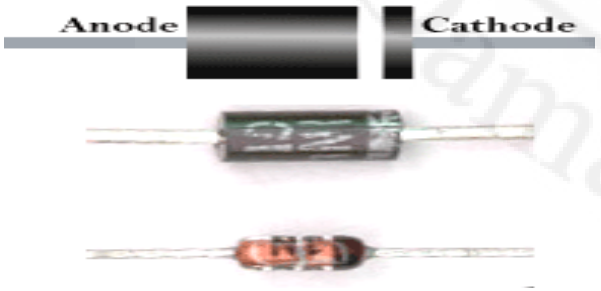
- يعمل الجهد الحاجز Vo على وقف المزيد من انتقال الالكترونات من البلورة السالبة إلى البلورة الموجبة وبمعنى آخر يعمل هذا الجهد على منع حركة حاملات الشحنة السائدة عبر الوصلة.
- يعمل أيضاً الجهد الحاجز Vo على سحب أو دفع حاملات الشحنة غير السائدة من البلورة الموجبة إلى البلورة السالبة عبر الوصلة والعكس.
- ينشأ تيار آخر في الوصلة الثنائية يسمى تيار الانجراف نتيجة لحركة حاملات الشحنة غير السائدة عبر الوصلة تحت تأثير فرق الجهد المتكون على جانبيها.
- تيار الانتشار في الوصلة الثنائية يكون في عكس اتجاه تيار الانجراف ويتساوى معه في حالة الاتزان.
- في حالة الاتزان تتكون منطقة خالية من النواقل (حاملات الشحنة الكهربية) وهي في نطاق الجهد الحاجز.

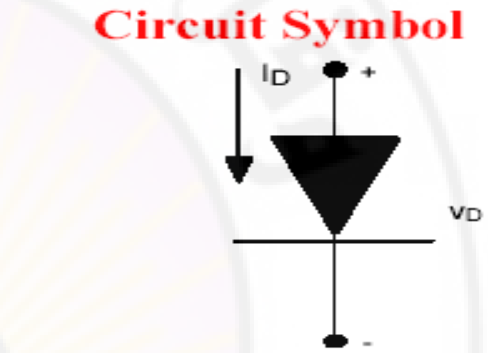
الرمز العلمي والعملي للوصلة الثنائية

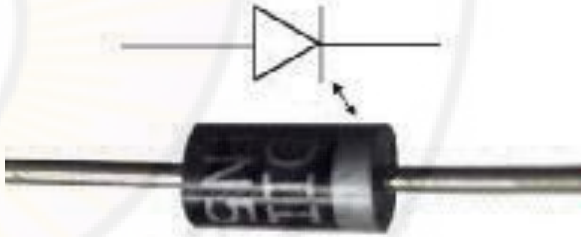




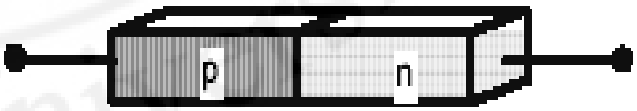
يمر التيار من القطب الموجب إلى السالب





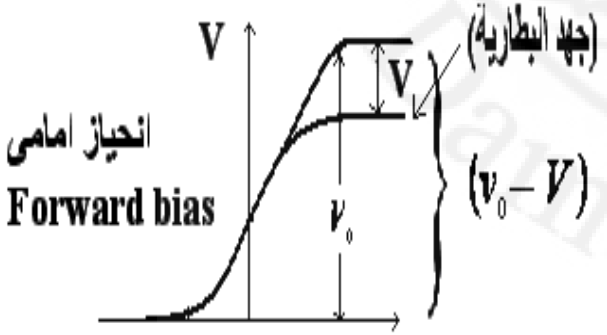


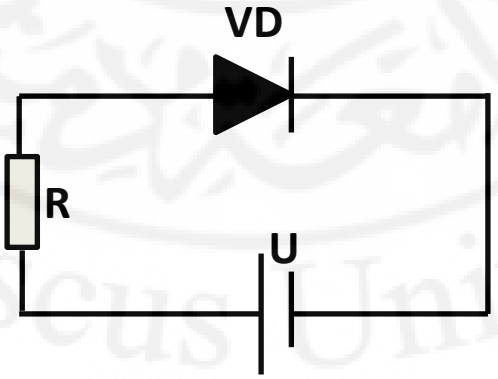
Physical Model

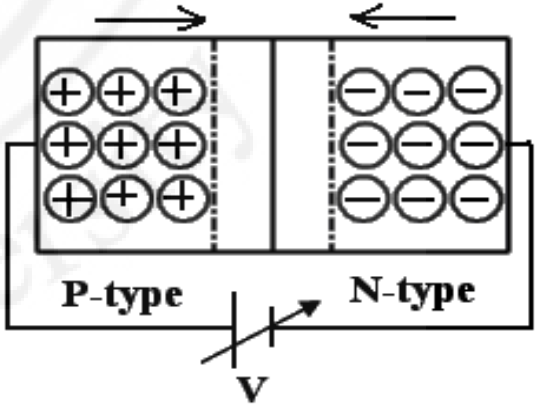


أنماط (آلية) عمل الديود

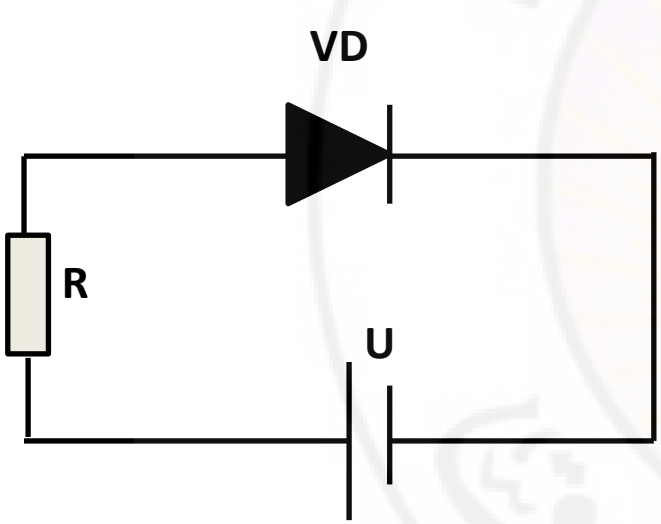
١- الانحياز الأمامي: تحدث هذه الحالة إذا ما تم تطبيق جهد على الوصلة p–n حيث يتم وصل الجانب p إلى النهاية الموجبة والجانب n إلى النهاية السالبة للمنبع المستمر وعندها تكون الوصلة منحازة أمامياً ويحدث مايلي: تتنافر الإلكترونات في الجانب n مع القطب السالب للمدخرة وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب p، بينما حركة الثقوب تندفع لعبور الوصلة في الجانب n ونتيجةً لذلك تضيق منطقة الشحنة الفراغية ويصبح الديود في حالة تمرير، أي تدفع قطبية الجهد الخارجي المطبق على الدارة الإلكترونات الحرة والثقوب للتحرك عبر الوصلة حيث يكون الجهد المطبق أكبر من جهد العتبة، فيمر تيار في الدارة وفق الشكل التالي:

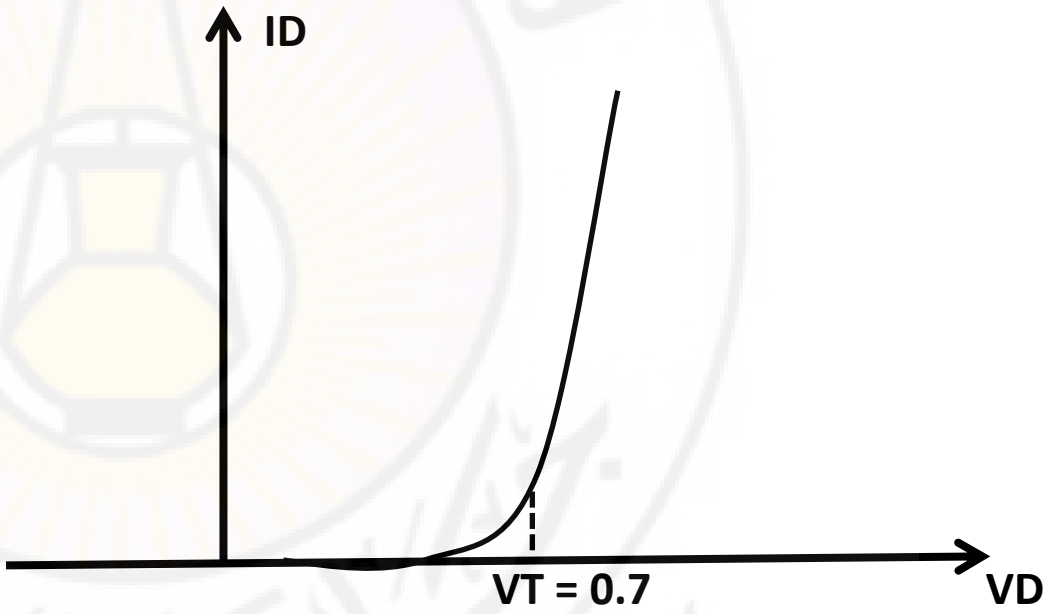






حيث يمثل الشكل التالي منحني خواص الديود في حالة الانحياز الأمامي والدارة المرسومة جانباً له تمثل حالة الديود في الانحياز الأمامي، حيث مصعد الديود موصول مع موجب المنبع وطرف المهبط للديود موصول مع سالب المنبع.



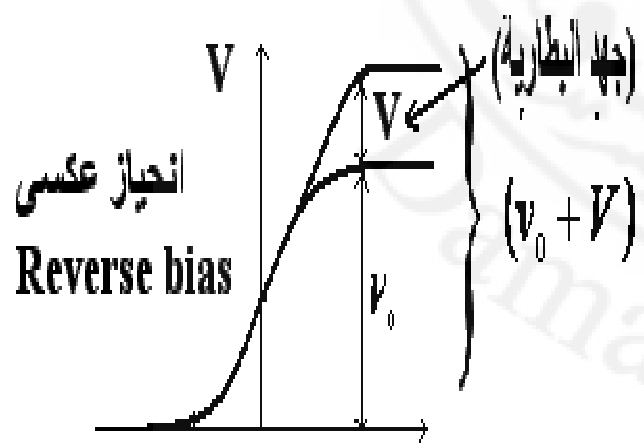


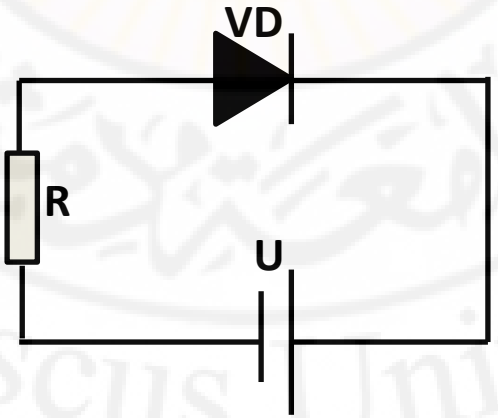
شروط الانحياز الأمامي:

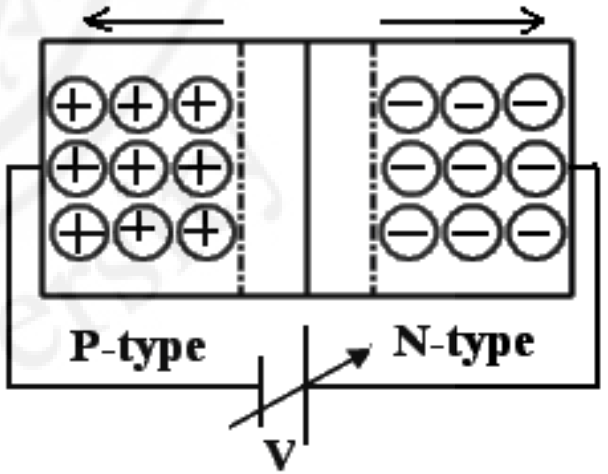
١- أن يكون جهد الانحياز أكبر من جهد العتبة، أي Vbias > Vt.

٢- أن يكون جهد المصعد أكبر من جهد المهبط، أي: VA > VK.

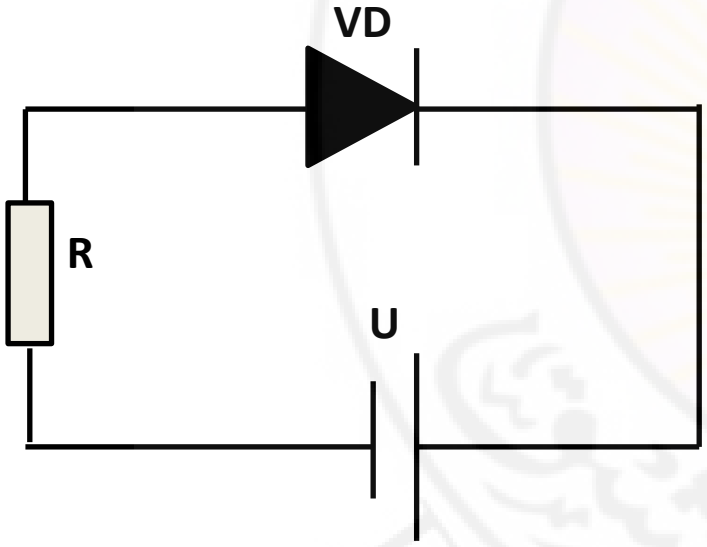
٢- الانحياز العكسي: تحدث حالة الانحياز العكسي عند تطبيق جهد خارجي على الوصلة p–n حيث يتم وصل الجانب p إلى النهاية السالبة والجانب n إلى النهاية الموجبة للمنبع المستمر، حيث الإلكترونات في المنطقة n تنجذب نحو القطب الموجب تاركةً وراءها أيون موجب والإلكترونات من المنبع تنجذب نحو الثقوب مخلفةً وراءها أيونات سالبة فيزداد عرض منطقة الشحنة الفراغية وتصبح قيمة التيار صفراً نظرياً والديود بحالة قطع، وهذا التوصيل يقوي الحاجز الكموني وعندها يزداد الجهد العكسي VR وهنا يكون الجهد العكسي كبير فلا يمر تيار في الدارة وفق الشكل التالي:

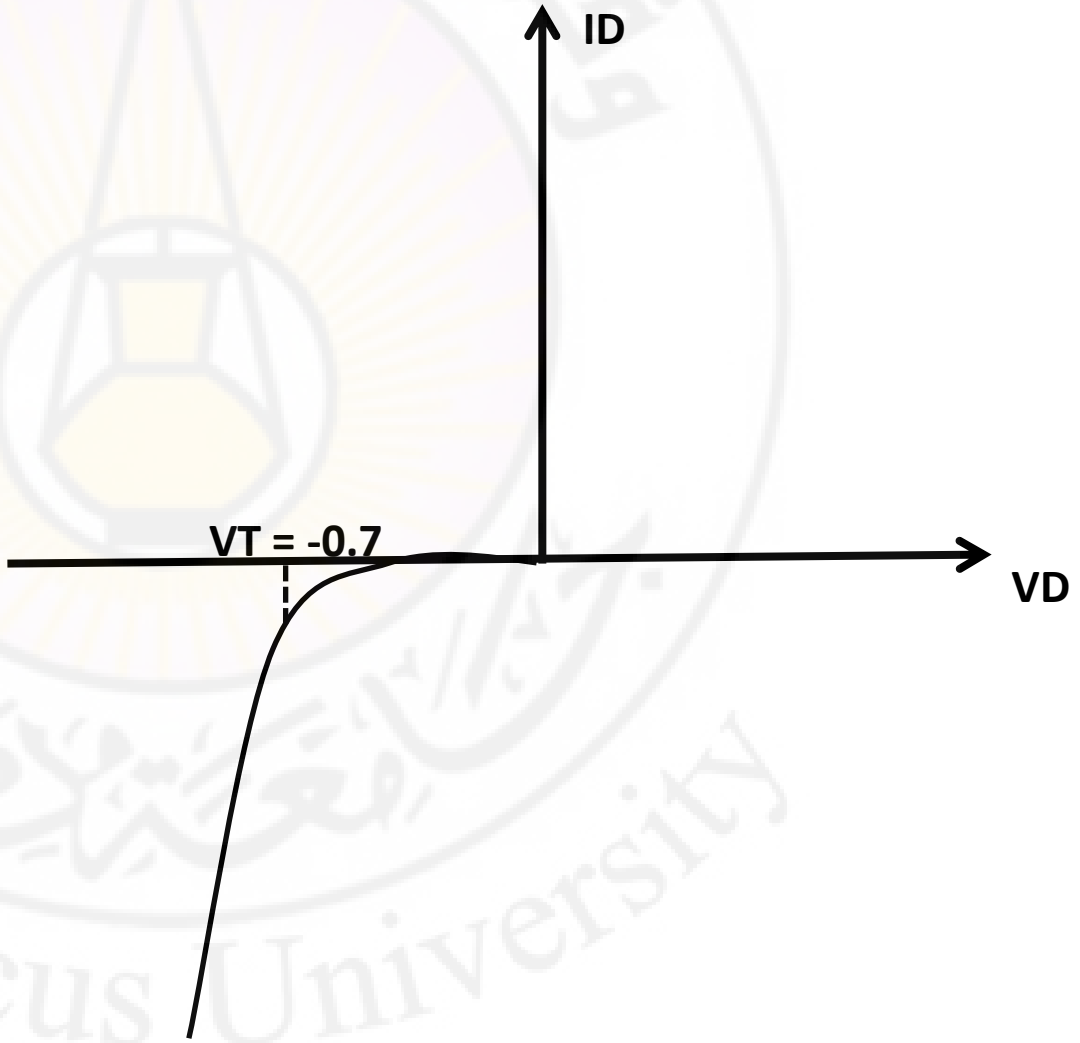






حيث يمثل الشكل التالي منحني خواص الديود في حالة الانحياز العكسي والدارة المرسومة جانباً له تمثل حالة الديود في الانحياز العكسي، حيث مصعد الديود موصول مع سالب المنبع وطرف المهبط للديود موصول مع موجب المنبع.





٣- الانهيار: إذا ازداد الانحياز العكسي على ثنائي الوصلة p-n فيما وراء مستوى يعرف بجهد الانهيار العكسي، فإن حوامل الشحنة الأقلية سوف تكتسب طاقة كبيرة كافية لحركتها عشوائياً بسرعة مما يؤدي إلى اصطدامها مع الكترونات أخرى وتحريضها (إعطائها طاقة كافية) لجعلها الكترونات حرة وتتكرر هذه العملية فينتج عدد هائل من الإلكترونات التي تسبب تيار عكسي كبير القيمة كافي لانهيار المادة نصف الناقلة.

وهناك من فسر الأمر على الطريقة التالية: إذا كان الديود منحازاً أمامياً وقمنا بزيادة الجهد كثيراً فإنه سوف يؤدي إلى تدمير الديود حيث سيؤدي في منطقة الشحنة إلى تحريك عامل شحنة إضافي حركته في نفس الناقل ستؤدي إلى زيادة في الحرارة وهذه الحرارة يستطيع نصف الناقل تحملها إلى حد معين ولكن فوق هذا الحد يتدمر الديود.

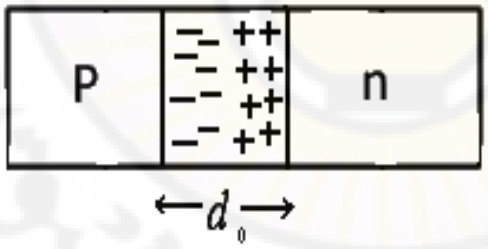
حساب قيمة التيار المار في الوصلة الثنائية

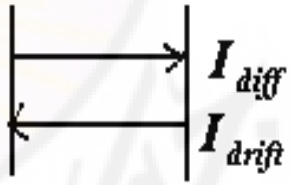
- عند تكون الوصلة تنتقل بعض الالكترونات من البلورة السالبة للموجبة (تيار الانتشار) ويتعين التيار الناتج منها من العلاقة:

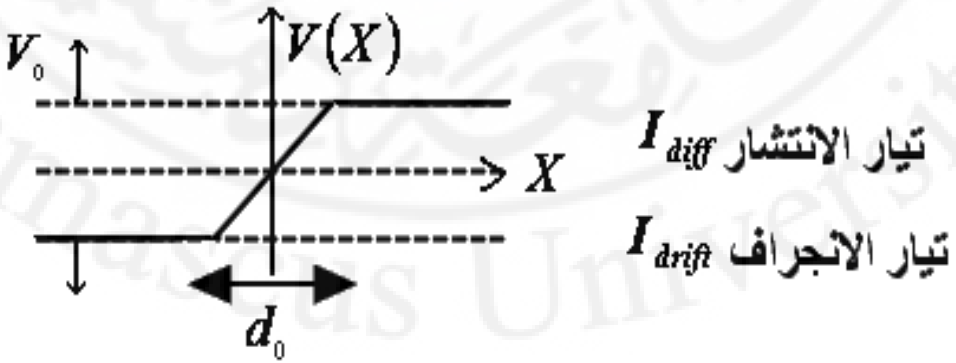
$$I = I_S = I_O\, e^{\frac{-eV_o}{kT}}$$

حيث I_s يمثل تيار الانتشار، I_o أقصى قيمة للتيار، e شحنة الإلكترون،

V_o الجهد الحاجز، k ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة.







- في حالة التوصيل الأمامي، فإن حاجز الجهد يقل ويصبح $(V_o - V)$ وبالتالي يكون التيار الناتج:

$$I_1 = I_O\, e^{\frac{-e(V_O - V)}{kT}}$$

$$= I_O\, e^{\frac{-eV_o}{kT}}\, e^{\frac{eV}{kT}}$$

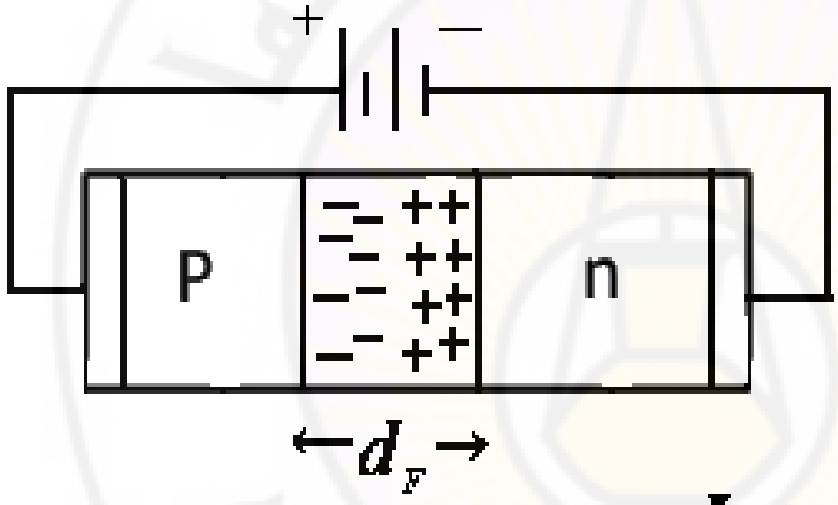
$$I_1 = I_S\, e^{\frac{eV}{kT}}$$

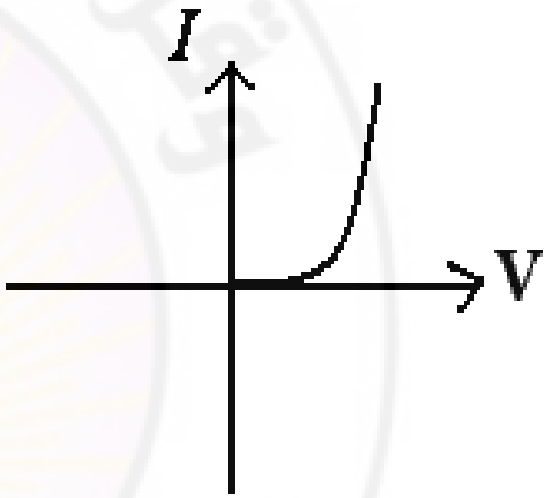
- يكون التيار الفعلي فى الاتجاه الأمامي (I_F) هو:

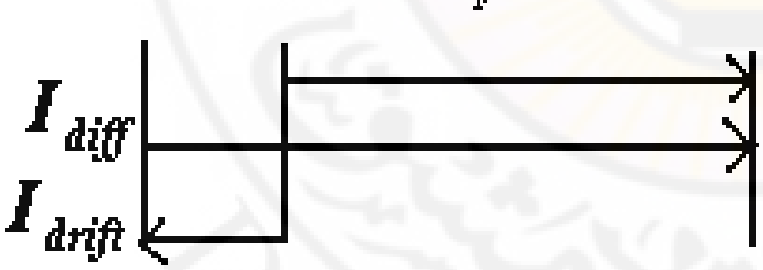
$$I_F = I_1 - I_S$$

$$= I_S\, e^{\frac{ev}{kT}} - I_S$$

$$I_F = I_S\left(e^{\frac{ev}{kT}} - 1\right)$$


+
−
P
n
d_F


I
V


I_F تيار في الاتجاه الامامي
I_{diff}
I_{drift}

- فى حالة التوصيل العكسي فإن حاجز الجهد يكون $(V_O + V)$ وبالتالى يكون:

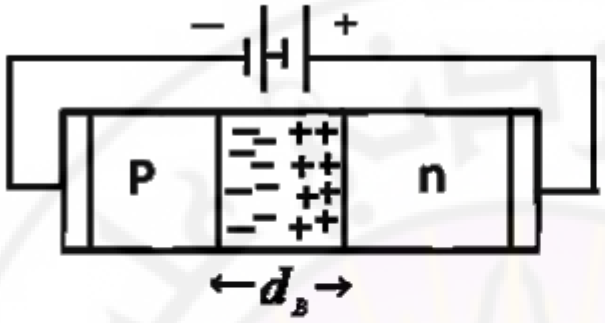
$$I_2 = I_O e^{\frac{-e(V_o+V)}{kT}}$$

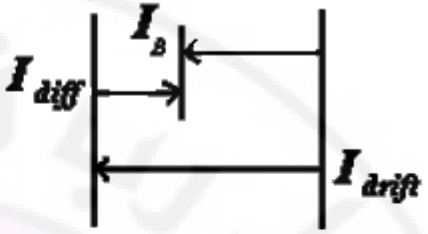
$$= I_O e^{\frac{-eV_o}{kT}} e^{\frac{-eV}{kT}}$$

$$I_2 = I_S e^{\frac{-eV}{kT}}$$

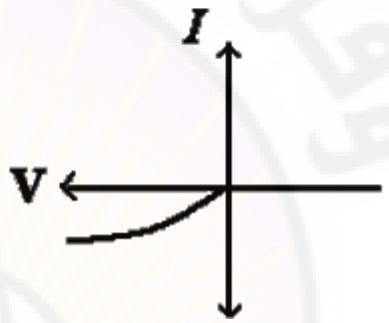
- يكون التيار الفعلي في الاتجاه العكسي (I_B) هو:

$$I_B = I_S - I_2 = I_S - I_S\, e^{\frac{-eV}{kT}} = I_S\left(1 - e^{\frac{-eV}{kT}}\right)$$

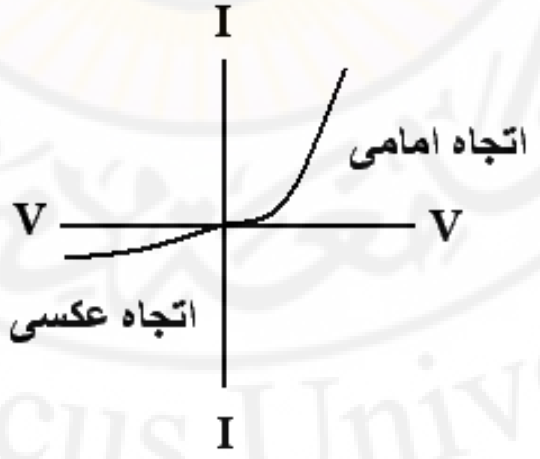




التيار فى الاتجاه العكسى I_B



ويرسم العلاقة البيانية بين الجهد والتيار للوصلة الثنائية باستخدام المعادلات السابقة ينتج مايلي:



في الاتجاه الأمامي:

- **يزداد الجهد حتى يصل إلى قيمة الجهد الحاجز مع عدم مرور تيار ملحوظ ثم يمر التيار بعد ذلك مع زيادة طفيفة في فرق الجهد بين طرفي الوصلة.**

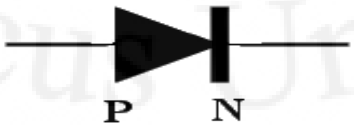
- **يمر تيار ضعيف في الوصلة الثنائية يزداد زيادة طفيفة بزيادة فرق الجهد بين طرفي الوصلة.**

تمرين:

- احسب قيمة التيار المار في الوصلة الثنائية في الاتجاهين الامامى والعكسى عند فرق جهد قدرة 0.8 فولت علماً بأن $\left(I_s = 3\times10^{-5} nA\right)$، ودرجة الحرارة (T) تساوي $300K$.

الإجابة $\left(I_F = 0.8A, I_B = I_S\right)$

الرمز العلمي للوصلة الثنائية:



العلاقة البيانية بين الجهد والتيار للوصلة الثنائية

<u>في الاتجاه الأمامي:</u> يزداد الجهد حتى يصل إلى قيمة الجهد الحاجز مع عدم مرور تيار ملحوظ، ثم يمر التيار بعد ذلك مع زيادة طفيفة في فرق الجهد بين طرفي الوصلة.

<u>في الاتجاه العكسي:</u> يمر تيار ضعيف في الوصلة الثنائية ويزداد زيادة طفيفة بزيادة فرق الجهد بين طرفي الوصلة.

نماذج الديود

آ- الديود المثالي: يتصف هذا النوع بـ:

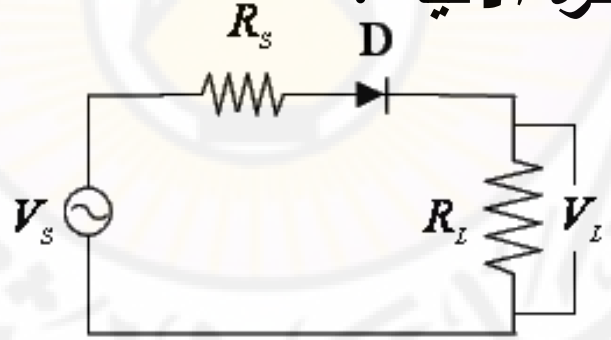
- يمرر التيار بشكل مباشر.
- جهد العتبة معدوم.
- وفي هذا النموذج نقوم بإهمال كل من:
  * جهد العتبة V 0.7 = Vt.
  * المقاومة المتغيرة (الديناميكية).
  * التيار العكسي.

- يقال للوصلة الثنائية أنها مثالية إذا كانت معاوقتها للتيار تساوى صفر في حالة التوصيل الامامي وتساوى مالانهاية في حالة التوصيل العكسي.

- يقال للوصلة الثنائية أنها مثالية إذا كان التيار مالا نهاية وفرق الجهد بين طرفي الوصلة الثنائية صفراً في حالة التوصيل الأمامي، ويكون التيار صفراً وفرق الجهد بين طرفي الوصلة الثنائية مالا نهاية في حالة التوصيل العكسي.
- يمكن اعتبار الوصلة الثنائية المثالية كدائرة قصر في حالة التوصيل الأمامي، بينما يمكن اعتبارها كدائرة مفتوحة في حالة التوصيل العكسي $(I_D = 0)$

مثال (١):

احسب قيمة V_L في الدائرة الآتية :-



١- في حالة التوصيل الأمامي يمكن اعتبار الوصلة الثنائية كدائرة قصر وبالتالي يكون:

$$I_D = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

ويكون:

$$V_L = I_D R_L$$

$$= \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

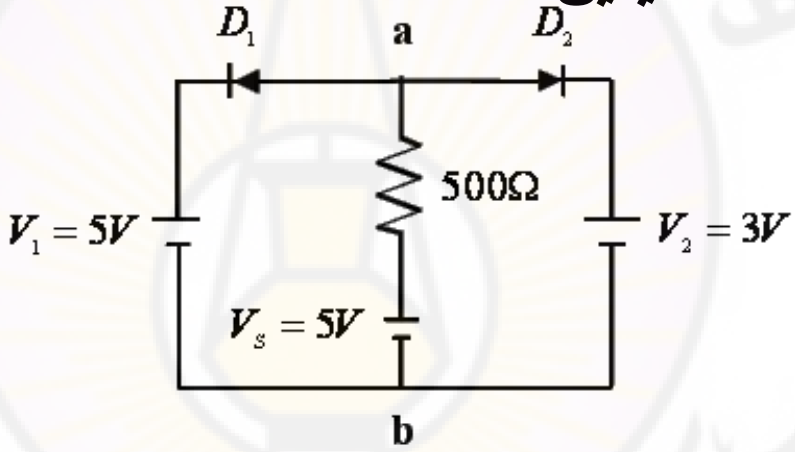
٢- فى حالة التوصيل العكسى يمكن اعتبار الوصلة الثنائية كدائرة مفتوحة وبالتالى يكون:

$$I_D = 0$$

$$V_L = I_D R_L = 0$$

مثال (٢):

في الدارة الموضحة بالشكل احسب قيمة I_{D_1} ، I_{D2} بفرض أن الوصلتين الثنائيتين D_1 ، D_2 مثاليتين.



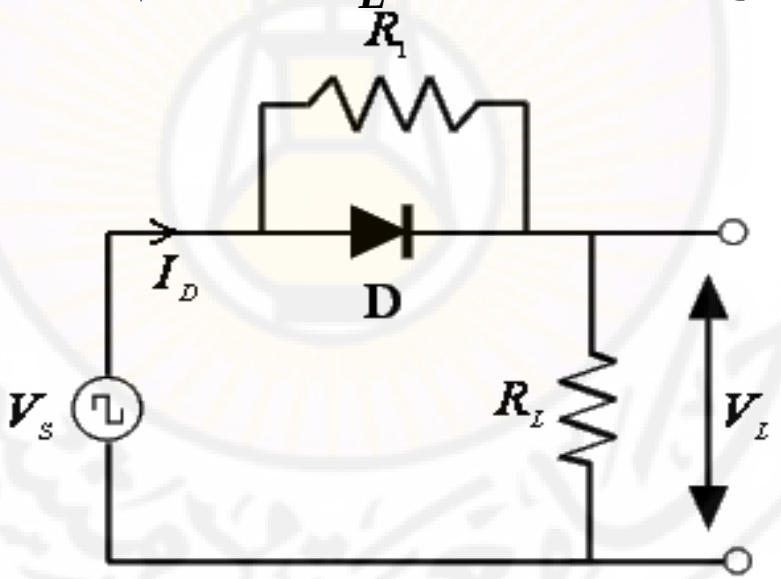
الوصلة D_1 في حاله توصيل عكسي، والوصلة D_2 في حاله توصيل أمامي، وبالتالي يكون:

$$I_{D_1} = 0$$

$$I_{D_2} = \frac{V_S - V_2}{500} = \frac{5-3}{500} = 4\times10^{-3}\,A$$

مثال (٣):

في الدارة الموضحة بالشكل إذا كان V_S هو جهد موجه مربعة سعتها $10V$ وزمنها الدوري T (شكل أ) . وإذا كان $R_L = R_1 = 10\Omega$ والوصلة الثنائية مثالية . استنتج قيمة الجهد V_L وارسم الشكل الموجى الناتج.



١- في حالة $V_S > 0$ تكون الوصلة الثنائية متصلة اتصالاً أمامياً، اى دارة قصر وبالتالي يكون $V_L = V_S = 10V$.

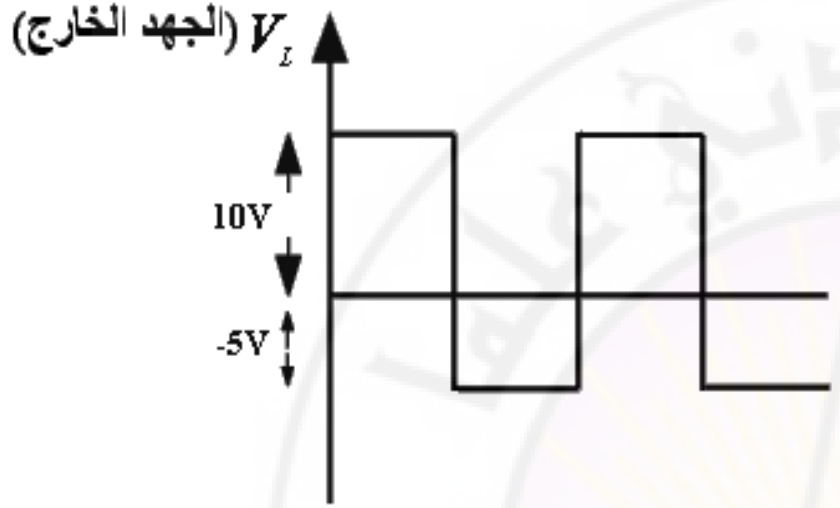
٢- في حالة $V_S < 0$ تكون الوصلة الثنائية متصلة اتصالاً عكسياً اى دائرة مفتوحة وبالتالي يكون:

$$I = \frac{V_S}{R_L + R_1} \quad , V_L = I\, R_L$$

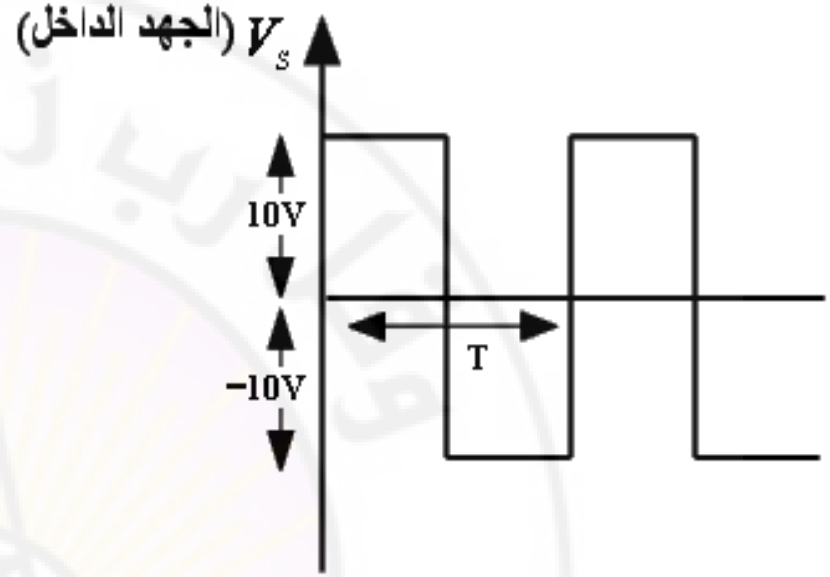
$$V_L = \frac{R_L}{R_L + R_1} V_S = \frac{10}{10 + 10}(-10) = -5V$$

وبالتالي يكون الشكل الموجى الناتج (شكل ب) ، وتكون قيمة V_L المتوسطة هي:

$$\overline{V}_L = \frac{10\left(T/2\right) + (-5)\left(T/2\right)}{T} = 2 \cdot 5V$$



شكل (ب)



شكل (أ)

القيمة المتوسطة لهذا الجهد هي عبارة عن المساحة المحددة بمنحني الدورة مقسومة على : 2π أي T ويكون

$$V_L(average) = \frac{1}{T}\left[\int_0^{T/2} V_0\,dt + \int_{T/2}^{T} V_0\,dt\right]$$

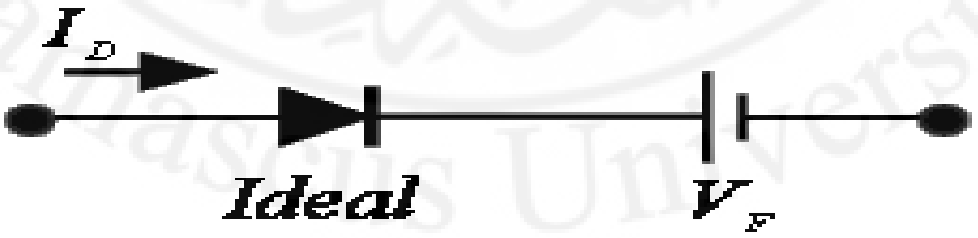
$$= \frac{1}{T}\left[10\left(T/2\right) + (-5)\left(T/2\right)\right]$$

$$= 5 - 2.5 = 2.5\ V$$

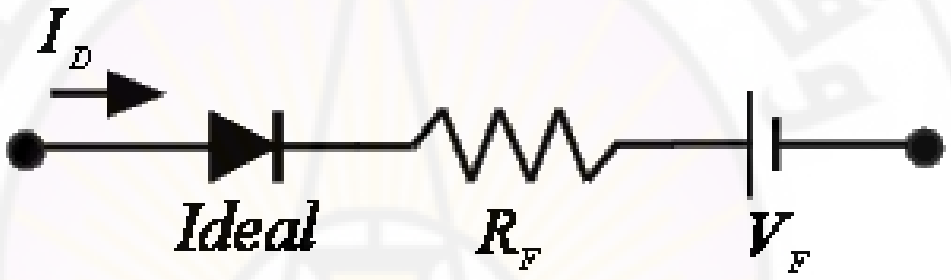
ب- الديود العملي: يتصف هذا النوع بـ:

- عند الوصول لجهد العتبة يزداد بشكل مثالي.
- وفي هذا النموذج نقوم بإهمال كل من:
  * المقاومة المتغيرة (الديناميكية).
  * التيار العكسي.
- لا نقوم باهمال جهد العتبة Vt = 0.7 V.

