١

الجهود و التيارات المترددة

الاهداف :

عند الإنتهاء من دراسة هذا الباب يكون الطالب قادرا على أن :

(١)يعرِّف طبيعة الجهد و التيار.

(٢)يعرِّف قيم الكميات المختلفة لموجة التيار المتردد.

(٣) يحدد الموجات و الداوئر المختلفة.

(٤) يرسم المتجهات لقيم الجهد و التيار.

(٥) يجرى الحسابات اللازمة لايجاد قيم الكميات المختلفة.

(٦) يربط بالمعادلات العلاقات بين الكميات المختلفة

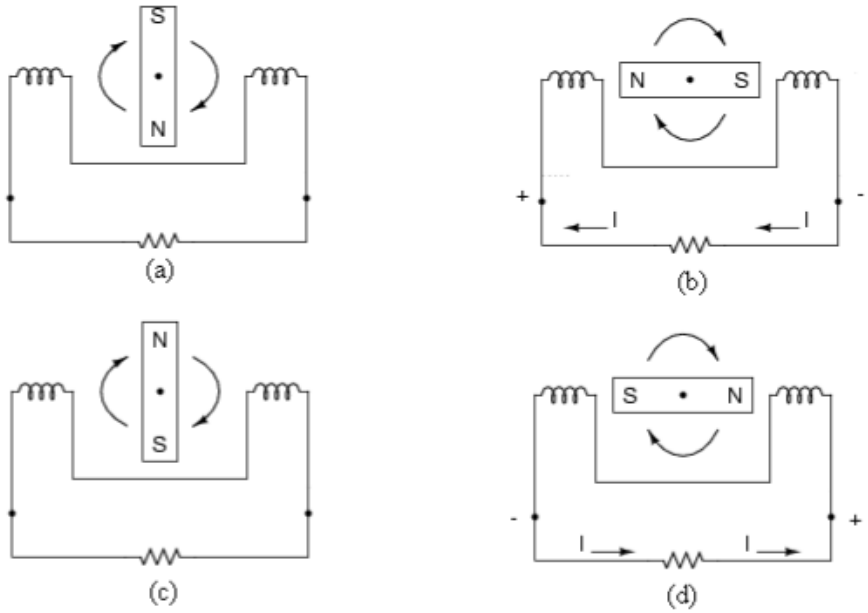
مقدمة :

يكون التيار (او الجهد) مترددا اذا تغير اتجاهه و قيمته بصفة دورية منتظمة مع الزمن t، بحيث يمر فى كل دورة بنفس التغيرات التى مر بها فى الدورة السابقة.

كيفية توليد التيار المتردد:

اذا وضع موصل كهربائى فى مجال مغنطيسى متغير فانه ينتج فيه قوة دافعة كهربائية مستحثة حسب قانون فاراداى.

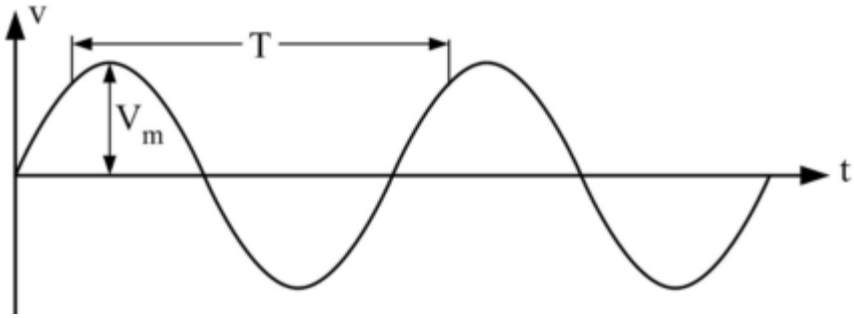
والشكل ١-١ يوضح مولد تيار متردد يحتوى على قطبين مغناطيسيين شمالى(N) و جنوبى (S) يدوران فى اتجاه عقرب الساعة. المجال المنغطيسى الذى يقطع موصلات الملفين سيولد قوة دافعة كهربائية فى هذه الموصلات. هذه القوة ستسبب مرور تيار اذا اغلقت دائرة الملفات عن طريق الحمل. و يكون اتجاه التيار مترددا و يمر بالصفر فى الشكلين (a) و (c) كما يمر بقيمته العظمى فى الشكل (b) و يمر بقيمته العظمى فى الاتجاه المعاكس فى الشكل (d).



الشكل (١-١)

التيار المتردد الجيبى:

اذا كان التيار (او الجهد) مع الزمن على شكل دالة جيبية فنقول ان التيار (او الجهد) متردد جيبى ، و هذا الشكل هو الاكثر استعمالا حيث ان المولدات المستعملة فى الشبكات الكهربائية تنتج جهودا قريبة جدا منه. و يمثل الشكل ٢-١ جهدا مترددا جيبيا



الشكل ٢-١: الجهد الجيبى المتردد

الموجة:

هى المسار الذى يرسمه الجهد (او التيار) بدلالة الزمن او بدلالة كمية اخرى (كزاوية الطور كما سنرى فيما بعد). و نسمى نصف الموجة فوق المحور الافقى النصف الموجب، اما الاخر فيسمى النصف السالب.

التردد(f) و الزمن الدورى (T):

التردد f هو عدد الدورات التى ترسمها الموجة فى وحدة الزمن، ووحدته الهرتز(Hertzو رمزه Hz) وهو يمثل عدد الدورات فى الثانية. و الزمن اللازم لكى تكمل الموجة دورة كاملة يسمى الزمن الدورى او زمن الدورةT و بما انه كلما انخفضت الدورة ازداد التردد بنفس النسبة، نستخلص ان

$$T = \frac{1}{f}1$$

القيمة اللحظية:

نسمى قيمة الجهد (او التيار) معينtبالقيمة اللحظية للجهد (او التيار)، و نرمز لها ب v اوi. و اكبر قيمة للقيمة اللحظية تسمى القيمة العظمى للجهد (او التيار) و رمزها V_m او I_m. و نستطيع ان نحسب القيمة اللحظية للجهد باستعمال الطريقة الموضحة فى الشكل ٣-١: نمثل مسار الجهد بنقطة A تدور فى محيط دائرة بسرعة زاوية ω (و تسمى كذلك التردد الزاوى ووحدتها الراديان لكل ثانية rad/s) بحيث ان المسافة Aa من النقطة A الى الاسقاط العمودى لهذه النقطة على المحور الافقى تعطى القيمة اللحظية. و يساوى نصف قطر الدائرة OA القيمة العظمى للجهد، اما الزاوية α بين نصف القطر OA و المحور الافقى فانها تسمى زاوية طور الجهد و تعطى بالمعادلة:

$$\alpha = \omega t + \theta_v \qquad 2$$

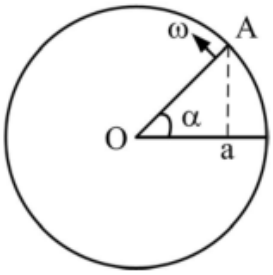
حيث θ_v هى زاوية طور الجهد فى بداية الزمن (t=0).

بما ان التردد يعطى عدد الدورات فى وحدة الزمن ، و حيث ان دورة واحدة تناسبها زاوية ٢π راديان، فان العلاقة بين السرعة الزاوية و التردد هى:

$$w=2\,\pi\,f \qquad 3$$

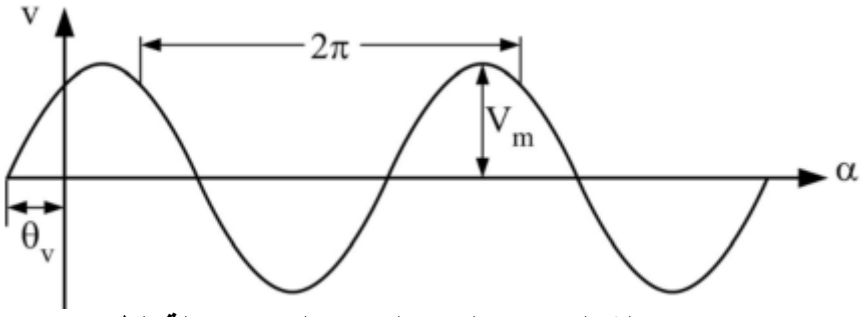
بناء على ما سبق نكتب القيمة اللحظية للجهد كما يلى:

$$\left.\begin{array}{c} v(t) = V_m \sin\alpha \\ v(t) = V_m \sin(\omega\, t + \theta_v) \\ v(t) = V_m \sin(2\,\pi\, f\, t + \theta_v) \end{array}\right\} \quad 4$$



الشكل ٣-١: طريقة تحديد القيمة اللحظية لموجة جيبية

و نمثل موجة الجهد (او التيار) بدلالة الزاوية α كما فى الشكل ٤-١



الشكل ٤-١: الجهد المتردد الجيبى بدلالة الطور

المعادلة العامة للموجة الجيبية هي

وتاخذ θ القيم:

(١) θ = صفر عندما تمر بالنقطة الاصل.