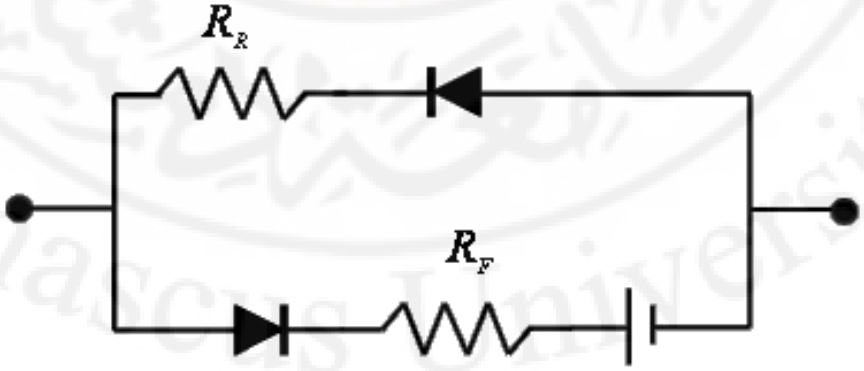
- يمر التيار الكهربي في الوصلة الثنائية أمامياً عندما يتعدى فرق الجهد $(0.7V)$ في حالة الوصلة الثنائية السيليكونية أما إذا كانت مادة الوصلة من الجرمانيوم فإن فرق الجهد يجب أن يزيد عن $(0.3V)$ لكي يمر التيار.
- يمكن رسم الدارة المكافئة للوصلة الثنائية في الاتجاه الامامى بحيث تضاف بطارية جهدها $(0.7V)$ في حالة السيليكون أو $(0.3V)$ في حالة الجرمانيوم إلى وصلة ثنائية مثالية على الشكل التالي:



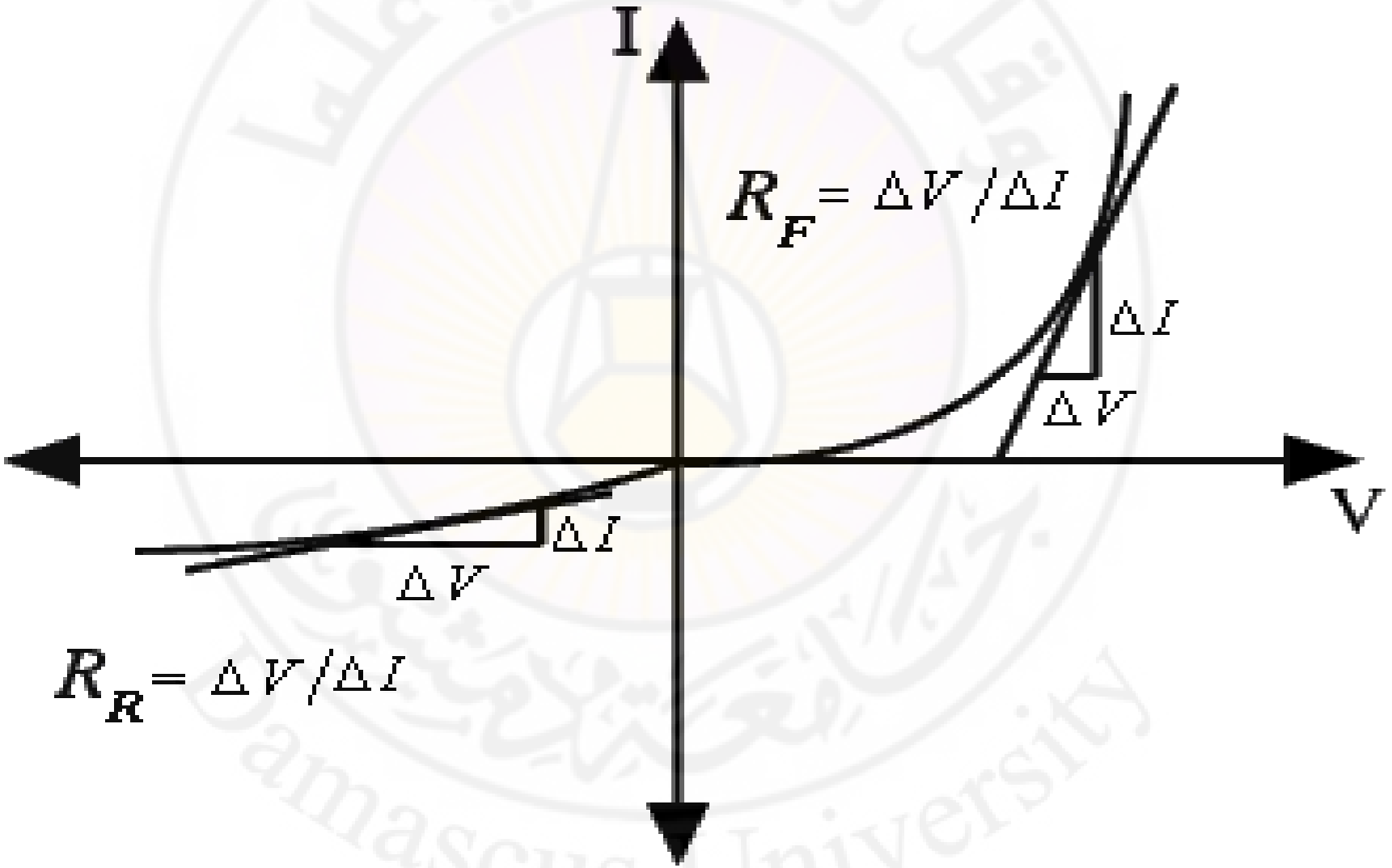
- تضاف المقاومة R_F والتي تمثل معاوقة الوصلة الثنائية لمرور التيار في الاتجاه الأمامي لتكون الدارة المكافئة:



- تضاف المقاومة R_R والتي تمثل معاوقة الوصلة للتيار في الاتجاه العكسي،وتكون الدارة المكافئة للوصلة الثنائية



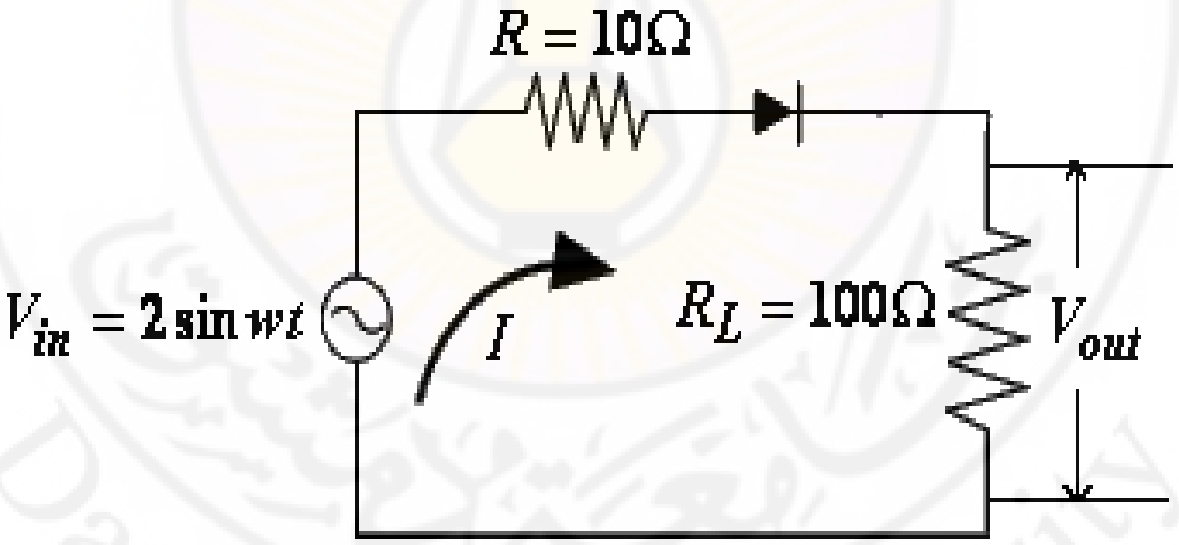
- تتعين بارامترات الوصلة الثنائية في الاتجاهين الأمامي والعكسي من المنحني المميز للوصلة وهذا موضح بالشكل التالي:



مثال:

أ- ارسم شكل الموجه V_{out} لخرج الدائرة التالية إذا كان ثنائي الوصلة مثالي.

ب- أعد إجابة السؤال السابق معتبراً أن الثنائي له مقاومة أمامية $r = 5\Omega$ وجهد انهيار $V_\gamma = 0.7\ \mathrm{V}$ في حالة التوصيل الأمامي.



الحل:

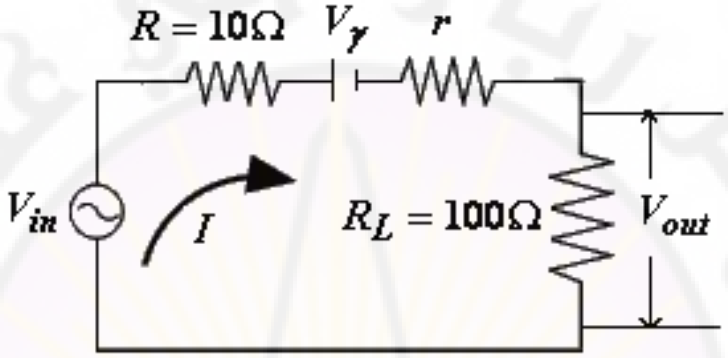
أ –

$$V_{out} = R_L I$$

$$V_{out} = 100 \times \frac{2\sin wt}{110} = \frac{200}{110}\sin wt = 1.8\sin wt$$

الحل:

ب –



$$V_{in} = RI + V\gamma + rI + R_L I$$

$$V_{in} = I(R + r + R_L) + V\gamma$$

$$I(R + r + R_L) = V_{in} - V_\gamma$$

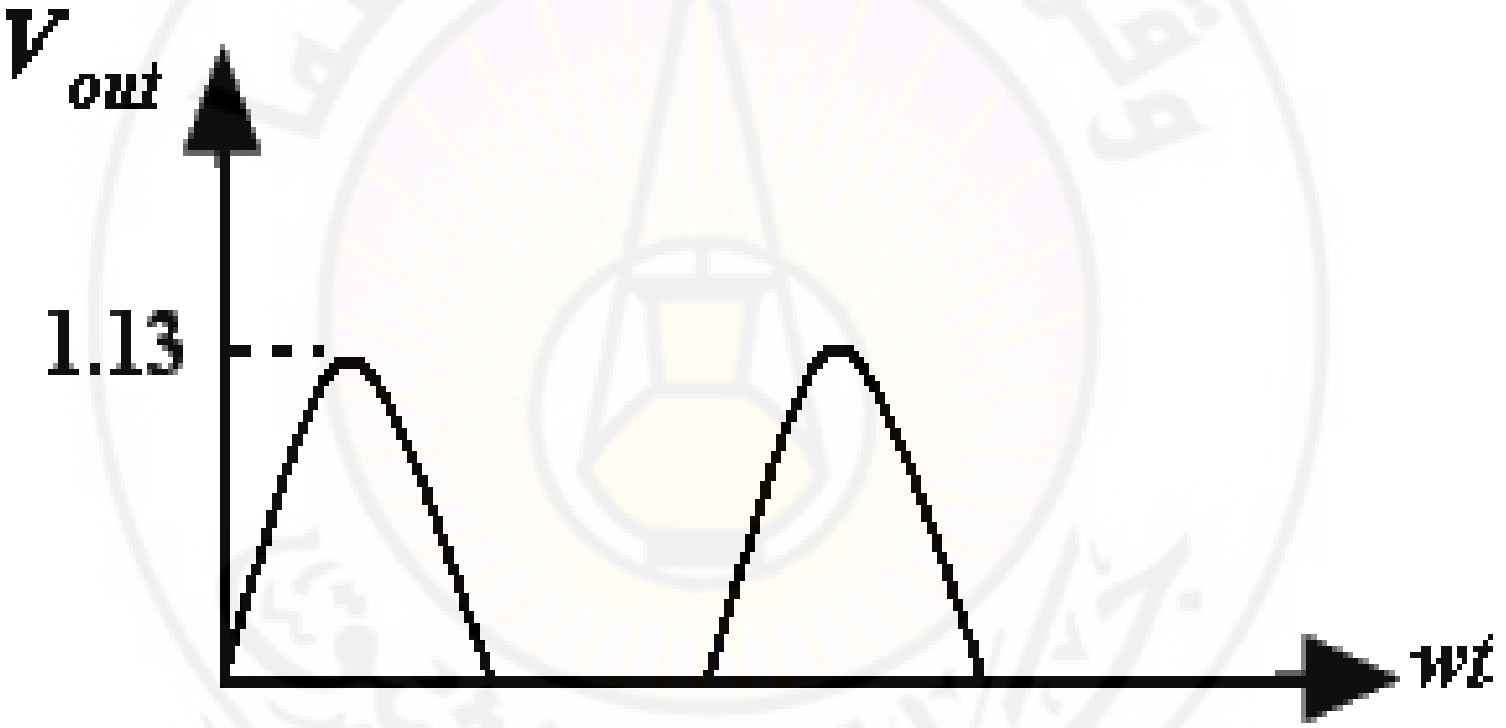
$$I = \frac{V_{in} - V_\gamma}{R + r + R_L}$$

$$V_{out} = R_L I = \frac{R_L}{R + r + R_L}(V_{in} - V_\gamma)$$

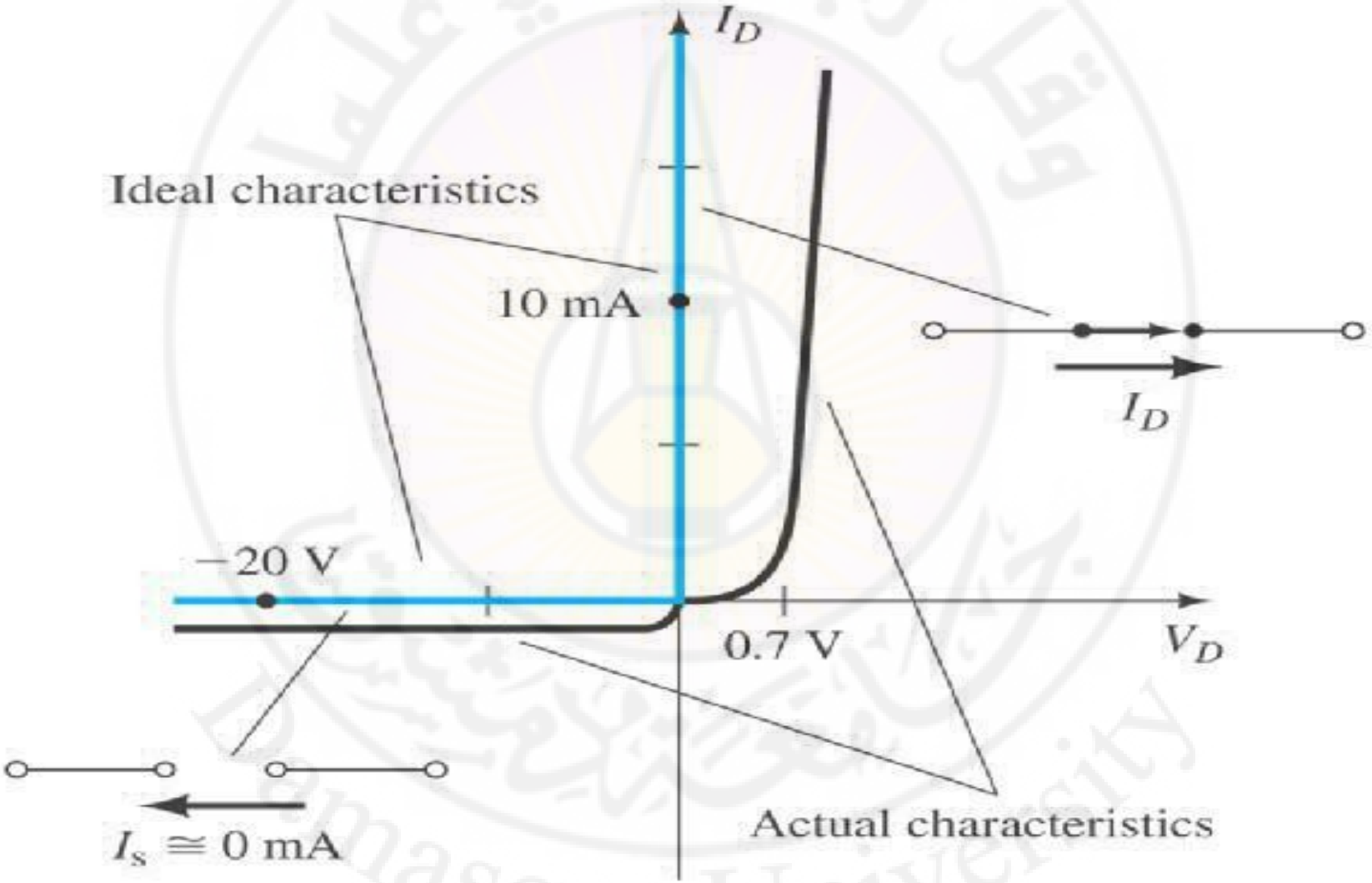
$$= \frac{100}{10 + 5 + 100}(2\sin wt - 0.7)$$

$$= \frac{100}{115}(2\sin wt - 0.7) = 0.87(2\sin wt - 0.7)$$

ويكـــــون شـــــكل الموجـــــة النـــــاتج V_{out} طبقـــــاً للعلاقـــــة هو: $\left(V_{out} = 1.13 \sin wt\right)$



يوضح الشكل الجانبي مقارنة بين خواص الديود المثالي والعملي:



خط الحمل

خط الحمل: هو خط مستقيم يعبر عن مجال تغير التيار وفقاً للجهد بحالة الانحياز الأمامي المطبق على الديود ويساعد في تحديد نقطة العمل للعنصر الإلكتروني.

من أجل حساب ورسم مستقيم خط الحمل نحتاج إلى نقطتين.

من معادلة جهد الخرج V0 بدلالة جهد الدخل وهبوط الجهد على المقاومات نجد:

$$V0 = VS - ID.R$$

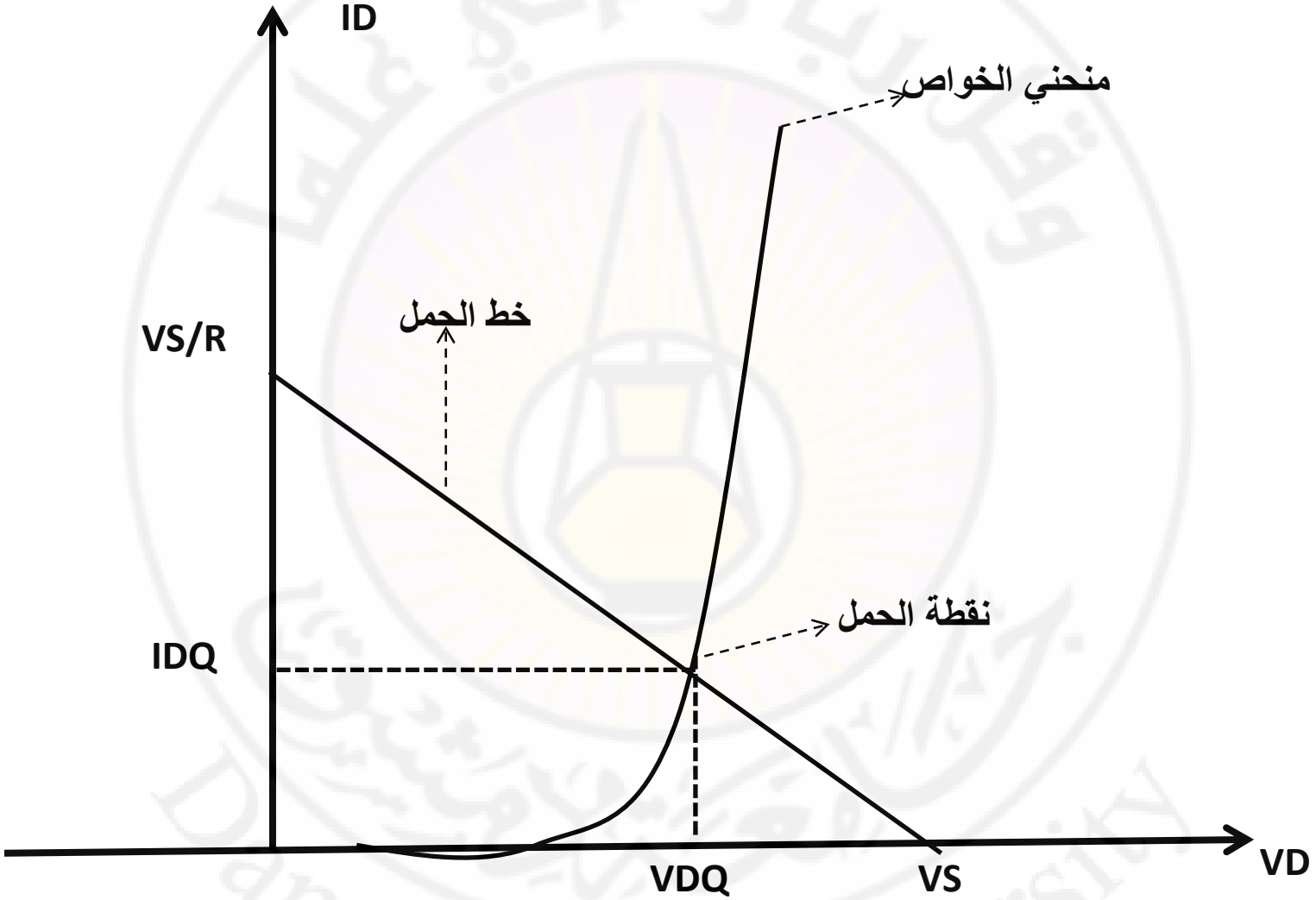
نجعل قيمة التيار مساوية للصفر فنجد أن $V0 = VS$.

نجعل قيمة جهد الخرج مساوياً للصفر فنجد أن: $ID = VS/R$.

بذلك حصلنا على نقطتين واحداثيات كل واحدة هي:

$(0,VS)$ و $(VS/R, 0)$

نصل بين النقطتين السابقتين فنحصل على مستقيم سيتقاطع مع منحني الخواص للديود بنقطة وهذه النقطة تدعى بنقطة العمل وهذا موضح بالشكل التالي:


ID
منحني الخواص
خط الحمل
VS/R
نقطة الحمل
IDQ
VD
VDQ
VS

سعة الوصلة الثنائية – الفاريكاب

- نستطيع أن نحصل على مكثف متغير السعة باستخدام الوصلة الثنائية عندما تكون في حالة انحياز عكسي.
- تتعين سعة الوصلة الثنائية من العلاقة $C = \frac{\varepsilon A}{W}$ حيث أن:

ε : ثابت العزل لمادة الوصلة ويقاس بـ $\left(F/m\right)$

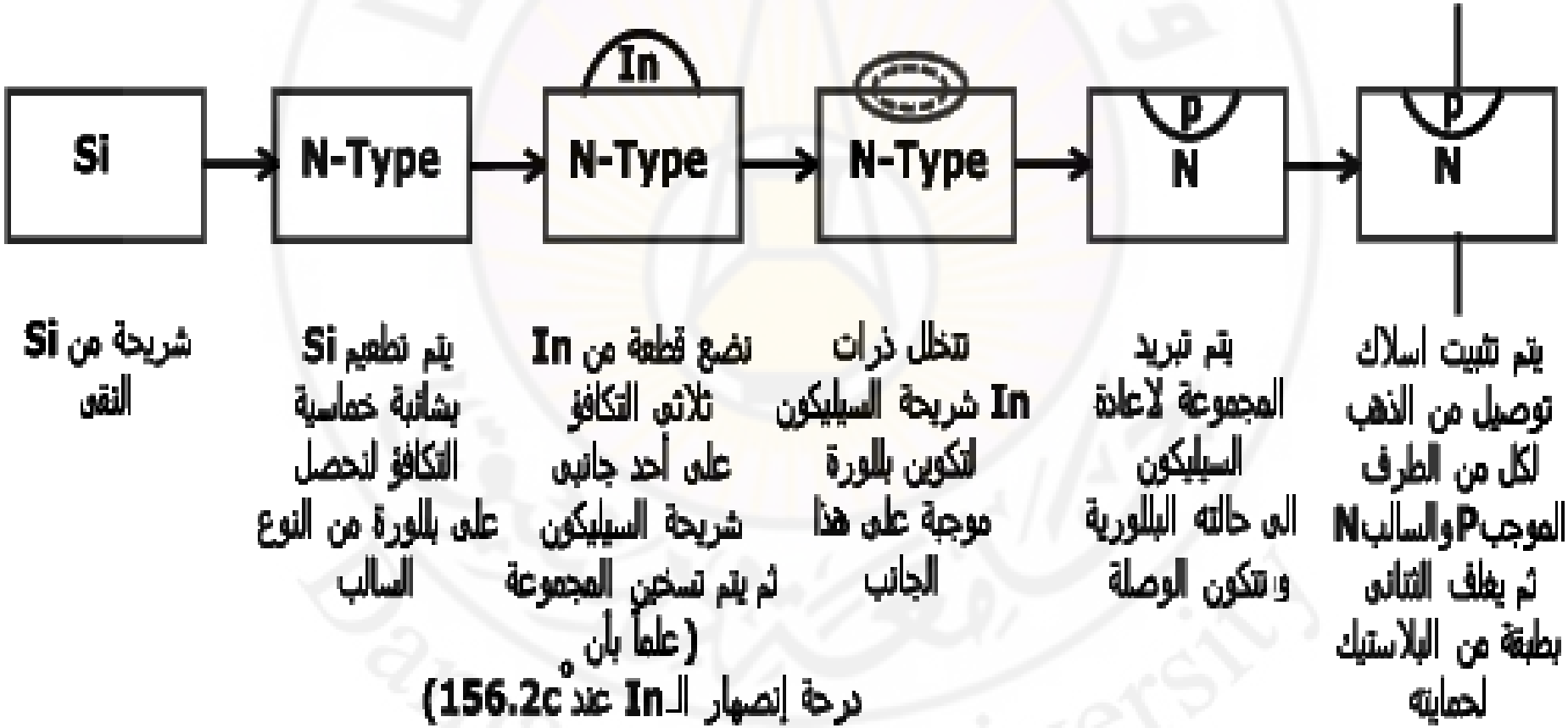
W : سمك منطقة الجهد الحاجز ويقاس بـ (m)

A : مساحة أحد البلورتين وتقاس بـ $\left(m^2\right)$

- الفاريكاب: هو وصلة ثنائية تعمل كمكثف متغير السعة في حالة ما يكون انحياز الوصلة عكسياً.
- يستخدم الفاريكاب في دوائر التوليف لانتقاء الترددات بدقة ودون تشويش.

تصنيع الوصلة الثنائية (P-N)

طريقة الانتشار:



تطبيقات الديود

أولاً- مقوم الجهد:

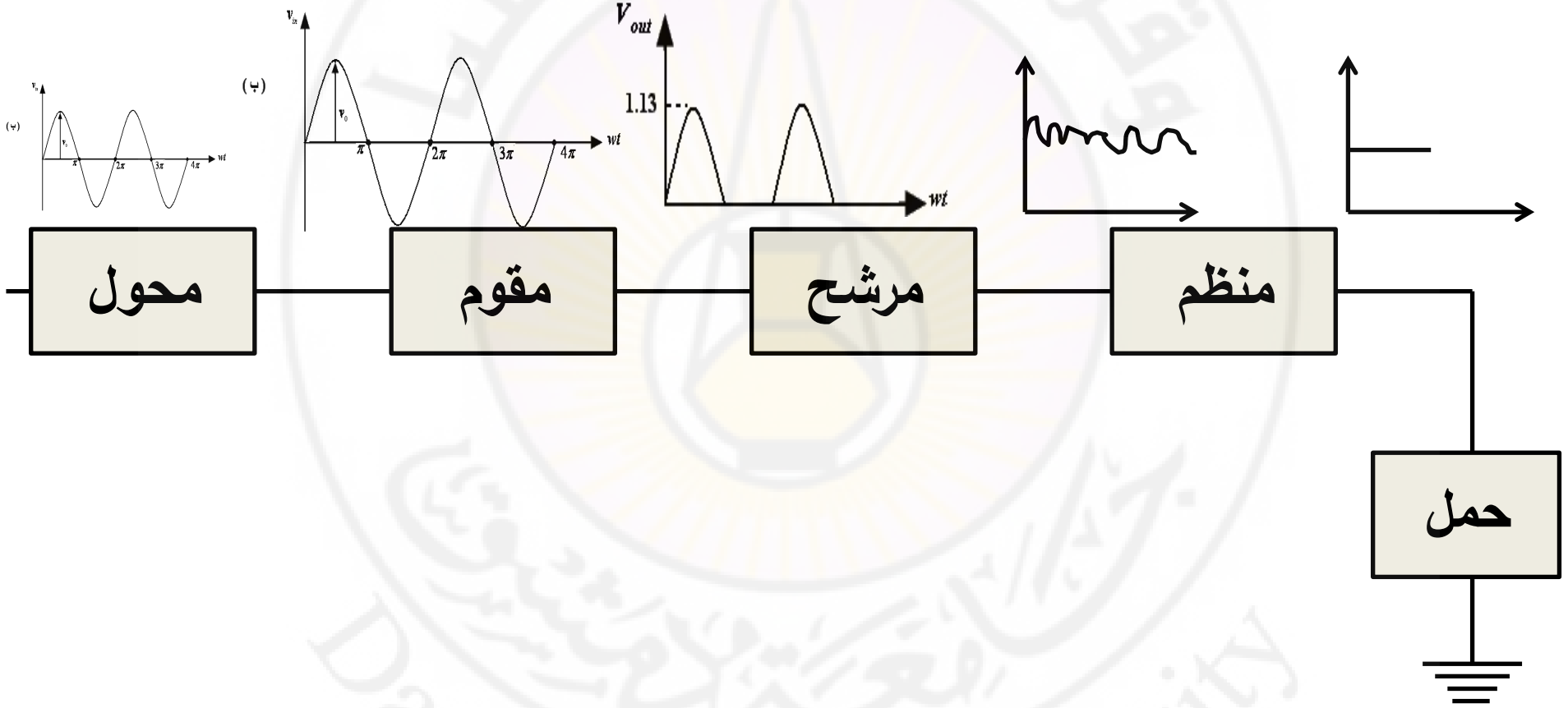
يوجد نوعان من الإشارات الكهربائية هما:

أ- الإشارة المتناوبة: وهي إشارة تأخذ قيمتين موجبة وسالبة وتتأرجح حول المحور الصفري.

ب- الإشارة المستمرة: وهي إشارة تأخذ قيمة واحدة فقط إما موجبة أو سالبة.

ومن أجل تحويل الإشارة المتناوبة إلى إشارة مستمرة يمكننا استخدام الديود ويلزمنا مايلي:

نلاحظ بعد عبور هذه الإشارة جميع هذه المراحل فإنها تصبح إشارة مستمرة وبقيمة ثابتة، وهذا يعود فضله إلى دارات التقويم التي تعتمد في عملها على الديودات وسيتم دراسة دارات التقويم بنصف موجة ودارات تقويم موجة كاملة.


(ب)
V_{out}
1.13
wt
π
2π
3π
4π
محول
مقوم
مرشح
منظم
حمل

الصندوق الأول (المحول): يمر فيه الجهد المتناوب حيث يحول الجهد المتناوب إلى جهد متناوب شبيه ولكن ذو مطال مختلف، حيث يظهر على خرج هذا المحول جهد متناوب يكون عادةً أقل من الجهد الداخل إلى هذا المحول، ومتناسب مع الخرج المراد الحصول عليه حسب نسبة التحويل والتي تساوي:

$$n = n1/n2$$

حيث n1: عدد لفات الملف الأول، n2: عدد لفات الملف الثاني.

الصندوق الثاني(المقوم): يقوم بتقويم نصف الموجة السالبة أو الموجبة ويحولها عند خرج هذا المقوم إلى جهد موجي.

الصندوق الثالث (مرشح الجهد النبضي): وهو عبارة عن مكثف أو مكثفين على التوازي وفيه يتحول الجهد حول قيمة محددة متوسطة قريبة من الجهد المستمر المراد الحصول عليه ويظهر في خرج المرشح على شكل جهد موجي (له تموجات)

الصندوق الرابع(منظم الجهد): يخفض من التموجات قدر الإمكان ويظهر لدينا في خرج هذا الصندوق تيار مستمر وهو التيار المناسب لتغذية العناصر الإلكترونية.

أ- مقوم نصف الموجة:

نناقش حالتين وهما:

١- حالة نصف الموجة الموجبة VA > VK (جهد المصعد أكبر من جهد المهبط): وفي هذه الحالة سيكون الثنائي منحازاً أمامياً وبالتالي يمر نصف الموجة عبر الديود إلى الخرج.

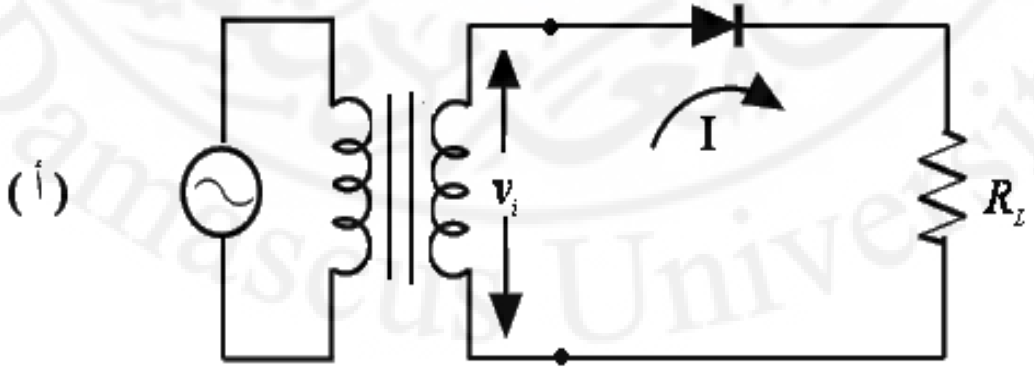
٢- حالة نصف الموجة السالبة VA < VK (جهد المصعد أصغر من جهد المهبط): وفي هذه الحالة سيكون الثنائي منحازاً عكسياً والتيار بهذه الحالة يساوي الصفر (لا يمر) وبالتالي جهد الخرج يساوي صفر بين t1 و t2 أي لن يكون هناك نبضة.

استخدام الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد

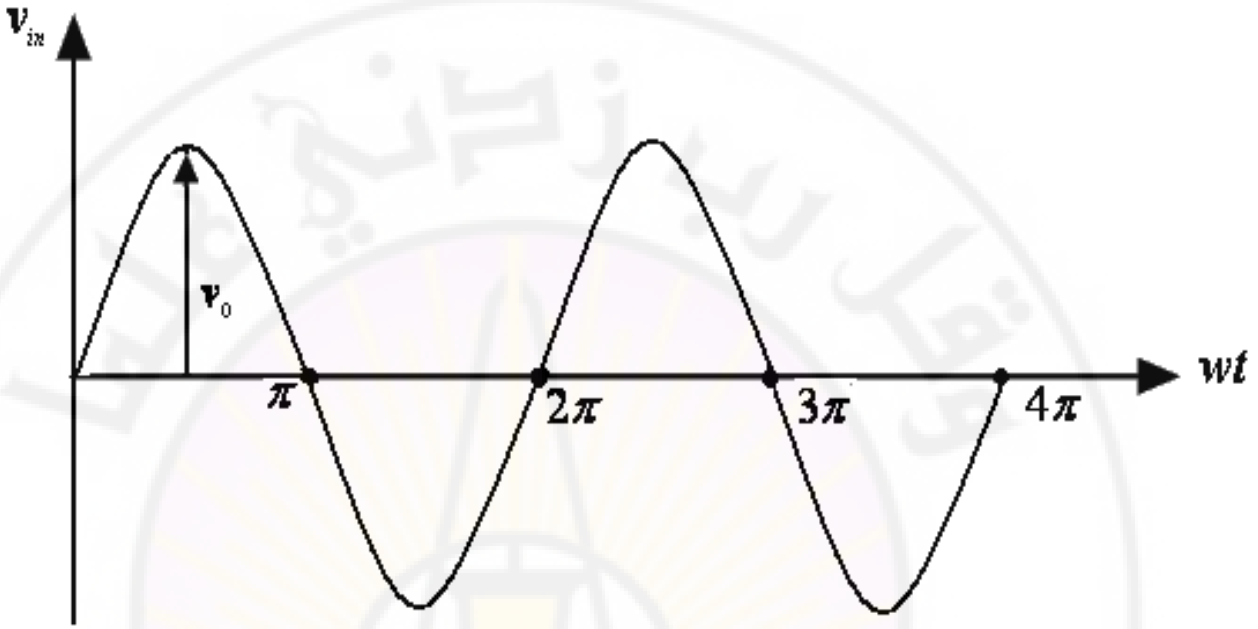
- تستخدم الوصلة الثنائية فى تقويم التيار المتردد، حيث أن لها القدرة على تمرير التيار الكهربائي في اتجاه دون الآخر.

- فى دائرة التقويم النصف موجي يتم توصيل الثنائي بمنبع التيار المتردد المراد تقويمه (شكل أ).

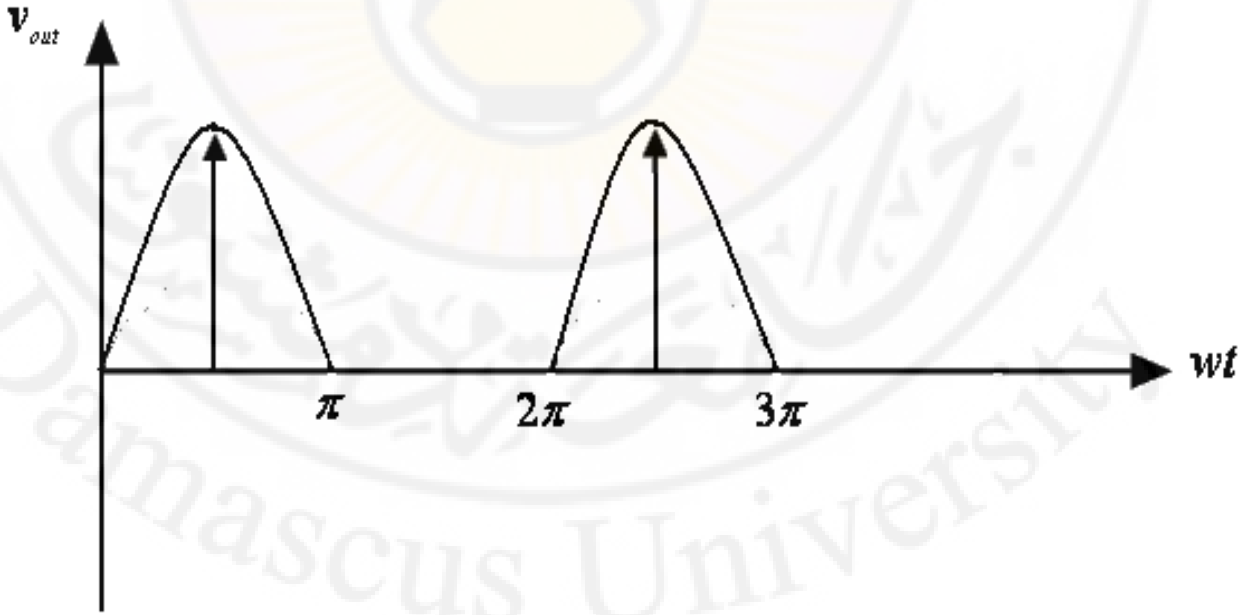
- فإذا كان جهد الدخل (V_{in}) للمقوم والموضح بالشكل (ب)، فإن جهد الخرج لدائرة التقويم النصف موجي من خلال مقاومة الحمل R_L يكون على الشكل المبين في(جـ).



(ب)

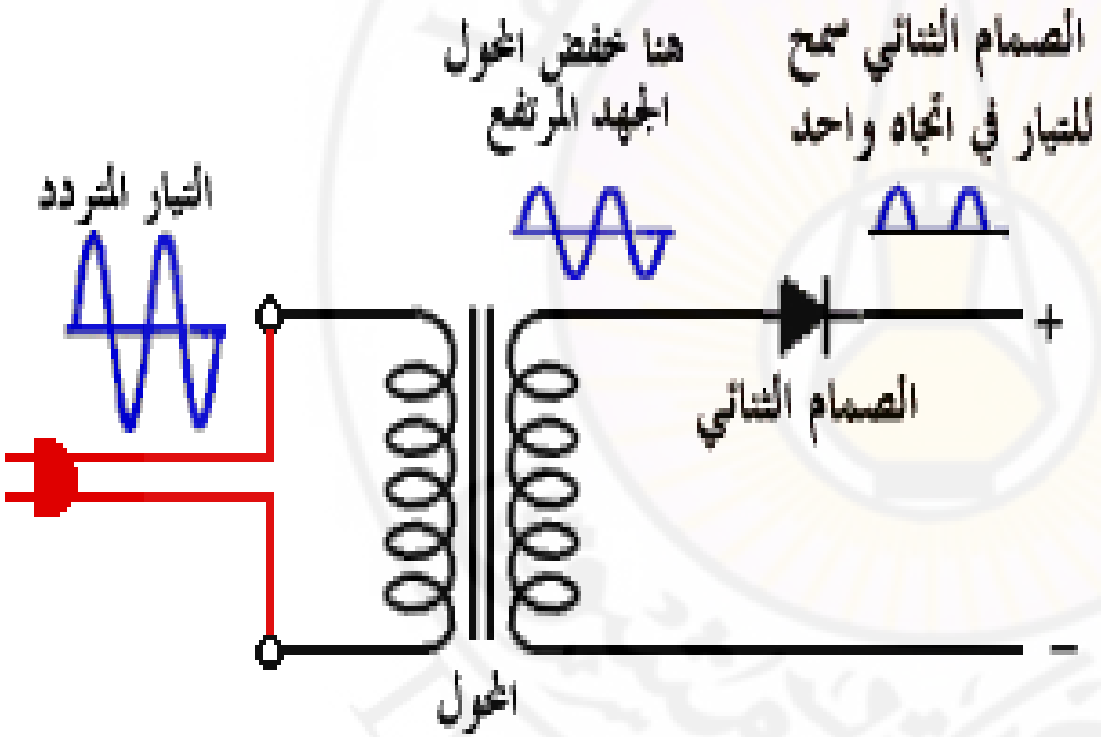


(جـ)



Damascus University

إذا وصل الثنائي على التوالي مع حمل فإنة يكون بمثابة مفتاح مغلق ومن ثم سيمرر التيار وذلك في نصف الموجة الموجبة للجهد فقط أي عندما يكون الجهد المسلط على الثنائي في الاتجاه الأمامي، أما في نصف الموجة السالب فإن الثنائي سوف لا يمرر التيار لأن الجهد المسلط عليه يكون في اتجاه الانحياز العكسي.



- **من مميزات دائرة التقويم النصف موجي القدرة على تمرير التيار الكهربائي فى اتجاه واحد، بينما من عيوب هذا النوع من المقومات أنه يستخدم فقط نصف القدرة الكهربية للموجة المترددة.**
- **تعطى قيمة التيار المستمر لخرج دائرة مقوم نصف موجي (I_{rms}) من العلاقة $\frac{I_m}{\pi}$ وهى تمثل القيمة المتوسطة لخرج هذه الدائرة بينما تكون القيمة الفعالة للتيار الناتج هي $\frac{I_m}{2}$.**

- إذا كان جهد الدخل للمقوم (V_{in}) هو:

$$V_{in} = V_m \sin wt$$

- وإذا اعتبرنا أن الثنائى له مقاومة R_F في حالة التوصيل الامامى وهى صغيرة جداً فإن التيار المار خلال الدائرة هو:

$$i) \quad I = \frac{V_m}{R_F + R_L} \sin wt = I_m \sin wt \qquad 0 < wt < \pi$$

$$ii) \quad I = 0 \qquad \pi \le wt \le 2\pi$$

• وتكون القيمة المتوسطة للتيار الناتج (I_{av}) وهى التى تمثل التيار المستمر (I_{dc}) المار خلال الدائرة هي :

$$I_{av} = I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} I\, d(wt) = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\pi} I\, d(wt)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi}\int_{0}^{\pi} \sin wt\, d(wt) = \frac{I_m}{\pi}$$

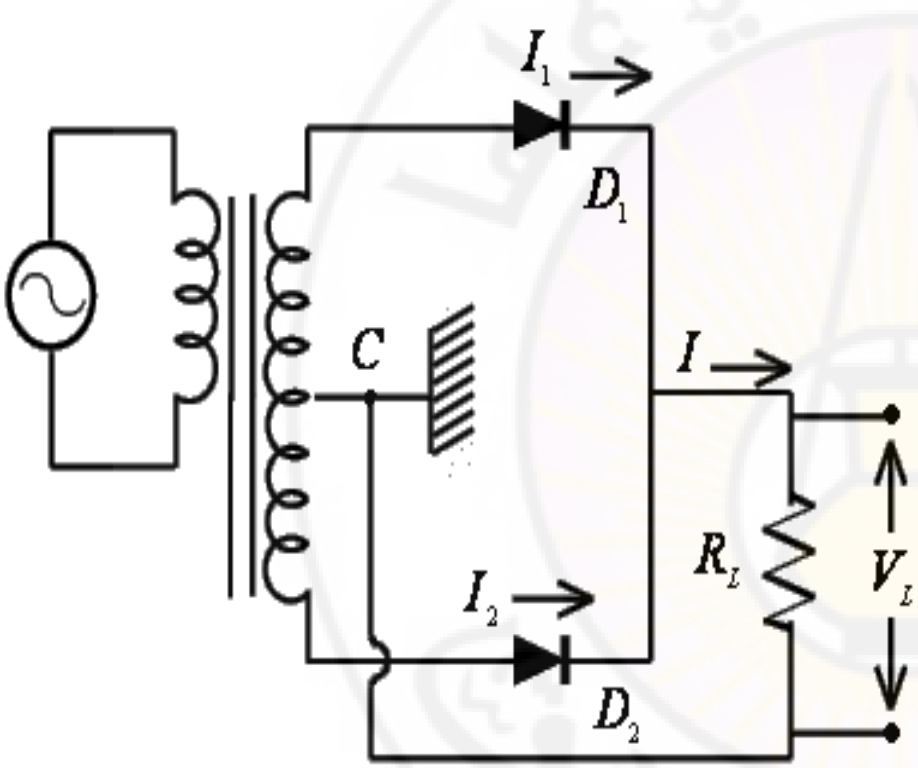
• ويكون جهد الخرج المستمر وهو عبارة عن فرق الجهد على مقاومة التحميل R_L هو:

$$V_{dc} = I_{dc} R_L = R_L \frac{I_m}{\pi}$$

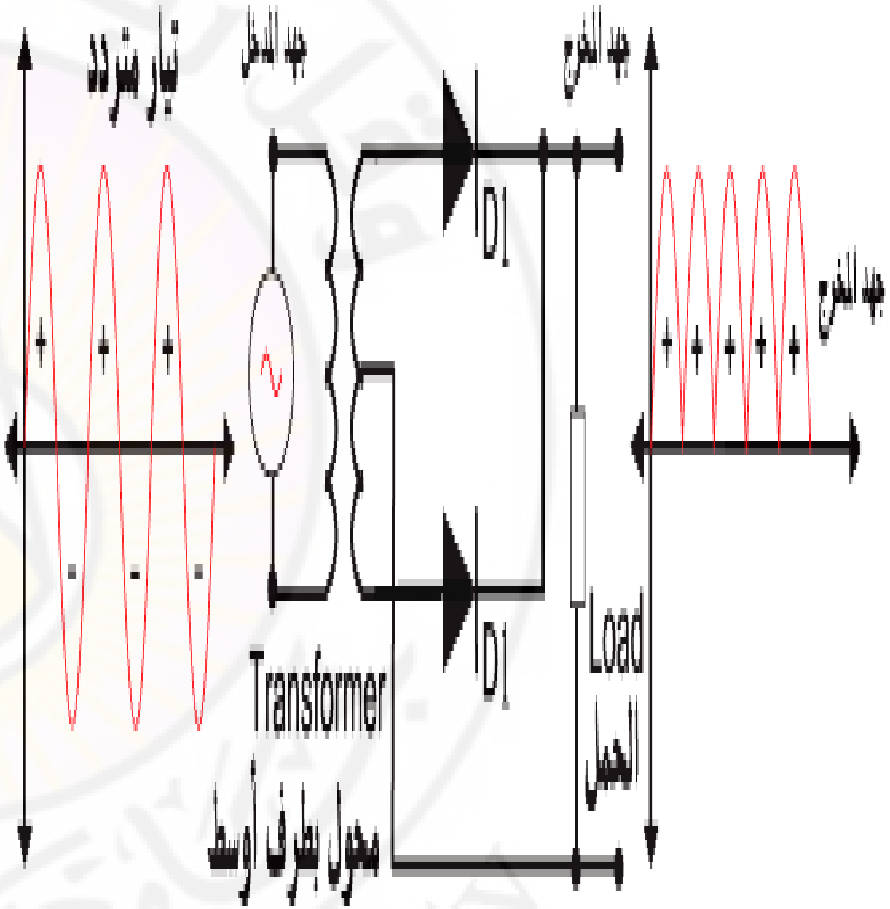
- فى دائرة التقويم الموجي الكامل يتم استخدام ثنائيين يعملان بالتناوب كما هو موضح بالشكل (أ)، وبالتالى فإن هذا المقوم يستخدم نصفي موجة تيار الدخل المتردد.