(٢) θ= موجبة إذا تقدمت الموجة عند نقطة الاصل.

(٣) θ =سالب إذا تاخرت المجة عن نقطة الاصل.

القيمة المتوسطة و القيمة الفعالة:

تعرف القيمة المتوسطة خلال الفترة الزمنية T_0 لاى دالة a(t) تتغير مع الزمن

هى المساحة المحصورة بين منحنى الدالة a(t) و المحور الافقى مقسومة على الفترة الزمنية التى نحسب خلالها هذه القيمة المتوسطة. و تجدر الاشارة الى ان المساحة تعتبر موجبة اذا كان المنحنى فوق المحور الافقى و تعتبر سالبة اذا كان المنحنى تحت المحور.

نعرف القيمة الفعالة لتيار متردد بانها القيمة التى تنتج نفس القدرة الحرارية فى مقاومة R كالتى ينتجها تيار مستمر معين.

بما ان قيمة التيار المتردد تتغير ، فان القدرة الحرارية الناتجة هى القدرة المتوسطة (خلال دورة T)

اما القدرة التى ينتجها تيار مستمر I_{dc} فهى

$$P_{dc} = RI_{dc}^2 = V_{dc}I_{dc} = \frac{V_{dc}^2}{R} \quad 5$$

بما ان

$$P_{dc}=P_{ac} \quad 6$$

و نرمز للقيمة الفعالة (التى تساوى I_{dc}) بالرمز I او I_{rms}. و الرمز الاخير يعنى الجذر التربيعى لمتوسط مربع التيار(Root Mean Square). حيث ان

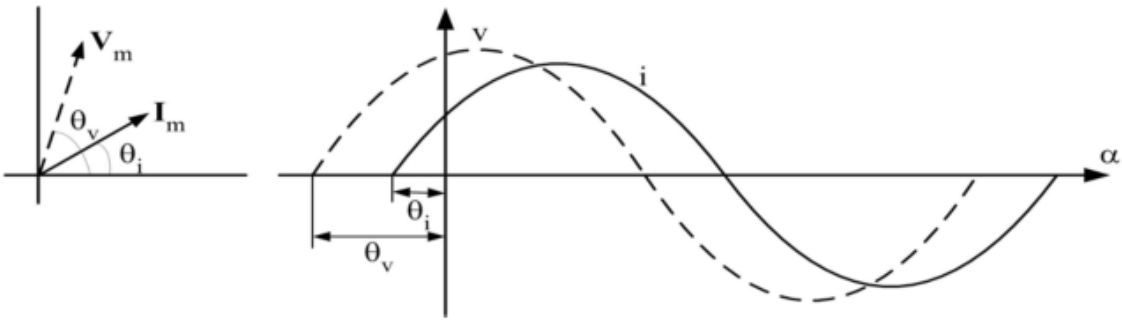
$$V_{rms} = V_{dc} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m \quad 7$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \quad 8$$

التمثيل الاتجاهى و المطاور(Phasor):

لكى يتم تطبيق قانون اوم (و قوانين كيرشوف) فى دوائر التيار المتردد بطريقة سهلة نستعمل مفهوم الجهد المطاور و التيار المطاور و مفهوم المعاوقة المركبة. لقد راينا من قبل (الشكل ٣-١) اننا نستطيع تمثيل الجهد (او التيار) الجيبى بمتجه يساوى قياسه القيمة القصوى للجهد و يدور بسرعة زاوية تساوى التردد الزاوى لهذا الجهد. و بما ان كل تيارات و جهود الدائرة لها نفس التردد الزاوى ، فان متجهاتها تدور بنفس السرعة، و بهذا تبقى الزاوية الفاصلة بين اى متجهين ثابتة بالنسبة للزمن و تساوى قيمتها عند الزمن t=0 . و لتسهيل الحسابات نرسم كل المتجهات عند بداية الزمن. و يمثل الشكل ٥-١ العلاقة بين الكميات الجيبية v و iو متجهاتها V_mو I_m ، حيث ان طورى v و i عند بداية الزمن هما θ_v و θ_i على التوالى.

و علما باننا نستعمل القيم الفعالة للجهود و التيارات فى تحليل الداوئر عوضا عن القيم القصوى ، فانه من الافضل اخذ القيمة الفعالة كطول للمتجه (اى نقسم قيم المتجهات على √٢. و فى هذه الحالة فاننا نرمز لمتجه v مثلا بالرمز V بدلا من V_m.



الشكل ٥-١:العلاقة بين موجتى الجهد و التيار و متجهاتها

و نستطيع تمثيل متجه الجهد (او التيار) بعدد مركب، قيمته الحقيقية هى احداثية المتجه فى المحور الافقى و قيمته التخيلية هى احداثية المتجه فى المحور العمودى، يسمى الجهد (او التيار) المطاور، و هذا التمثيل يسهل كثيرا الحسابات فى دوائر التيار المتردد ، و هكذا نحول الجهد الجيبى

الى الجهد المطاور

$$V = V \angle\theta_v \quad 9$$

حيث V هو مقياس الجهد المطاور (القيمة الفعالة للجهد) و θ_v هى ازاحته الزاوية (طور الجهد عند بداية الزمن). و نلاحظ هنا اننا استعملنا الصيغة القطبية للجهد المطاور، و هذا يسهل عمليتى الضرب و القسمة.

اما الصيغة المتعامدة و التى تسهل حسابات الجمع و الطرح فهى

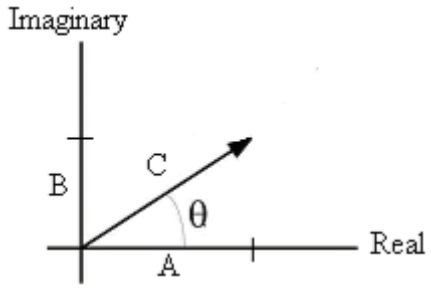
$$V = V\cos\theta_v + j\,V\ \sin\theta_v \quad 10$$

حيث j=√-1.

و يسمى المخطط المبين للجهود و التيارات المطاورة فى دائرة ما بالشكل المطاور(Phasor diagram).