- فى دائرة التقويم الموجي الكامل يستخدم محول عدد لفات ملفه الثانوى ضعف المستخدم فى المقوم النصف موجي وتوصل نقطة مركز الملف الثانوي بالأرض، وبذلك يمر التياران I_1 ، I_2 بالتتابع خلال أحد الثنائيين ويكون التيار الناتج I والمار خلال مقاومة التحميل R_L دائماً فى اتجاه واحد.

- فإذا كان جهد الدخل للمقوم (V_{in}) والموضح بالشكل (ب). فإن جهد الخرج لدائرة التقويم الموجى الكامل من خلال مقاومة الحمل R_L يكون على الشكل المبين فى (جـ).


I_1
D_1
C
I
R_L
V_L
I_2
D_2

(أ)

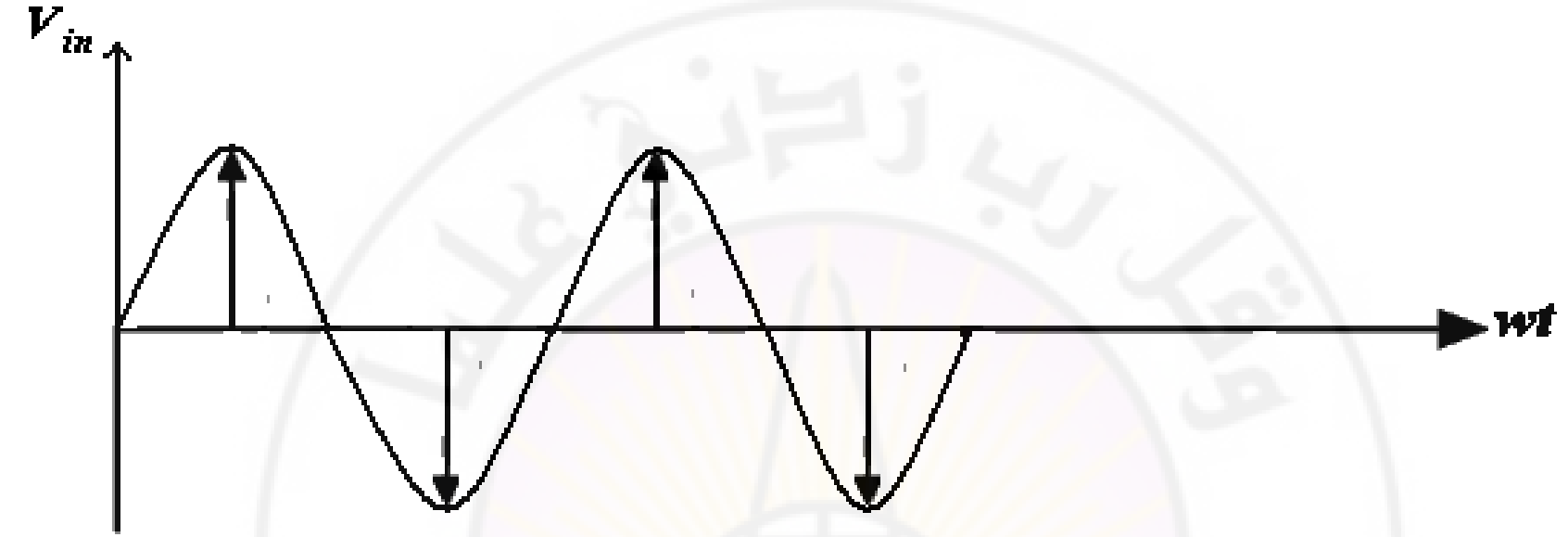

تيار متردد
جهد الدخل
جهد الخرج
D1
D1
Transformer
محول بمفرق أوسط
Load
الحمل
جهد الخرج

أثناء النصف الموجب من الموجة:

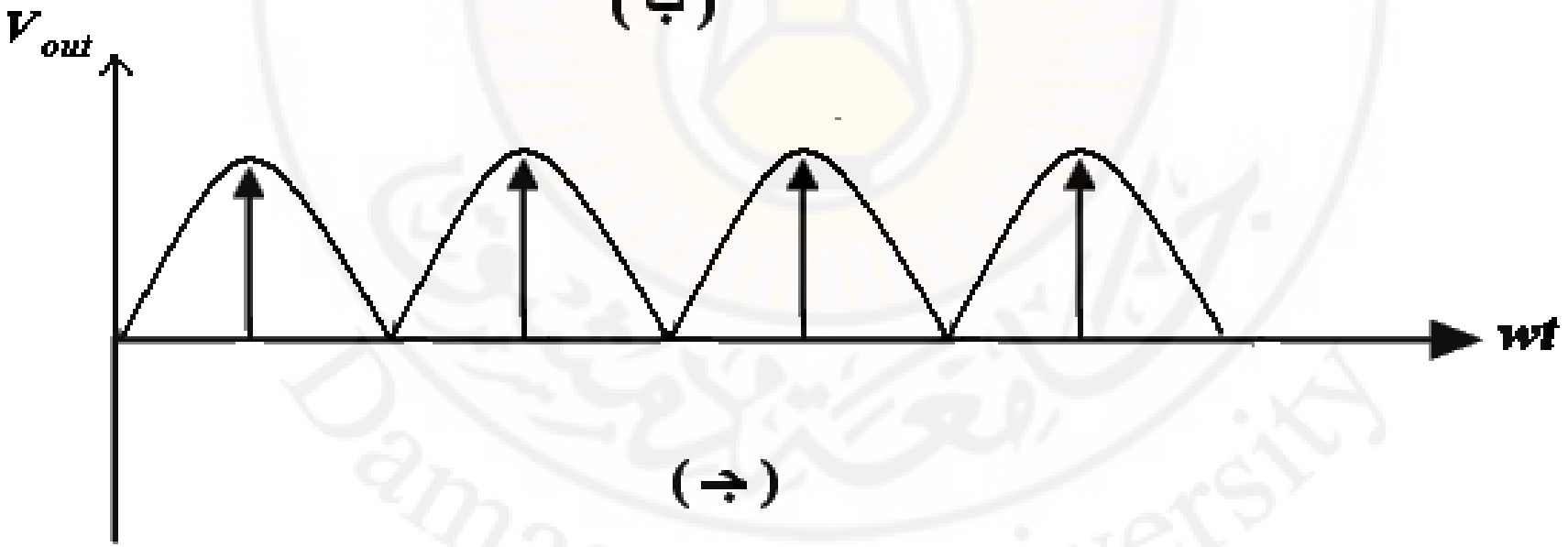
يكون الثنائي العلوى D1 موصلاً توصيلا أمامياً، ويسمح بمرور نصف الموجة الموجب إلى مقاومة الحمل، وفي ذلك الحين يكون الثنائي السفلي D2 موصلاً توصيلاً عكسياً .

أثناء النصف السالب من الموجة:

يكون الثنائي السفلي D2 موصلاً توصيلاً أمامياً، ويسمح بمرور نصف الموجة السالب إلى مقاومة الحمل بنفس الكيفية وفي نفس الاتجاه التى مر بها النصف الموجب، وفي ذلك الحين يكون الثنائي العلوي D1 موصلاً عكسياً، وبذلك يمر في مقاومة الحمل أنصاف موجات موجبة متتالية لا ينقصها عن الجهد المستمر إلا ثبات قيمتها.



(ب)



(جـ)

Damascus University

- تتميز دارة التقويم الموجي الكامل عن دارة التقويم النصف موجي بأنها تستطيع استغلال كامل القدرة الكهربية لموجه الدخل المترددة.

- تعطى قيمة التيار المستمر لخرج دائرة مقوم موجي كامل(I_{rms})من العلاقة $\frac{2I_m}{\pi}$ وهى تمثل القيمة المتوسطة لخرج هذه الدائرة بينما تكون القيمة الفعالة للتيار الناتج هي $I_m/\sqrt{2}$.

Damascus University

ملاحظة١: إذا كان الديود مثالي فإن جهد الخرج يكون مساوياً جهد الدخل بإشارة موجبة والدور لم يختلف أي نفس التردد.

ملاحظة٢: إذا كان الديود عملي فإن جهد الخرج يكون مساوياً جهد الدخل مطروحاً منه قيمة جهد العتبة للديود، فمثلاً إذا كان الديود مصنوع من السليكون فإن:

جهد الخرج يساوي جهد الدخل – 0.7

وإذا كان مصنوع من الجرمانيوم فإن:

جهد الخرج يساوي جهد الدخل – 0.3.

Damascus University

- تحتوى التيارات الناتجة من دارات المقومات على مركبات للتيار المتردد، بالإضافة إلى مركبة التيار المستمر.

- يعرف معامل التموج (r) بأنه النسبة بين قيمة التيار الناتج من المركبات المترددة إلى قيمة مركبة التيار المستمر، أي:

عامل التموج: هو عبارة عن مؤشر يعبر عن مدى فعالية الترشيح ويعطى بالعلاقة التالية:

$$r = Vrpp/VDC$$

حيث:

Vrpp: هو جهد التموجات بين قيمتي التموج العظمى والصغرى.

VDC: هي القيمة المتوسطة لجهد التموجات أو على خرج مكثف الترشيح.

ملاحظة: كلما كانت قيمة r أصغر كلما كان الترشيح أفضل.

- يحدد معامل التموج كفاءة الدارة فى التحويل من التيار المتردد إلى التيار المستمر، فإذا كان هذا المعامل منخفضاً، فإن الدارة تقوم بعملية التحويل بشكل جيد والعكس صحيح.

طريقة حساب قيمة جهد العكسي الأعظمي PIV

الجهد العكسي الأعظمي PIV: هو جهد القمة العكسي وهو أعظم جهد يتحمله الديود عندما يكون في حالة انحياز عكسي، ونورد فيما يلي طريقة حسابه:

١- نختار النبضة التي تجعل الديود منحازاً عكسياً ونعوض باقي الديودات بحسب النموذج المعطى ونترك الديود المنحاز عكسياً كما هو.

٢- نطبق قانون PIV لجميع الديودات وهو PIV = VK – VA علماً أن PIV لجميع الديودات متساوي.

إذاً PIV = Vin.

مقوم موجة كاملة

يسمح هذا المقوم بمرور التيار عبر الحمل خلال دورة كاملة 2π فيكون معدل متوسط جهد الخرج هو:

$$Vavg = 2Vout/\pi = 0.637\ Vout$$

يمكن الحصول على هذا المقوم من خلال نوعين من المقومات وهما:

١- استخدام ديودين ومحول ذي نقطة مركزية.

٢- استخدام أربع ديودات.

١- تقويم موجة كاملة باستخدام ديودين ومحول ذي نقطة مركزية:

أ- في حالة نصف الموجة الموجبة:

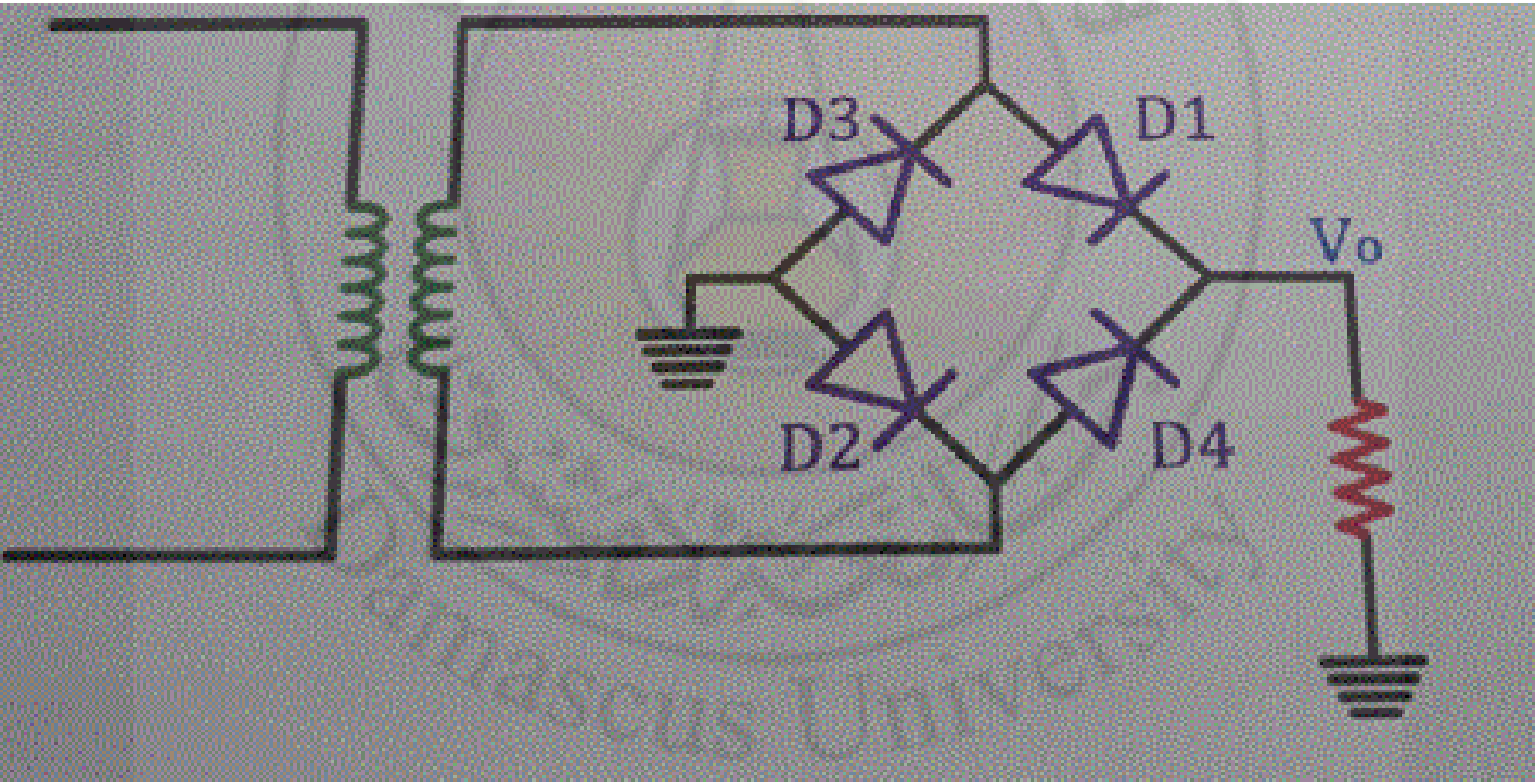
- الديود D1 منحازاً أمامياً ويمرر التيار، أما D2 فيكون بحالة انحياز عكسي ولا يمرر التيار ويتولد Vout له نفس قطبية وشكل جهد الدخل.

ب- في حالة نصف الموجة السالبة:

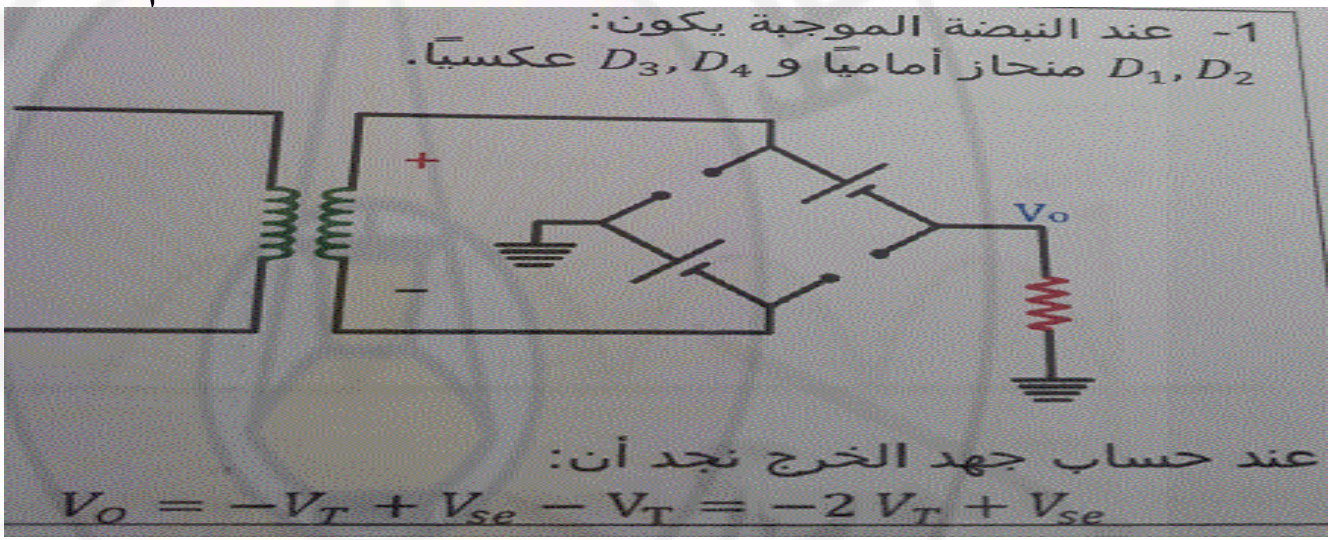
- الديود D1 يكون بحالة انحياز عكسي ولا يمرر التيار، أما D2 فيكون بحالة انحياز أمامي ويمرر التيار كون الجهد على المصعد A أكثر إيجابية من الجهد على المهبط K، ويتولد Vout له نفس القطبية السابقة.

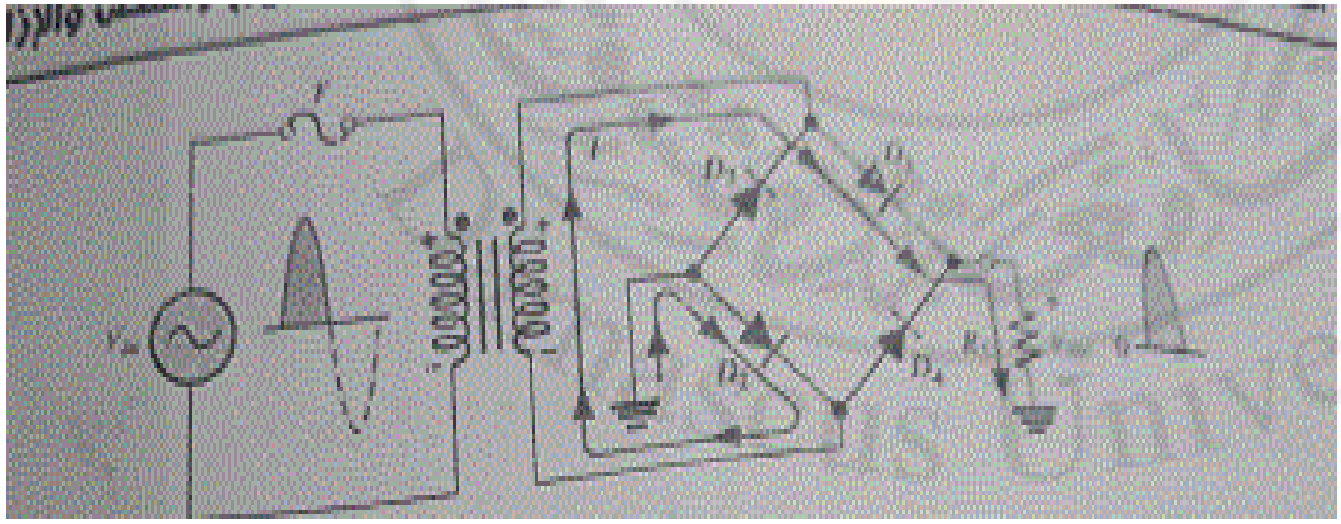
٢- تقويم موجة كاملة باستخدام المقوم الجسري:

يستخدم في المقوم الجسري أربعة ديودات موصولة كما بالشكل التالي لتقويم موجة كاملة:

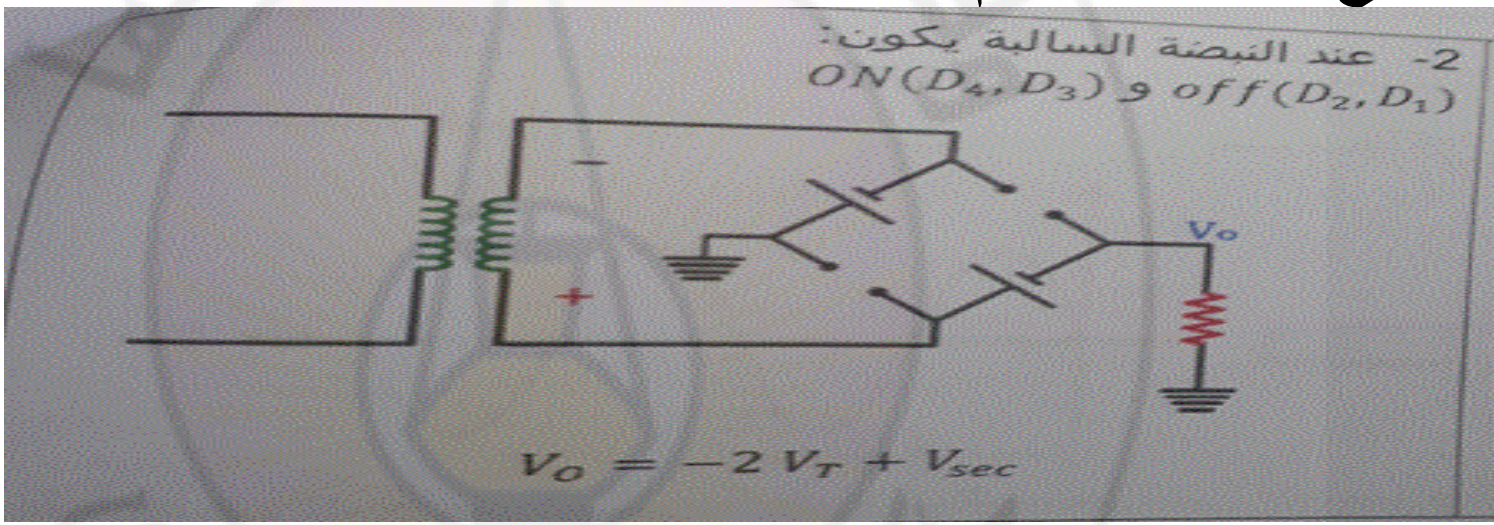


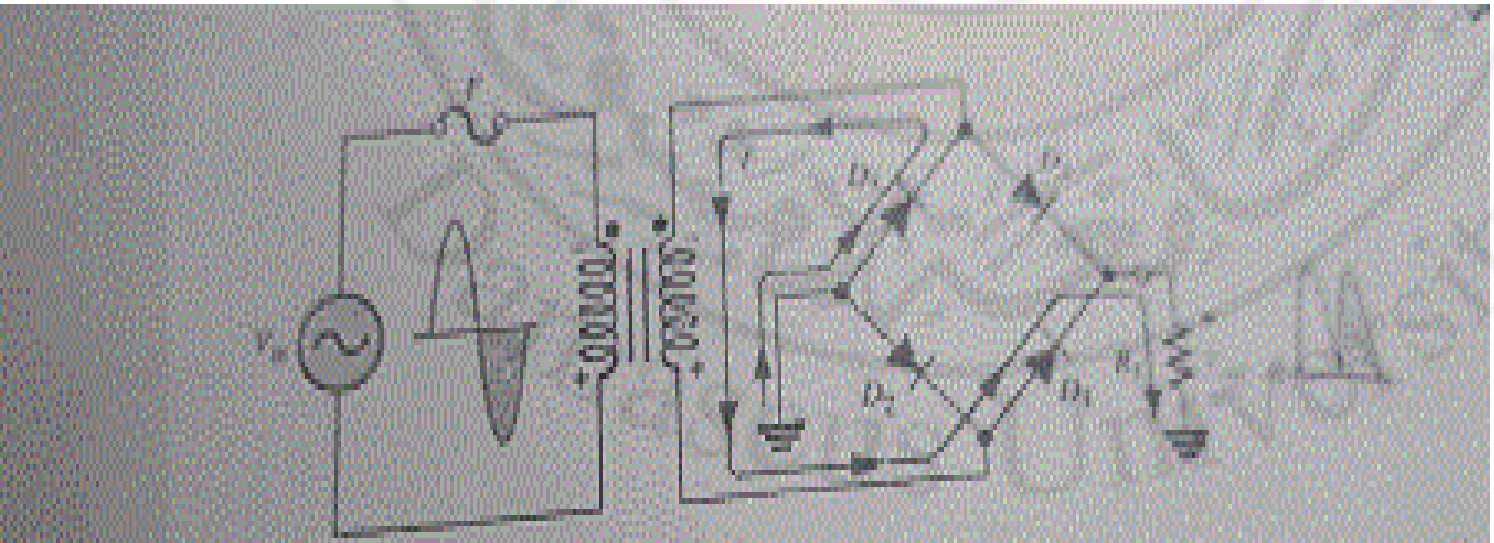
عند النبضة الموجبة (جهد الدخل موجباً) سيكون D1, D2 منحازين أمامياً (حالة عمل)، و D3, D4 منحازين عكسياً (حالة إطفاء)، وسيشكلان دارة مفتوحة بينهما، ويمر التيار عبر الحمل كما هو مبين بالشكل لينتج جهد خرج Vo كنبضة مشابهة لنبضة الدخل بحالة استخدام ديودات مثالية.



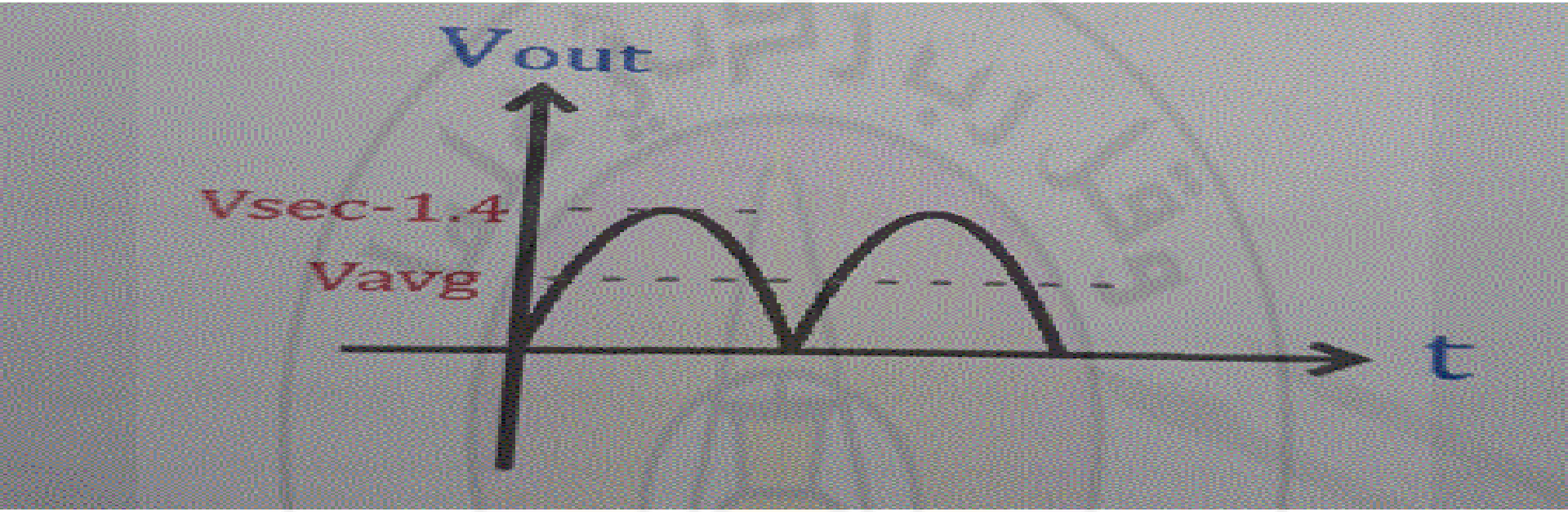


عند النبضة السالبة (جهد الدخل سالباً) سيكون D1, D2 (حالة إطفاء) منحازين عكسياً ويشكلان دارة مفتوحة، و D3, D4 بحالة انحياز أمامي (حالة عمل) يمرران التيار عبر الحمل كما هو مبين في الشكل ويكون جهد الخرج بحالة استخدام ديودات مثالية Vo = Vse.





ويكون الخرج بالشكل التالي:



ومن أجل قطار من الأمواج يكون الخرج بالشكل التالي:

الجهد العكسي الأعظمي PIV: Peak Inverse Voltage (وهو أعظم جهد يتحمله الديود عندما يكون في حالة احياز عكسي) في حالة المقوم الجسري:

أ- إن كانت الديودات مثالية ومنحازة عكسياً:

$$PIV = VK - VA \ , \ VK = Vsec - 0.7, \ VA = 0$$

$$PIV = Vsec - 0.7$$

ب- إن كانت الديودات مثالية ومنحازة أمامياً:

$$PIV = VK - VA = Vpsec - Vpout$$

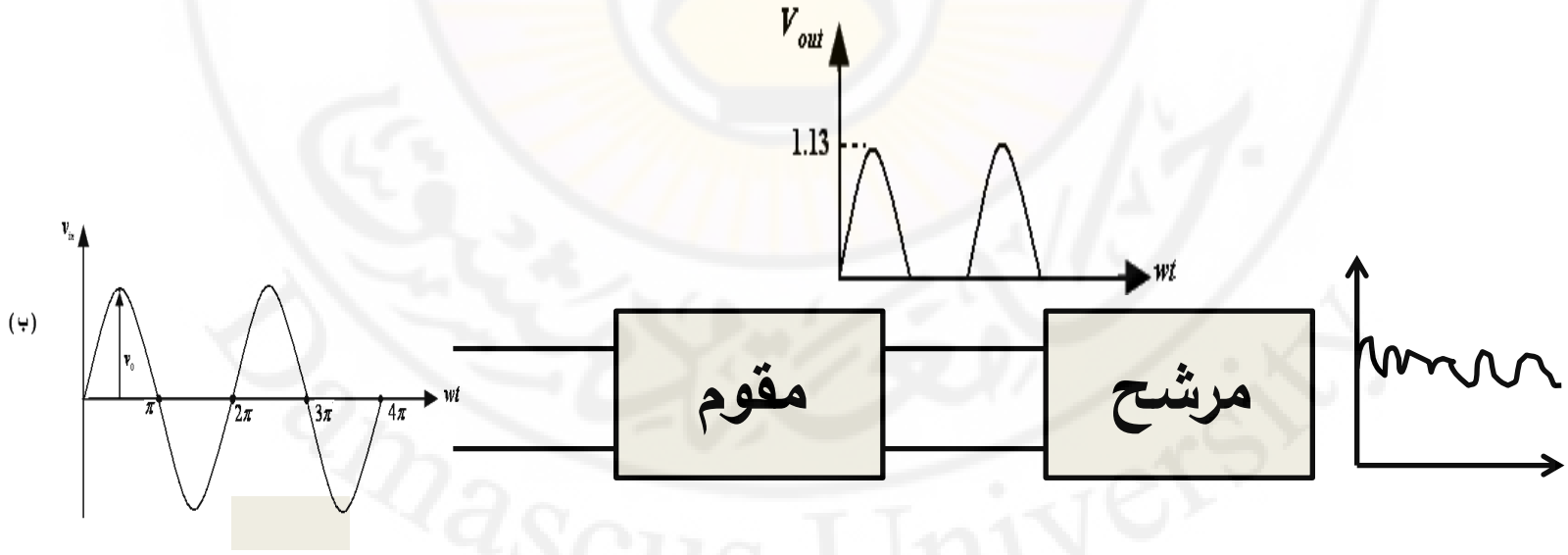
ج- إن كانت الديودات عملية:

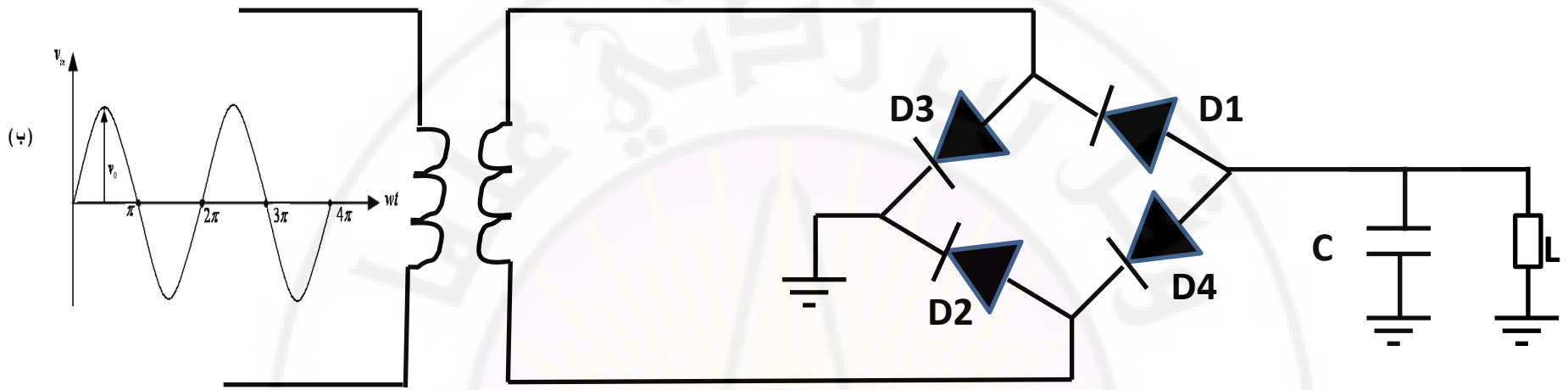
$$PIV = VP - 0.7 = Vpout + 1.4 - 0.7 = Vpout + 0.7$$

المقوم الجسري أفضل من مقومات الموجة الكاملة الأخرى والسبب أن المقوم الجسري سوف يعطي جهد أكبر لأن في مقومات الموجة الكاملة نأخذ vp/2 عند حساب جهد الخرج Vout بينما نأخذ VP بالكامل في المقومات الجسرية.

المرشحات

إن دارة التقويم تعطي جهداً ليس مستمراً تماماً وإنما جهداً نبضياً يمكن تقريبه إلى الجهد المستمر عن طريق استخدام المرشحات والتي يكون الهدف منها هو تقليل التعرجات والتموجات في جهد الخرج، والمرشح هذا يمكن أن يكون عبارة عن مكثف وحيد يوصل على التوازي مع مقاومة الحمل كما هو مبين بالشكل التالي:





خلال ارتفاع نبضة جهد الخرج سوف يشحن المكثف إلى القيمة Vpmax ثم يفرغ خلال الحمل RL ببطئ جزءاً من شحنته Vpmax المكتسبة خلال الثابت الزمني الذي هو جزء من دور إشارة الخرج T يسمى الثابت الزمني 'T والفرق بين جهد المكثف الأعظمي والأصغري يسمى جهد التموجات وهذه التموجات غير مرغوبة فلذلك كلما كان هذا الجهد قيمته صغيرة كلما كان الترشيح أفضل.

- الثابت الزمني 'T: هو الزمن الذي يفرغ خلاله المكثف جزء من شحنته ويعتمد على قيم مقاومة الحمل RL وسعة المكثف C.
- Vprect: هو القيمة العظمى للجهد المقوم قبل الترشيح وبحال قيم RL, C كان جهد التموجات سيتناقص وسيزداد الجهد المستمر VDC حسب العلاقات التالية:

$$Vrpp = (1/f.RL.C) .Vprect$$

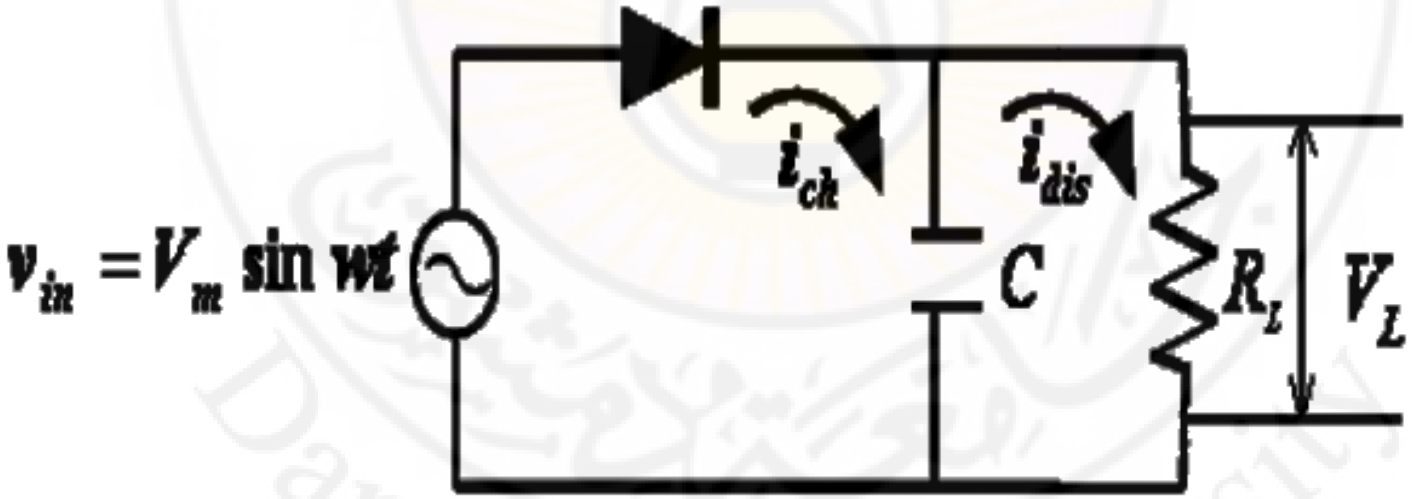
$$VDC = (1- 1/2f.RL.C) .Vprect$$

حيث f: هو تردد إشارة التقويم.

بما أن الدور في التقويم نصف الموجة أكبر من الدور في التقويم الموجي الكامل فالمكثف في حالة التقويم الموجي الكامل سيفقد جزء من شحنته أقل من حالة المقوم نصف الموجة وبالتالي التموجات في التقويم الموجي الكامل أقل من التقويم نصف الموجة.

- يستطيع مرشح من النوع البسيط RC والموضح بالشكل التالي أن يخفض عامل التموج لخرج دوائر التقويم إلى درجة عالية جداً.

- يعمل المكثف فى هذا النوع من المرشحات كخزان تخزن فيه الشحنة الكهربية خلال فترة توصيل الوصلة الثنائية، ومن ثم تطلق هذه الشحنة إلى مقاومة الحمل خلال فترة عدم التوصيل.



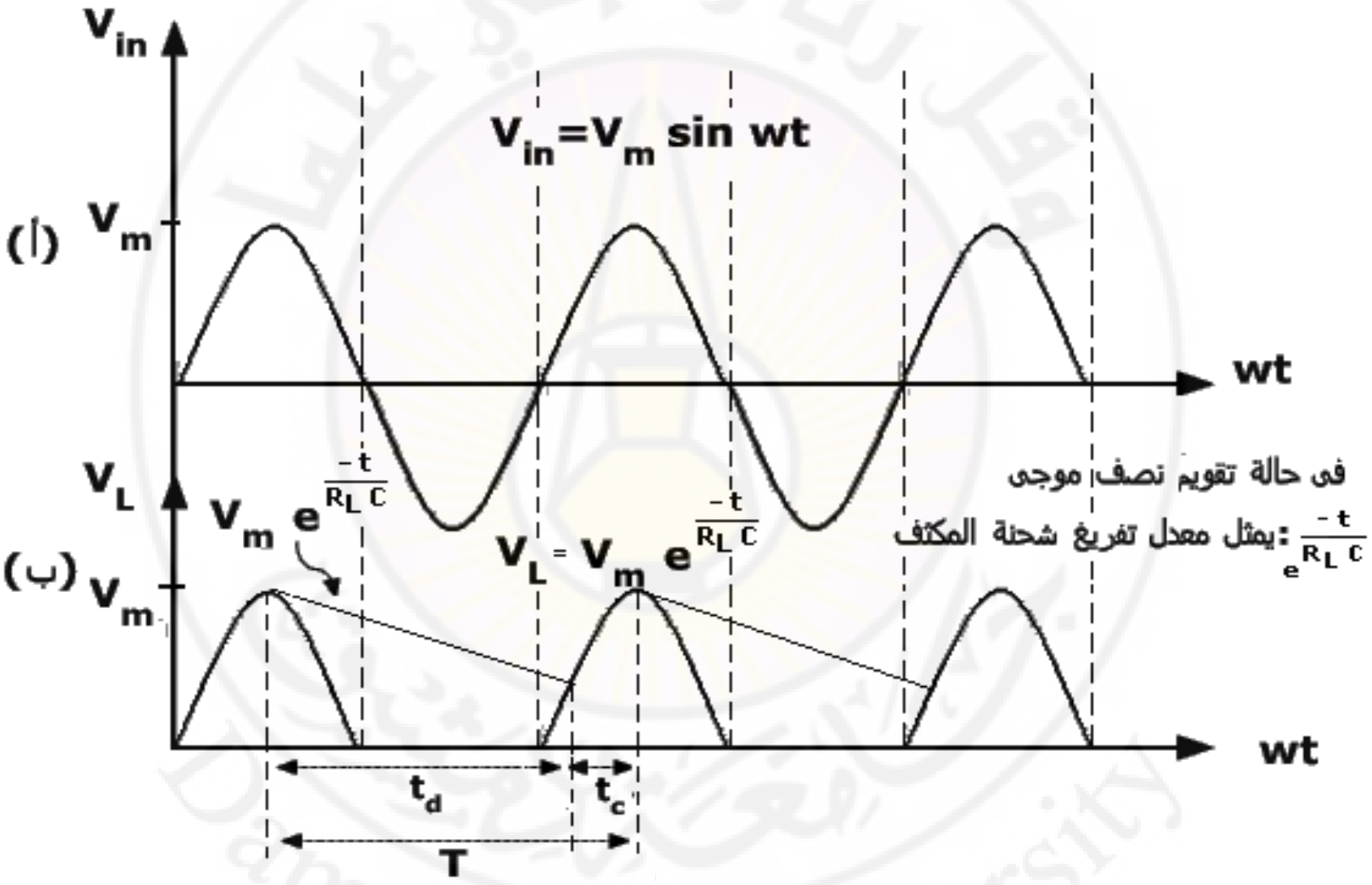
إيجاد معامل التموج لخرج دائرة تقويم نصف موجى يتم تنعيمها باستخدام مرشح من النوع البسيط (RC):

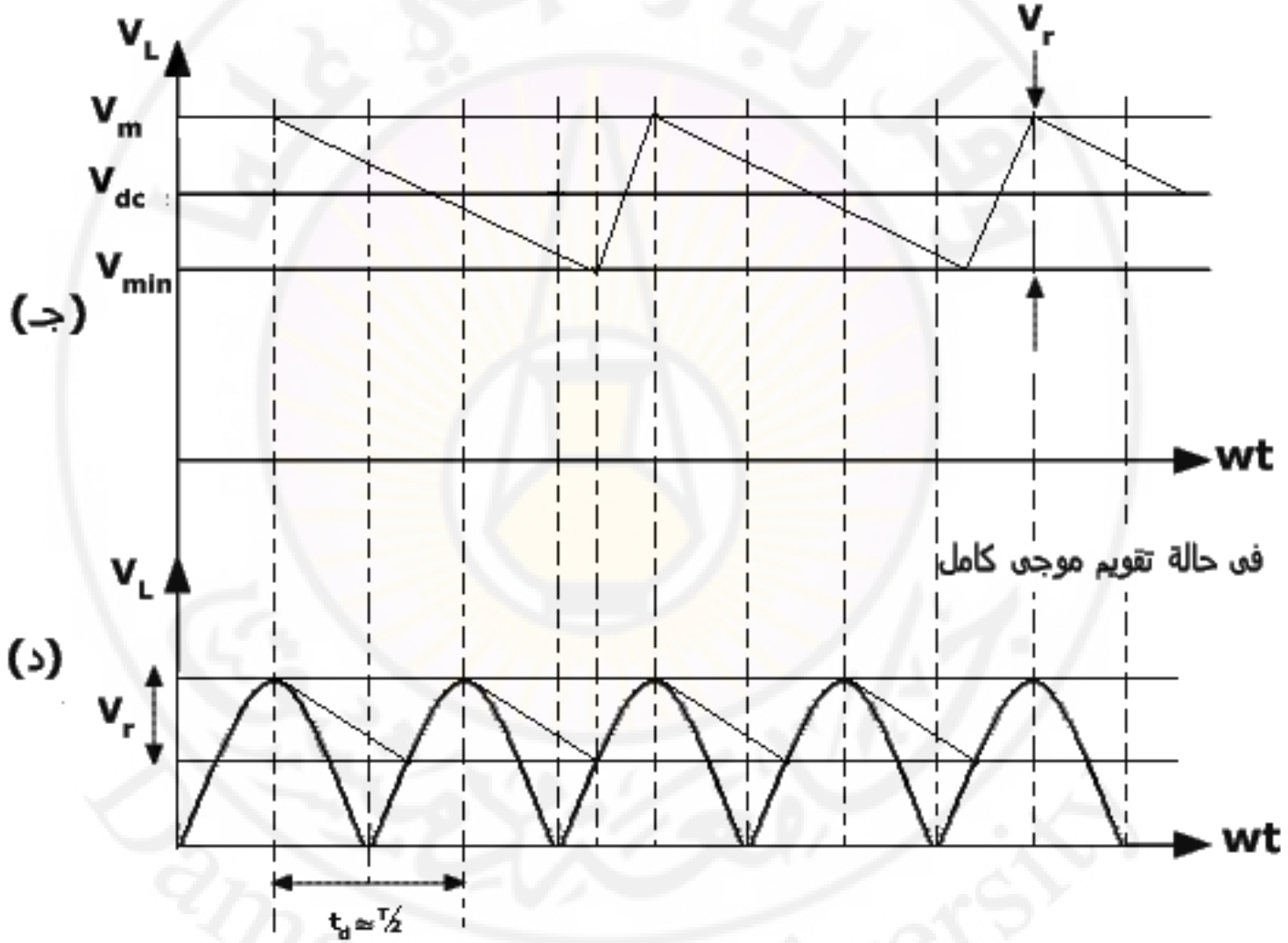
- إذا كان الجهد الداخل (V_{in})فى الدائرة المبينة بالشكل (١٣) هو: $(V_{in} = V_m \sin wt)$ ويعبر عنه بالموجة الجيبية الموضحة بالشكل(١٤أ)

- وإذا كانت مقاومة الوصلة الثنائية صغيرة فان جهد الخرج (V_L) على المقاومة (R_L) خلال فترة التفريغ (t_d)يساوى $\left(V_m e^{\frac{-t}{R_L C}}\right)$؛ حيث يمثل $e^{\frac{-t}{R_L C}}$ معدل تفريغ شحنة المكثف.

- ويكون جهد الخرج (V_L) على شكل موجه أسنان المنشار (شكل ١٤جـ) .
- وإذا كان معامل التموج (r) يعطى من العلاقة : $(r = V_{ac}/V_{dc})$
- وحيث أن القيمة الفعالة لجهد أسنان المنشار هى: $(V_r/2\sqrt{3})$
- فإن معامل التموج لخرج الدائرة السابقة يكون: $(r = V_r/2\sqrt{3}V_{dc})$،

ويمثل (V_r) جهد التموج والموضح بالشكل التالي:


V_{in}
$V_{in}=V_m \sin wt$
(أ)
V_m
wt
V_L
$V_m e^{\frac{-t}{R_L C}}$
$V_L = V_m e^{\frac{-t}{R_L C}}$
في حالة تقويم نصف موجى
يمثل معدل تفريغ شحنة المكثف: $e^{\frac{-t}{R_L C}}$
(ب)
V_m
wt
t_d
t_c
T


(جـ)
V_L
V_m
V_{dc}
V_{min}
V_r
wt
فى حالة تقويم موجى كامل
(د)
V_L
V_r
wt
$t_d \simeq T/2$

ولكى نحصل على صيغة رياضية تعبر عن معامل التموج (r) بدلالة كل من مقاومة الحمل (R_L) وسعة المكثف (C) فعلينا بإتباع المعالجة الرياضية التالية:

- باعتبار أن مقاومة الوصلة الثنائية صغيرة فان الجهد الأقصى للجهد المقوم يساوى تقريباً الجهد الأقصى للجهد الداخل ويكون : $(V_r = V_m - V_{\min})$
- وحيث أن زمن الشحن (t_c) يكون صغيراً جداً فان زمن التفريغ (t_d) يساوى تقريباً زمن الدورة الكاملة (T) : $(t_d \cong T)$ شكل(ب).
- ومن ثم فان جهد الخرج يصل إلى اقل قيمة له عند زمن (T) ويكون: $\left(V_{\min} = V_m\, e^{-T/R_L C}\right)$
- وحيث أن $R_L C >> T$ فإن $e^{-T/R_L C}$ تقترب من الواحد الصحيح ، ويكون : $\left(1 - \frac{T}{R_L C}\right) \cong e^{-T/R_L C}$ ؛ حيث (C) تمثل سعة المكثف .

- وبالتالي فإن :

$$V_{\min} = V_m\left(1-\frac{T}{R_L C}\right)$$

- ويصبح جهد التموج (V_r) على النحو التالي :

$(V_r = V_m(T/R_L C) = V_m/R_L C\, f)$ ؛ حيث (f) تمثل التردد .

- وتكون القيمة المتوسطة للجهد الخارج (V_{dc}) هي :

$$V_{dc} = V_m - V_r/2 = V_m\left(1-\frac{1}{2R_L C\, f}\right)$$

- ويكون معامل التموج لخرج هذه الدائرة هو :

$$r = \frac{V_r}{2\sqrt{3}V_{dc}} = \frac{0.577}{(2R_L C\, f - 1)}$$

في حالة التقويم الموجي الكامل

- يكون زمن التفريغ (t_d) يساوى تقريبا نصف الزمن الدوري (T) شكل(د) ويكون:

$$\left(t_d \cong T/2\right)$$

- ومن ثم فإن جهد التموج V_r يصبح: $V_r = V_m\left(T/2R_L C\right) = V_m/2R_L C\, f$

وتكون القيمة المتوسطة للجهد الخارج V_{dc} هي :

$$V_{dc} = V_m\left(1-\frac{T}{4R_L C}\right) = V_m\left(1-\frac{1}{4R_L C\, f}\right)$$

- ويكون معامل التموج فى هذه الحالة على النحو التالي :

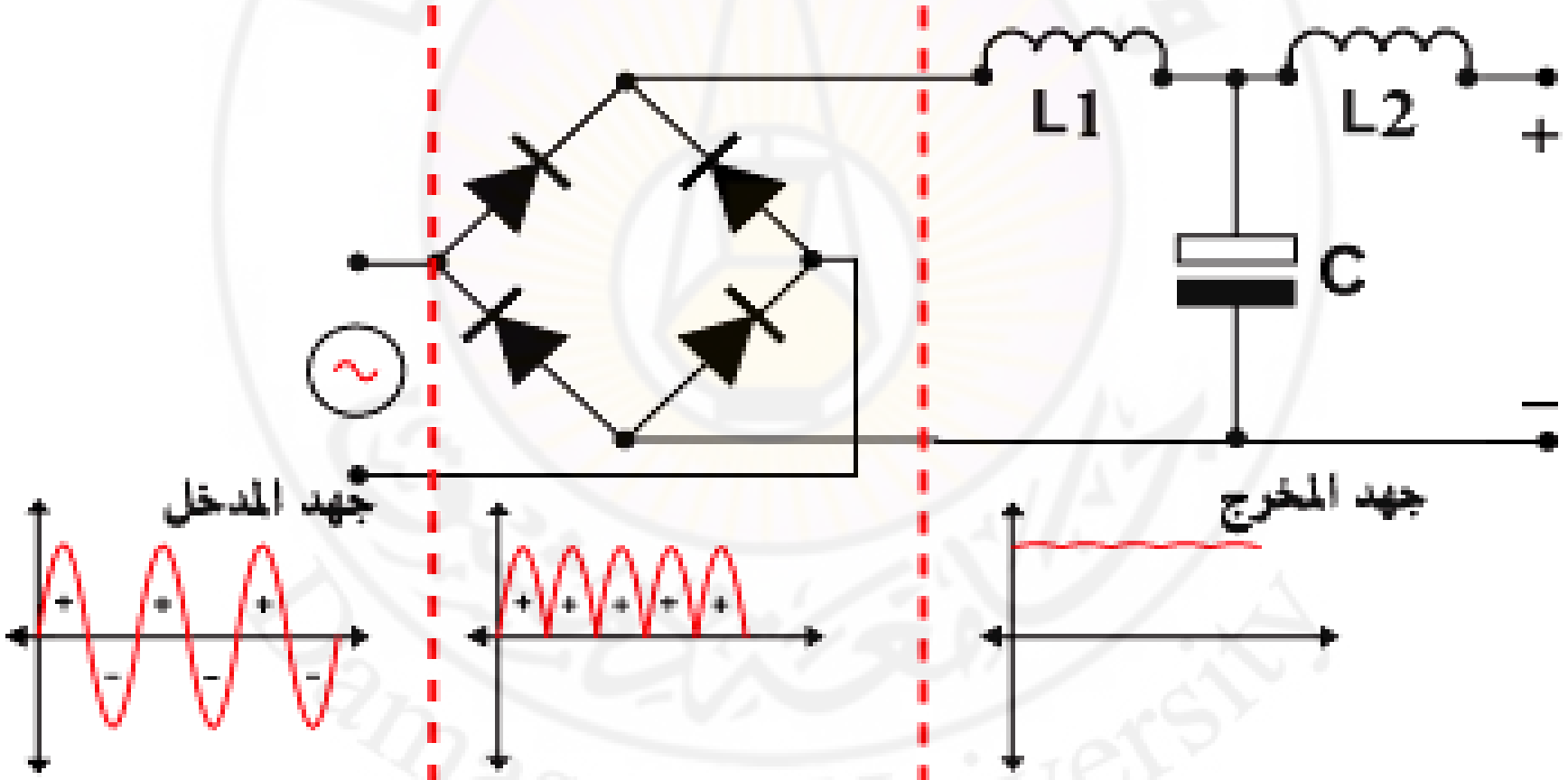
$$r = \frac{V_r}{2\sqrt{3}V_{dc}} = \frac{0.577}{\left(4R_L C\, f - 1\right)}$$

- نستطيع أن نرى من خلال دوائر الترشيح التى تم دراستها أنه بزيادة قيمة مقاومة الحمل R_L أو قيمة سعة المكثف C ينخفض معامل التموج وبالتالى تتحسن كفاءة الدائرة فى التحويل من التيار المتردد إلى التيار المستمر .

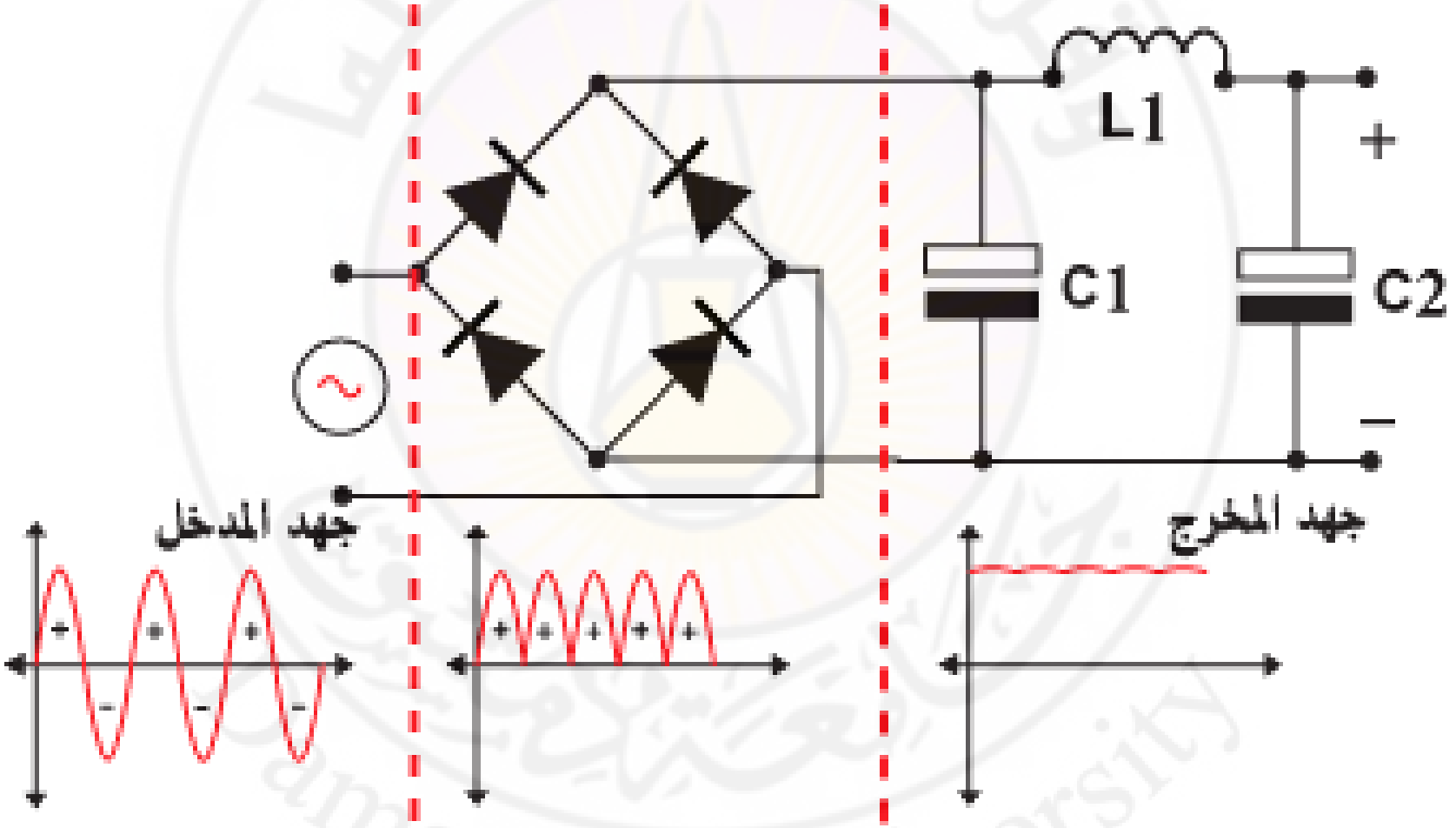
- ونرى أيضا أن درجة الترشيح تكون كبيرة كلما كان التغير فى الجهد الخارج (V_r) صغيراً.

أنواع دوائر التنعيم

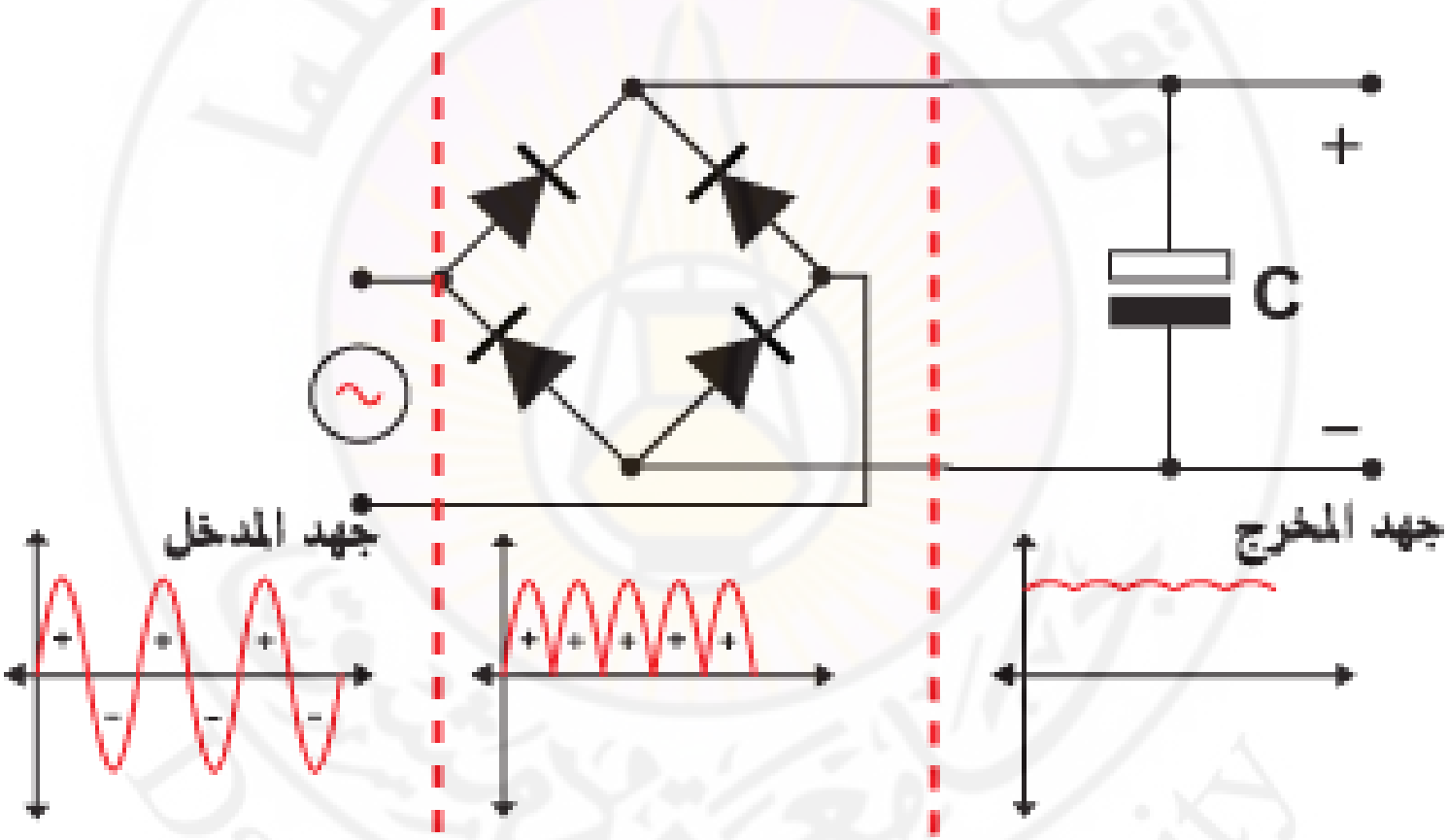
١- دائرة تنعيم على شكل حرف T: وهي موضحة بالشكل التالي:



٢-دائرة تنعيم على شكل حرف Π: وهي موضحة بالشكل التالي:



٣-دائرة تنعيم بسيطة: وهي موضحة بالشكل التالي:



منظمات الجهد

إن الإشارة على خرج دارة المرشح يكون فيها تعرجات خفيفة وللتخلص من هذه التعرجات بشكل كامل سيتم استخدام المنظم الذي يقوم بتحويل الإشارة إلى قيمة مستمرة بقيم ثابتة بدون تعرجات.

تقاس كفاءة المنظم على الخط والتي تمثل مقدار تغير جهد الخرج بالنسبة لجهد الدخل.

وعلى الحمل والتي تمثل مقدار تغير جهد الخرج بتغير مقاومة الحمل وتعطى بالعلاقة التالية:

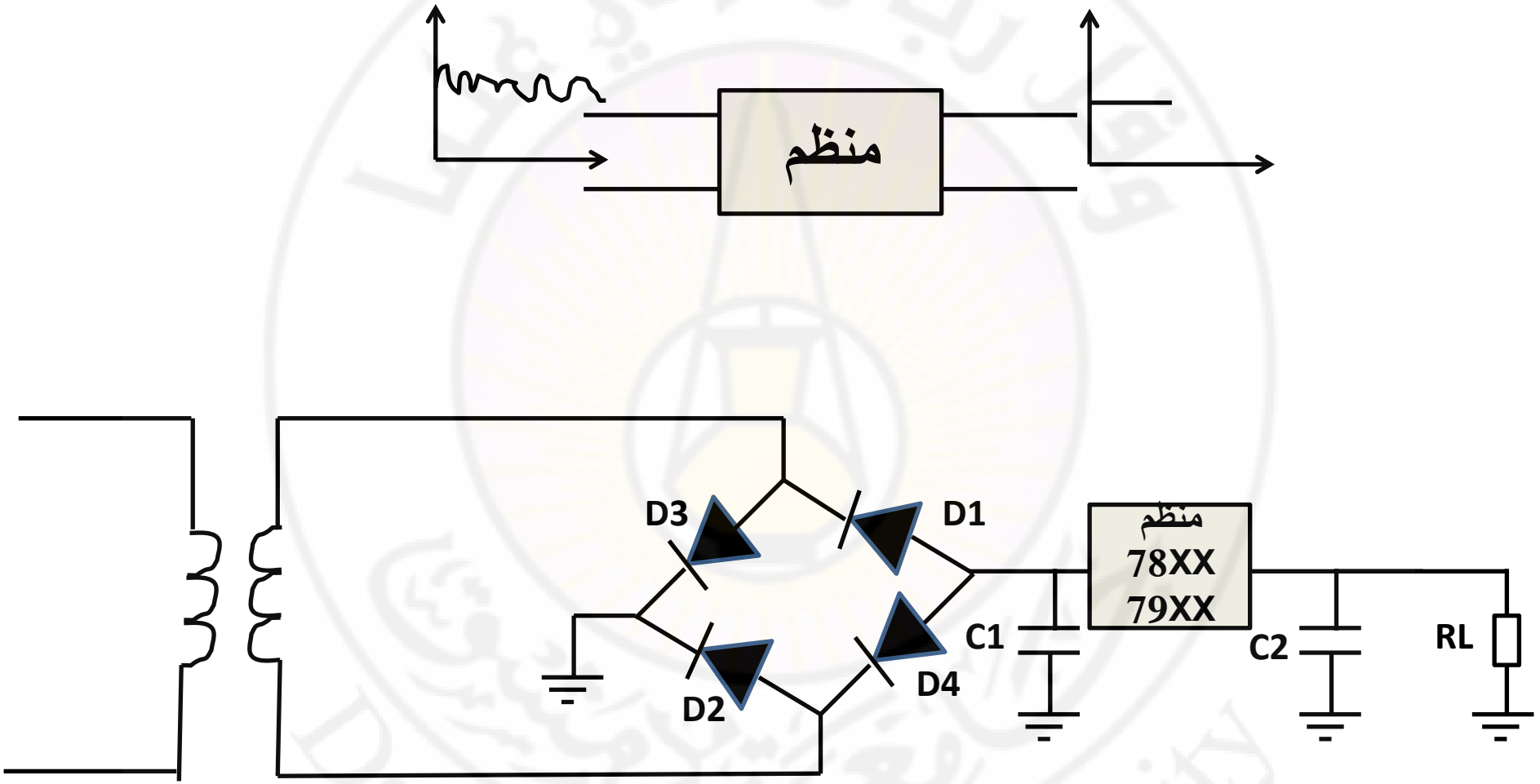
$$[(VNL - VFL) / VFL] .100\%$$

حيث:

VNL: جهد الخرج دون حمل.

VFL: جهد الخرج مع حمل.

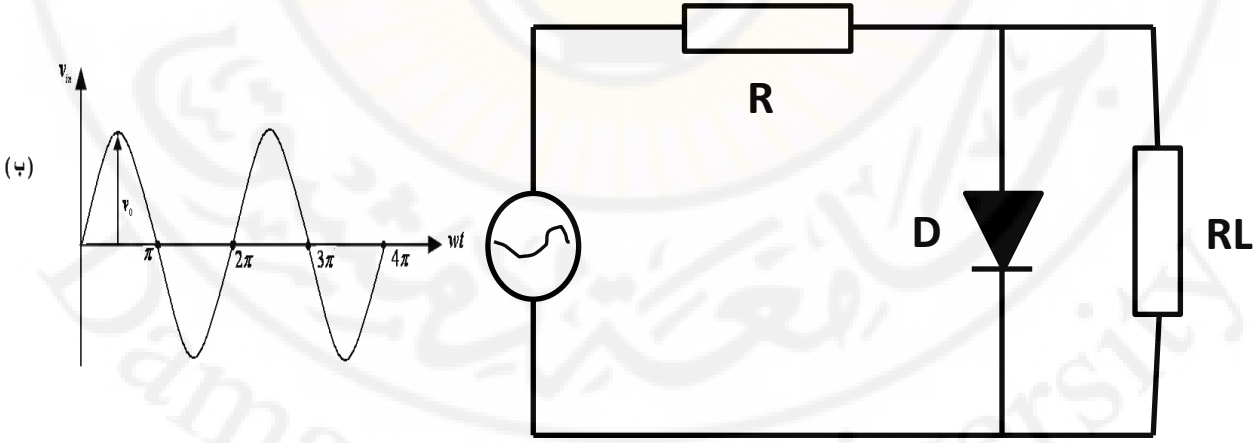
يوضح الشكلين التاليين آلية عمل منظمات الجهد:


منظم
D3
D1
D2
D4
C1
منظم
78XX
79XX
C2
RL

المحددات أو دارات القص

دارات تحديد الإشارة تتكون من مقاومة وديود ويتم وصلهما كما في الشكل ص٤٠ وتستخدم هذه الدارات لحذف جزء من الإشارة يقع في القسم الموجب أو في القسم السالب اعتماداً على مستوى مرجعي محدد، والنبضة التي يعمل بها الديود هي النبضة التي تحدد نوع التحديد أو القص.

المحدد الموجب: الدارة المبينة بالشكل جانباً تسمى دارة محدد موجب لأنه يقوم بقص الجزء الموجب من جهد الدخل، وآلية العمل كمايلي:



سيكون الديود منحازاً أمامياً بعد جهد العتبة 0.7v+ وسيمرر التيار وسيبقى هبوط الجهد عبر الحمل مساوياً إلى 0.7v، أي تم تحديد جهد الخرج عند المستوى الموجب، أما خلال النصف الموجة السالب فسيكون الثنائي بحاة انحياز عكسي ويشكل دارة مفتوحة وجهد الخرج سيشكل نصف موجة شبيه بنبضة الدخل السالبة لكن مطالها سيختلف حسب قيمة المقاومة R1 وتعطى بالعلاقة التالية:

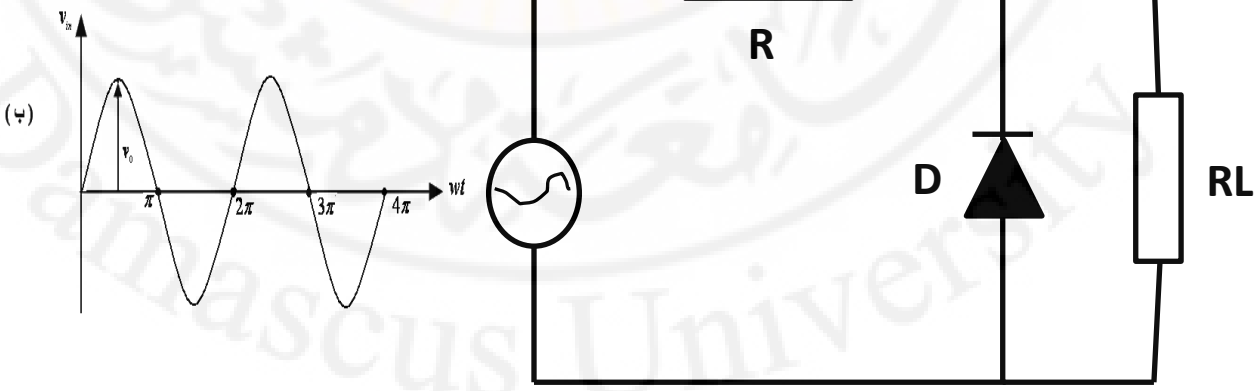
$$R1 << RL \quad Vout = Vin$$

$$Vout = RL \cdot Vin / (R1 + RL)$$

المحدد السالب: بعكس الثنائي D فإن الجزء السالب من جهد الخرج سوف يتم قصه وتحديده كما في الشكل التالي:

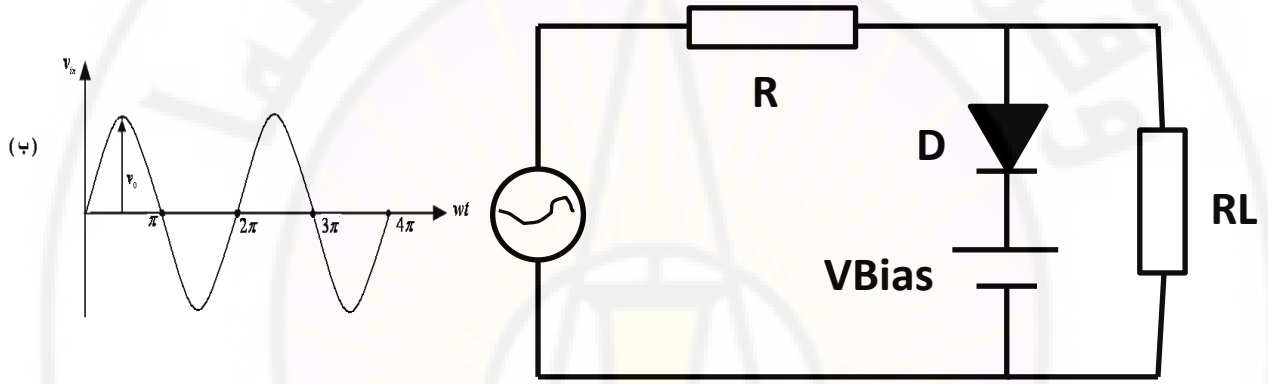
الديود سيكون منحازاً أمامياً خلال النبضة السالبة لجهد الدخل وسيمرر التيار حالما أصبح جهد الدخل مساوياً إلى جهد العتبة $0.7V-$ وسيبقى كذلك طوال النبضة السالبة وهو نفس هبوط الجهد على الحمل RL أي حينها بحالة النبضة الموجبة سيكون الديود بحالة انحياز عكسي ويشكل دارة مفتوحة وجهد الخرج سيتناسب مع جهد الدخل كما في المعادلة التالية:

$$Vout = RL \cdot Vin / (R1 + RL)$$

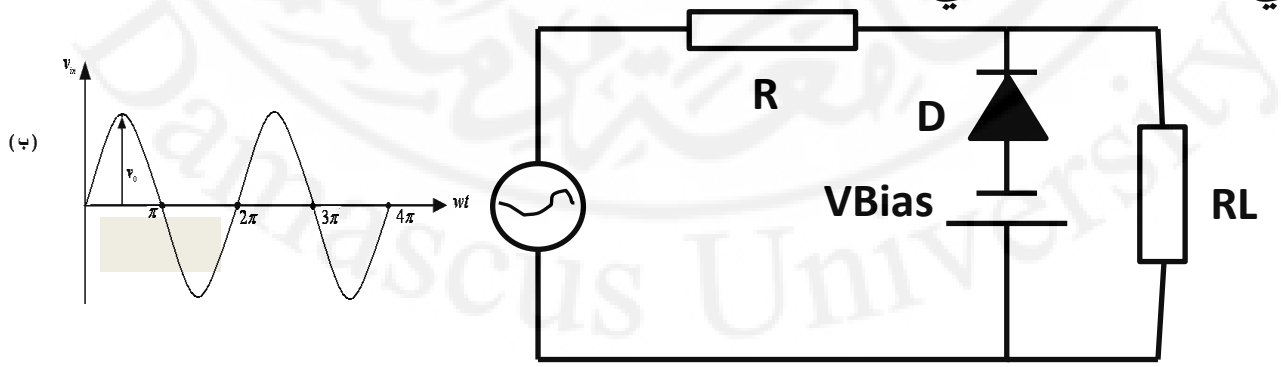


المحددات المنحازة بجهد مستمر

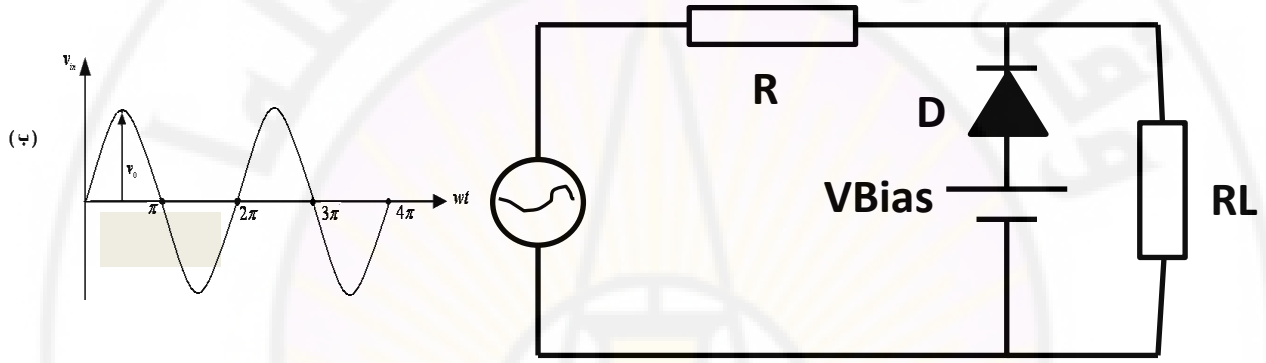
المستوى الذي يمكن تحديد جهد الدخل عنده في الخرج يمكن التحكم به من خلال إضافة جهد انحياز VBias على التسلسل كما هو مبين بالشكل التالي:



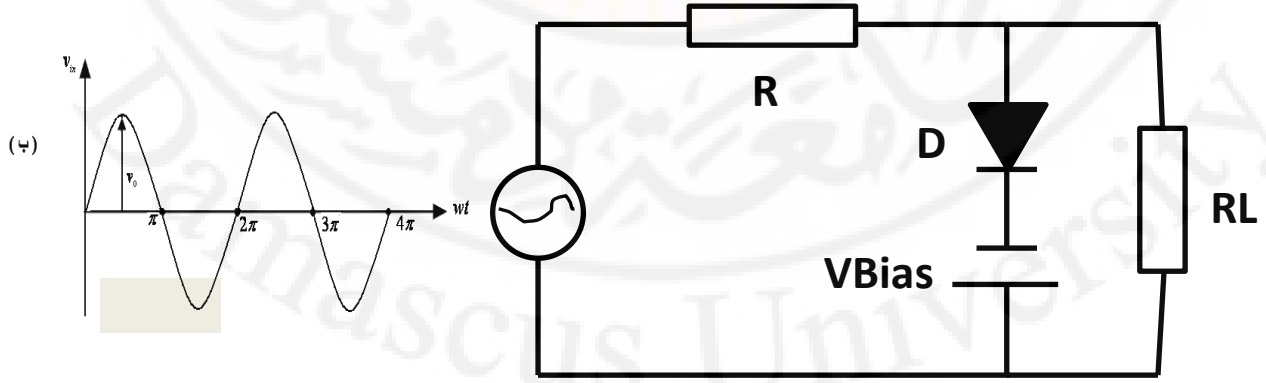
عندما يكون القطب الموجب لجهد الانحياز موصولاً مع مهبط الثنائي سيتشكل لدينا ما يسمى بمحدد موجب للجهد وإذا أردنا تحديد الجهد إلى مستوى سالب محدد فإننا نضيف جهد انحياز مدخرة DC وتوصل تسلسلياً مع ديود المحدد السالب كما في الشكل التالي:



إذا عكسنا الثنائي في دارة المحدد الموجب سنحصل على محدد للجهد عند الموجة الموجبة كما في الشكل التالي:

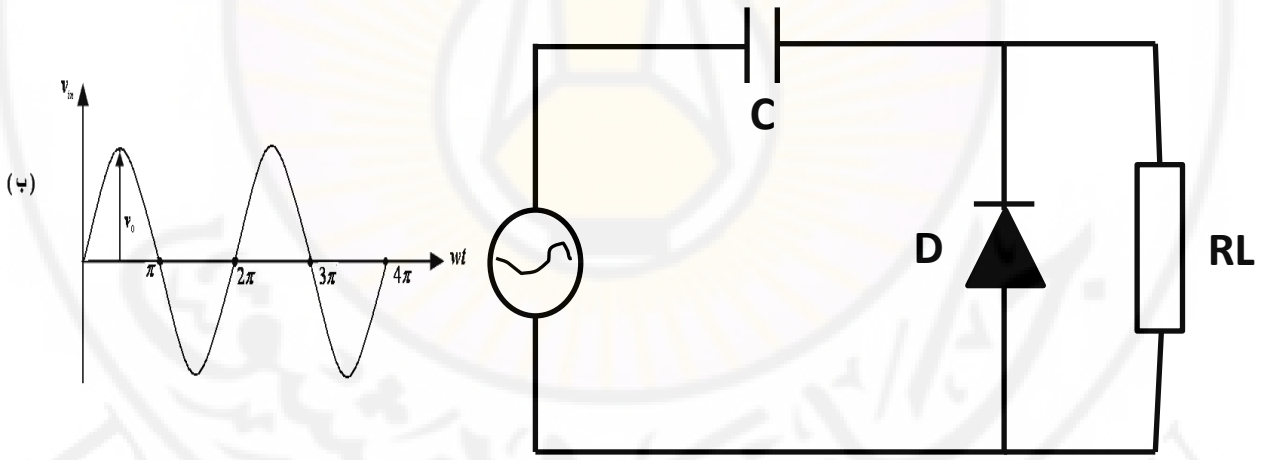


أما إذا عكسنا الثنائي في دارة محدد الجهد السالب فسنحصل على محدد للجهد عند الموجة السالبة كما بالشكل التالي:



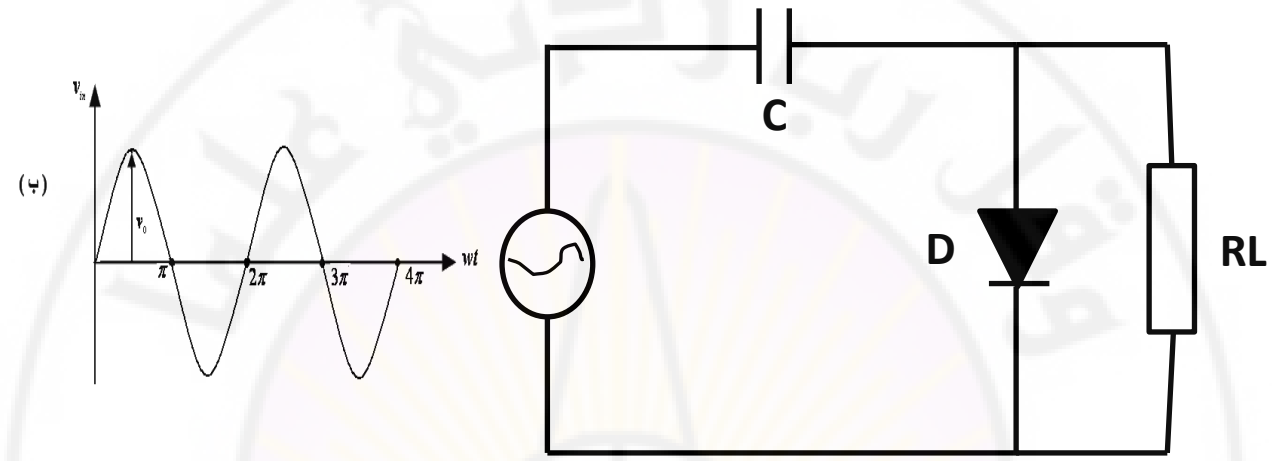
مزيحات الجهد

مزيح الإشارة يضيف مستوى DC إلى جهد الدخل المناسب ويتم ذلك من خلال استخدام ديود ومكثف كما في الشكل التالي:



ويتمثل عمل الدارة كمايلي: إن الثنائي سوف يكون بحالة انحياز أمامي خلال نصف الموجة السالبة مما يسمح بمرور التيار عبر المكثف ويشحن هذا المكثف إلى جهد قريب من قيمة Vpin – 0.7 وجهد الخرج 0.7v- أو 0 بالحالة المثالية.
بعد القيمة السالبة لجهد الدخل سيكون جهد المصعد أقل إيجابية (أكثر سلبية) من جهد المهبط ويتحول الثنائي إلى حالة انحياز عكسي لأن جهد المهبط سيبقى Vpin – 0.7 ليناسب المكثف الذي يفرغ ببطء شديد بينما جهد المصعد سيصبح أقل من ذلك ويشكل الثنائي دارة مفتوحة ويفرغ المكثف شحنته من خلال الحمل RL ببطء شديد خلال دور الإشارة المتناوبة بين قيمتين سالبتين.