جبر المتجهات:

فى اغلب الحالات ان لم يكن فى كلها نحتاج الى الجمع او الطرح او الضرب او القسمة بين التيارات او الجهود المترددة حل المسائل المتعلقة بدوائر التيار المتردد. و بما ان التيارات و ان التيارات و الجهود و المعاوقات تمثل بمتجهات او اعداد مركبة لذا وجب شرح جبر المتجهات او الاعداد المركبة. و يمكن تحليل المتجه C فى المستوى المتعامد الى المركبتين A على المحور الافقى (Real) و المركبة B على المحور التخيلى (Imaginary) كما موضح فى الشكل ٦-١



الشكل ٦-١:تمثيل متجه او عدد مركب

و تكتب الصيغة المتعامدة للمتجه C كالاتى:

$$C = A + jB \quad 11$$

اما الصيغة القطبية للعدد المركب C فتكتب

$$C = |C|(\cos\theta + j\ \sin\theta) = |C|\angle\theta \quad 12$$

حيث

$$|C| = \sqrt{A^2 + B^2} \quad ; \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right) \quad 13$$

$$A = |C|\cos\theta \quad ; \quad B = |C|\sin\theta \quad 14$$

جمع و طرح الاعداد المركبة:

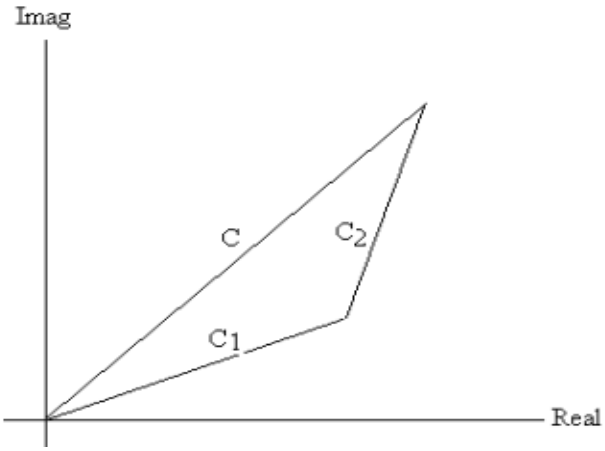
تجمع (او تطرح) الاعداد المركبة بحيث يكون العدد الحقيقى للعدد المركب الناتج هو حاصل جمع (او طرح) الاعداد الحقيقة للاعداد المركبة المضافة، و يكون العدد التخيلى للعدد المركب الناتج هو حاصل جمع (او طرح) الاعداد التخيلية للاعداد المركبة المضافة، اى

$C_1=A_1+jB_1$;

$C_2=A_2+jB_2$

$C=C_1 \pm C_2=(A_1+A_2) \pm j(B_1+B_2)$

و لتسهيل عمليتى الجمع و الطرح نستعمل التمثيل المتعامد للاعداد المركبة، و يمثل الشكل ٧-١ جمع عددين مركبين بيانيا



الشكل ٧-١: جمع عددين مركبين

ضرب و قسمة الاعداد المركبة:

تضرب الاعداد المركبة بحيث تكون القيمة المطلقة للعدد المركب الناتج هى حاصل ضرب القيم المطلقة للاعداد المركبة المضروبة فى بعضها، و تكون زاوية العدد المركب الناتج هى حاصل جمع زوايا الاعداد المركبة المضروبة فى بعضها، اى

اما القسمة فتكون حسب القاعدة التالية

اذن لتسهيل عمليتى الضرب و القسمة نستعمل التمثيل القطبى للاعداد المركبة.

امثـــــلة:

مثال (١)

احسب زمن دورة موجة مترددة ترددها يساوى:

(أ) ٥٠ Hz (ب) ٦٠Hz

الحل:

(أ) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02\ s = 20\ ms$

(ب) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0.01667\ s = 16.67\ ms$

مثال (٢)

احسب التردد الزاوى لموجة مترددة ترددها 60 Hz.

الحل:

$\omega = 2\ \pi\ f = 2\ \pi \times 60 = 377$ rad/s

مثال (٣)

اذا كانت معادلة موجة الجهد هى:

استنتج ما يلى:

(أ) القيمة العظمى.

(ب)زاوية الطور عند الزمن .

(ج) زاوية الطور عند الزمن t=0.025 s.

(د) القيمة اللحظية عند الزمن t=0.025 s.

الحل:

(أ) Vm=100 V

(ب) $\Theta v = (\pi/6)\ rad = 30^{0}$

(ج) $\alpha = 377 \times 0.025 + (\pi/6) = 9.95\ rad = (9.95 \times 180/\pi)\ deg = 570^{0}$

(د) $v = 100 \times \sin 570^{0} = -50\ V$

مثال (٤)

مقاومة R قيمتها ٥٠ اوم، اذا كان جهد التيار المستمر بين طرفيها V_{dc}=220 V ، احسب القيمة العظمى للتيار المتردد الذى ينتج نفس القدرة فى المقاومة، و احسب قيمة هذه القدرة.

الحل:

نحسب قيمة التيار المستمر I_{dc} باستعمال قانون اوم

$I_{dc}= (V_{dc}/R) = 220/50 = 4.4$ A

القيمة الفعالة للتيار المتردد I تساوى قيمة التيار المستمر الذى يعطى نفس القدرة فى المقاومة ، اى

$I = I_{dc} = 4.4$ A

القيمة العظمى للتيار المتردد تحسب باستعمال المعادلة

$I_m = \sqrt{2}\, I = \sqrt{2} \times 4.4 = 6.2$ A

القدرة الحرارية الناتجة فى المقاومة

$P = R\,(I)^2 = 50 \times (4.4)^2 = 968$ W

مثال (٥)

اوجد الجهد المطاور للجهد المتردد

الحل:

القيمة الفعالة االجهد تعطى بالمعادلة

اما قيمة الجهد المطاور فهو

$V = 100 \angle 30^{o}$

مثال (٦)

اذا كان $C_1 = 5+j23$ و $C_2 = -3.5+j8$ ، اوجد C_1+C_2 ، C_1-C_2 ، C_2C_1 ، C_1/C_2. و اكتب الناتج بالصيغتين المتعامدة و القطبية.

الحل:

الجمع

$C=C_1+C_2 = (5-3.5) + j\,(23+8) = 1.5+j31$

و باستعمال القانون (١٣)

$$|C| = \sqrt{(1.5)^2}$$

الطرح

$C=C_1- C_2 = (5 + 3.5) + j\,(23 - 8) = 8.5 + j\,15$

و باستعمال القانون (١٣)

$$|C| = \sqrt{(8.5)^2}$$

الضرب

نستعمل القانون (١٣) لتحويل العددين للصيغة القطبية

$|C_1| = \sqrt{(5)^2}$

$|C_2| = \sqrt{(-3.5}$

$|C| = 23.5 \times 8$

و باستعمال القانون (١٤)

A = 204.5 cos(191.3) = -200.5; B = 204.5 sin (191.3) = -40.1⇒ C = -200.5 – j 40.1

القسمة

$C_1 = 23.5 \angle 77$

$|C| = \frac{23.5}{8.7} = 2$

و باستعمال القانون (١٤)

A = 2.7 cos (-35.9) = 2.19; B = 2.7 sin (-35.9) = -1.58 ⇒ C = 2.9 – j 1.58

التقويم:

(١)عرِّف طبيعة الجهد و التيار.

(٢)عرِّف قيم الكميات المختلفة لموجة التيار المتردد.

(٣) حدد الموجات و الداوئر المختلفة.

(٤) أرسم المتجهات لقيم الجهد و التيار.

(٥) احسب التردد الزاوى لموجة مترددة ترددها 50 Hz.

(٦) اذا كان C_1 =5+j23 و C_2 =-3.5+j8 ، اوجد C_1+C_2 ، C_1-C_2 ، C_2C_1 ، C_1/C_2. و اكتب الناتج بالصيغتين المتعامدة و القطبية.

٢

دوائر التيار المتردد طور واحد

الاهداف :

عند الإنتهاء من دراسة هذا الباب يكون الطالب قادرا على أن :

(١) يحدد العلاقة بين تاثير الجهد المتردد على عناصر المقاومة و الملف و المكثف فى التوصيلات المختلفة.

(٢) يحلل دوائر التيار المتردد.

(٣)يعرِّف تاثير المقاومة، الملف، المكثف، على فرق الطور بين الجهد المسلط و التيار.

(٤)يعرِّف تقدم و تاخر زاوية الطور.

(٥) يحسب قيم القدرة الحقيقية و القدرة غير الحقيقية.

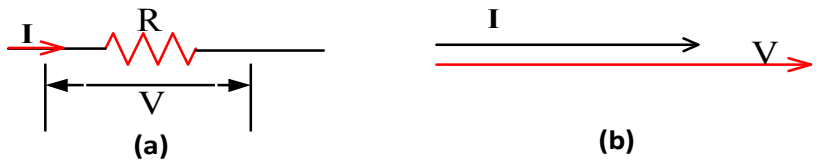
(٦)يعرِّف معامل القدرة و تاثيراته و طرق تحسينه.

(٧) يتمكن من تحليل دائرة الرنين على التوالى و على التوازى.