إن المكثف يلعب دور المدخرة (جهد مستمر DC) الموصولة تسلسلياً مع جهد الدخل المتناوب الذي سيرفع مستوى تأرجح الجهد المتناوب من الصفر إلى Vpin – 0.7v كما هو مبين بالشكل السابق.
إذا عكسنا الثنائي بالدارة السابقة فنحصل على دارة إزاحة سالبة وسيضاف جهد Vpin + 0.7v– سالب لإشارة الدخل المتناوب كما بالشكل التالي:



ملاحظات:

١- إذا كان المكثف يفرغ شحنته كلياً خلال دور إشارة الدخل فإن فعل الازاحة لن يكون مجدياً.

٢- إذا كان الثابت الزمني RC مساوياً إلى ١٠٠ مرات من دور إشارة الدخل فإن الازاحة جيدة جداً.

٣- إذا كان الثابت الزمني RC مساوياً إلى ١٠ مرات من دور إشارة الدخل فإن بعض التشويه سيحصل على جهد الخرج المزاح بسبب تيار الشحن.

طرق حل دارات الإزاحة:

١- نبدأ بالنبضة التي يكون فيها الديود منحاز أمامياً.

٢- نقوم بحساب VO ثم نحسب من خلاله جهد المكثف VC.

٣- نعود للنبضة التي تركناها ونحسب VO عندها.

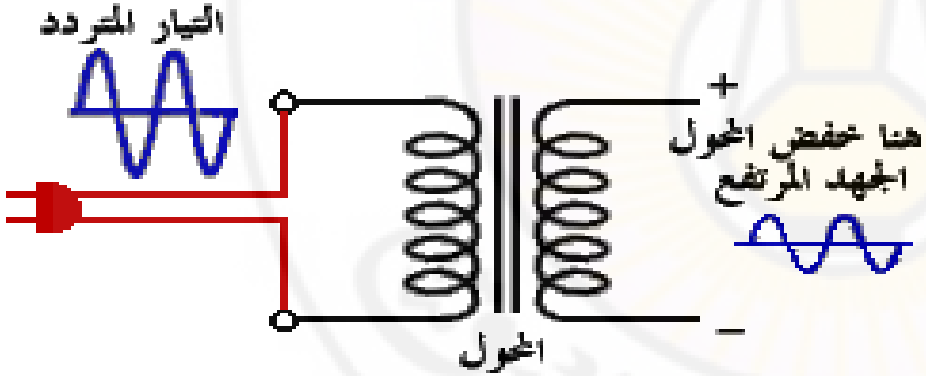
٤- لمعرفة نوع دارة الإزاحة فالنبضة التي يعمل عندها الديود يكون مستوى دارة الإزاحة بعكس النبضة.

Damascus University

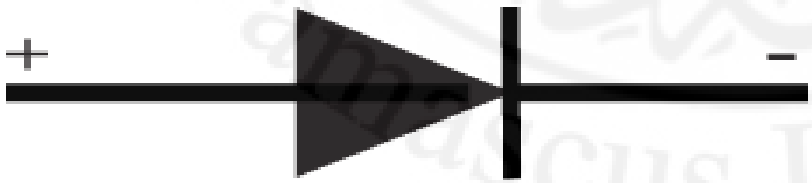
جميع الدوائر الالكترونية تحتاج إلى طاقة كهربائية ثابتة مصدرها البطاريات، فمصدر التغذية المنزلي يكون فيه: الجهد مرتفع ٢٤٠ فولت، والتيار متردد، والدوائر الالكترونية تحتاج إلى : جهد منخفض، وتيار ثابت في اتجاه واحد، والمطلوب هو تحويل التيار المتردد– جهد عالي إلى تيار مستمر– جهد منخفض، فما العمل إذاً؟

يأتي دور مصدر التغذية الذي سوف يحل لنا هاتين المشكلتين، ولكن كيف؟

حل المشكلة الأولى: استخدام المحول، والذي يقوم بتحويل الجهد المتردد العالي إلى جهد متردد منخفض.



حل المشكلة الثانية: نحتاج إلى الثنائي (DIODE)، والذي يسمح بمرور التيار في إتجاه واحد فقط.



يمر التيار من القطب الموجب إلى السالب

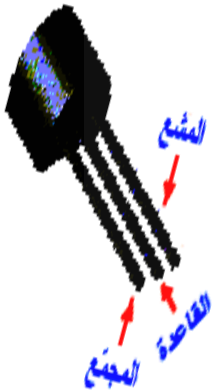
الترانزستورات
Transistors

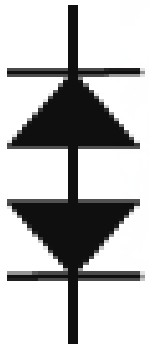
- جاءت كلمة ترانزستور (Transistor) من كلمتين الأولى هى انتقال (Transfer) والثانية هى مقاومة (resistor) حيث أنه في حالة الترانزستور نحن ننتقل من دارة الدخل ذات المقاومة المنخفضة حيث الانحياز الأمامي دائماً إلى دارة الخرج ذات المقاومة المرتفعة حيث الانحياز العكسى دائماً أيضاً.

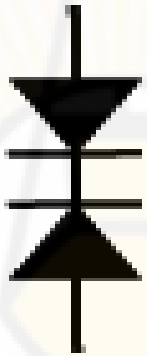
- اخترع شوكلى الترانزستور عام ١٩٤٨ واستحق على هذا الاكتشاف وعلى تحسينه جائزة نوبل لعام ١٩٥٦ مع آخرين.

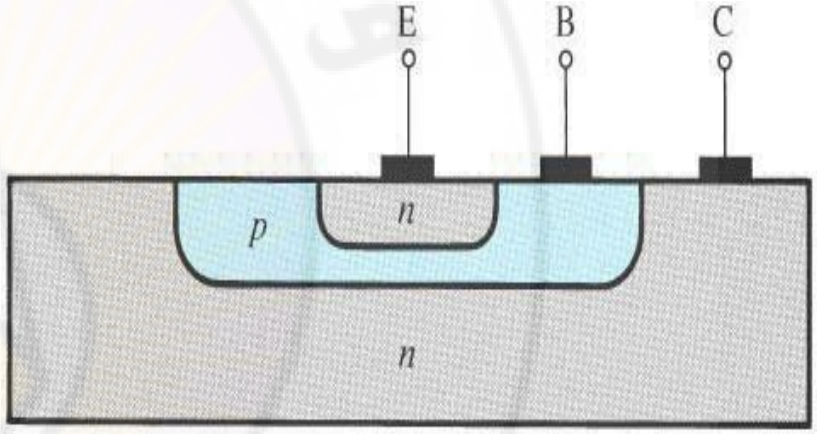
الترانزستورات ثنائية القطبية
(BJTs : Bipolar Junction Transistors)

يتكون الترانزستور من ديودين، وكما هو مبين بالشكل التالي:

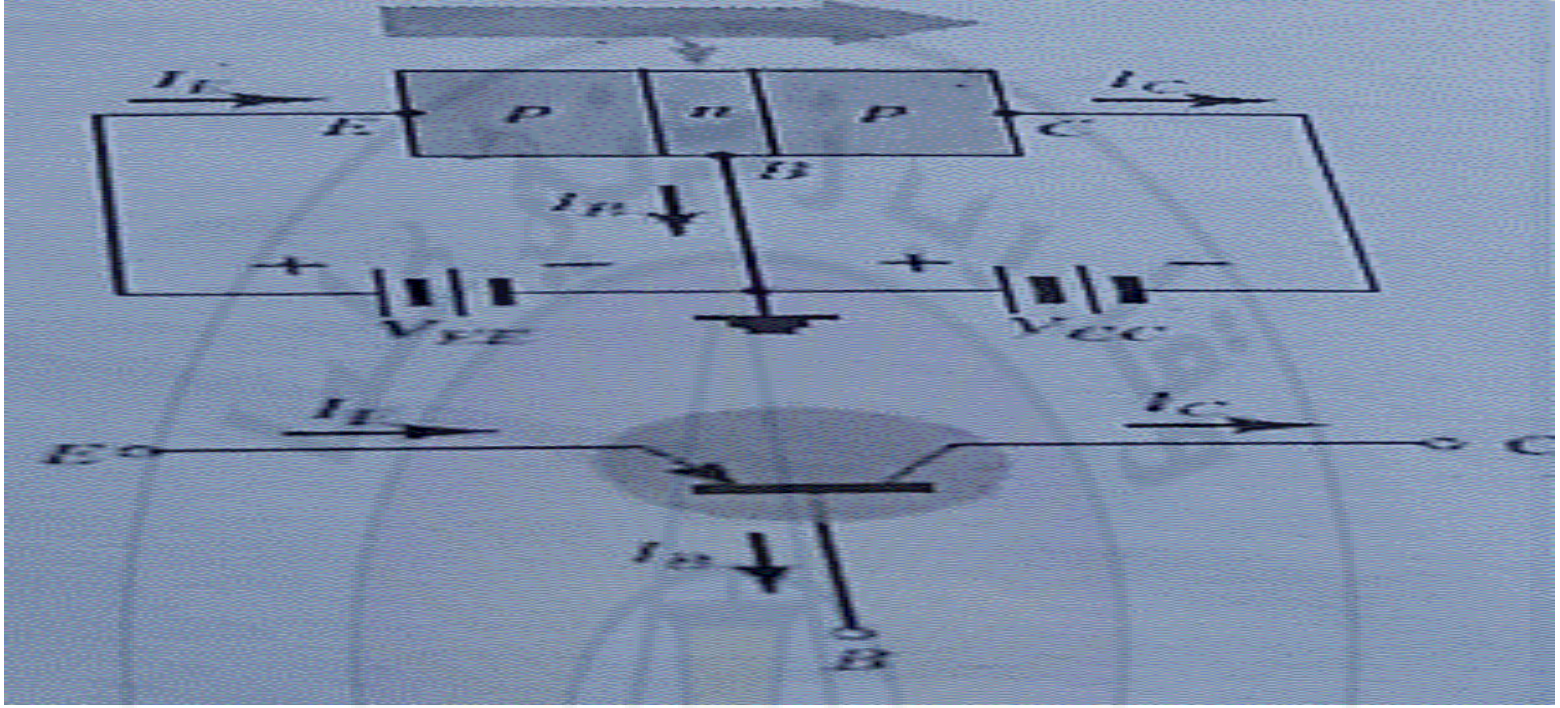


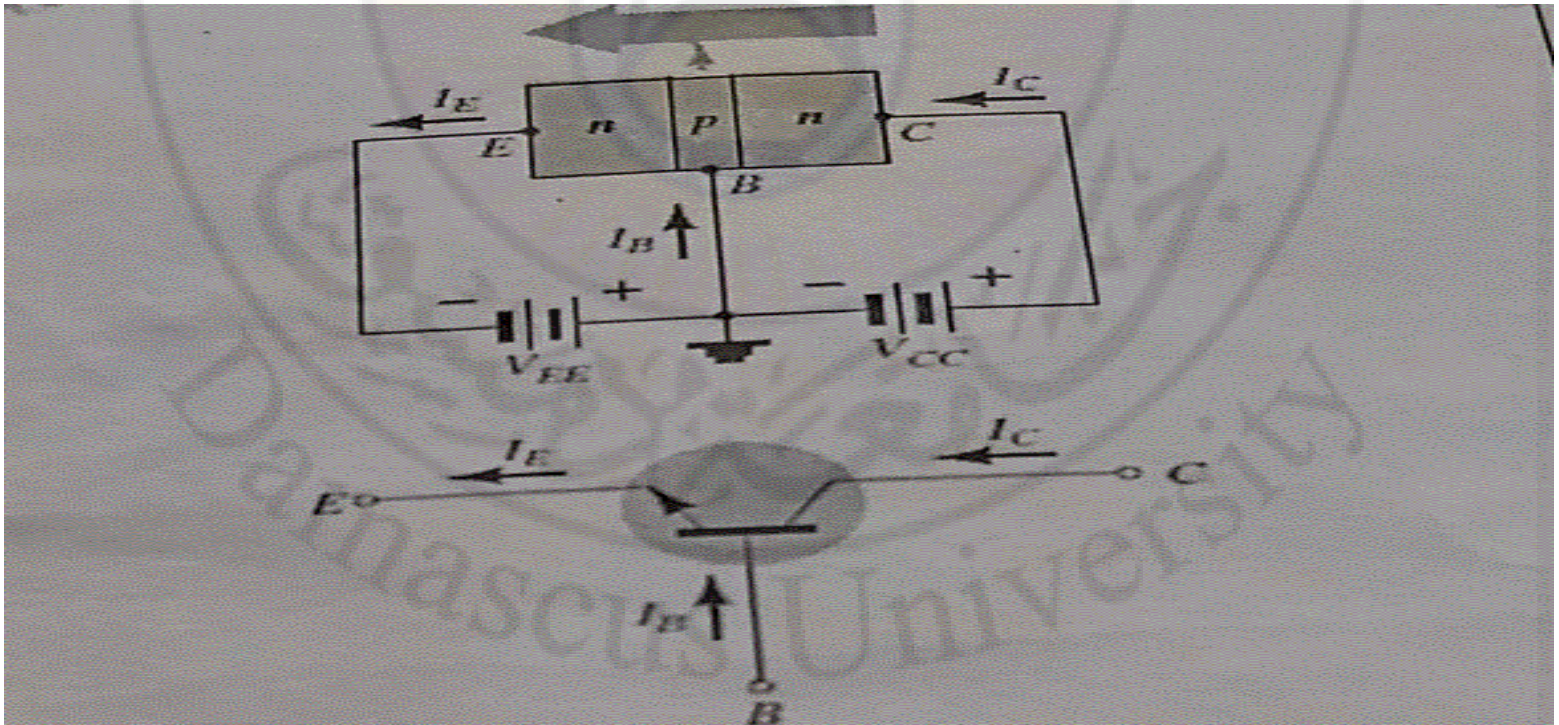




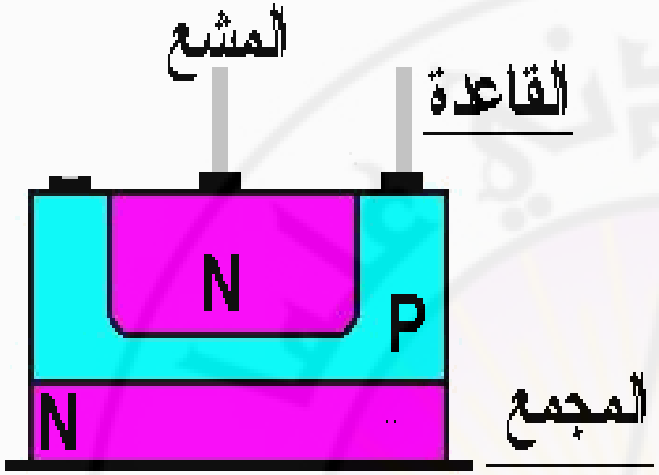


- يتألف الترانزستور ثناثي القطبية من ثلاث طبقات من أنصاف النواقل "السيليكون شبه الناقل" اثنان من النوع الموجب P، وواحدة من النوع السالب N أو العكس اثنان من النوع السالب، وواحدة من النوع الموجب، وله ثلاثة أطراف وهي: القاعدة (Base)، والمجمع (Collector)، والباعث (Emitter)، وهذه الطبقات الثلاث كل منها موصول بنهاية، وبالتالي سيكون الترانزستور مؤلف من ثلاث طبقات، وثلاث نهايات موصولة مع الطبقات.

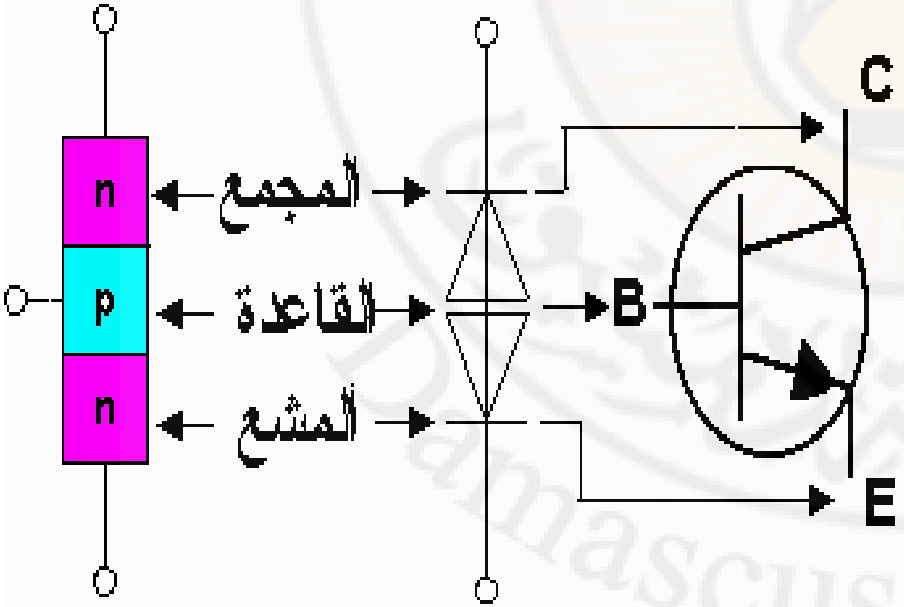

I_E
E
P
n
P
C
I_C
B
I_B
V_{EE}
V_{CC}
I_E
I_C
E
C
I_B
B


I_E
E
n
p
n
C
I_C
B
I_B
V_{EE}
V_{CC}
I_E
I_C
E
C
I_B
B

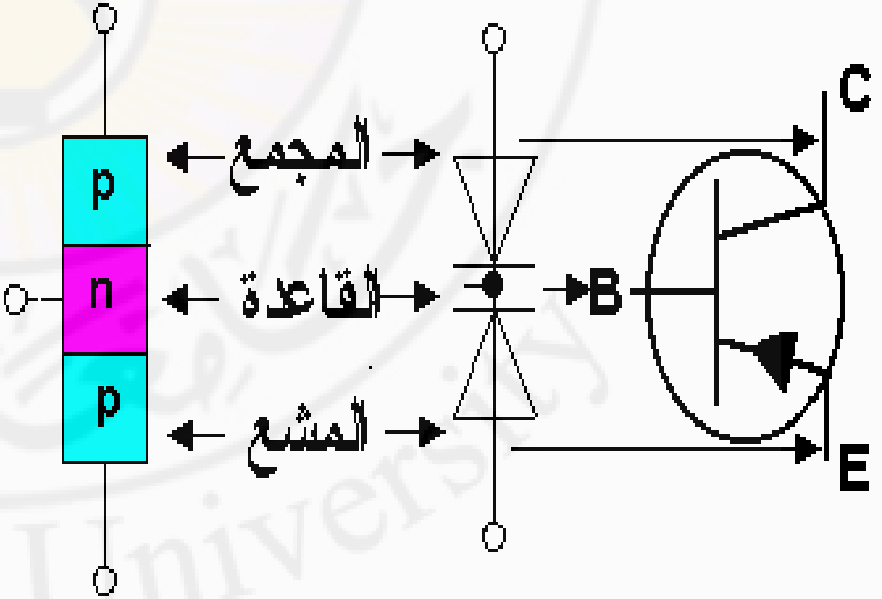
الترانزيستور ثنائي القطبية



ترانزيستور NPN



ترانزيستور PNP

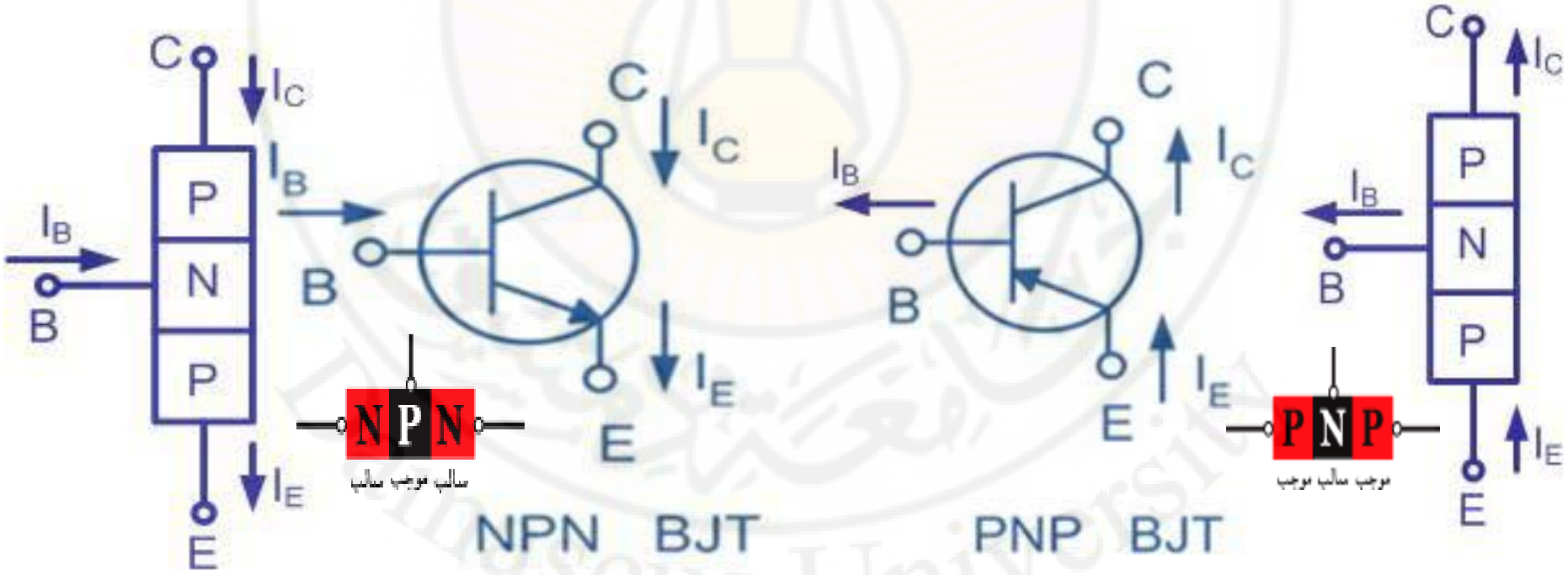


مزايا وعيوب الترانزستورات

١- صغير الحجم.
٢- خفيف الوزن.
٣- يستهلك تيار كهربائي صغير.
٤- عمره طويل.
٥- رخيص الثمن.
٦- لا يحتاج لزمن لتشغيله.

أما عيوب الترانزستور فتتمثل بـ:
١- يتأثر الترانزستور بالتغيرات في درجة الحرارة (حيث تعمل الحرارة على تفكيك الروابط بين الإلكترونات في أي من البلورات السالبة أو الموجبة مما يلغي خصائصهن مما يتلف الترانزستور).
٢- لا يتحمل جهد كهربي عالي.

- طبقاً لتكوين الترانزستور نجد أن له نوعان، نوع ذو قاعدة موجبة (NPN)، والآخر ذو قاعدة سالبة (PNP)، ولكي يعمل كقاطع يجب أن يكون تيار القاعدة كافياً كي يضع الترانزستور في منطقة التشبع (Saturation)، مما يؤدي لتشكيل هبوط جهد أمامي منخفض يمكن العنصر من العمل كقاطع، وعادةً يكون هذا الجهد في حدود فولت واحد.



يختلف الشكلين NPN عن PNP باتجاه التيار المار فقط، حيث يسلك التيار اتجاه واحد فقط هو اتجاه تدفق حوامل الشحنة الأكثرية.

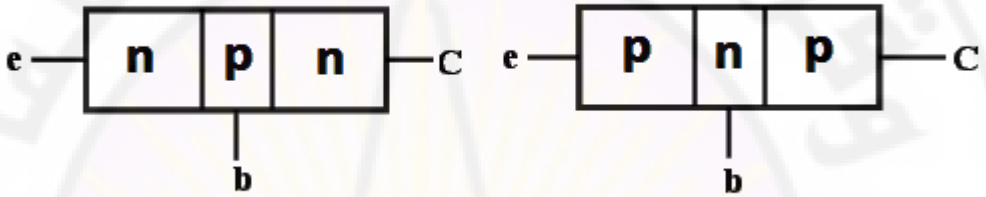
إن اتجاه تيار الباعث IE تكون من P إلى N، لذلك في الترانزستور PNP يكون داخلاً، وفي الترانزستور NPN يكون خارجاً.

الباعث Emitter	المجمع Collector	القاعدة Base
تعتبر فيزيائياً اسمك طبقة بين الطبقات	أقل سماكة من طبقة الباعث	رقيقة جداً
مشابة بتركيز عالي	متوسط الإشابة	مشابة بشكل ضعيف

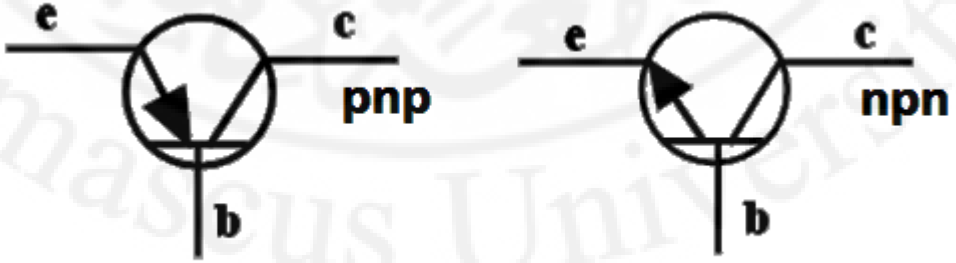
- بإشابة هذه الطبقات الثلاث بعناصر ثلاثية التكافؤ وعناصر خماسية التكفؤ يمكن الحصول على شكلين من الترانزستورات BJT.

الترانزستور ثنائي الوصلة

- يوجد نوعان من الترانزستورات ثنائية الوصلة npn و pnp كما هو موضح بالشكل التالي:



- يتركب الترانزستور من باعث (E) وقاعدة (B) ومجمع (C).
- يتميز الباعث باحتوائه على نسبة عالية من حاملات الشحنة.
- تكون القاعدة دائماً ذات سمك صغير بالنسبة لكل من الباعث والمجمع.
- يكون المجمع دائماً من نفس نوع الباعث.
- يوضح الشكل التالي الرمز العلمي لكل من نوعي الترانزستور npn و pnp:

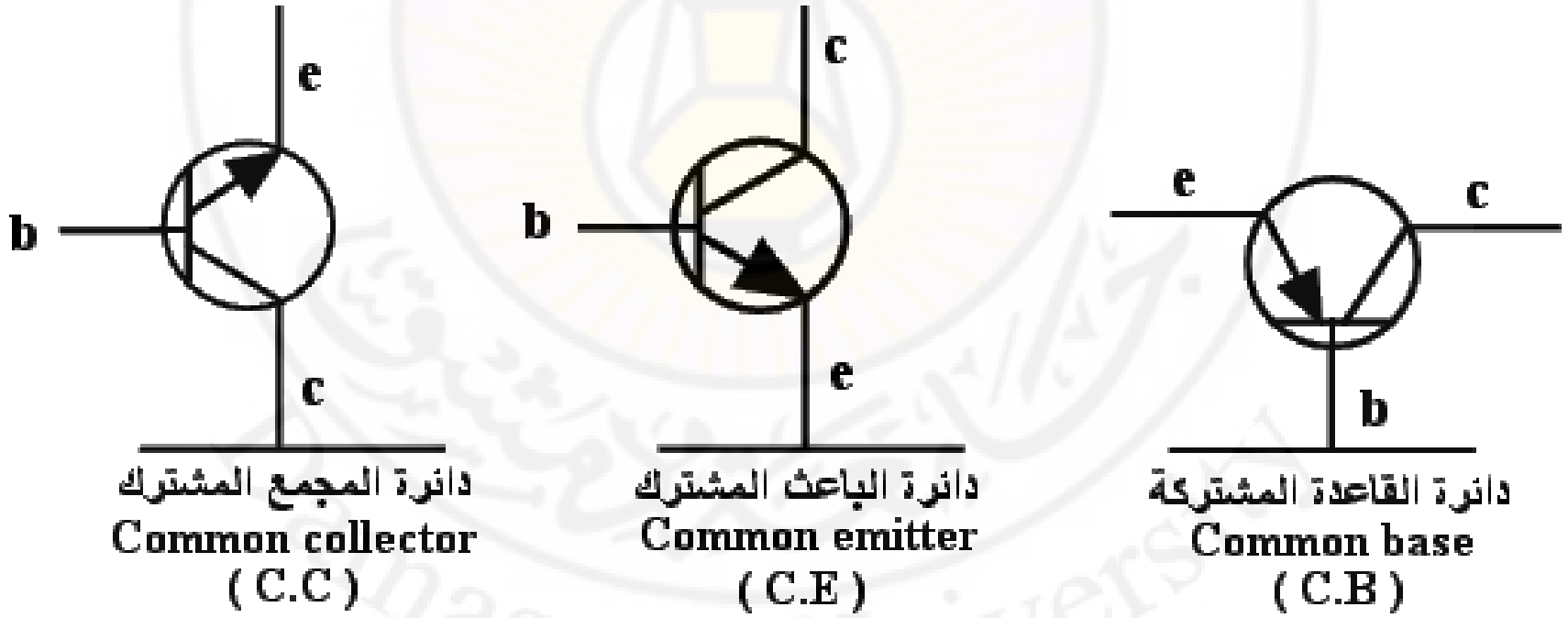


- يتم توصيل الترانزستور في الدارات بثلاث طرق مختلفة كما هو واضح بالشكل التالي:

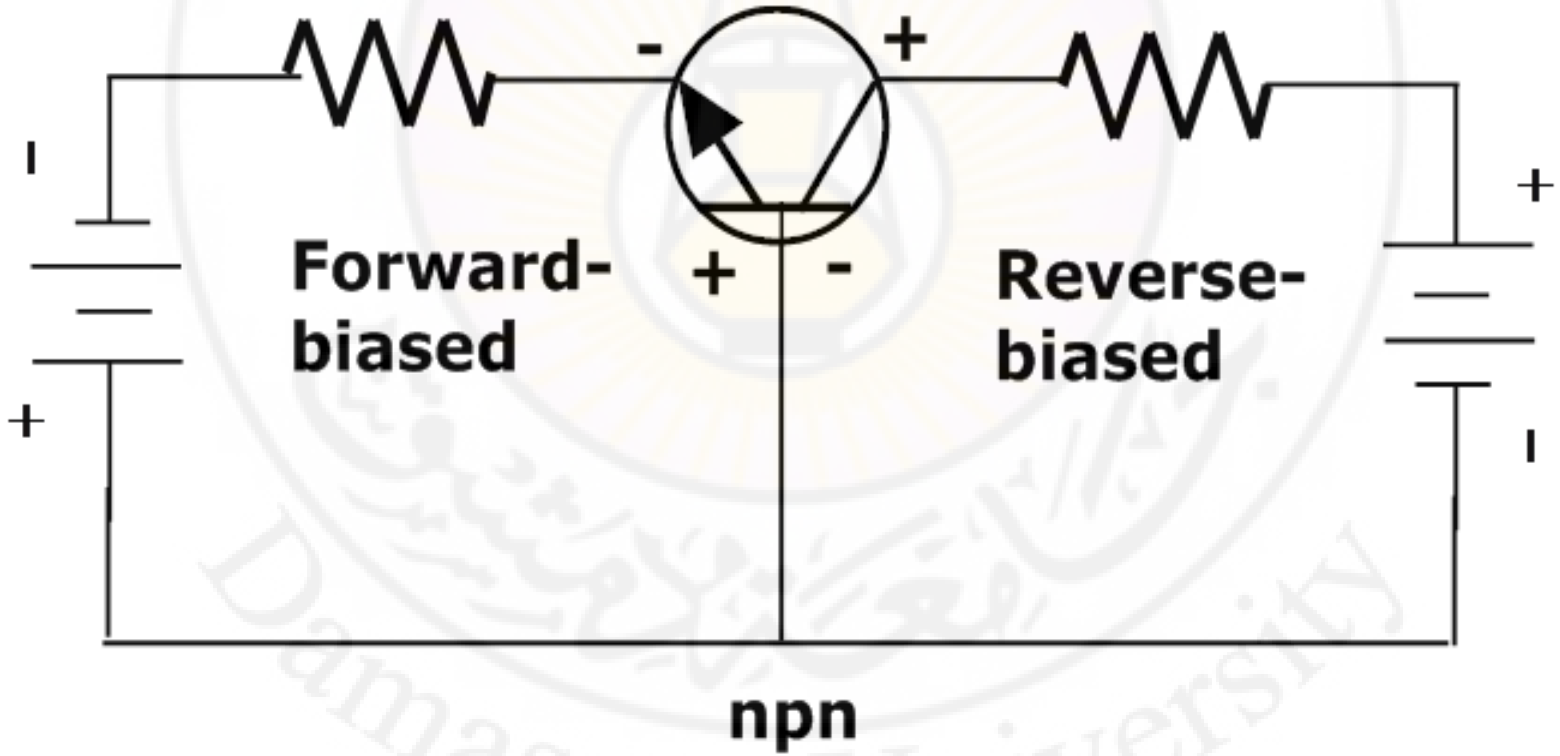
١- دارة القاعدة المشتركة.

٢- دارة الباعث المشترك.

٣- دارة المجمع المشترك.

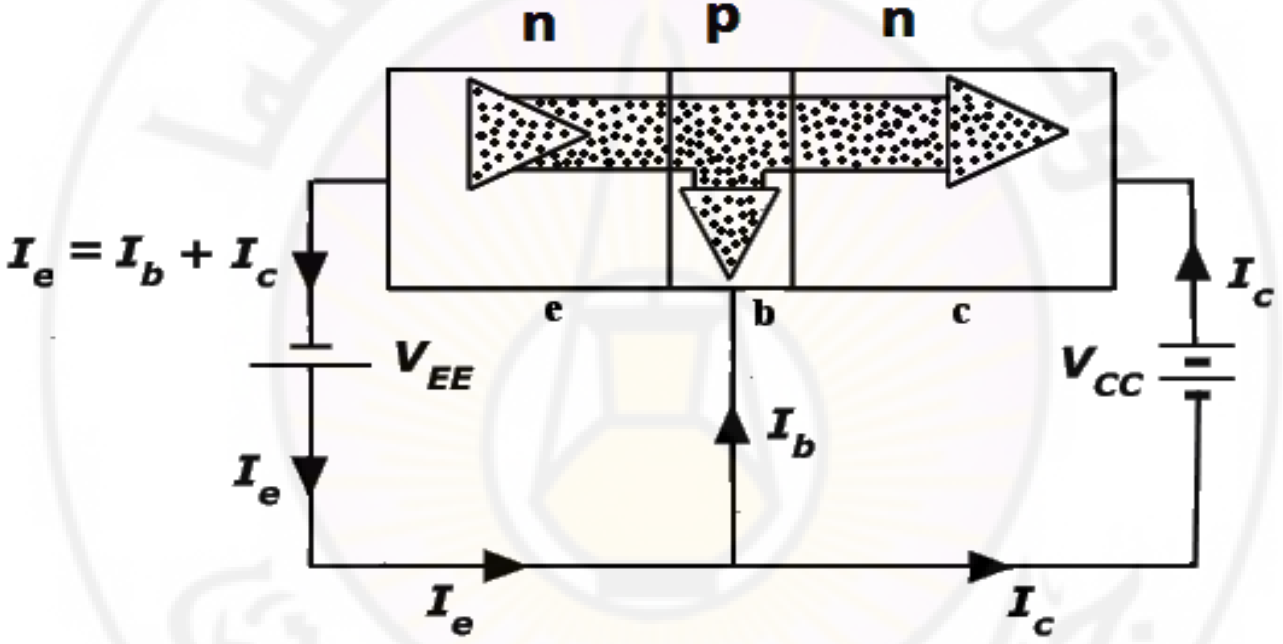


- دائماً يكون الباعث في وضع انحياز أمامي، بينما يكون المجمع ذو انحياز عكسي فى جميع الأحوال، وسواءاً كان الترانزستور من النوع pnp أم من النوع npn، والشكل التالي يوضح ذلك:



كيف يعمل الترانزستور؟

- نستطيع أن نتعرف على فكرة عمل الترانزستور من خلال توصيل ترانزستور من النوع npn فى دارة القاعدة المشتركة كما هو واضح بالشكل التالي:



- تندفع الالكترونات والتى تمثل الشحنات السائدة في الباعث من النوع n نحو القاعدة تحت تأثير الانحياز الامامى للباعث.

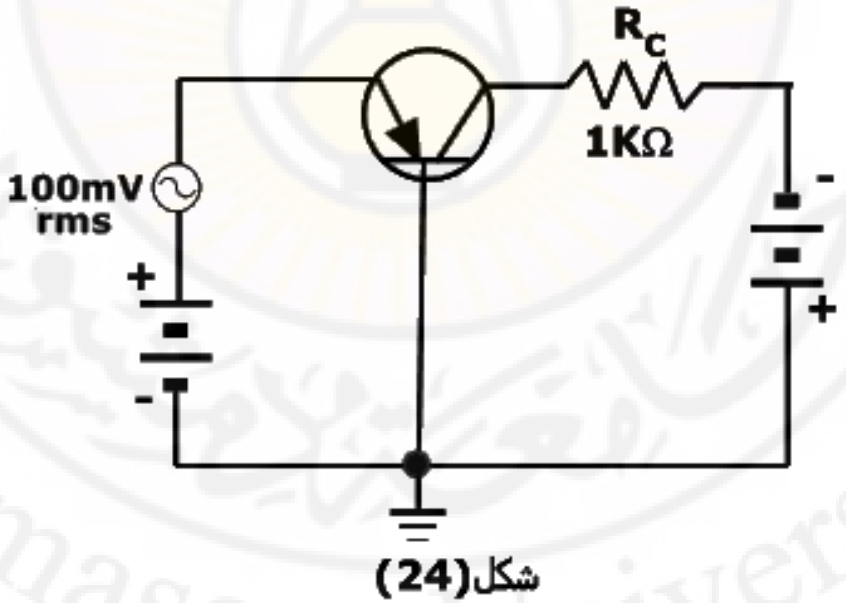
- وحيث أن منطقة القاعدة ذات سمك صغير وتحوي عدد ضئيل من الفجوات فإن نسبة صغيرة من الالكترونات المتدفقة عبر وصلة الباعث قاعدة تتحد مع الفجوات المتاحة لتكون بعد ذلك تيار القاعدة I_B.
- وأيضاً فإن معظم الالكترونات المتدفقة من الباعث نحو منطقة القاعدة تصل بسهولة إلى منطقة الوصلة بين المجمع والقاعدة حيث تجد نفسها تحت تأثير مجال جذب قوى بفعل الانحياز العكسي للمجمع ويؤدى ذلك إلى سحب الالكترونات عبر الوصلة نحو المجمع.
- ومن ثم فإن الالكترونات الآن تتحرك فى منطقة المجمع وتخرج منها متجهة نحو القطب الموجب للبطارية V_{cc} لتكون تيار المجمع I_c .
- يعتمد مقدار تيار المجمع بشكل مباشر على مقدار تيار القاعدة ولا يعتمد بشكل أساسي على الجهد الانحيازى للمجمع.
- نجد أن الالكترونات المندفعة تحت تأثير القطب السالب للبطارية V_{EE} تتوزع بين القاعدة والمجمع ويمثل تيار القاعدة نسبة صغيرة جداً بالنسبة للتيار المار فى المجمع ويكون :

$I_E = I_B + I_C$ وكذلك تستطيع كتابة هذه المعادلة على النحو التالي : $I_E \cong I_C$

- نستطيع أيضاً أن نتعرف على كيفية عمل الترانزستور من النوع pnp بنفس الطريقة السابقة للترانزستور npn مع مراعاة عكس الأدوار لكل من الالكترونات والفجوات وعكس أقطاب جهد الانحياز لكل من وصلتى الترانزستور وكذلك عكس اتجاهات التيار.

مثال

احسب الكسب في الجهد(A_V) والكسب فى القدرة(A_P) وجهد الخرج(V_{out}) لترانزستور(pnp) فى دارة القاعدة المشتركة الموضحة بالشكل (٢٤) . إذا علمت أن مقاومة الدخل لهذه الدارة هي $(r_e = 50\Omega)$.



شكل(24)

الحل

الكسب فى الجهد A_V

$$A_V \cong \frac{R_C}{r_e} = \frac{1K\Omega}{50\Omega} = 20$$

ويكون جهد الخرج V_{out}

$$V_{out} = A_V V_{in} = 20 \times 100 \times 10^{-3} = 2V_{rms}$$

وحيث أن تيار الباعث I_e هو

$$I_e = \frac{V_{in}}{r_e} = \frac{100 \times 10^{-3}}{50} = 2mA$$

وتيار المجمع I_C هو

$$I_C = \frac{V_{out}}{R_C} = \frac{2}{1000} = 2mA$$

ومن ثم فإن الكسب فى القدرة A_P يكون:

$$A_P = \frac{I_C V_{out}}{I_C V_{in}} = \frac{2 \times 2}{2 \times 100 \times 10^{-3}} = 20$$

$$\therefore A_P \cong A_V = 20 \ ,$$

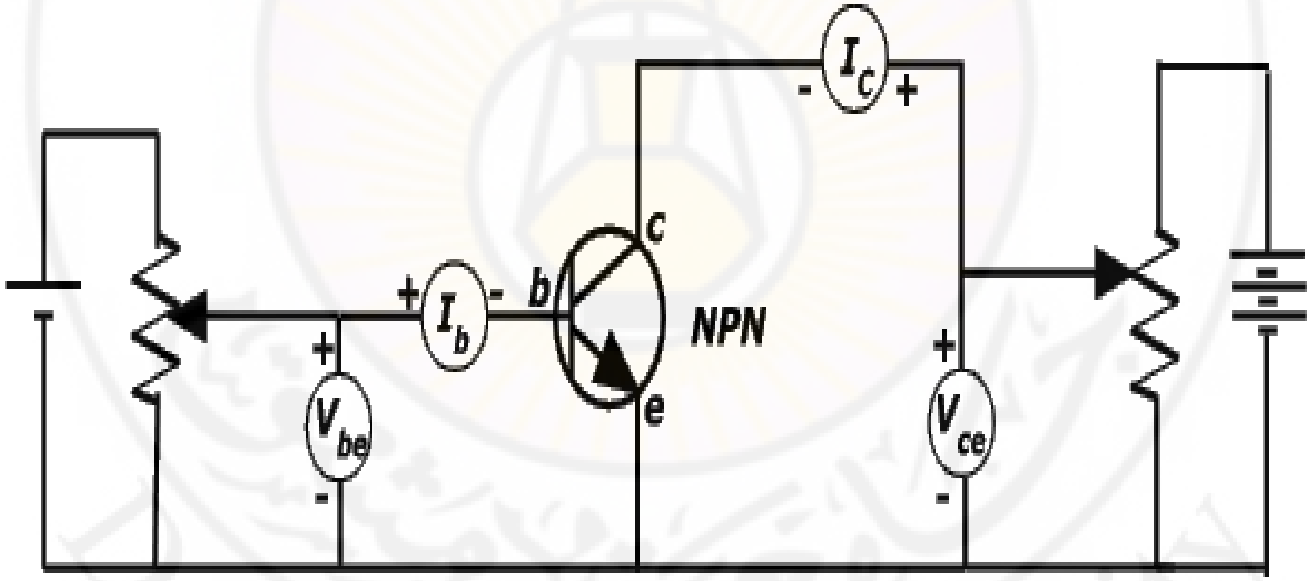
$$I_e \cong I_C$$

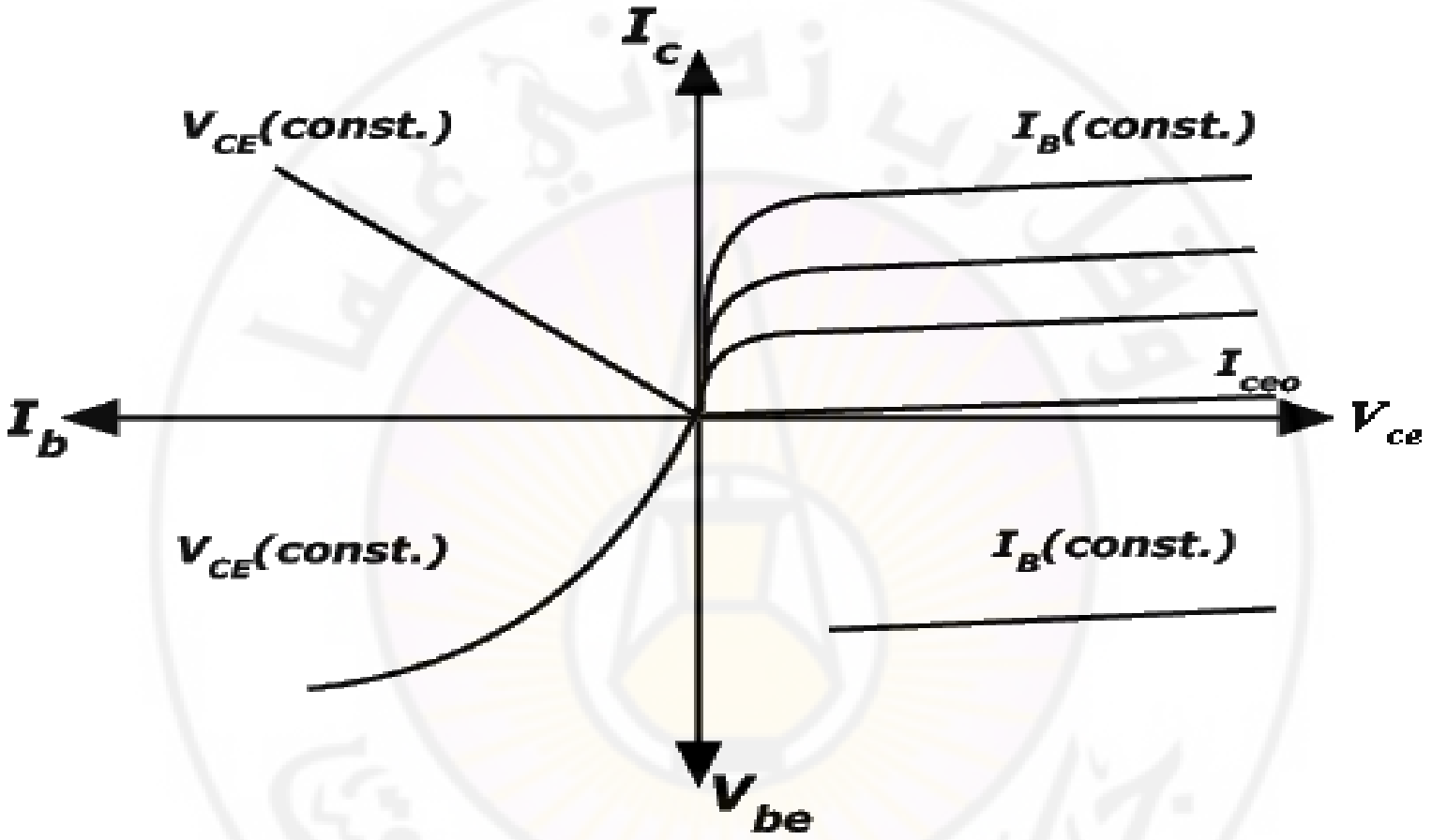
ويكون الكسب فى التيار $\left(A_{i(\max)} \right)$ يساوى تقريباً واحد صحيح.