دوائر التيار المتردد على التوالى:

مقاومة بحتة:

فى الدائرة المبينة فى الشكل (٢.١) ادناه تحتوى على مقاومة بحتة موصلة على التوالى مع مصدر جهد متردد



شكل (٢.١):(a) الدائرة المكافئة (b) بيان المتجهات

اذا كانت قيمة مصدرالجهد الجيبية

$$V=V_m \sin \omega t \quad (1)$$

بتطبيق قانون اوم فان

$$V=i \cdot R = V_m \sin \omega t \quad (2)$$

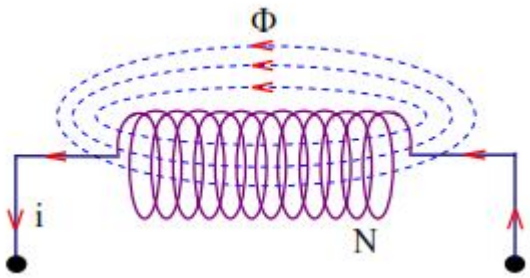
$$i= (V_m/R)\sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (3)$$

$$i=I_m \sin\omega t \quad (4)$$

نلاحظ من المعادلتين (٢) و (٤) ان التيار و الجهد لا يوجد بينهما اى اختلاف فى زاوية الطور، اى انهما فى نفس الطور معا (متطاورين) او متطابقان فى زاوية واحدة.

ملف بحت

اذا مر تيار متردد فى ملف كما مبين فى الشكل (٢.٢) ادناه فانه تتولد خطوط قوى مغناطيسية Φ متغيرة مع الزمن ، و ذلك لان التيار متغير مع الزمن ووجد ان حاصل ضرب هذه الخطوط فى عدد لفات الملف N تتناسب مع شدة التيار i كما يلى:



شكل (٢.٢): ملف حث

$$N\,\Phi \propto i \quad (5)$$

$$N\,\Phi = L\,i \quad (6)$$

حيث يسمى ثايت التناسب بمعامل الحث الذاتى للملف L و يقاس بوحدة بالهنرى (Henery)

و بتطبيق قانون فاراداى

$$E = -N\,(d\Phi/dt) \quad (7)$$

و بما ان $N\,\Phi = L\,i$

$$N\,(d\Phi/dt) = L\,(di/dt) \quad (8)$$

$$V = -N(d\Phi/dt) = L\,(di/dt) \quad (9)$$

فاذا كان التيار المار فى الملف هو: $i = Im \sin(\omega t)$

$$V = -L\frac{d}{dt}(I_m \sin(\omega t))$$

(10)

$$V = -L.\ Im\ .\omega\ .\cos(\omega t)$$

(11)

$$V = -Im\ .\omega\ .\ L\ .\sin(\omega t+90) = Vm\ .\ \sin(\omega t+90) \quad (12)$$

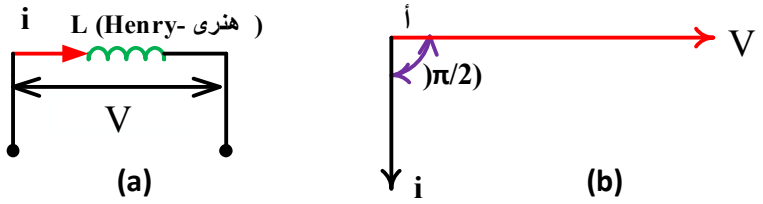
$$\frac{V_m}{I_m} = \omega L \quad (13)$$

يتضح من هذه المعادلات ان الملف الحثى البحت له ما يشبه المقاومة فى تعاملها (قانون اوم) حيث تسمى ωL فى هذه الحالة المفاعلة الحثية (Inductive Reactance) و تقاس بوحدة الاوم (Ω) و يرمز لها باللرمز x_L

$$X_L = \omega L = 2\pi\, f\, L \quad (14)$$

نلاحظ من المعادلات اعلاه ان الجهد(V) يسبق التيار i بزاوية مقدارها ٩٠ درجة(π/2) . او التيار يتاخر عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠ درجة (π/2)

الشكل (٢.٣) المبين ادناه



شكل (٢.٣):(a)الدائرة المكافئة (b) بيان المتجهات

مكثف بحت

اذا تم تسليط جهد متردد مقداره V على مكثف سعته C ميكروفارد فان التيار المار فيه يعطى حسب العلاقات الاتية:

$i=dQ/dt=C\ (dV/dt)$(15)

باعتبار ان الجهد المسلط على المكثف $E=E_m\sin\omega$ فان التيار الملر هو

$i=C\ (dQ/dt)= C\ .V_m.\ (d/dt)\ \sin(\omega t)$ (16)

$i= C\ .V_m.\ \omega.\ \cos(\omega t)\ = \omega.\ C\ V_m.\ \sin(\omega t+90)$ (17)

$i=I_m\sin(\omega t+90)$

حيث

$I_m=V_m.\ \omega.\ C$ (18)

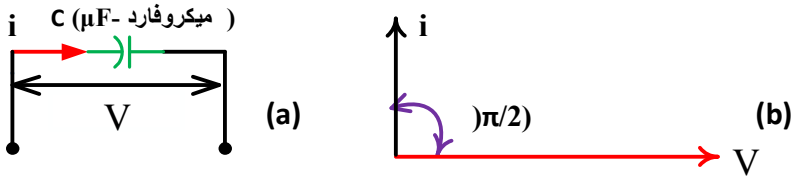
و على ذلك يكون

$V_m/I_m = 1/\omega C=x_C$ (19)

اذن هنالك مفاعلة تشبه المقاومة فى تعاملها (قانون اوم) حيث يسمى المقدار $(1/\omega)$ بالمفاعلة السعوية و يرمز له بالرمز x_C(capacitive Reactance) ووحدتها الاوم (Ω) حيث ان

$1/\omega C=1/2\pi f\ C= x_C$ (20)

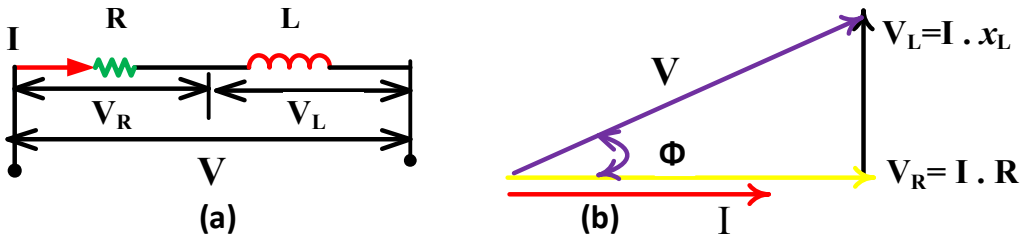
فى حالة المكثف يكون التيار متقدما عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠ درجة (π/٢). او الجهد يتاخر عن التيار بزاوية مقدارها ٩٠ درجة (π/٢).



شكل (٢.٤): (a)الدائرة المكافئة (b) بيان المتجهات

مقاومة وملف

نعتبر دائرة بسيطة موضحة فى الشكل (٢.٥) ادنا مكونة من عنصرين على التتالى. العنصر الاول مقاومة Rاوم و العنصر الثانى ملف محاثته L هنرى و مقاومته مهملة



شكل (2.5):(a) بيان المتجهات(b)الدائرة المكافئة

فى دوائر التوالى بما ان التيار فى كل العناصر واحد ناخذ متجه التيار (I) كخط اسناد. متجه جهد المقاومة V_R=I. R متطاور مع متجه التيار (I) بينما متجه جهد المحاثة (V_L=ωL. I) يتقدم متجه التيار بزاوية ٩٠ درجة. و متجه الجهد الكلى V هو المجموع الاتجاهى للمتجهين V_R,V_L و يتقدم متجه التيار (I) بزاوية Φ كما موضح فى الشكل (2.5).