- ومن المثال السابق نستطيع القول أن قدره صغيره وهى قدرة دائرة الدخل التى تحتوى على الباعث والقاعدة تتحكم فى قدرة دائرة الخرج التى تحتوى على القاعدة والمجمع ، وبمعنى آخر فإن قدرة صغير أنتجت قدرة كبيرة وهذا يوضح عمل الترانزستور كمكبر.

خصائص الترانزستور فى دارة الباعث المشترك

- نستطيع أن نحصل على معاملات الترانزستور فى دارة الباعث المشترك باستخدام الدائرة الموضحة بالشكل التالي:





- ومن خلال المنحنيات المميزة لهذا الترانزستور في الشكل السابق، تكون معاملات الترانزستور على النحو التالي:

١- الكسب فى التيار β

$$\beta = h_{e21} = \left| \frac{I_C}{I_b} \right|_{V_{ce}}$$

$$or \quad \beta = h_{e21} = \left| \frac{\Delta I_C}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce}}$$

٢- ممانعة الدخول R_i

$$R_i = h_{e11} = \left| \frac{V_{be}}{I_b} \right|_{V_{ce}}$$

$$R_i = h_{e11} = \left| \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce}}$$

٣- موصيلية الخروج g_0

$$g_0 = h_{e22} = \left| \frac{I_C}{V_{ce}} \right|_{I_b}$$

$$g_0 = h_{e22} = \left| \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{ce}} \right|_{I_b}$$

٤- معامل انتقال الجهد

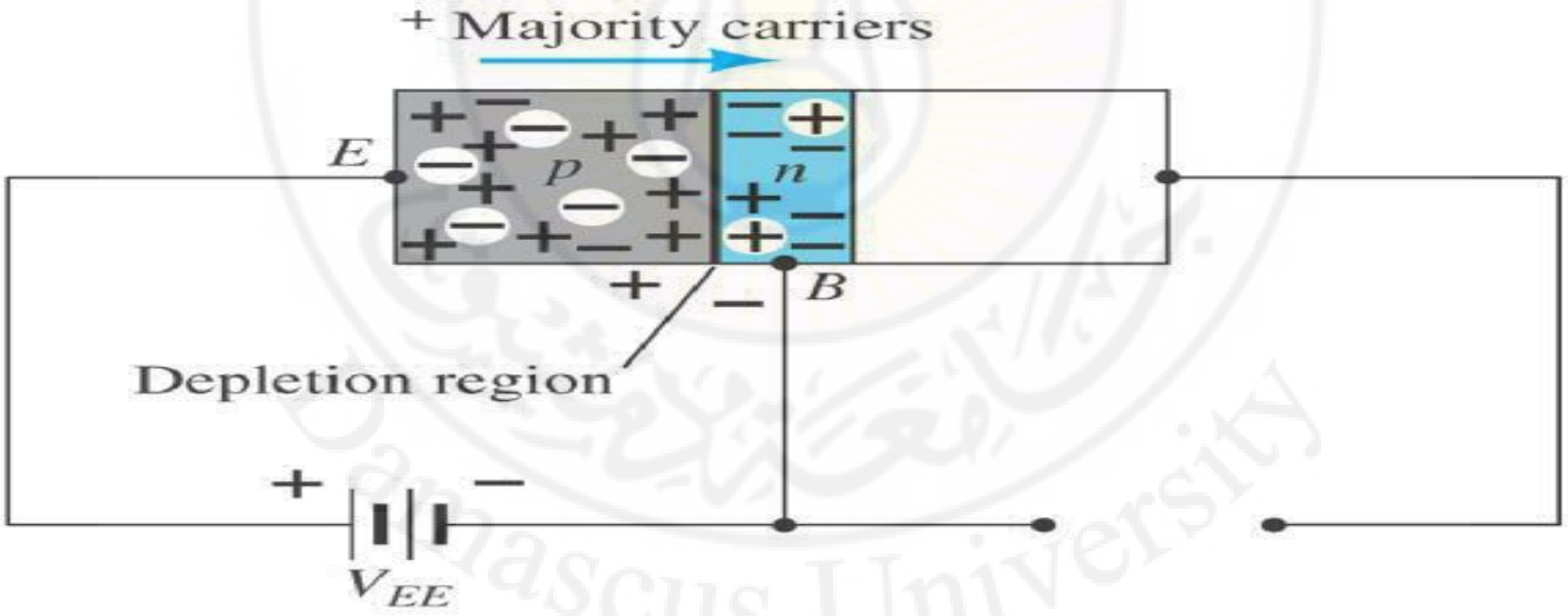
$$h_{e12} = \left| \frac{V_{be}}{V_{ce}} \right|_{I_b}$$

$$h_{e12} = \left| \frac{\Delta V_{be}}{\Delta V_{ce}} \right|_{I_b}$$

ويشير الرمز e فى المعاملات السابقة إلى دارة الباعث المشترك، بينما يدل الرقم (1) على دائرة الدخول، والرقم (2) على دائرة الخروج.

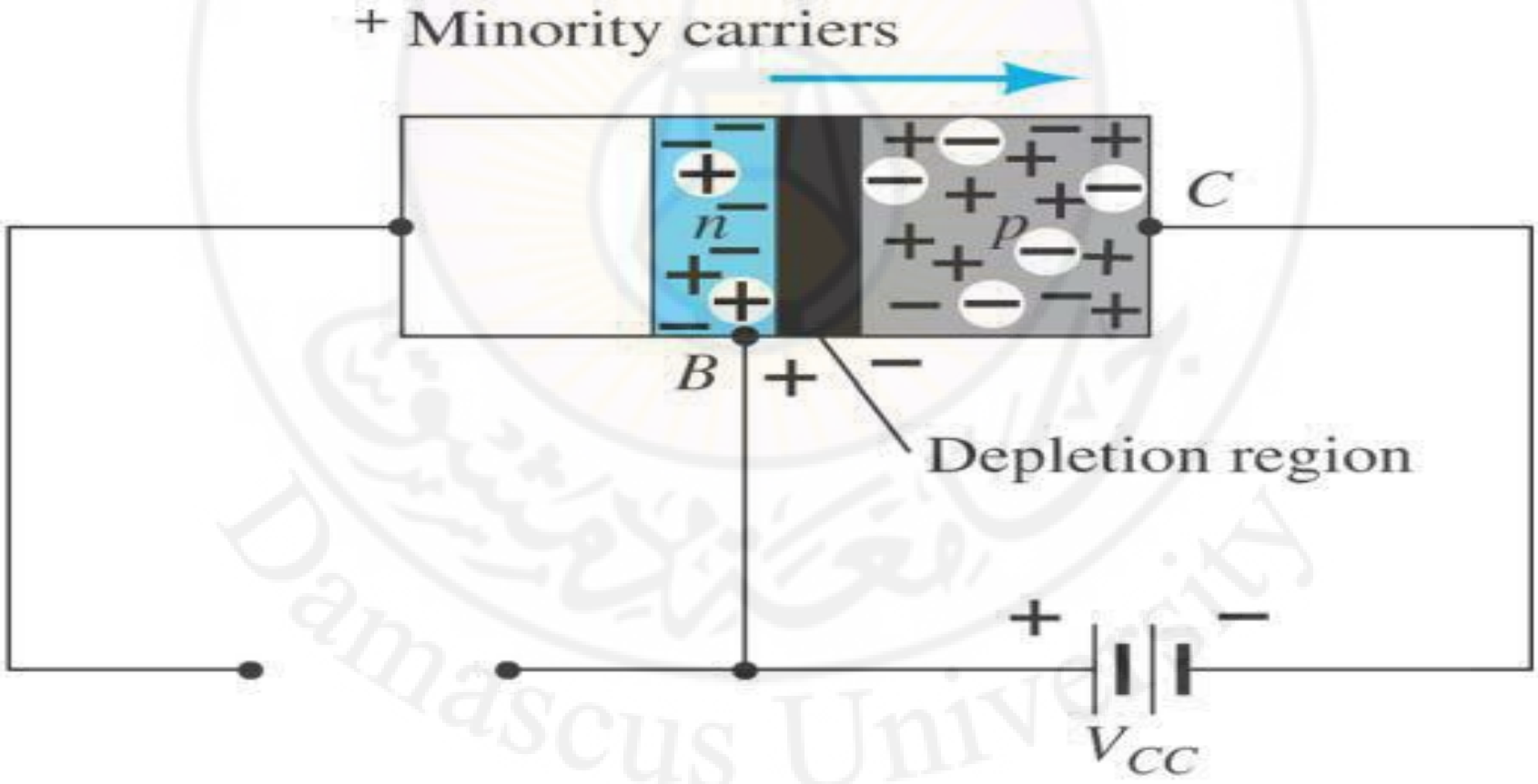
انحياز أمامي في وصلة الدخل

- وصلة الدخل BE منحازة أمامياً ويكون لدينا تيار أمامي من الحوامل الأكثرية وهي الثقوب.

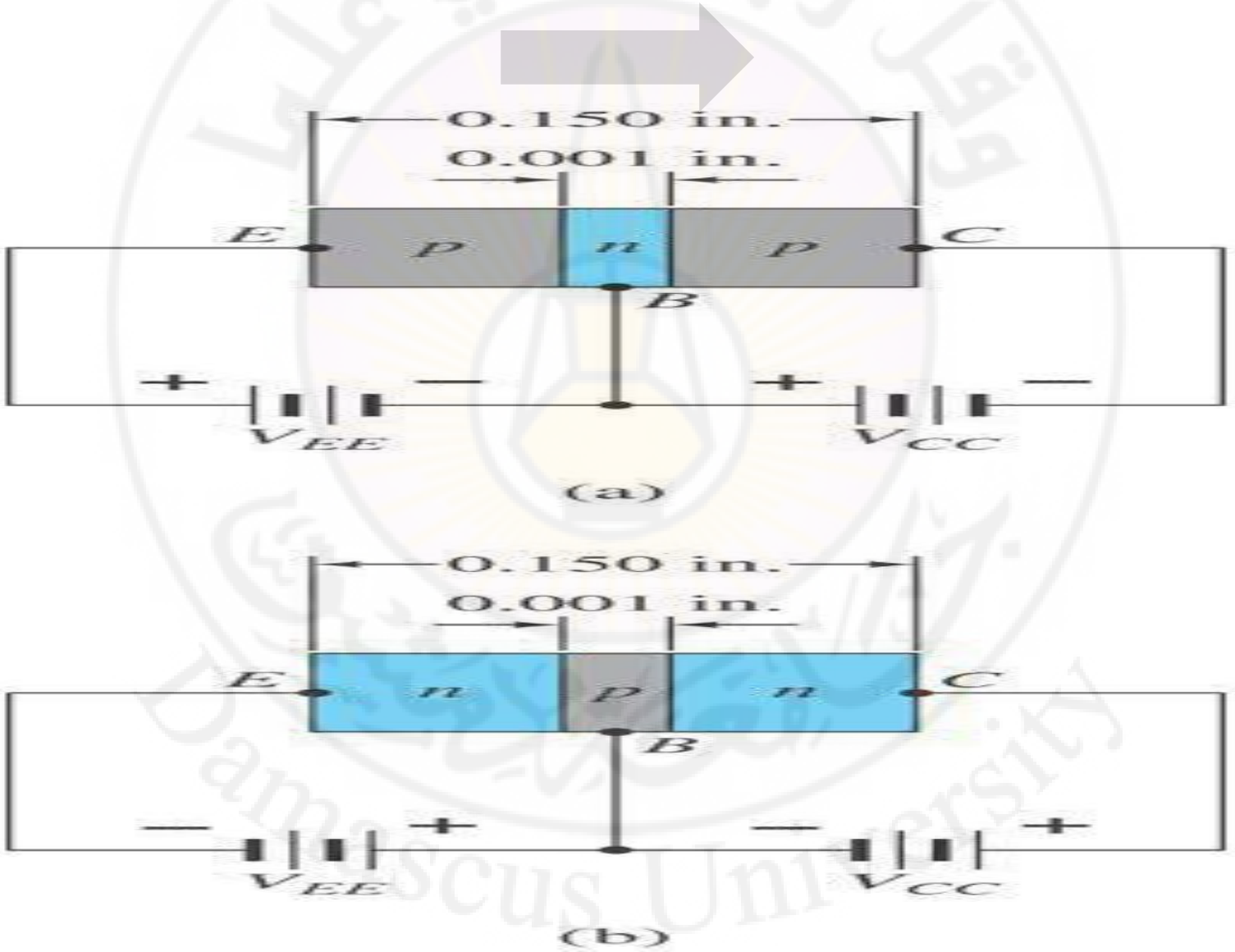


انحياز عكسي في وصلة الخرج

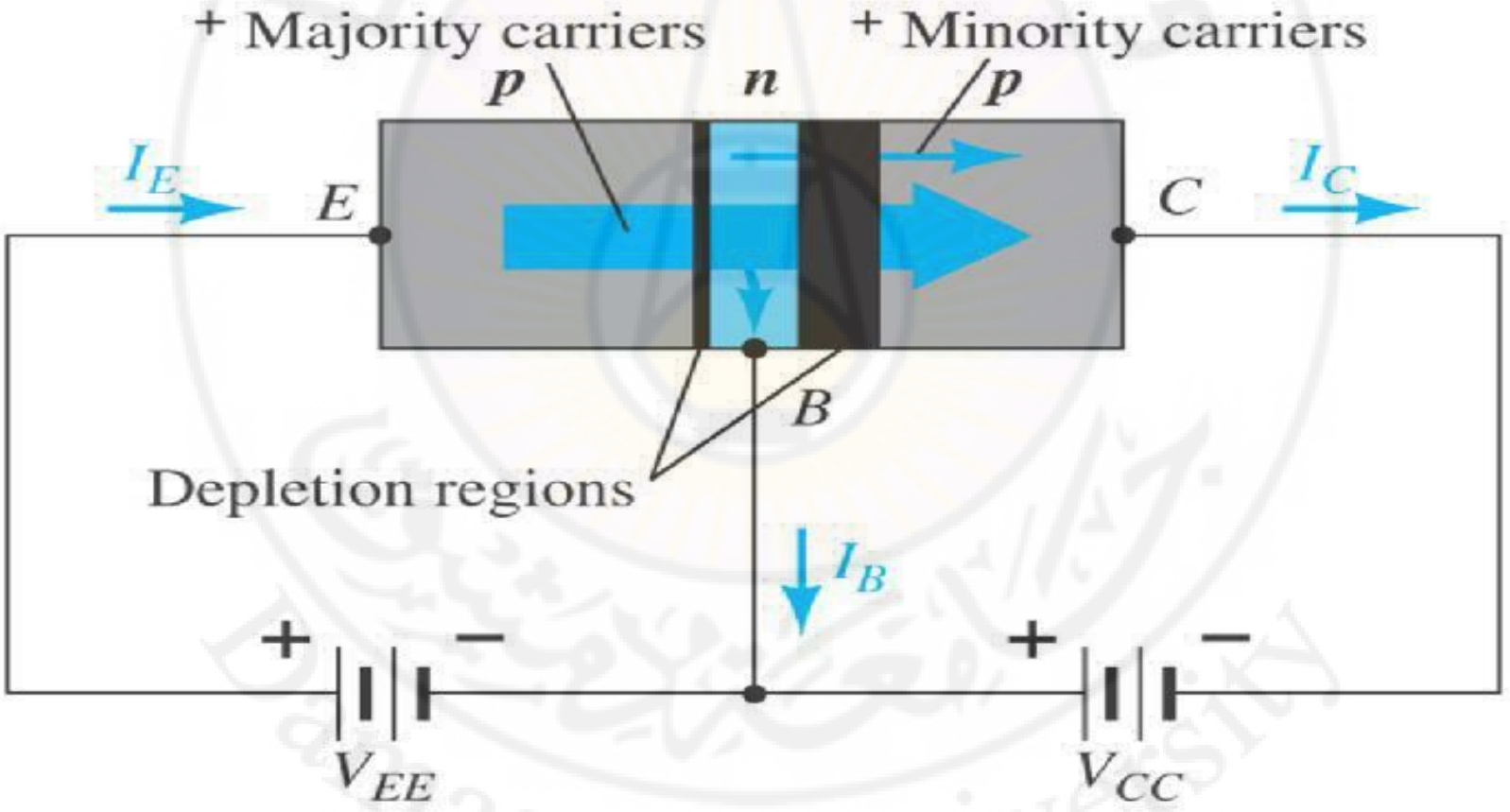
- وصلة الخرج BC منحازة عكسياً، ويكون لدينا تيار من الحوامل الأقلية، وهي الالكترونات.

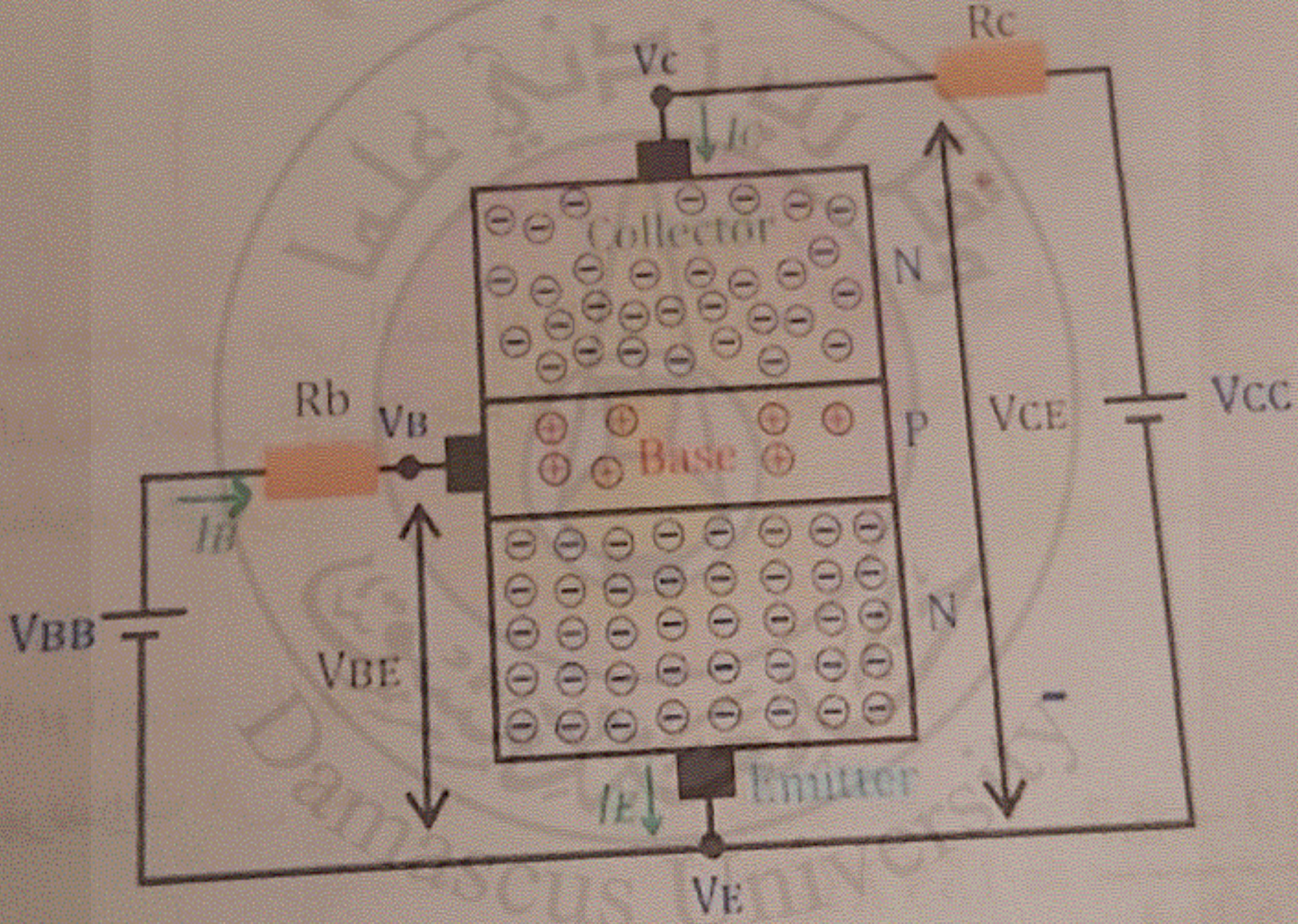


- وصلة الدخل BE منحازة أمامياً، أما وصلة الخرج (BC) فمنحازة عكسياً في كلا نوعي الترانزستور.



جريان حوامل الشحنة الأكثرية والأقلية




Rc
Vc
Ic
Collector
N
Rb
VB
P
VCE
VCC
Base
IB
VBB
VBE
N
Emitter
IE
VE

بارمترات أساسية

١- المعامل (α) وهو يمثل نسبة كسب التيار (ربح التيار) لدارة القاعدة المشتركة، ويساوي نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث، أي:

$$\alpha = IC/IE$$

وبما أن IE > IC فهذا يؤدي إلى أن α < 1، وهو محصور تقريباً بين القيمتين: (0.9 – 0.99).

٢- المعامل β وهو يمثل معامل كسب التيار لدارة الباعث المشترك، ويساوي نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة، أي:

$$\beta dc = IC/IB$$

وهو يساوي أكبر من الواحد بكثير لأن IC >> IB.

العلاقة بين α و β:

$$\alpha = IC/(IC + IB)$$

إذا قسمنا على IB سنحصل على:

$$\alpha = \beta /1+ \beta$$

إن β النموذجية تقع بين (٢٠ – ٢٠٠) لمعظم الترانزستورات ذات الأهداف العامة.

أنماط عمل الترانزستور BJT

النمط الأول: نمط أمامي فعال: وفيه تكون وصلة القاعدة مجمع عكسي ووصلة القاعدة باعث أمامي.

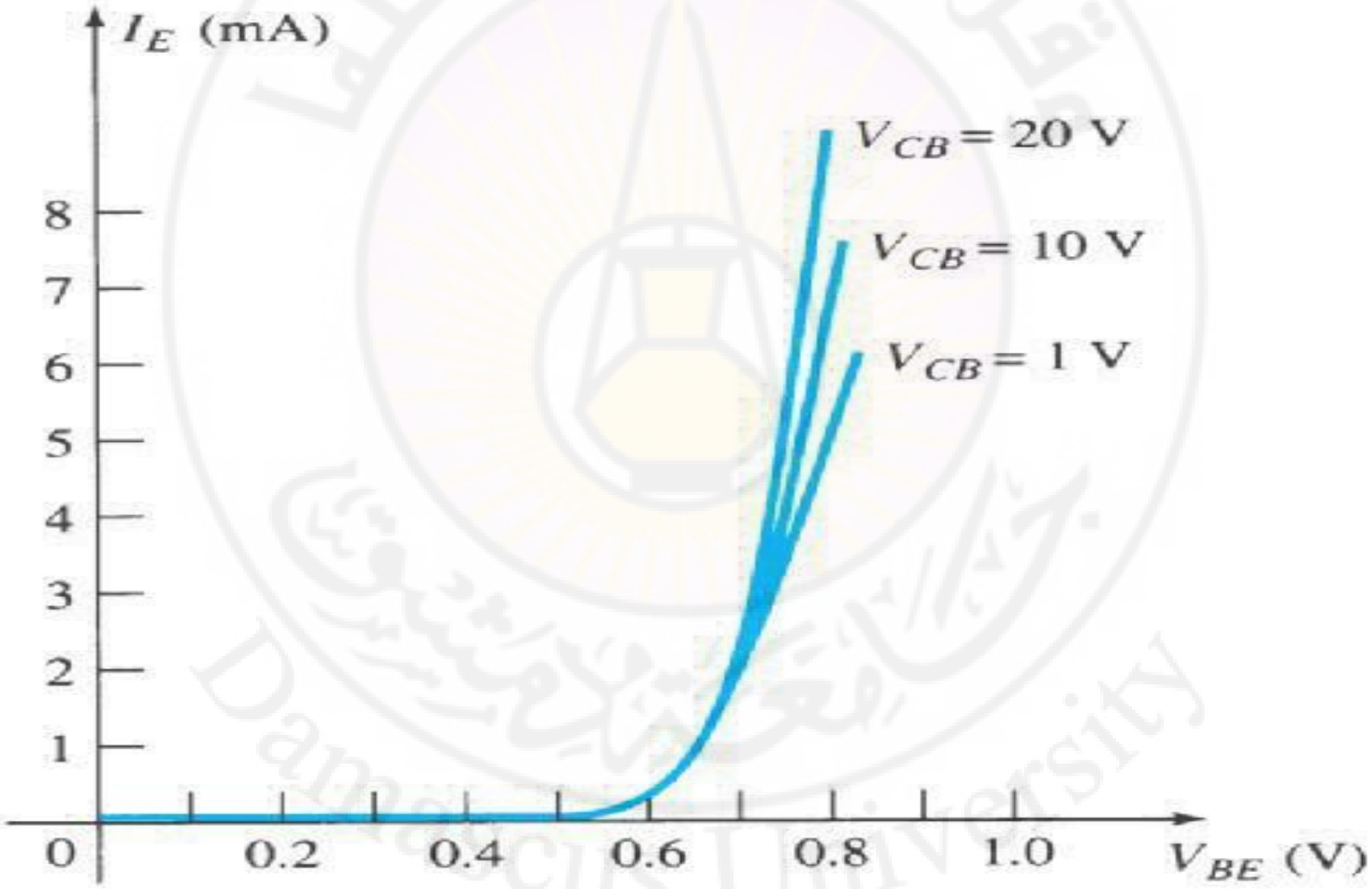
النمط الثاني: نمط القطع: وفيه تكون الوصلتين منحازين عكسياً.

النمط الثالث: نمط الإشباع: وفيه وصلة القاعدة مجمع أمامي ووصلة القاعدة باعث أمامي.

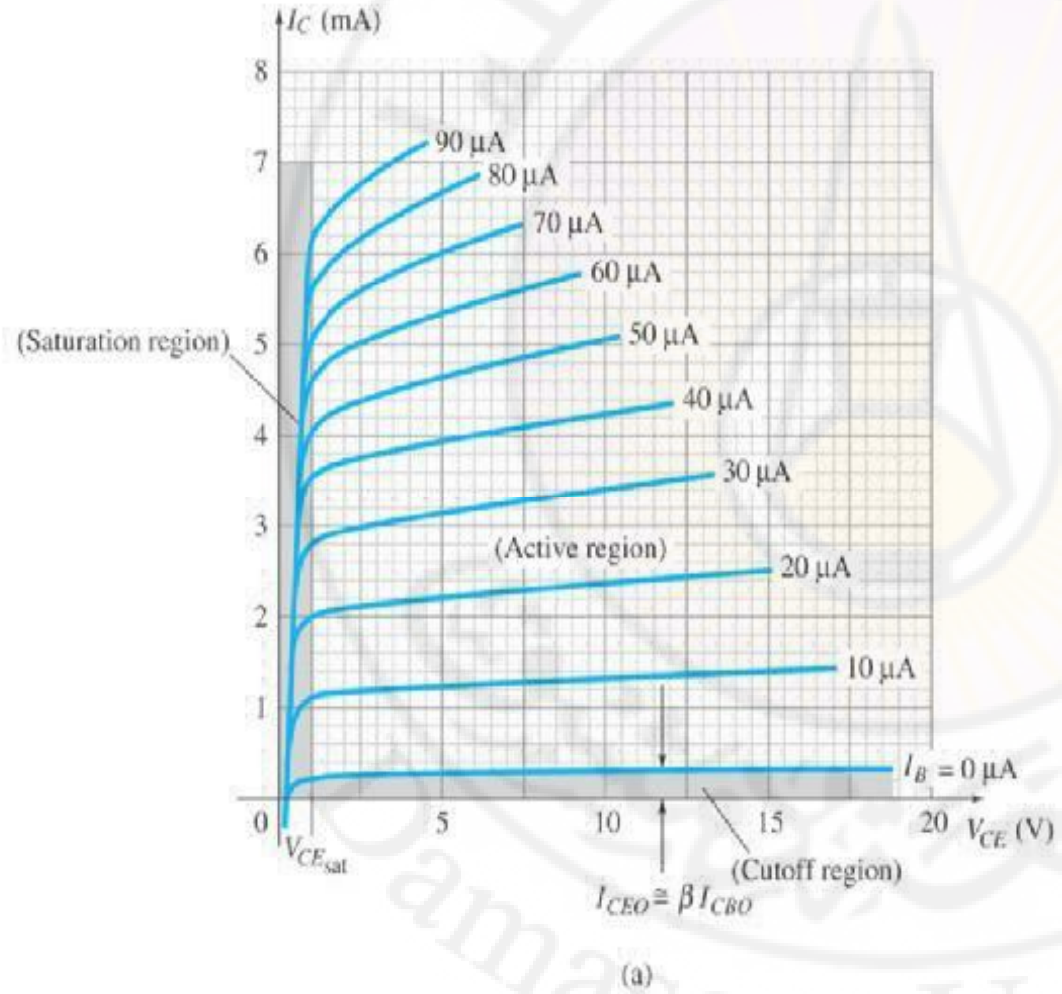
النمط الرابع: وصلة قاعدة مجمع أمامي، ووصلة قاعدة باعث عكسي.

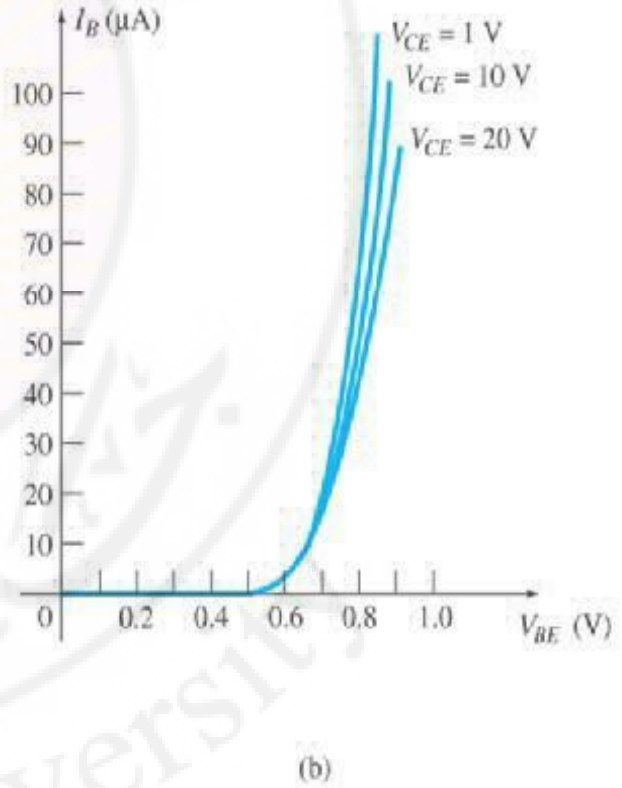
خصائص الخرج لترانزستور بوصلة قاعدة مشتركة

خصائص الدخل لترانزستور بوصلة قاعدة مشتركة



خصائص الدخل والخرج في الترانزستور ذو الباعث المشترك





(a) collector characteristics ; (b) base characteristics

تركيبات أو تشكيلات الترانزستور BJT

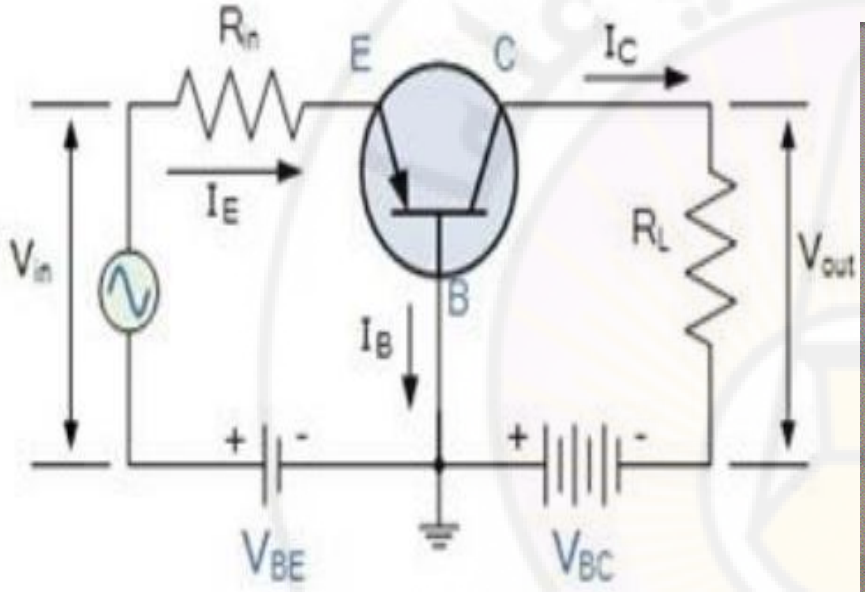
نظراً لكون الترانزستور ثنائي القطبية نبيطة ذات ثلاثة أطراف، لذا يوجد من حيث المبدأ ثلاث طرق لوصله في دارة إلكترونية يكون فيها أحد الأطراف مشتركاً بين كل من الدخل والخرج، أي الطرف الذي يوصل إلى منبعي التغذية معاً، وإن كل طريقة من طرق التوصيل هذه تكون استجابتها لإشارة الدخل مختلفةً عن الأخرى في دارة ما، لأن المميزات السكونية للترانزستور تتغير مع كل ترتيب للدارة، وطرق التوصيل الثلاث هي:

١- تركيبة القاعدة المشتركة: تحقق ربحاً في الفلطية، ولا تحققه في التيار.

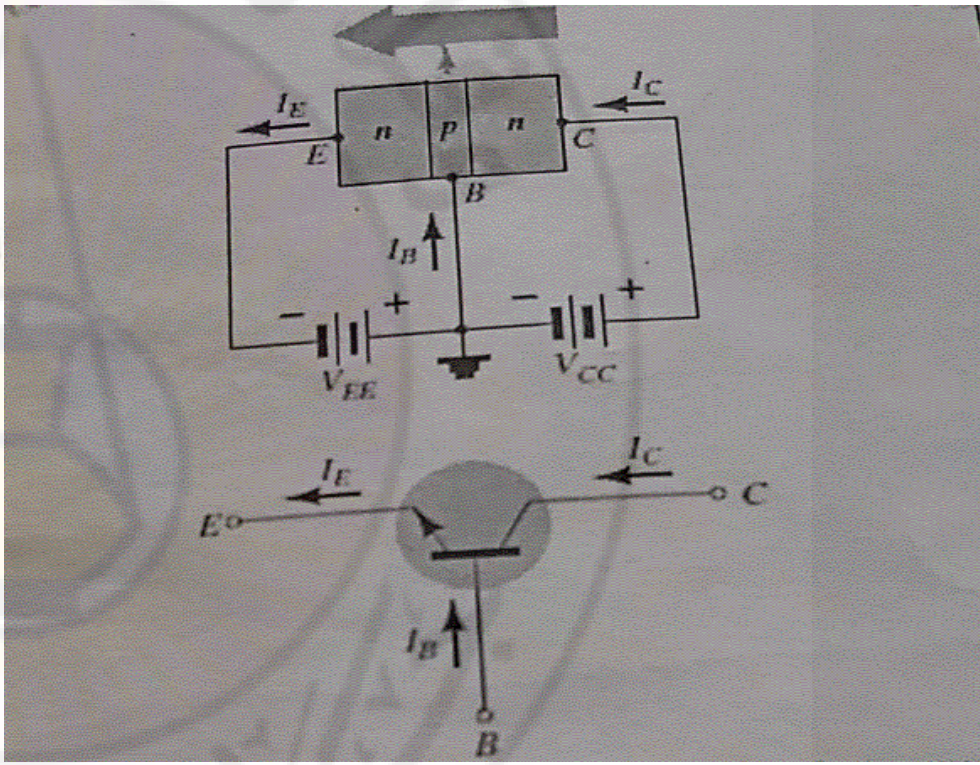
٢- تركيبة الباعث المشترك: تحقق ربحاً في كل من الفلطية والتيار.

٣- تركيبة المجمع المشترك: تحقق ربحاً في التيار، ولا تحققه في الفلطية.

١- قاعدة مشتركة: أي أن القاعدة مشتركة بين الدخل والخرج، ويكون الدخل على الباعث، والخرج من المجمع، والشكل التالي يوضح ذلك:



الترانزستور في دارة القاعدة المشتركة



إن تيار الدخل الجاري نحو الباعث يكون كبيراً، لأنه يمثل مجموع تياري القاعدة والمجمع، أي: IE = IC + IB

لذا فإن خرج تيار المجمع IC يكون أقل من دخل تيار الباعث IE، وعليه فإن تركيبة القاعدة المشتركة تضعف إشارة الدخل.

إن هذا النوع من المضخمات التي تستعمل هذه التركيبة تشكل دارة مضخم للفلطية غير العاكس، أي تكون إشارتا الفلطية Vin، والفلطية Vout على وفاق في الطور (الصفحة).

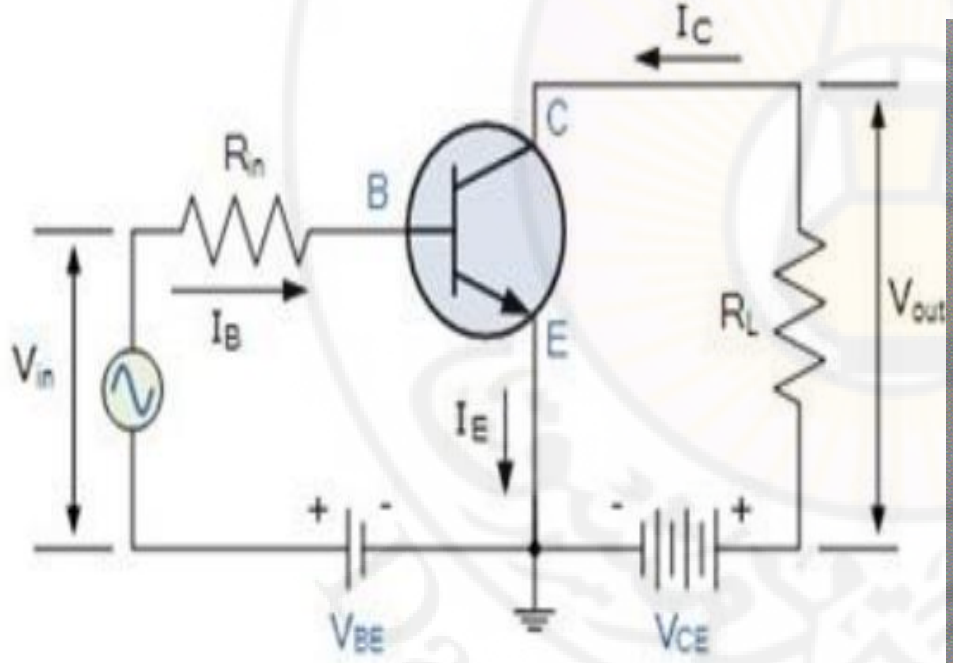
إن هذا النوع من تركيبات الترانزستور ثنائي القطبية تكون فيه نسبة مقاومة الخرج إلى مقاومة الدخل عالية، أي تكون نسبة مقاومة الحمولة RL إلى مقاومة الدخل Rin عالية مما يكسبه ربحاً في المقاومة، وعندها يكون ربح الفلطية Av لتركيبة القاعدة المشتركة تعطى بالعلاقة التالية:

$$Av = Vout/Vin = (IC \times RL)/(IE \times Rin) = \alpha\ RL/Rin$$

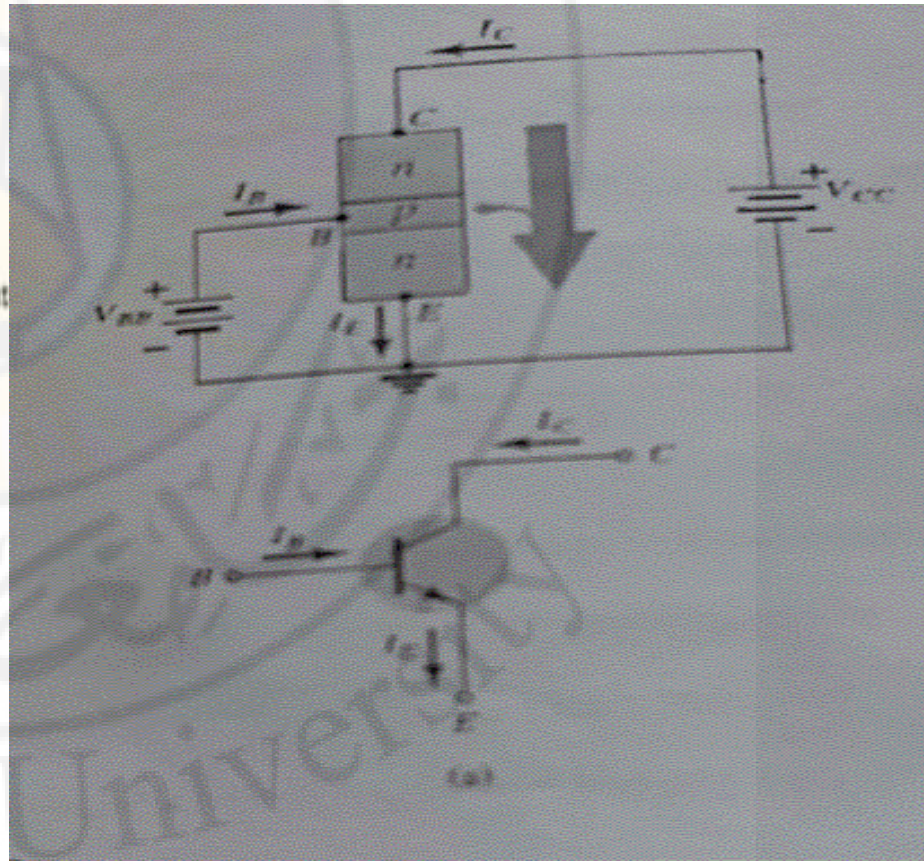
حيث تمثل النسبة RL/Rin ربح المقاومة.

إن دارة القاعدة المشتركة لا تستعمل إلا في دارات المضخمات ذات المرحلة الأولى في أغلب الأحيان مثل المضخم الأولي للمكرفون أو مضخمات التواتر الراديوي نظراً لاستجابتها الجيدة عند التواترات العالية.

٢- باعث مشترك: أي أن الباعث مشترك بين الدخل والخرج ويكون الدخل من القاعدة والخرج من المجمع، وإن هذا النوع من التركيبات هو أكثر الدارات استعمالاً من أجل المضخمات القائمة على الترانزستورات، والتي تمثل الطريقة المعتادة في توصيلة الترانزستور ثنائي القطبية، والشكل التالي يوضح ذلك:



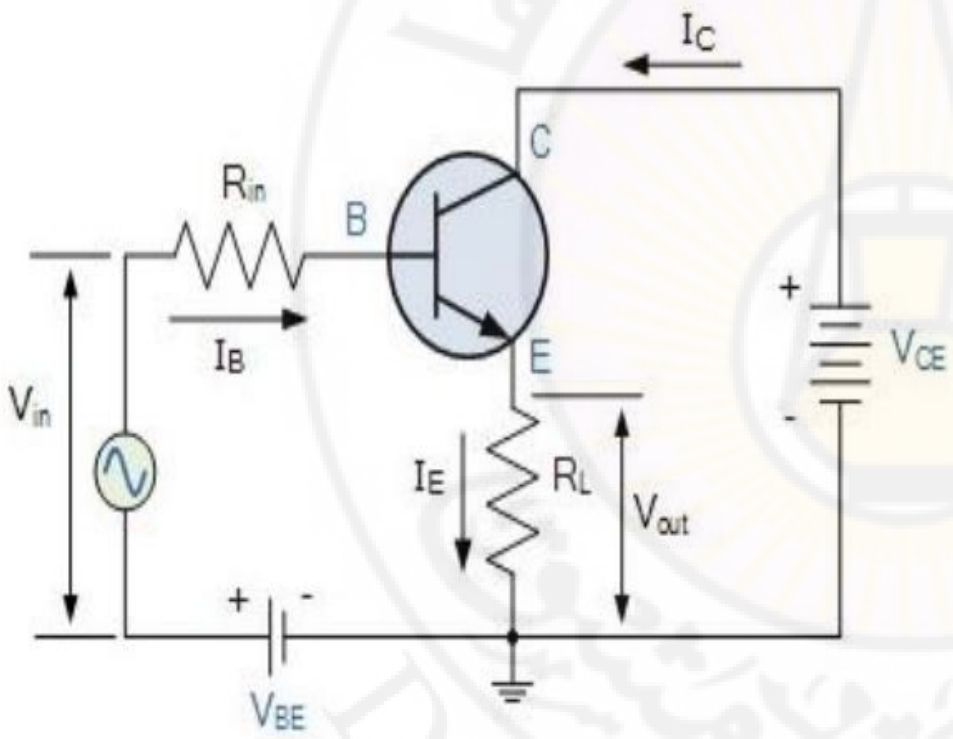
دارة مضخم بتركيبة الباعث المشترك



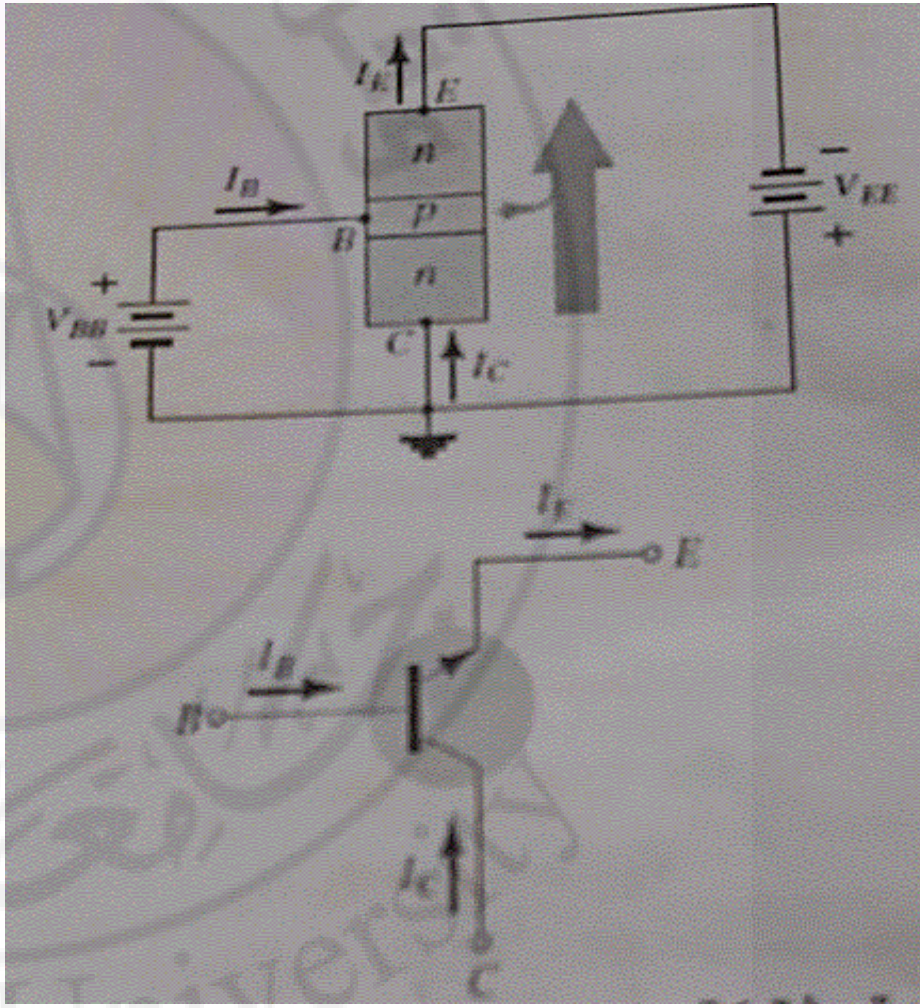
إن تركيبة المضخم ذي الباعث المشترك تنتج أعلى تيار، وأعلى ربح قدرة يمكن أن تعطيه أية تركيبة من تركيبات الترانزستور ثنائي القطبية الأخرى، ويرجع الفضل في ذلك بصورة رئيسة إلى ممانعة الدخل المنخفضة، لأنها موصولة إلى وصلة pn موضوعة في حالة الانحياز الأمامي، بينما تكون ممانعة الخرج عالية، لأنها مأخوذة من وصلة pn موضوعة في حالة الانحياز العكسي، كما أن ربح التيار في تركيبة الباعث المشترك يكون كبيراً، لأن مقاومة الحمولة موصولة على التسلسل مع المجمع.

لما كانت العلاقات الكهربائية بين هذه التيارات الثلاثة IB, IE, IC تتعين بالبنية الهندسية للترانزستور نفسه، فأي تغير صغير في تيار القاعدة IB، سينتج عنه تغير أكبر بكثير في تيار المجمع IC، وعندئذ فإن أي تغير في التيار الجاري في القاعدة سيتحكم بالتيار في دارة الباعث–المجمع.

٣- مجمع مشترك: أي أن المجمع مشترك بين الدخل والخرج ويكون الدخل من القاعدة والخرج من الباعث، والشكل التالي يوضح ذلك:



الترانزستور في تركيبة المجمّع المشترك



يعرف هذا النوع من تركيبات الدارة عادةً باسم متتبع الباعث، وهذه التركيبة للترانزستور مفيدة جداً من أجل تطبيقات توفيق الممانعات بسبب ممانعة الدخل العالية جداً، حيث تقع في مجال مئات الكيلو أوم، في حين تكون ممانعة خرجها صغيرة نسبياً.

في تركيبة الباعث المشترك يكون ربح التيار مساوياً القيمة β تقريباً للترانزستور نفسه.

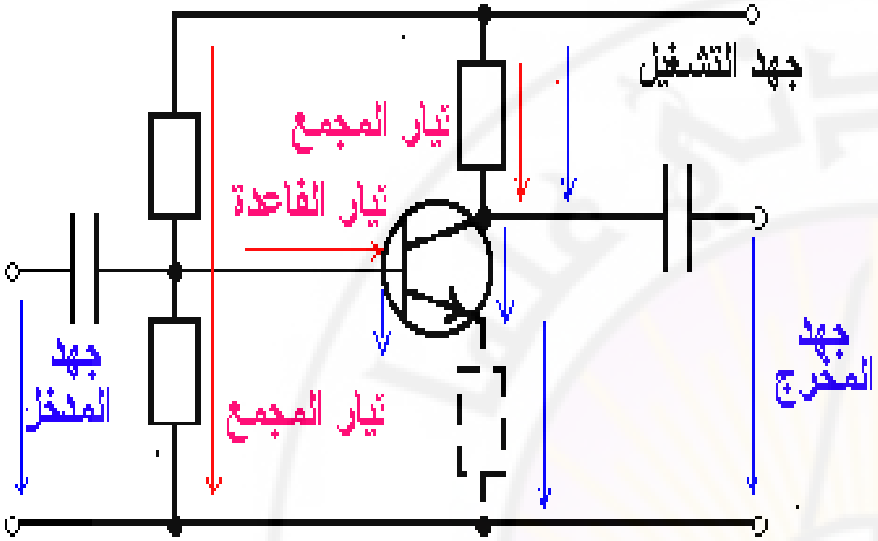
في تركيبة المجمع المشترك تكون مقاومة الحمولة موصولة على التسلسل مع الباعث، وهذا يجعل تيارها مساوياً تيار الباعث، ولما كان تيار الباعث هو حاصل جمع تياري المجمع والقاعدة، فإن تيار مقاومة الحمل في هذه التركيبة يكون أيضاً مساوياً لمجموع تيار المجمع، وتيار دخل القاعدة فيها.

إن هذا النوع من تركيبات الترانزستور هو دارة غير عاكسة بمعنى أن إشارة فلطية الدخل Vin، وإشارة فلطية الخرج Vout يكونان متفقتين في الطور، وإن ربح الفلطية لهذه التركيبة أقل من الواحد دائماً.

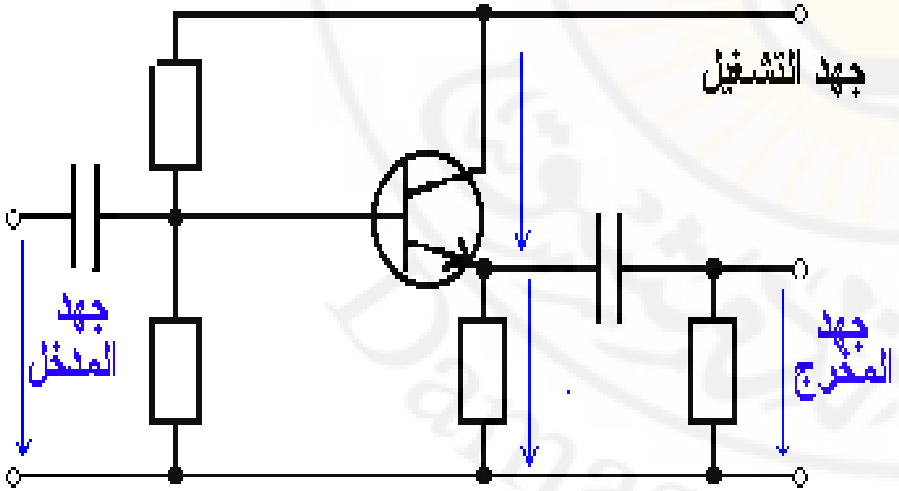
إن مقاومة الحمولة للترانزستور في تركيبة المجمع المشترك تتلقى كلاً من تياري القاعدة والمجمع فتعطى ربح تيار كبير، كما هو الحال في تركيبة الباعث المشترك، لذا فهي تؤمن تضخيماً كبيراً للتيار يصاحبه ربح قليل للفلطية.

Damascus University

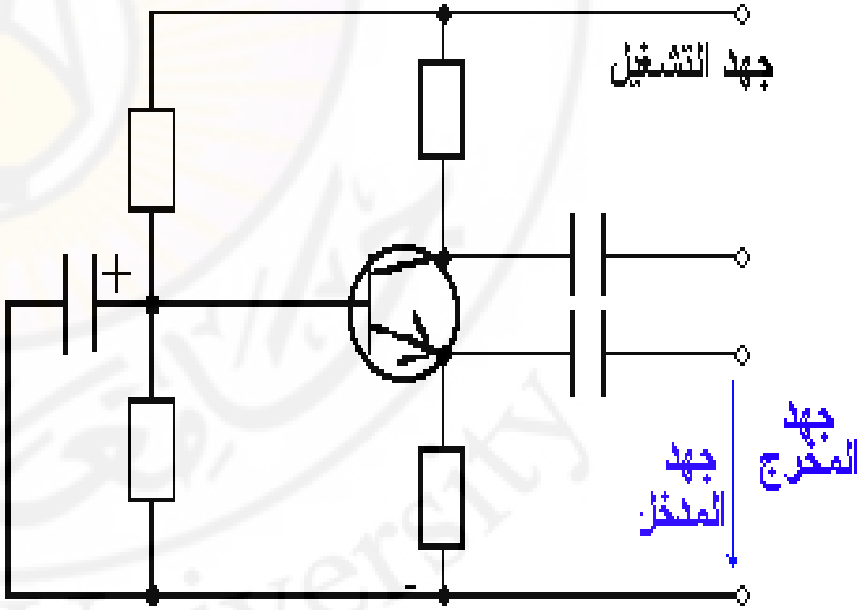
الدوائر الأساسية للمكبرات



دائرة المشع



دائرة المجمع

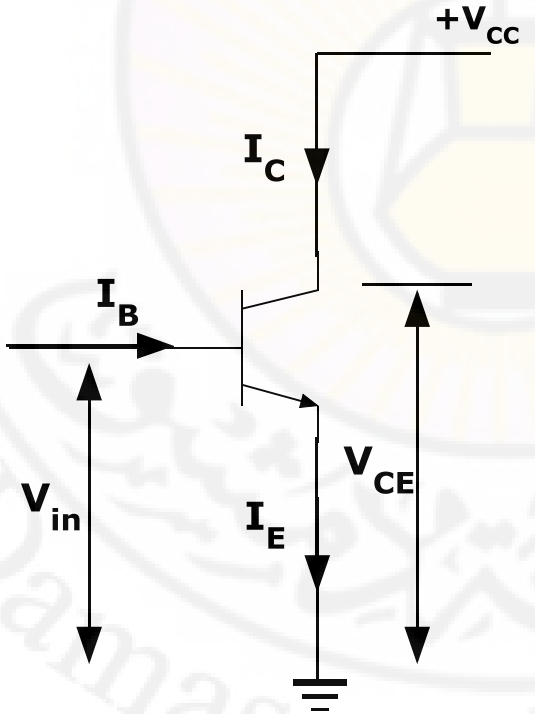


دائرة القاعدة

خط الحمل ونقطة التشغيل للترانزستور ثنائي الوصلة

تحديد نقطة التشغيل لها أهمية كبيرة فى استخدام الترانزستور كمكبر لجهد متردد كما سنرى فيما بعد ولتحديد هذه النقطة نرى أن:

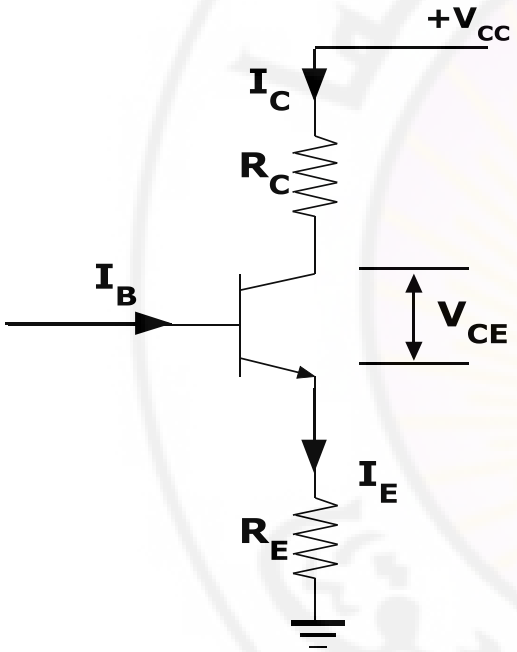
- تيار المجمع I_C يتغير بتغير تيار القاعدة I_B وذلك عندما يتم تغيير الجهد الداخل V_{in}



حيث أن $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ (شكل ٢٧).

Damascus University

- وتظل قيمة الجهد V_{CE} قيمة ثابتة لا تتغير بتغير تيار المجمع I_C ويكون دائماً $(V_{CE} = V_{CC})$
- عندما يتم إضافة مقاومتين R_C و R_E كما هو مبين بالشكلالتالي، فإن فرق الجهد V_{CE} يصبح على النحو التالى :



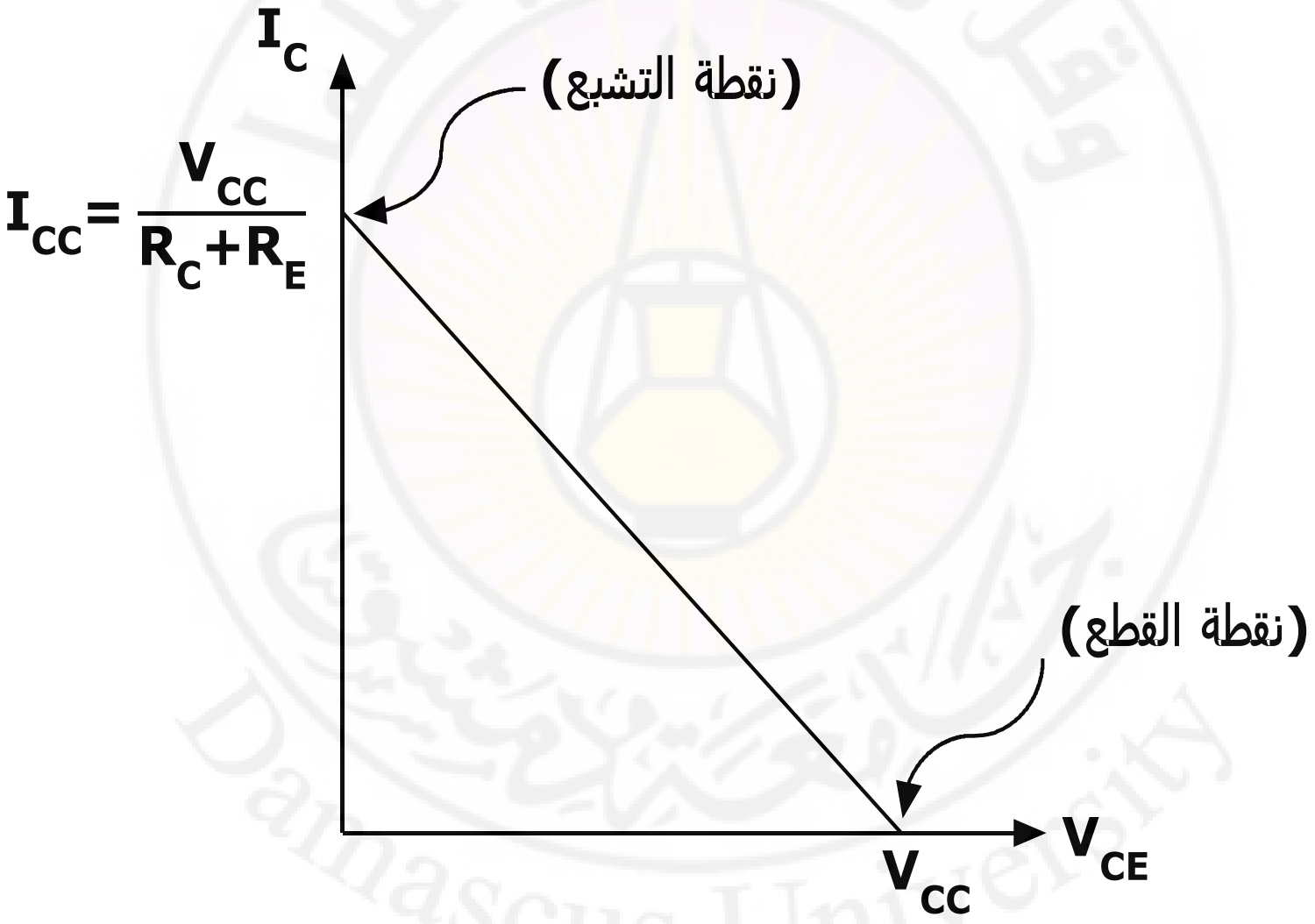
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C\left(R_C + R_E\right)$$

حيث أن $I_C \cong I_E$

- ويتضح من العلاقة السابقة أنه بزيادة تيار المجمع I_C يقل فرق الجهد V_{CE}. أي أنه أصبحت هناك علاقة بين الجهد الداخل والخارج وذلك بإضافة المقاومة R_C .
- وبالتالي فإن تيار المجمع I_C يعطى من العلاقة :

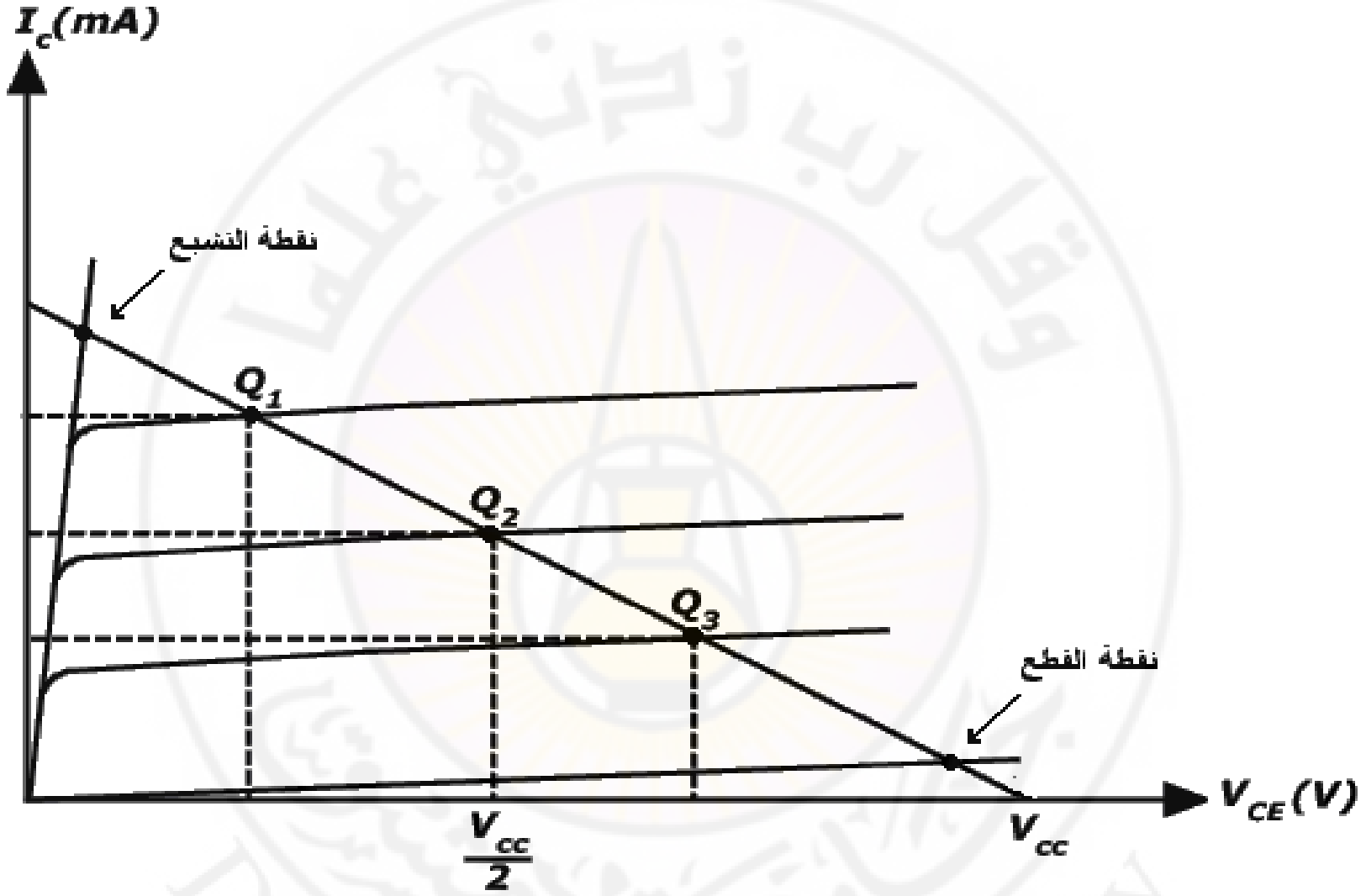
$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

• وبرسم العلاقة السابقة بيانياً نحصل على الخط المستقيم الموضح بالشكل التالي، ويسمى بخط الحمل الستاتيكى (DC Load Line).



- يقطع خط الحمل المحور الأفقي عند $(V_{CE} = V_{CC})$ وهى تمثل نقطة القطع وهى النقطة التي عندها تكون قيمة التيار $(I_C = 0A)$
- ويقطع خط الحمل المحور الرأسي عند $\left(I_{CC} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}\right)$ وهى تمثل نقطة التشبع وهى النقطة التي عندها تكون قيمة التيار المار بالمجمع أكبر ما يمكن وتكون قيمة الجهد $(V_{CE} = 0V)$

- ومن تقاطع خط الحمل مع المنحنيات المميزة للترانزستور كما هو موضح بالشكل التالي نستطيع اختيار نقطة التشغيل بحيث :
  - تكون في المنطقة الخطية للمنحنيات المميزة للترانزستور
  - تكون عند تقاطع خط الحمل مع أحد المنحنيات المميزة وعند قيمة معروفة للتيار القاعدي I_B
  - تكون وسط خط الحمل ويكون $\left(V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}\right)$ ويكون $\left(I_C = \frac{I_{CC}}{2}\right)$ ، ومن ثم فان النقطة Q_2 تسمي بنقطة التشغيل .



- ويجب أن نلاحظ أنه عندما يتغير تيار القاعدة من I_{B_2} إلى I_{B_3} على سبيل المثال فان نقطة التشغيل Q_2 تنتقل وتصبح عند Q_3 ، ومن ثم فإن نقطة التشغيل تتغير بتغير تيار القاعدة I_B .

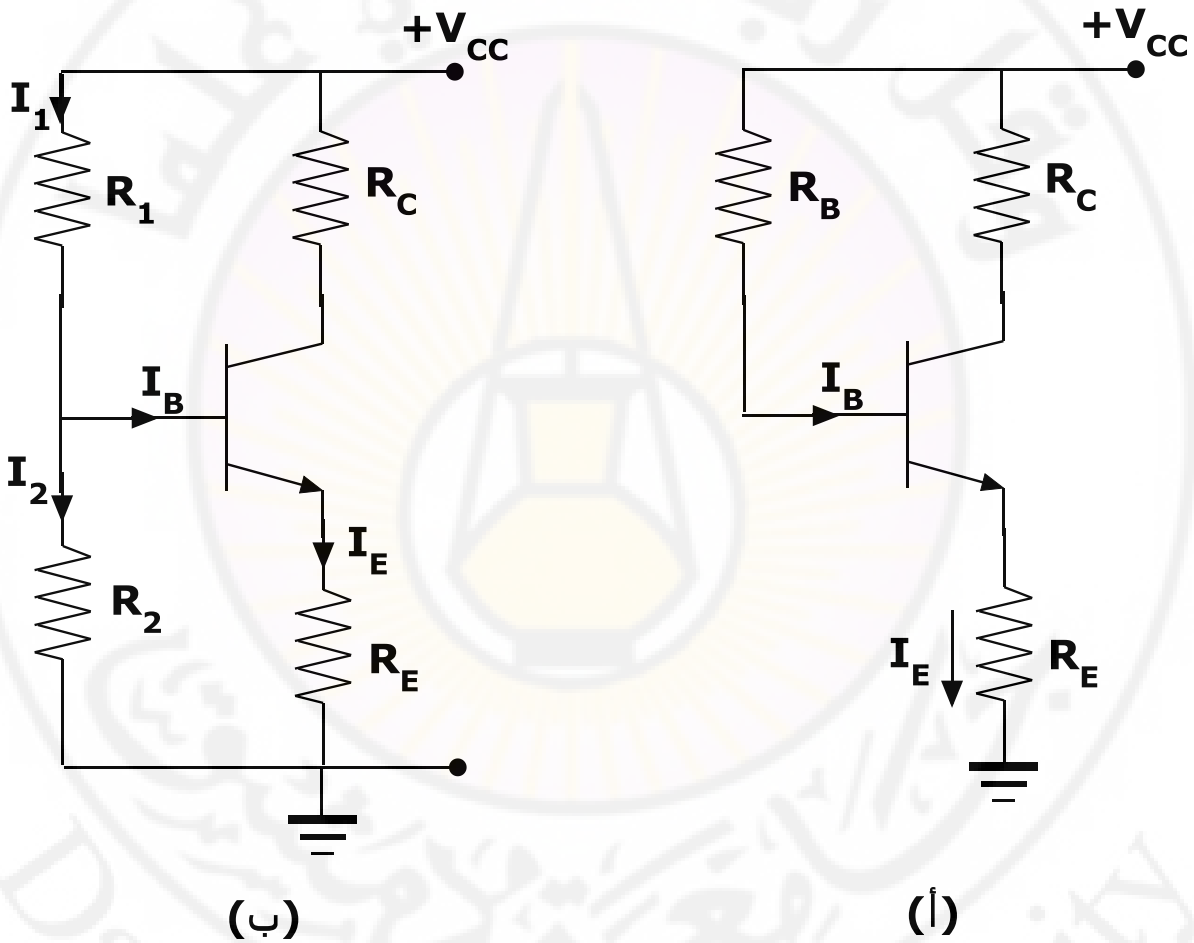
اختيار المقاومات المتصلة بقاعدة الترانزستور

- لكي تكون نقطة التشغيل (Q) وسط خط الحمل يجب علينا معرفة تيار القاعدة (I_B) الذي يتناسب مع هذه الحالة.
- وتكون معادلة تيار القاعدة (I_B) التي تعبر عن هذه الحالة هي :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \cong \frac{V_{CC}}{2\beta(R_C + R_E)}$$

- وباختيار قيم مناسبة للمقاومات التي تتصل بقاعدة الترانزستور نستطيع أن نحصل على القيمة المرجوة للتيار القاعدي طبقاً لاحتمالي التوصيل الموضح بالشكل التالي:
- نستطيع أن نحدد قيمة المقاومة R_B كما هو موضح بالشكل أ التالي، والتي ستعطى القيمة المناسبة لتيار القاعدة I_B من العلاقة التالية:

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E \quad ; \quad V_{BE} \cong 0.7V$$


+V_CC
R_B
R_C
I_B
I_E
R_E
(أ)
+V_CC
I_1
R_1
R_C
I_B
I_2
I_E
R_2
R_E
(ب)

- نستطيع أن نحدد قيمة كل من المقاومتين R_1 وR_2 الظاهرة في الشكل ب، واللتان ستعطيان القيمة المرجوة للتيار القاعدي I_B وذلك طبقاً للخطوات التالية:

١- نفترض أن التيار I_1 يمثل عشرة أضعاف تيار القاعدة I_B :

$$I_1 = 10\, I_B$$

٢- فإذا كان تيار القاعدة I_B يساوى: $I_B = I_1 - I_2$

٣- فإن التيار I_2 يساوى: $I_2 = 9 I_B$

٤- وبالتالي فإن المقاومة R_1 يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$V_{CC} = R_1 I_1 + V_{BE} + R_E I_E$$

٥- وكذلك المقاومة R_2 يمكن أن تحدد من العلاقة التالية:

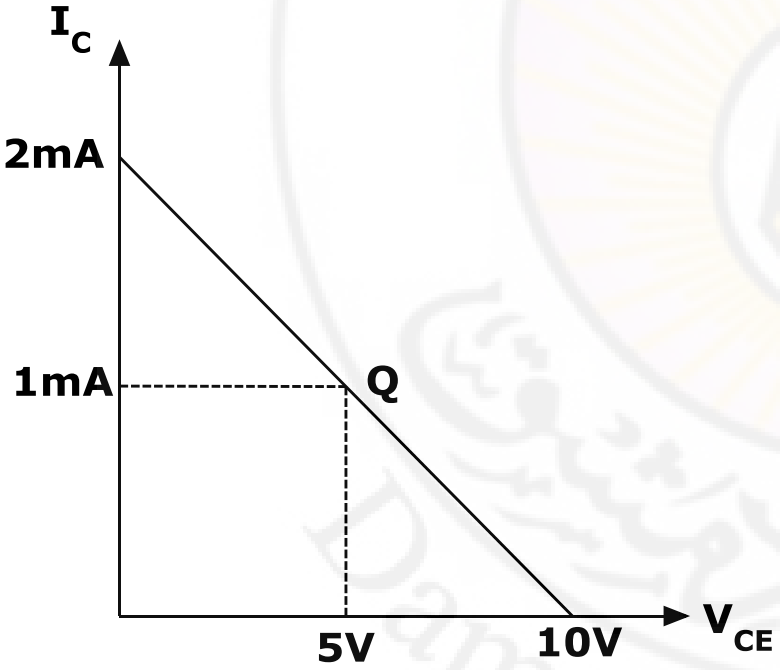
$$R_2 I_2 = V_{BE} + R_E I_E$$

مثال (١)

أ- ارسم خط الحمل وحدد نقطتي القطع والتشبع لترانزستور من النوع npn في الدائرة الموضحة بالشكل (أ) السابق. إذا علمت أن $R_C = 5K\Omega\ ,\ V_{CC} = 10V,\ R_E = 0\Omega$

ب- حدد قيمة المقاومة R_B بحيث تكون نقطة التشغيل وسط خط الحمل.علماً بأن :

$$\beta = 250\ ,\ V_{BE} = 0.7V$$



الإجابة

أ) خط الحمل:

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{5\times10^3} + \frac{10}{5\times10^3} \quad A$$

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{5} + 2 \quad mA$$

ب) قيمة المقاومة R_B التي تعطى نقطة التشغيل وسط خط الحمل :

- نستنتج من الرسم أن نقطة التشغيل تكون عند :

$$V_{CE} = 5V \ , \ I_C = 1mA$$

- ومن ثم فان تيار القاعدة المناظر يساوى :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10^{-3}}{250} = 4\times10^{-6}\ A = 4\mu A$$

- وحيث أن:

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

$$10 = 4\times10^{-6} R_B + 0.7$$

- فإن R_B تكون:

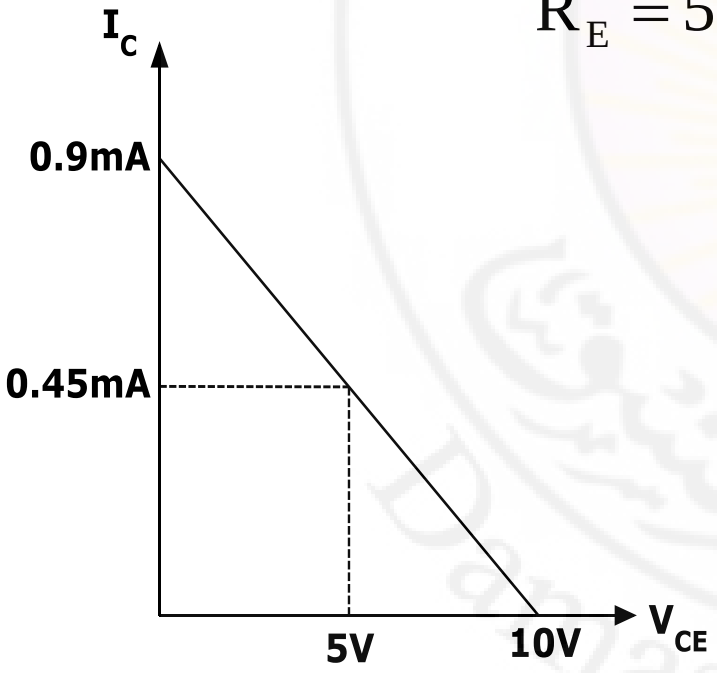
$$R_B = \frac{10 - 0.7}{4\times10^{-6}}$$

$$R_B \cong 2.3\times10^{6}\Omega = 2.3M\Omega$$

مثال (٢)

حدد قيمة كل من المقاومتين R_1 وR_2 في الدائرة الموضحة بالشكل (ب) السابق بحيث تكون نقطة التشغيل في وسط خط الحمل.علماً بأن :

$$I_1 = 10I_B \ , V_{CC} = 10V \ , R_C = 5K\Omega$$
$$R_E = 500\Omega \ , V_{BE} = 0.7V \ , \beta = 250$$



الإجابة

- عندما تكون نقطة التشغيل في وسط خط الحمل فان :

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{10}{2} = 5V \quad ,$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{2(R_C + R_E)} = \frac{10}{2(5\times10^3 + 500)} = 0.909mA$$

- ويكون تيار القاعدة I_B :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.909\times10^{-3}}{250} = 3.6\times10^{-6}\,A = 3.6\mu A$$

- ويكون I_1 يساوى:

$$I_1 = 10I_B = 36\mu A$$

- ويكون I_2 يساوى:

$$I_2 = 9I_B = 3.6\times9 = 32.4\mu A$$

- ومن ثم فان قيمة المقاومة R_1 :

$$V_{CC} = R_1 I_1 + V_{BE} + R_E I_C \qquad ; I_C \cong I_E$$

$$10 = \left(36\times10^{-6}\right)R_1 + 0.7 + \left(500\times0.91\times10^{-3}\right)$$

$$R_1 \cong 245K\Omega$$

- وكذلك فان قيمة المقاومة R_2 :

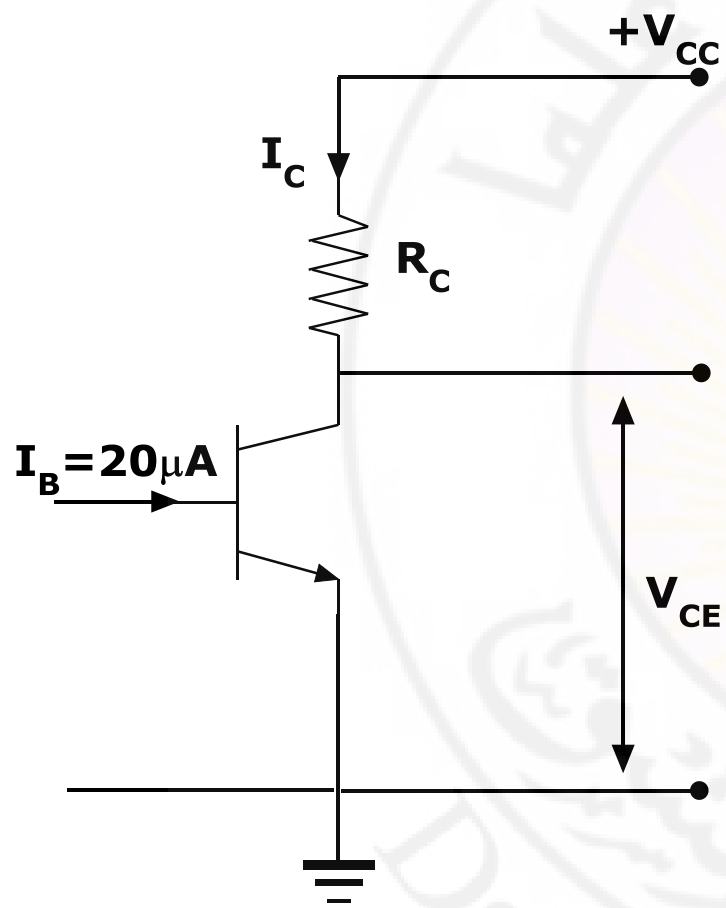
$$R_2 I_2 = V_{BE} + R_E I_C$$
$$\left(32.4\times10^{-6}\right)R_2 = 0.7 + \left(500\times0.91\times10^{-3}\right)$$
$$R_2 \cong 35K\Omega$$

- وتكون هذه القيم التي يمكن استخدامها في تجربة الترانزستور كمكبر للجهد (الجزء العملي من المقرر).

مثال(٣)

ترانزستور من النوع npn في دائرة الباعث المشترك يمر خلال قاعدته تيار انحيازي قيمته $(20\mu A)$. اوجد قيمة المقاومة (R_C) التي تعطى V_{ce} جهداً يساوى نصف قيمة جهد البطارية (V_{CC}) عند نقطة التشغيل . علماً بأن $(V_{CC} = 9V)$ ومعامل الكسب في التيار $(\beta = 150)$.