من بيان المتجهات نجد ان

V_R=I. R (21)

V_L=I. x_L(22)

V=V_R+V_L(جمع اتجاهى)(23)

اذن يمكن معادلة الجهد كما يلى

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{I^2R^2 + I^2x_L^2} = I\sqrt{R^2 + x_L^2} \quad (24)$$

V=I. Z(25)

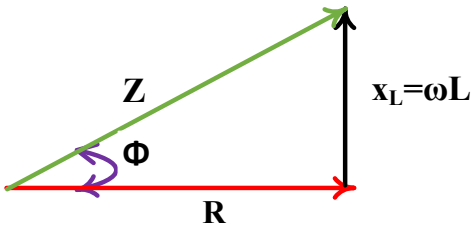
حيث

$$Z = \sqrt{R^2 + x_L^2}$$

تسمى Z بمعاوقة الدائرة ووحدتها هى الاوم.

من شكل بيان المتجهات نجد ان الجهد الكلى يتقدم التيار الكلى بزاوية مقدارها Φ تسمى زاوية الطور و تتراوح قيمتها بين صفر(ωL=0) و ٩٠ درجة (R=0).

و بين الشكل ادناه مثلث المعاوقة ومنه يتضح ان:

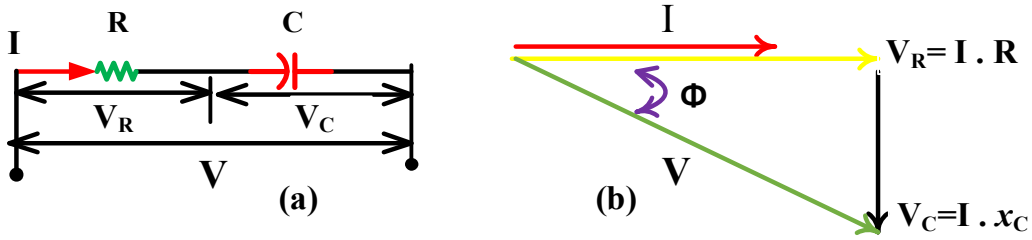


$Z = \sqrt{R^2 + x_L^2}$ - $\Phi = tan^{-1}\left(\frac{x_L}{R}\right)$

$R = Z\cos(\Phi)$ - $x_L = Z\sin(\Phi)$

مقاومة و مكثف:

الدائرة الموضحة فى الشكل (2.6-a) ادناه مكونة من عنصرين على التتالى. العنصر الاول مقاومة Rاوم و العنصر الثانى مكثف سعته C ميكروفارد.



شكل (٢.٦)(a):الدائرة المكافئة (b) بيان المتجهات

ناخذ متجه التيار (I) كخط اسناد. متجه جهد المقاومة V_R=I. R متطاور مع متجه التيار (I) بينما متجه جهد المكثف(V_C=x_C.I)يتاخر متجه التيار بزاوية ٩٠ درجة. و متجه الجهد الكلى V هو المجموع الاتجاهى للمتجهين V_R,V_C و يتاخر متجه التيار (I) بزاوية Φ كما موضح فى الشكل (2.6-b).

من بيان المتجهات نجد ان

V_R=I. R(26)

V_C=I. x_C(27)

V=V_R+V_C(جمع اتجاهى)(28)

اذن يمكن معادلة الجهد كما يلى

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} = \sqrt{I^2R^2 + I^2x_C^2} = I\sqrt{R^2 + x_C^2}(28)$$

V=I. Z(29)

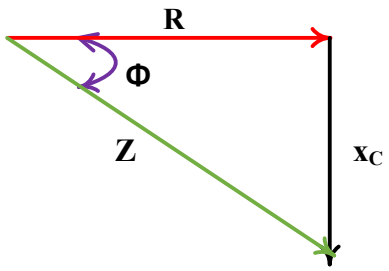
حيث

$$Z = \sqrt{R^2 + x_C^2}(30)$$

تسمى Z بمعاوقة الدائرة ووحدتها هى الاوم.

(R=0).من شكل بيان المتجهات نجد ان الجهد الكلى يتاخر التيار الكلى بزاوية مقدارها Φ (زاوية الطور) تتراوح قيمتها بين صفر(x_C=0) و ٩٠ درجة

و بين الشكل ادناه مثلث المعاوقة ومنه يتضح ان:

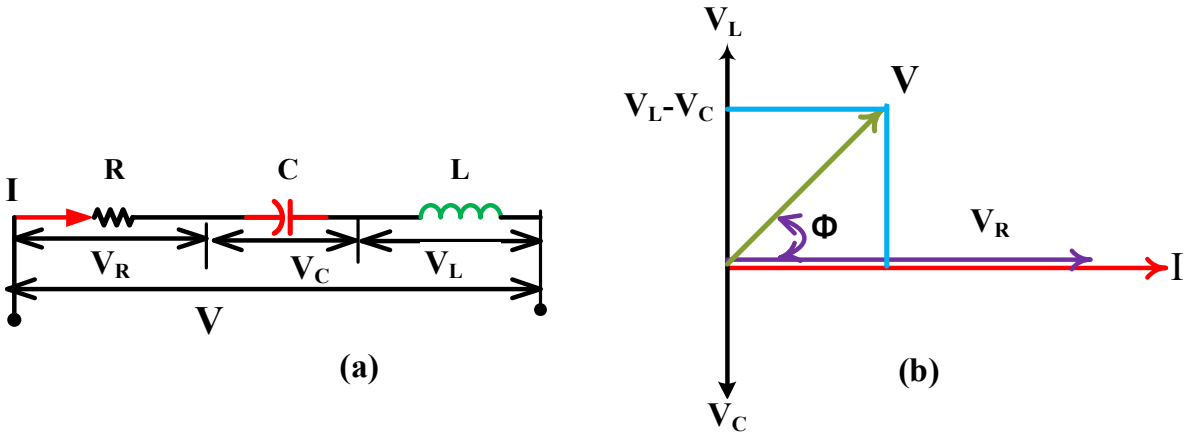


$$Z = \sqrt{R^2 + x_C^2} \quad - \quad \Phi = tan^{-1}\left(\frac{x_C}{R}\right)$$

$$R = Z\cos(\Phi) \quad - \quad x_C = Z\sin(\Phi)$$

مقاومة و ملف و مكثف:

نعتبر الان الحالة العامة لدوائر التوالى و هى وجود العناصر الثلاثة الاساسية معا اى مقاومة (R)و ملف (L) و مكثف (C) كما مبين فى الشكل (٢.٧) ادناه



شكل (٢.٧):(a)الدائرة المكافئة (b) بيان المتجهات

ناخذ متجه التيار (I) كخط اسناد. جهد المقاومة (V_R=I. R) متطاور مع متجه التيار الكلى، و متجه جهد المحاثة (V_L=x_L. I) يتقدم متجه التيار بزاوية ٩٠ درجة بينما متجه جهد المكثف (VC= x_C. I) يتخلف عن متجه التيار بزاوية ٩٠ درجة و الجهد الكلى هو المجموع الاتجاهى لهذه الجهود.

من بيان المتجهات نجد ان

V_R=I. R(31)

V_C=I. x_C(32)

V_L=I. x_L(33)

باعتبار ان VL اكبر من VCفان الجهد يعطى بالمعادلة التالية

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2 - V_C^2} \quad (34)$$

$$V = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 x_L^2 - I^2 x_C^2} \quad (35)$$

$$V = I\sqrt{R^2 + (x_L^2 - x_C^2)} \quad (36)$$

$$\frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (x_L^2 - x_C^2)} = Z \quad (37)$$

حيث Z هى معاوقة الدائرة الكلية

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L^2 - x_C^2)} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (38)$$

و هذه هى الصورة العامة للمعاوقة حيث R هى المقاومة الكلية للدائرة، X هى المفاعلة الكلية للدائرة. و زاوية المعاوقة Φ اى الزاوية التى يتقدم بها الجهد عن التيار هى

$$\Phi = tan^{-1}\left[\frac{x_L - x_C}{R}\right] = tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right) \quad (39)$$

فى هذا نوع من الدوائر نلاحظ الاتى:

(١) عندما تكون المفاعلة الحثية اكبر من المفاعلة السعوية، تكون المفاعلة الكلية حثية اى ان X موجبة.

(٢) عندما تكون المفاعلة السعوية اكبر من المفاعلة الحثية، تكون المفاعلة الكلية سعوية اى ان X سالبة.