الإجابة



حيث أن معامل الكسب في التيار β هو :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

فإن تيار المجمع I_C يكون :

$$I_C = \beta \times I_B = 150 \times 20 \times 10^{-6} = 3mA$$

وحيث أن :

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

فإن قيمة المقاومة R_C تعطى على النحو التالي :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

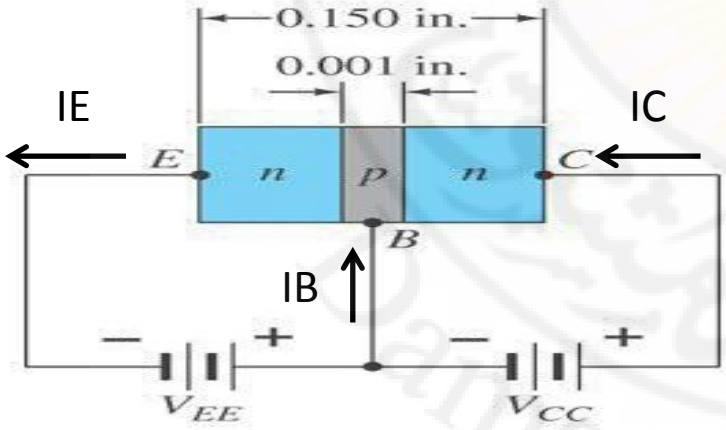
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CC}/2}{I_C}$$

$$R_C = \frac{9 - 4.5}{3 \times 10^{-3}} = 1.5K\Omega$$

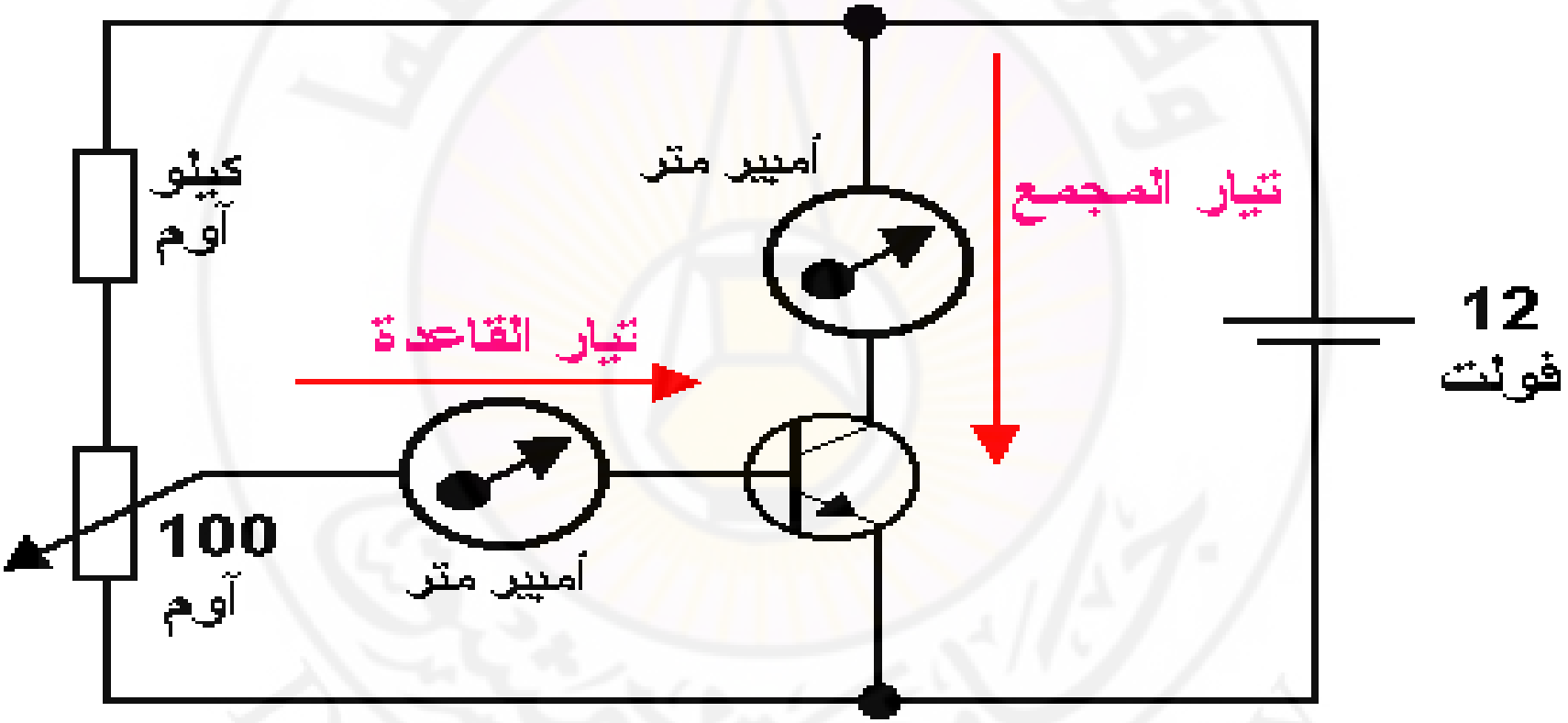
عمل الترانزستور كمكبر إشارة Amplifier NPN

إن الترانزستورات بشكل عام تستخدم في استخدامين أساسيين وهما: مكبرات للإشارة أو كمفتاح (قاطع إلكتروني).

من أجل استخدام الترانزستور في تكبير الإشارة يجب تهيئته وهذا يعني أنه يجب تأمين الانحيازات اللازمة لعمل الترانزستور، أي يجب تطبيق انحياز أمامي على الوصلة بين الباعث والقاعدة، وتطبيق انحياز عكسي على الوصلة بين القاعدة والمجمع كما هو مبين بالشكل التالي:



الترانزيستور كمكبر



دائرة اختبار عامل تكبير التيار في الترانزيستور

توصيل مقاومتان: واحدة ١كيلو آوم، والثانية مقاومة متغيرة للقاعدة، ومقياسان للأمبير واحد في القاعدة، والثاني للمجمع.
نغير في قيمة المقاومة المتغيرة حتى تصل قيمة التيار إلى الصفر، ثم يتم تغيير المقاومة حتى تصل قيمة تيار القاعدة ٠,٥ ميلي أمبير.
عند قياس تيار المجمع في كلتا الحالتين، فسنجد أنه:

في الحالة الأولى: لا يمر به تيار حيث لا يمر التيار في المجمع دون التيار في القاعدة.
في الحالة الثانية: ترتفع قيمة تيار المجمع بارتفاع تيار القاعدة.

وقد أدت قيمة ٠,٥ ميلي أمبير في القاعدة إلى ارتفاع تيار المجمع إلى ٥٠ ميلي امبير أي مائة ضعف.

بعد وصل الوصلة بين الباعث والقاعدة بجهد VEE سوف يتشكل على طرفي هذه الوصلة منطقة شحنة فراغية صغيرة نسبياً لأن الوصلة منحازة أمامياً، وبالتالي سوف تتحرك حوامل الشحنة الأكثرية (الالكترونات سالبة الشحنة) في طبقة الباعث نحو القاعدة، وستكون حركتها سهلة لأن الحقل الكهربائي المتشكل في منطقة الشحنة الفراغية ضعيف.

بعد أن تصل الالكترونات إلى طبقة القاعدة جزء صغير منها سوف يتحد مع الثقوب موجبة الشحنة الموجودة في طبقة القاعدة، وجزء صغير أيضاً من الالكترونات سوف يعبر عبر الوصلة B، ولكن الجزء الأكبر سوف يغادر القاعدة نتيجة جذبه من القطب الموجب الموصول مع المجمع وسوف تجتاز هذه الالكترونات الوصلة بين القاعدة والمجمع كون الالكترونات في طبقة القاعدة P تصبح حوامل شحنة أقلية.

بالتالي سيتشكل لدينا تيار للإلكترونات سالبة الشحنة، وعليه سوف يتشكل لدينا ثلاثة تيارات جهتها بعكس جهة حركة الالكترونات كما هو مبين على الشكل السابق وهذه التيارات هي:

- تيار IC: وهو تيار المجمع ويكون داخل إلى الترانزستور.

- تيار IB: وهو تيار القاعدة ويكون أيضاً داخل إلى الترانزستور.

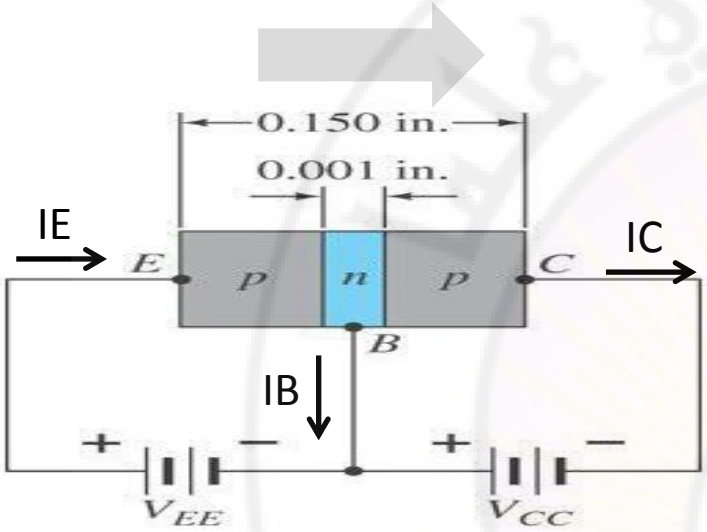
- تيار IE: وهو تيار الباعث ويكون خارج من الترانزستور.

إن تيار المجمع أكبر بكثير من تيار القاعدة لأن الجزء الأكبر من الالكترونات يمر عبر الوصلة C وحسب كيرشوف نجد:

$$IE = IB + IC$$

ملاحظة: الاشابة الخفيفة للقاعدة تساعد على انتقال الالكترونات إلى المجمع.

عمل الترانزستور كمكبر إشارة Amplifier PNP



نفس مبدأ الحالة السابقة، ولكن نعكس قطبية منابع الجهد المستمرة بحيث الوصلة بين القاعدة والباعث تكون منحازة أمامياً، والوصلة بين القاعدة والمجمع تكون منحازة عكسياً، وحوامل الشحنة الأكثرية الموجودة في طبقة الباعث، والتي هي من التوع P (حوامل الشحنة الأكثرية هي الثقوب) هي التي ستتحرك نحو القاعدة وجزء صغير منها سوف يتحد مع الالكترونات السالبة والجزء الأكبر سوف يعبر الوصلة بين المجمع والقاعدة، وبالتالي سوف يتشكل لدينا التارات التالية، واتجاهها بنفس اتجاه الثقوب:

- تيار IC: وهو تيار المجمع ويكون خارج من الترانزستور.

- تيار IB: وهو تيار القاعدة ويكون أيضاً خارج من الترانزستور.

- تيار IE: وهو تيار الباعث ويكون داخل إلى الترانزستور.

بالتالي حسب كيرشوف:

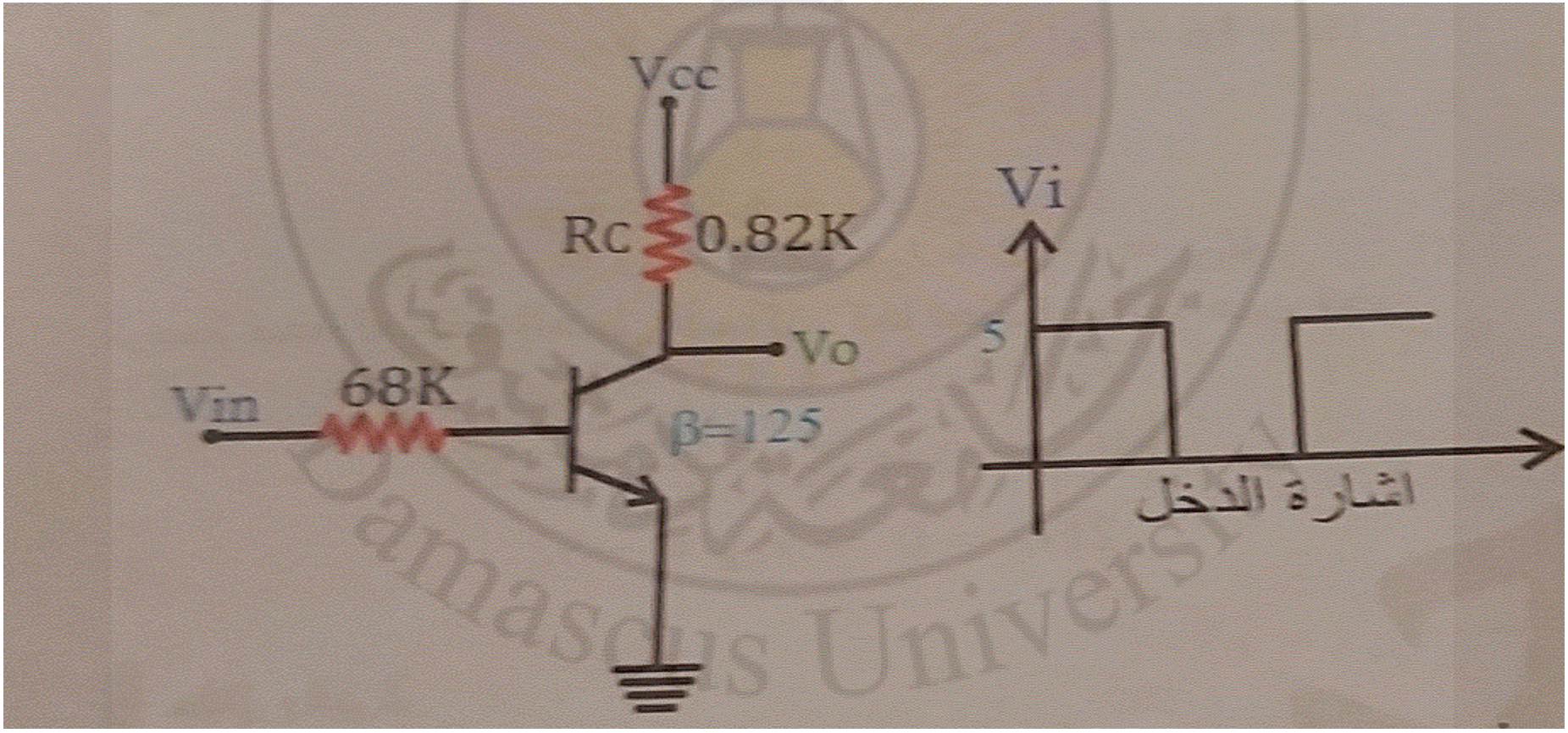
$$IE = IB + IC$$

ملاحظة: يوجد تيار يسمى تيار التسريب العكسي ICBO يخرج من القاعدة باتجاه المنبع VEE، ولكننا نهمله لأنه تيار ضعيف جداً وجهته من N إلى P.

عمل الترانزستور BJT كمفتاح أو قاطع

سنتعرف على هذا العمل من خلال حل المسألة التالية:

لدينا الدارة التالية، والموضحة بالشكل التالي، حيث VCC = 5V، والمطلوب رسم إشارة الخرج للدارة، ومناقشة حالات الترانزستور عند كل حالة كمايلي:



ملاحظة هامة: إذا كان IB > IBSAT، فيكون الترانزستور في حالة اشباع، وبالنظر إلى إشارة الدخل نلاحظ أنها تأخذ قيمتين، وسيتم مناقشة الترانزستور عند هاتين القيمتين كمايلي:

الحالة الأولى: الجهد المرتفع، أي عندما Vi = 5V

$$IB.RB + VBE = 5$$

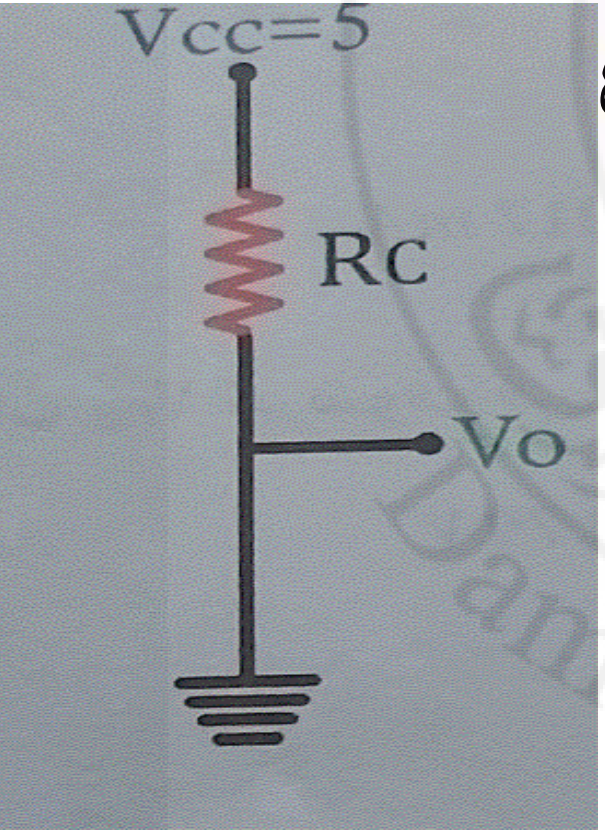
$$IB = (5 - 0.7)/68 = 0.063mA = 63\mu A$$

نقوم بحساب ICSAT كمايلي:

$$VCC = ICSAT.RC + VCESAT$$

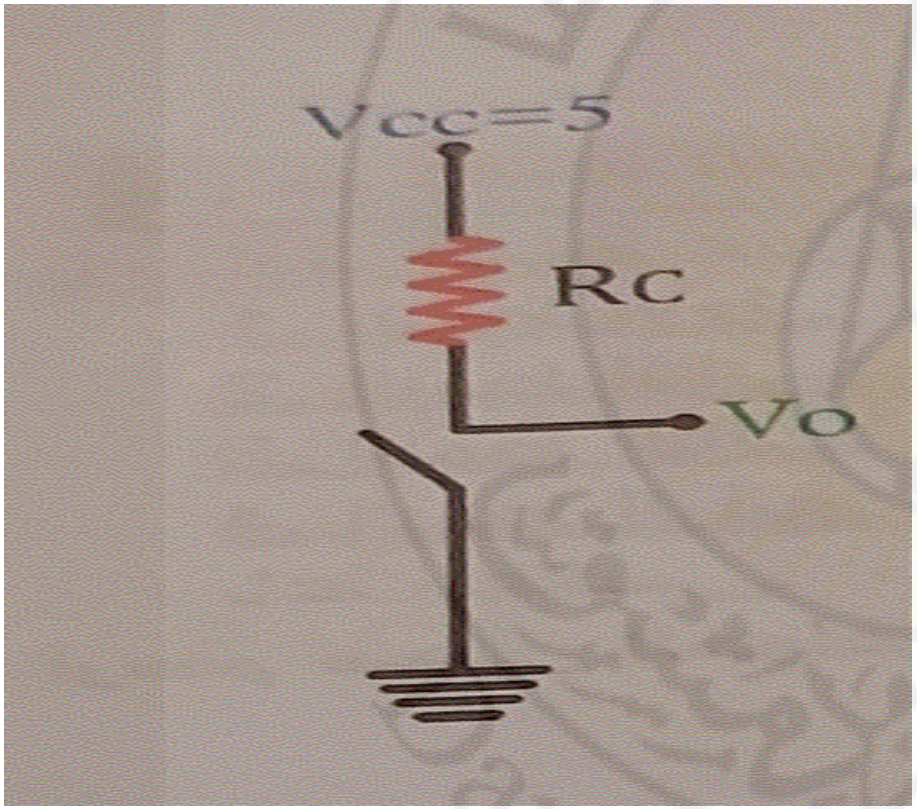
$ICSAT = VCC/RC = 5/0.82 = 6mA$، حيث $VCESAT = 0$.

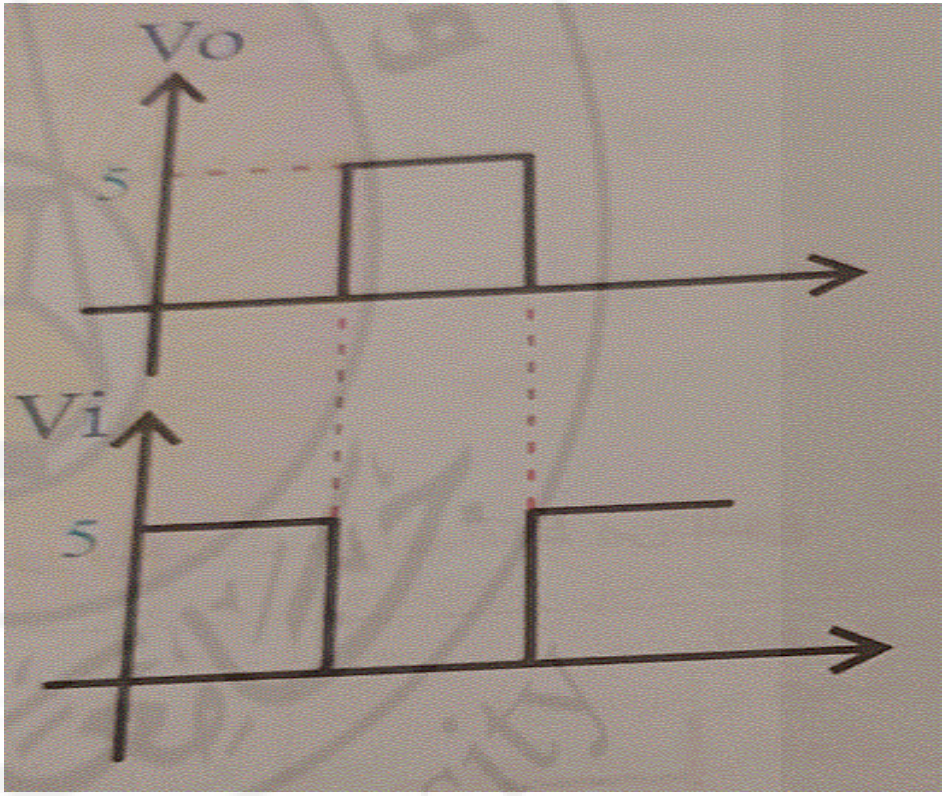
$$IBSAT = ICSAT/\beta = 6/125 = 48.8\mu A$$



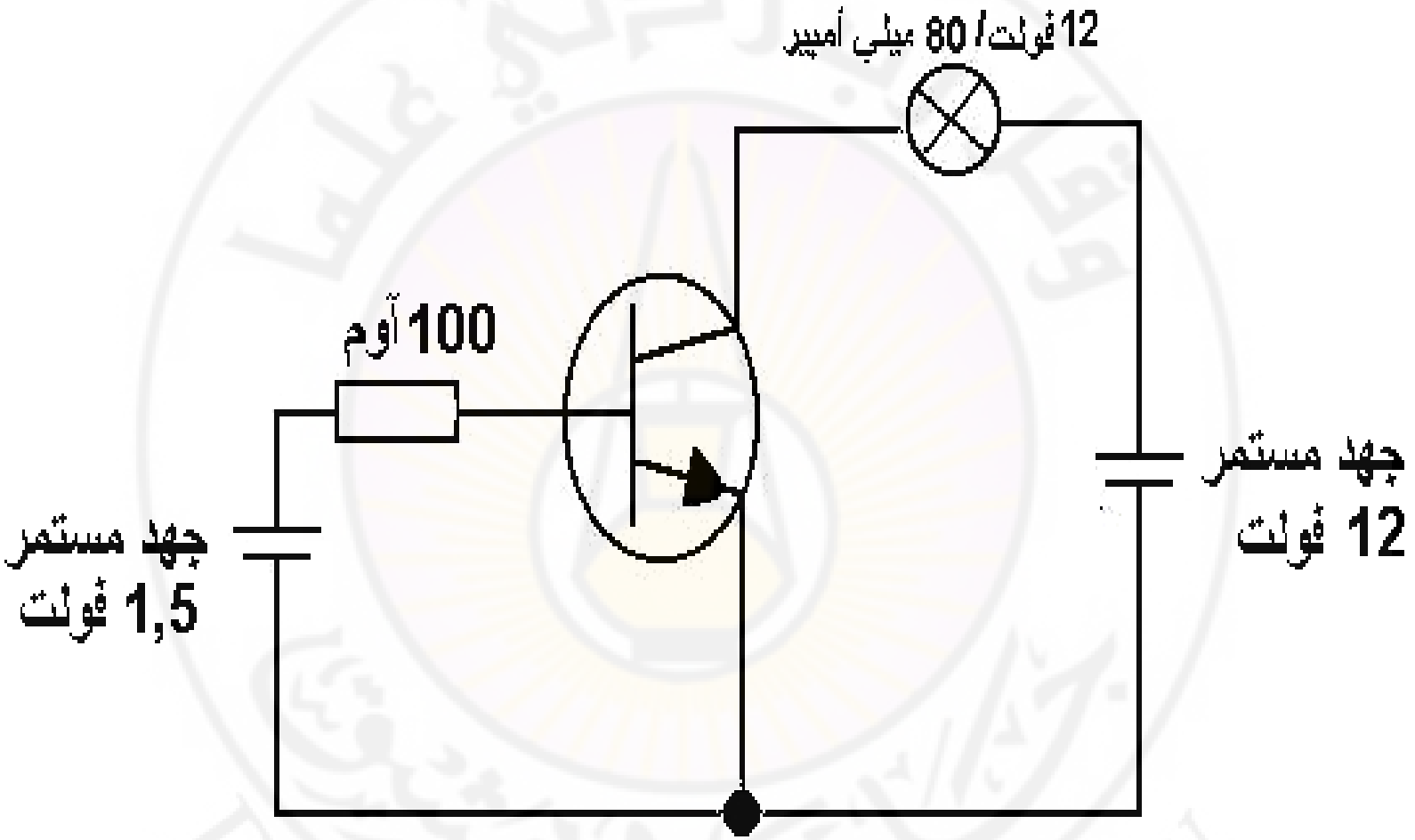
بما أن $IB > IBSAT$، فالترانزستور في حالة اشباع وتكون الدارة المكافئة للترانزستور بالشكل التالي (ترانزستور كقاطع مغلق)، $VCE = 0$ ونلاحظ أن جهد الخرج يساوي الصفر.

الحالة الثانية: الجهد المنخفض، أي Vi = 0: بما أن منبع الدخل يساوي الصفر، وبالتالي تيار القاعدة IB سيساوي الصفر وبالتالي تيار المجمع IC = 0، والترانزستور يعمل في حالة القطع، أي أن جهد الخرج يساوي جهد الدخل، ويساوي: Vo =5V.





من قيم النتائج السابقة نستنتج أن الترانزستور بهذه الحالة يعمل كمكبر عاكس..



ترانزيستور كمفتاح

Damascus University

دارة الترانزيستور كمفتاح:

تعريف المفتاح: وسيلة تحكم في اغلاق وفصل الدارة (حركة ميكانيكية).

المفتاح الالكتروني : يستخدم في الصناعة والحاسبات الآلية.

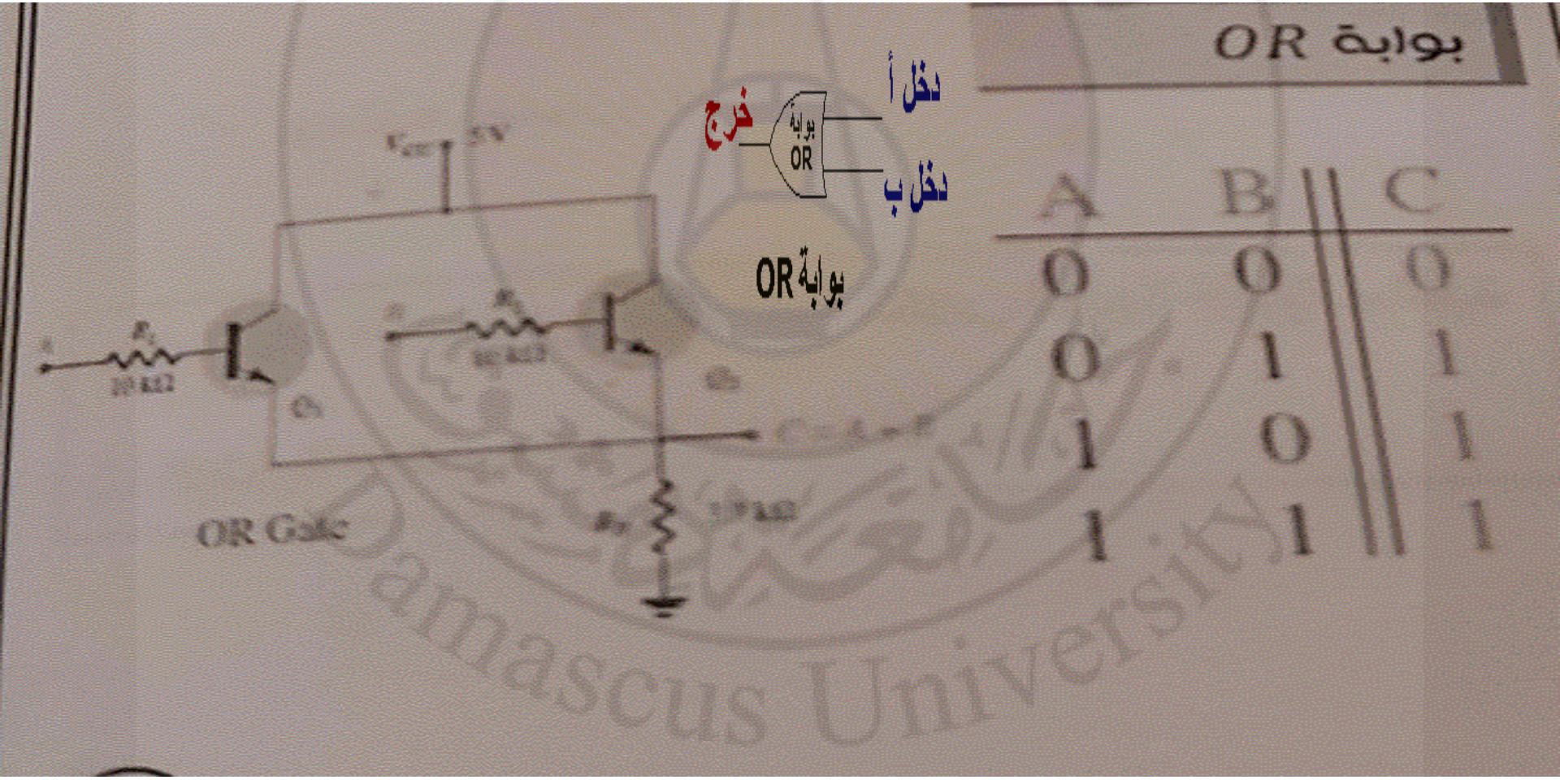
<u>وصف الدائرة :</u>

توصيل ترانزيستور NPN بمقاومة (١٠٠ آوم) ومصباح ومصدرين للجهد، المصدر الأول (١,٥ فولت) يتم توصيله بمجرى القاعدة – المشع (بالاتجاه أمامي، أي وصلة موجب الجهد بوصلة المقاومة التي قبل القاعدة)، ثم يتم توصيل مصدر الجهد الثاني (١٢ فولت) في دائرة المجمع(وصلات السالب لمصدري الجهد توصل ببعض)، ويتم توصيل المصباح بين المجمع وبين مصدر الجهد الثاني، وفي هذه الحالة يضيء المصباح.

وإذا تغيرت قطبية الجهد الأول وهو في مجرى القاعدة – المشع (أي تبدلت وصلات الجهد الأول – الموجب بالسالب) فسيطفئ المصباح، ولن يعمل ترانزيستور من نوع NPN بالاتجاه المعاكس، ويعمل (أي يوصّل) ترانزيستور NPN إذا كانت قطبية القاعدة والمجمع إيجابية بالنسبة للمشع، أما ترانزيستور PNP فهو يعمل إذا كانت قطبية القاعدة والمجمع سلبية بالنسبة للمشع.

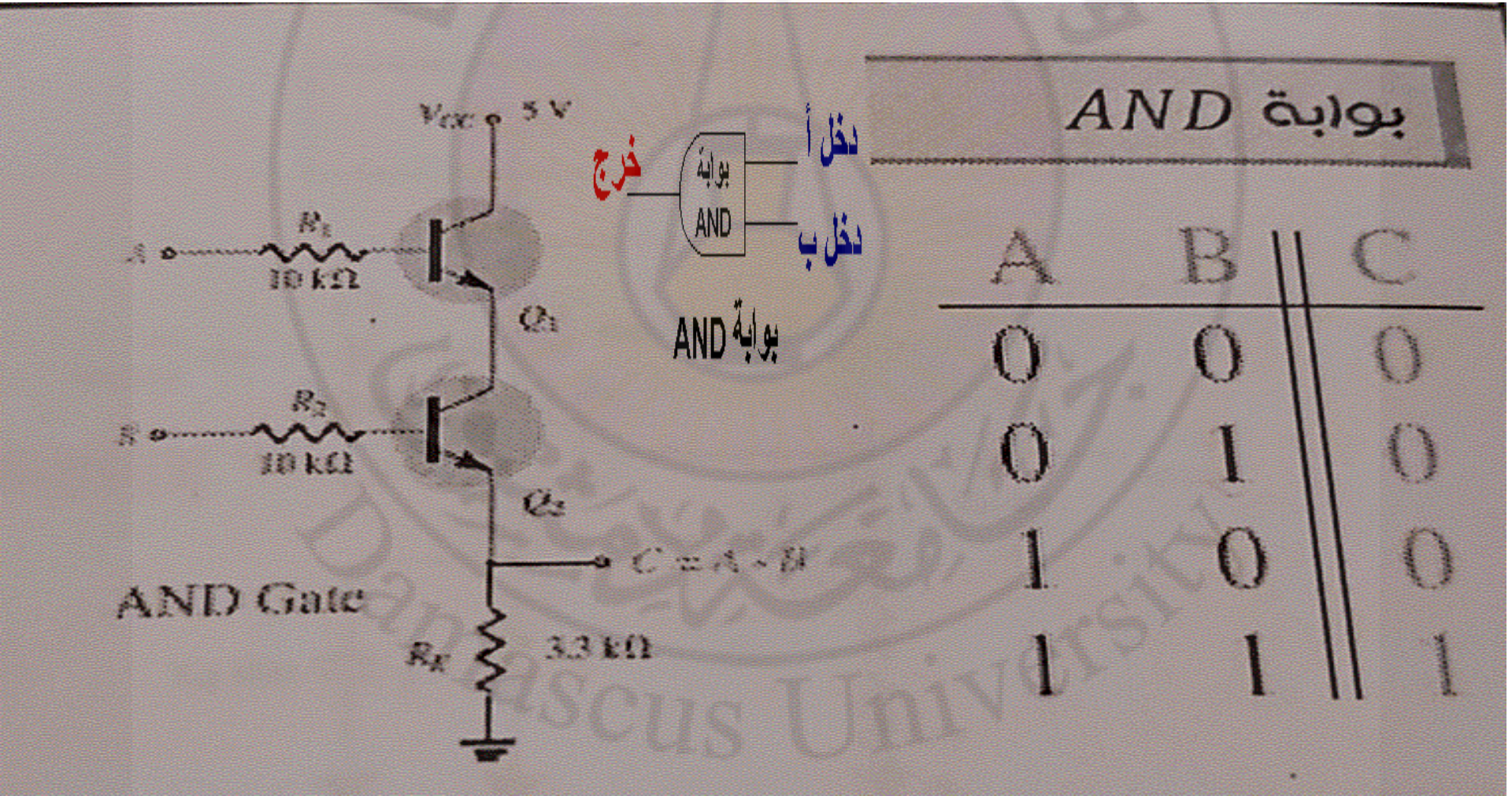
عمل الترانزستور BJT بالدارات المنطقية

ملاحظة ١: يعمل الترانزستور ثنائي القطبية عمل البوابة المنطقية OR إذا ما تم وصل ترانزستورين على التوازي، والشكل التالي يوضح ذلك:



عمل الترانزستور BJT بالدارات المنطقية

ملاحظة٢: يعمل الترانزستور ثنائي القطبية عمل البوابة المنطقية AND إذا ما تم وصل ترانزستورين على التسلسل، والشكل التالي يوضح ذلك:



بوابة AND

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

البوابات المنطقية

- Buffer.
- Inverter or NOT.
- AND.
- NAND.
- OR.
- NOR.
- EOR or XOR.

Buffer

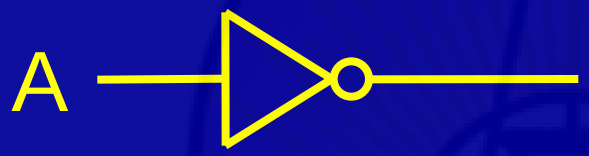
- يستخدم لاستنتاج أو اشتقاق بوابات أو أجهزة تتطلب متطلبات عالية.

A	Z
0	
1	

Buffer

A	Z
0	0
1	1

Inverter or NOT العاكس

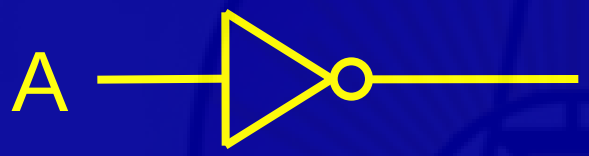


$Z = \overline{A}$

A	Z
0	
1	

Damascus University

Inverter or NOT العاكس

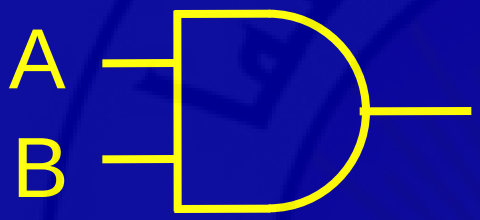


$Z = \overline{A}$

A	Z
0	1
1	0

Damascus University

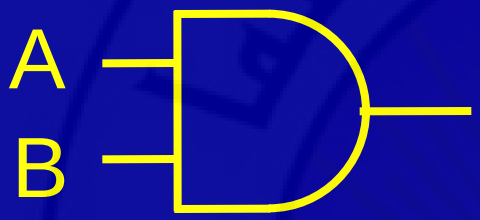
AND



$$Z = A \cdot B$$

A	B	Z
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

AND

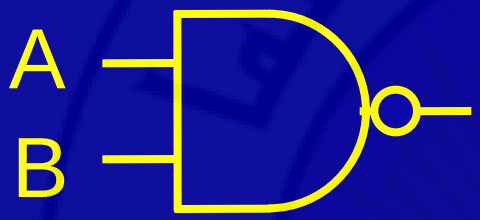


$$Z = A \cdot B$$

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Damascus University

NAND

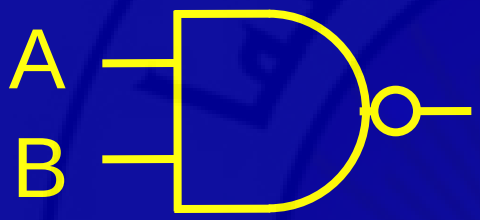


$$Z = \overline{A \cdot B}$$

A	B	Z
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Damascus University

NAND

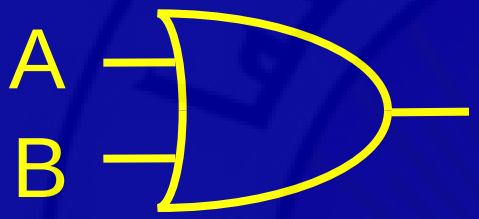


$$Z = \overline{A \cdot B}$$

A	B	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Damascus University

OR

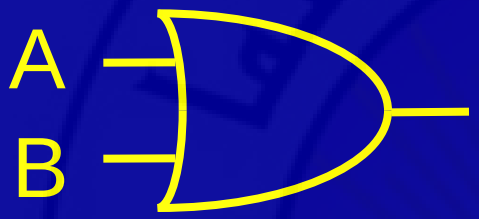


$Z = A + B.$

A	B	Z
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Damascus University

OR

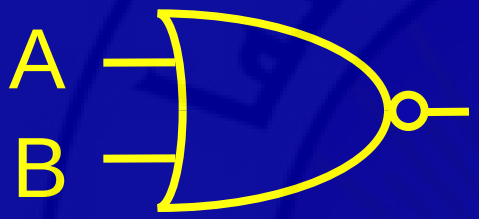


$Z = A + B.$

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Damascus University

NOR

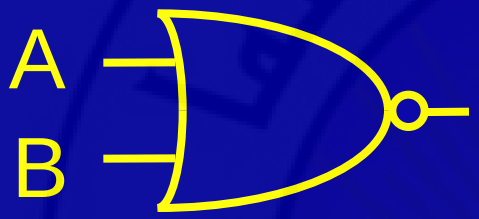


$$Z = \overline{A + B}.$$

A	B	Z
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Damascus University

NOR

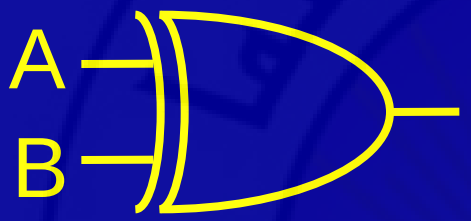


Z

$$Z = \overline{A + B}.$$

A	B	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

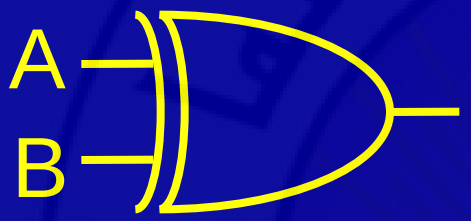
XOR



$Z = A \oplus B$

A	B	Z
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

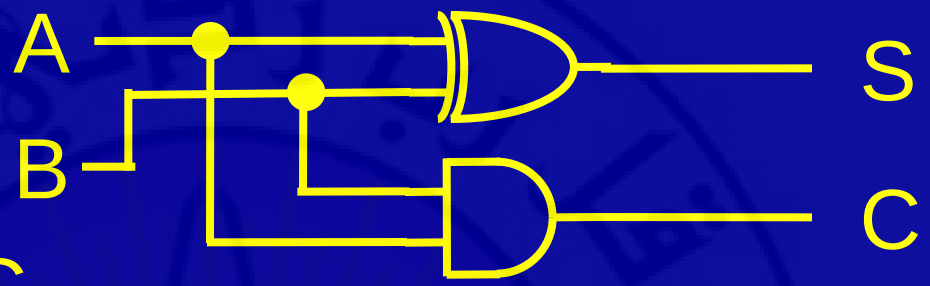
XOR



$Z = A \oplus B$

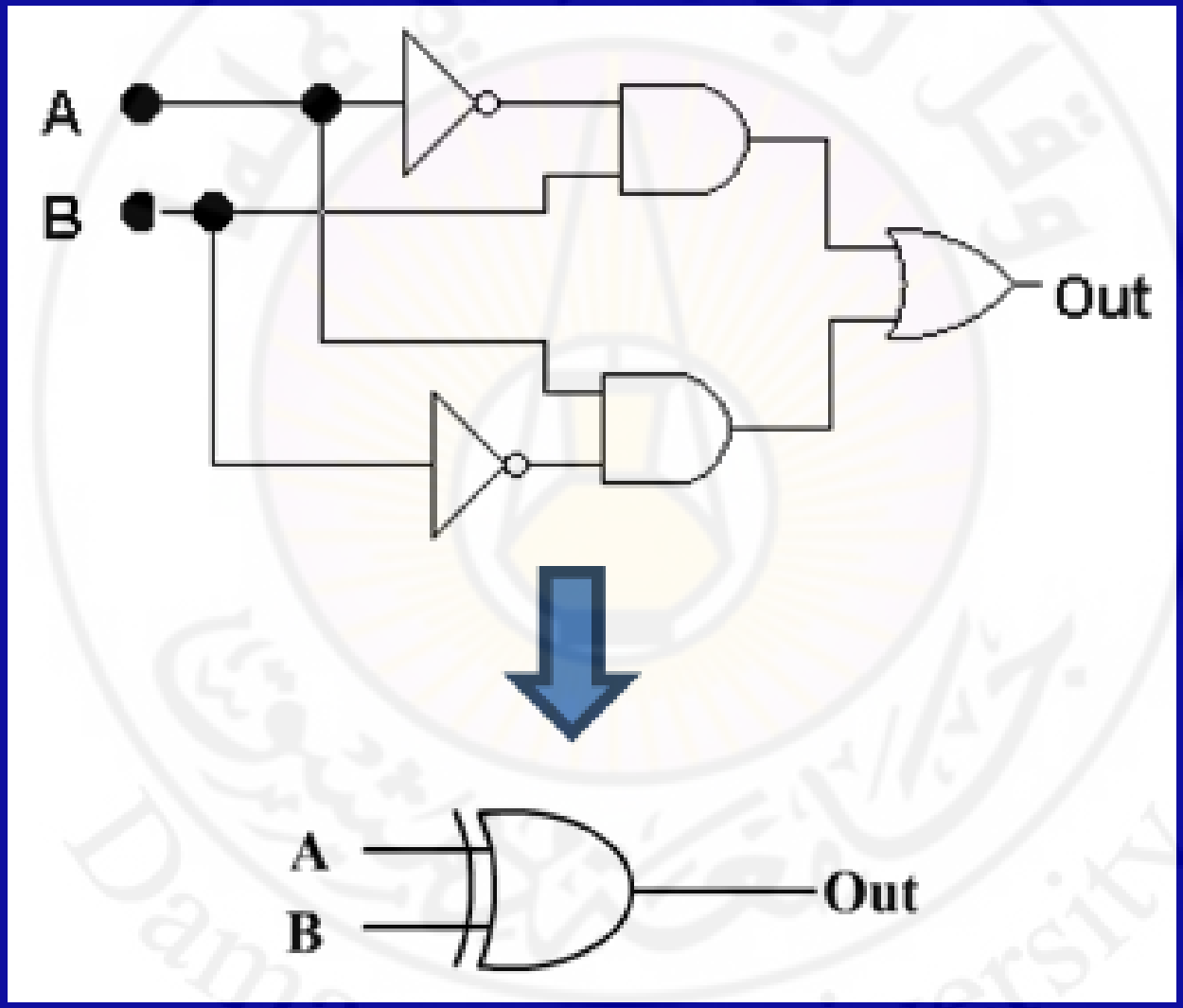
A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Damascus University



A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Damascus University


A
B
Out
A
B
Out