(٣) عندما تكون المفاعلة الحثية مساوية للمفاعلة السعوية، فى هذه الحالة فان معاوقة الدائرة تصبح مقاومية اى مقاومة صرفة، ويكون الجهد و التيار متطاورين و يطلق على هذه الحالة رنين التوالى.

رنين التوالى:

تحدث حالة رنين التوالى (او رنين الجهد) عند توصيل مكثف و ملف و مقاومة على التوالى و ذلك اذا ما كانت المفاعلة السعوية x_Cتتساوى مع المفاعلة الحثية x_Lو فى هذه الحالة تصبح المقاومة المادية فقط هى المحددة للتيار حيث يحسب التيار من العلاقة البسيطة لقانون اوم اى ان:

$$I=V/R \quad - \quad Z=R \quad - \quad \cos\Phi=1$$

من ذلك نستنتج انه عند الرنين تكون قيمة المقاومة اقل ما يمكن و بذلك يمر اعلى تيار فى الدائرة عند ذلك تبلغ الجهود على من الملف و المكثف قيمها القصوى.

و يمكن استنتاج قيمة التردد الذى يحدث عنده الرنين كما يلى:

شروط الرنين: $x_L = x_C$

بتعويض كل من x_L و كذلك x_c فى العلاقة السابقة نحصل على ما يلى

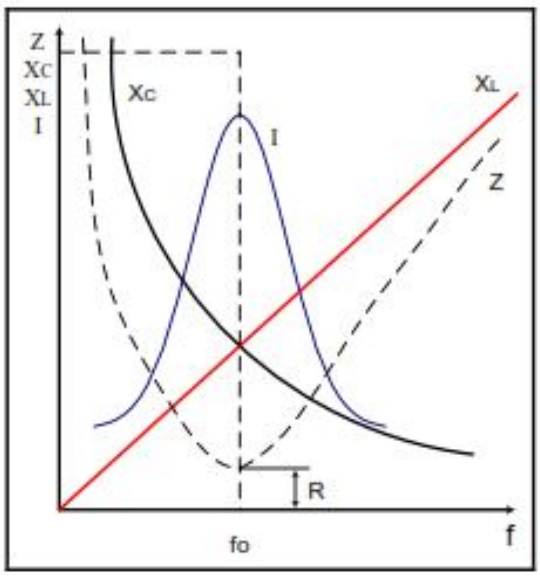
$$2\,\pi\,f_0\,L = \frac{}{2}$$

$$f_0^2 = \frac{1}{(2\,\pi\,)^2}$$

باخذ الجذر التربيعى للطرفين نحصل على ما يلى

$$f_0 = \frac{1}{2\,\pi\,\sqrt{L\;C}} (٤٠)$$

منحنيات الرنين:



شكل (٢.٨):رنين التوالى

من المنحنى السابق نلاحظ ان قيمة المفاعلة الحثية تتناسب طرديا مع التردد ام المفاعلة السعوية فتتناسب عكسيا معه بينما قيمة المقاومة المادية ثابتة لا تتغير مع التردد.

لذلك نلاحظ انه للترددات المنخفضة تكون المعاوقة الكلية Z مرتفعة مما يودى الى مرور تيار قليل اما عندما تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية فان قيمة المعاوقة تساوى قيمة المقاومة المادية فقط وهى اقل قيمة لها مما يجعل التيار المار فى الدائرة ياخذ قيمته العظمى و عند الترددات المرتفعة تزداد قيمة المفاعلة الحثية و تقل السعوية للمكثف و ايضا تزداد المعاوقة الكلية مما يودى الى نقصان التيار المار فى الدائرة.

القدرة:

القدرة الظاهرية S فى حمل معاوقته Z عى حاصل ضرب القيمة الغعالة للتيار المار فى هذا الحمل و القيمة الفعالة للجهد بين طرفيه ، ووحدتها الفولط امبير (VA) ، أى

$$S=V\ I=Z\ I^2=V^2/Z$$

و رغم انها ليست القدرة المستهلكة فعليا فى كل الحالات الا انها مهمة فى تحديد القدرة القصوى (المتوافرة عند تيار و جهد معينين) لعدد من الاجهزة كالمحولات مثلا.

العلاقة بين القدرتين الظاهرية و الفعالة هى:

$$P = S\cos\theta$$

و نسمى النسبة

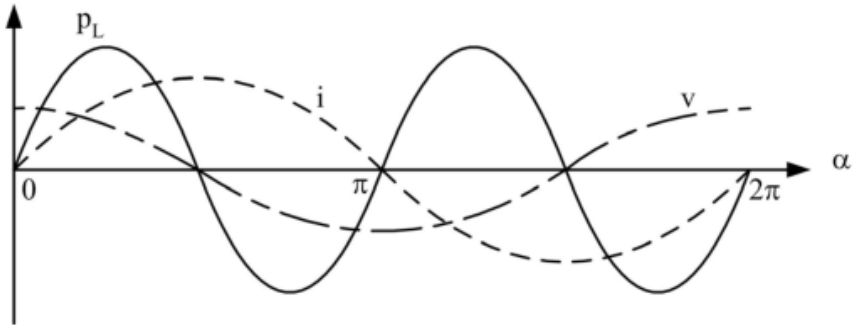
$$\cos\theta=(P/S)$$

معامل القدرة ، لانه يعطى نسبة القدرة المتوافرة التى تستهلك فعليا من طرف الحمل. فبالنسبة للحمل الذى على شكل مقاومة صرفة فان $\theta=0$ ، و بهذا فان كل القدرة الظاهرية الداخلة فى المقاومة ستسهلك فعليا (تحول الى حرارة). اما بالنسبة لحمل حثى أو سعوى فان $\cos\theta=0$ و لن يستهلك هذا النوع من الاحمال اى جزء من القدرة الظاهرية فعليا.

و كلما كان معامل القدرة قريبا من الواحد ، كلما كان استعمال القدرة المتوافرة احسن. و فى الحالات التى يكون فيها هذا المعامل صغيرا ، نلجا الى تحسينه اى الرفع من قيمته.

فى حاالة الحمل الحثى (ملف) نعوض عنقيمته الزاوية θ ب ٩٠ درجة و بهذا تصبح القدرة اللحظية هى

و بين الشكل (٢.٩) كلا من القدرة p_Lو موجات الجهد و التيار فى الحمل الحثى. و هنا فان الحمل يستعير القدرة الظاهرية VIمن المصدر (p_L موجبة) عندما تتساوى اشارة الجهد مع اشارة التيار ، و عندئذ فان الملف يحول طاقة المصدر الطاقة مغناطيسية تتخزن فى مجاله المنغاطيسى. و عندما تختلف اشارة الجهد مع اشارة التيار فان الطاقة المغناطيسية تتحول الى طاقة كهربائية و تلرجع الى المصدر. و هكذا فلن يستهلك الملف اى قدرة

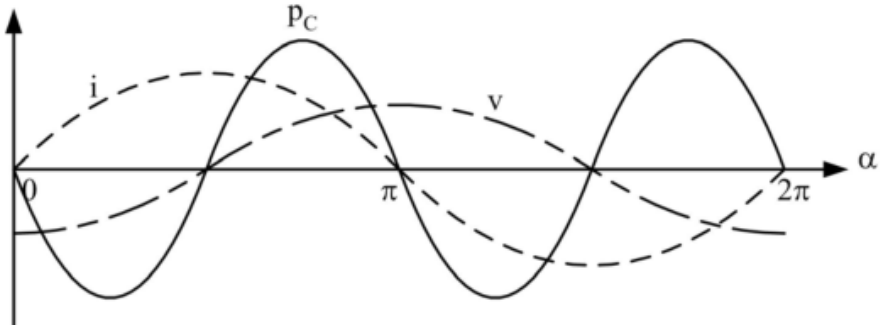


شكل (٢.٩):القدرة اللحظية و الجهد و التيار فى ملف

فى حاالة الحمل الحثى (ملف) نعوض عنقيمة الزاوية θ ب ٩٠ - درجة و بهذا تصبح القدرة اللحظية هى

كما نرى فانها متذبذبة بتردد يساوى ضعف التيار و بقيمة قصوى تساوى القدرة الظاهرية ، كما ان قيمتها المتوسطة معدومة.

و يبن الشكل (٢.١٠) كلا من القدرة p_C و موجات الجهد و التيار فى الحمل السعوى. و هنا كذلك فان الحمل يستعير القدرة الظاهرية VI من المصدر (p_c موجبة) عندما تتساوى اشارة الجهد و اشارة التيار ، و عندئذ فان المكثفة تخزن طاقة المصدر فى مجالها الكهروستاتيكى. و عندما تختلف اشارة الجهد مع اشارة التيار فان الطاقة المخزنة تسترجع الى المصدر. و هكذا فلن تستهلك المكثفة اى قدرة.



شكل (٢.١٠): القدرة اللحظية و الجهد و التيار فى مكثفة

و على العموم نعرف القدرة غير الفعالة او المفاعلة Q فى اى حمل معاوقته $Z = Z \angle \theta$ بالمعادلة

$$Q = V\ I \sin \theta$$

ووحدتها الفولط-امبير مفاعل (volt-ampere reactive) و رمزه VAR وه نسبة القدرة الظاهرية التى تستعار من الحمل لاحداث مجال مجال مغناطيسى (ملف) او مجال كهروستاتيكى (مكثفة).

ففى ملف ممانعته x_L ، فاننا نرمز للقدرة المفاعلة التى يستعيرها بالرمز Q_L و هى تساوى

$$Q_L = V\ I = x_L\ I^2 = V^2 / x_L$$

و كما نرى فانها موجبة ، و لهذا نقول ان الملف "يستهلك" القدرة المفاعلة.

و فى مكثفة ممانعتها x_C ، فاننا نرمز للقدرة المفاعلة التى تستعيرها بالرمز Q_C و هى تساوى

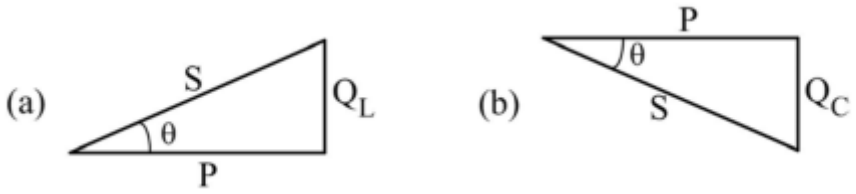
$$Q_C = -V\ I = -\ x_C \times I^2 = -\ V^2 / x_C$$

و هى سالبة ، و لهذا السبب نقول ان المكثفة "تولد" القدرة المفاعلة.

مثلث القدرة و عامل القدرة:

نستطيع تمثيل العلاقة بين انواع القدرة باستعمال مثلث القدرة. فلو رسمنا مثلثا قائما تساوى قاعدته القدرة الفعالة ، و يساوى ارتفاعه القدرة غير الفعالة ، فان الوتر سيساوى القدرة الظاهرية.

يبن الشكلان (2.11-a) و (2.11-b) مثلثى القدرة فى حالة حمل مادى-حثى و فى حالة حمل مادى-سعوى. و اذا كان الحمل يحتوى عاى مقاومة و ملف و مكثف فان القدرة غير الفعالة Q تساوى مجموع Q_L و QC ، حيث Q_L هى القدرة المفاعاة للملف و Q_C هى القدرة المفاعلة للمكثفة. فاذا كانت القدرة الاولى اكبر فان Q تكون موجبة و يظهر الحمل كانه مادى-حثى ، و اذا كان العكس فان الحمل يظهر كانه مادى-سعوى. اما اذا تساوت Q_L و Q_C فان الحمل يصبح مادى بحت.



شكل (٢.١١): (a) مثلث القدرة فى حمل مادى-حثى (b) فى حمل مادى-سعوى

و نستطيع استعمال العلاقة

$S^2 = P^2 + Q^2$

لحساب احدى القدرات عندما تكون القدرتان الاخرتان معلومتين.

فى اى دائرة كهربائية مكونة من عدة عناصر نحسب القدرات الكلية و معامل القدرة الكلى حسب الطريقة الاتية:

(١) القدرة الفعالة الكلية P_T مجموع القدرات الفعالة لكل عنصر.

(٢) تساوى تساوى القدرة المفاعلة الكلية Q_T مجموع القدرات المفاعلة لكل عنصر.

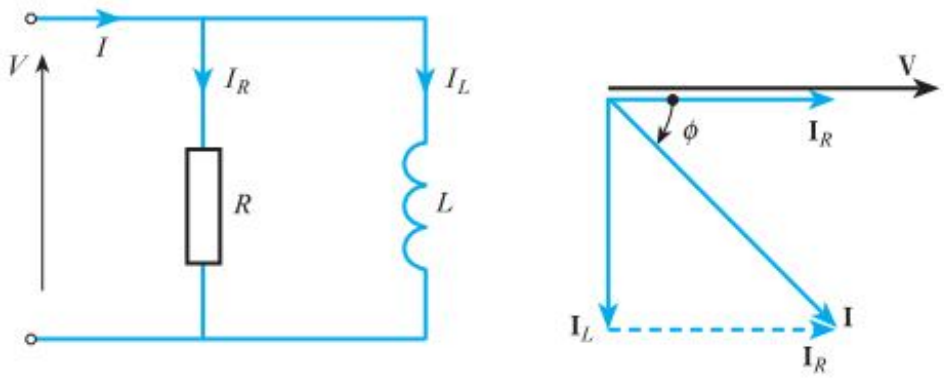
(٣) تعطى القدرة الظاهرية الكلية ST بالمعادلة $S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$. نلاحظ هنا ان القدرة الظاهرية الكلية لا تساوى مجموع القدرات الظاهرية لكل عنصر ، فلننتبه لهذا.

(٤) معامل القدرة الكلى هو : $\cos\theta_T = \frac{P_T}{S_T}$

دوائر التيار المتردد على التوازى:

مقاومة وملف

نعتبر دائرة مكونة من مقاومة (R) متصلة على التوازى مع ملف بحت (L) اى ان مقاومته مهملة. كما هو معلوم فى حالة على التوازى فان الجهد فى الافرع المتوازية متساو اى ان $V=V_R=V_L$، لذلك ياخذ متجه الجهد الكلى كخط اسناد كما موضح فى الشكل ادناه. حيث ان التيار المار فى المقاومة متطاور مع الجهد الكلى و التيار المار فى الملف متاخر بزاوية مقدارها ٩٠ درجة



(b)بيان المتجهات (a)الدائرة المكافئة

شكل (٢.١٢)

من شكل بيان المتجهات يكمن اشتقاق العلاقات الاتية

$I_R=V/R$ (41)

$I_L=V/x_L$ (42)

$I=I_R+I_L$(جمع اتجاهى)(43)

$I = \frac{V}{R} - j\frac{V}{x_L}$(44)

$\frac{I}{V} = Y = \frac{V}{R} - j\frac{V}{x_L} = G - jBL$(45)

حيث Yهى مسامحة الدائرة

$Y=G-jB_L$(46)

حيث ان

$(S)G = \frac{R}{\sqrt{R^2+x_L^2}}$ المواصلة ووحدتها سيمنز

اذا كانت $x_L=0$ فان $G=1/R$

$(S)G = \frac{x}{\sqrt{R^2+x_L^2}}$ المهاودة الحثية ووحدتها سيمنز

اذا كانت $x_L=0$ فان $B_L=1/x_L$

مقاومة و مكثف

الان نعتبر دائرة مكونة من مقاومة (R) متصلة على التوازى مع مكثف (C). بما ان الجهد فى الافرع المتوازية متساو اى ان $V=V_R=V_C$، لذلك ياخذ متجه الجهد الكلى كخط اسناد كما موضح فى الشكل ادناه. حيث ان التيار المار فى المقاومة متطاور مع الجهد الكلى و التيار المار فى المكثف يتقدم الجهد الكلى بزاوية مقدارها ٩٠ درجة

من شكل بيان المتجهات يكمن اشتقاق العلاقات الاتية:

$I_R=V/R$ (47)

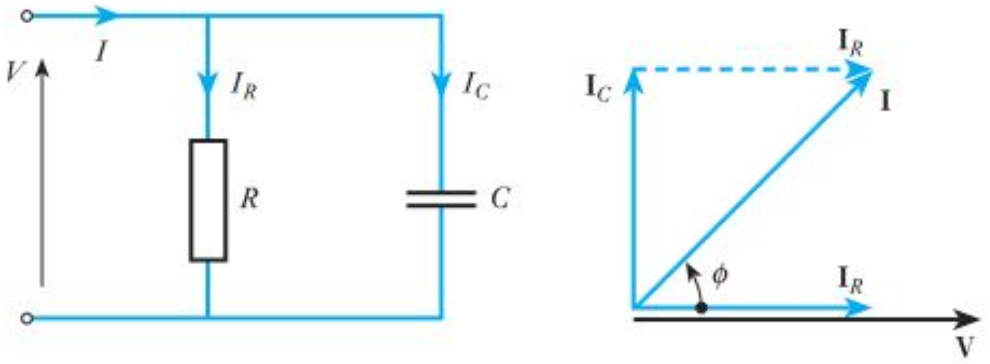
$I_L=V/x_C$(48)

$I=I_R+I_C$(جمع اتجاهى)(49)

$I = \frac{V}{R} + j\frac{V}{x_C}$(50)

$\frac{I}{V} = Y = \frac{V}{R} - j\frac{V}{x_C} = G - jB_C$(51)

حيث Yهى مسامحة الدائرةG هى مواصلة الدائرة B_C مهاودة الدائرة السعوية.

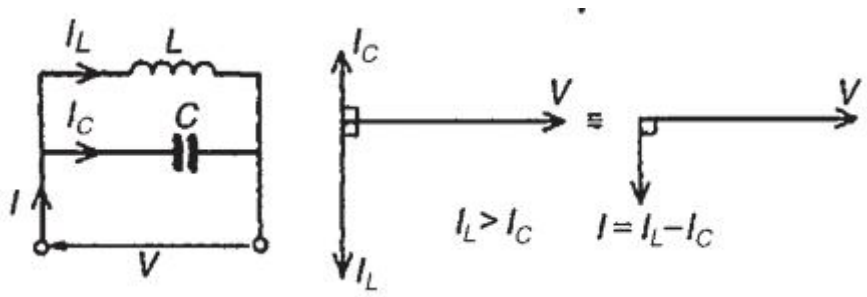


(a)الدائرة المكافئة (b)بيان المتجهات

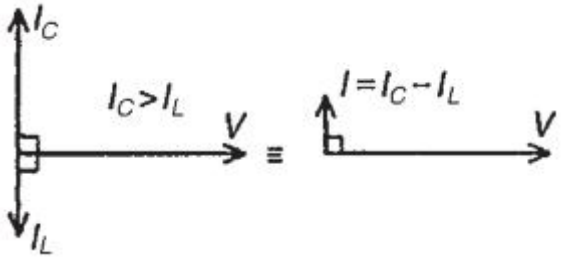
شكل (٢.١٣)

ملف و مكثف

نعتبر الدائرة الموضحة ادناه حيث تتكون من ملف مهمل المقاومة على التوازى مع مكثف. ناخذ الجهد الكلى كخط اسناد، التيار المار فى المكثف يتقدم الجهد بزاوية مقدارها ٩٠ درجة بينما التيار المار فى الملف يتاخر عنه بزاية مقدارها ٩٠ درجة



(b)بيان المتجهات (a) $I_L > I_C$الدائرة المكافئة



(c) بيان المتجهات $I_C > I_L$

شكل(٢.١٤)

$I_L = V/x_L$- $I_C = V/x_C$ - $Z = V/I$

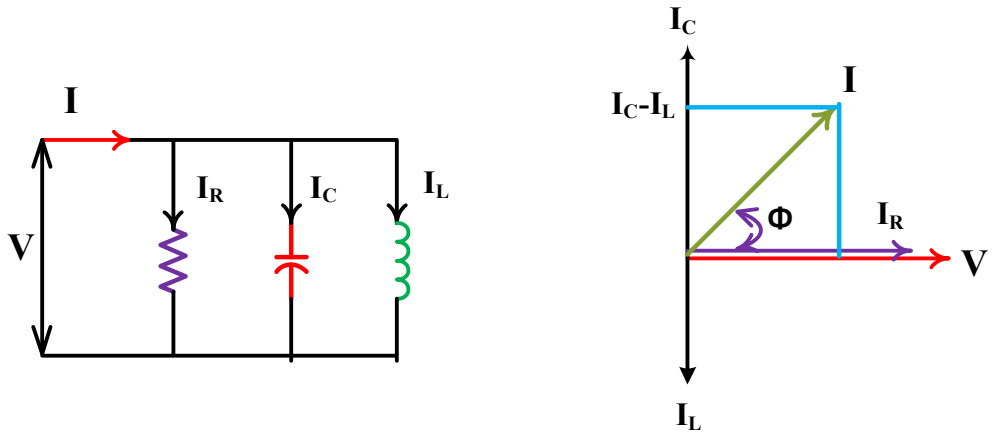
ملف و مقاومة و مكثف:

نعتبر الان دائرة تواز مكونة من العناصر الاساسية الثلاثة، مقاومة و مكثف و ملف كما موضح فى الشكل اناه حيث يوضح الدائرة المكافئة و بيان المتجهات. فى هذه الحالة ناخذ متجه الجهد الكلى كخط اسناد، التيار المار فى المكثف يتاخر عن الجهد

بزاوية ٩٠ درجة و التيار المار فى الملف يتاخر عنه بزاوية ٩٠ درجة. فاذا كانت $B_C = \omega C$ المهاودة السعوية $B_L = -1/\omega L$

فان المهاودة الكلية هى

$$B = B_C + B_L = \omega C - (1/\omega L) \quad (52)$$



(a)الدائرة المكافئة (b)بيان المتجهات

شكل (٢.١٥)

$$I = \sqrt{G^2 + B^2}\ V = Y\,V \quad (53)$$

$$\Phi = tan^{-1}\left(\frac{B}{G}\right) \quad (54)$$

Φ هى زاوية المسامحة و هى التى يتقدم بها التيار عن الجهد.

فى هذا نوع من التوصيل نلاحظ الاتى:

(١) تكون المهاودة الكلية سعوية عندما تكون B_C اكبر من B_L.

(٢) تكون المهاودة الكلية حثية عندما تكون B_L اكبر من B_C.

(٣) عندما تتساوى قيمة المهاودتين تسمى هذا الحالة رنين التوازى.

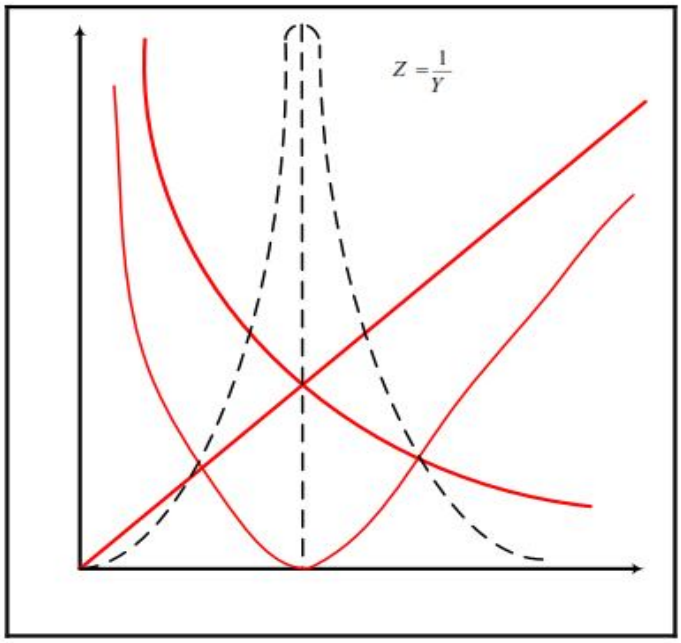
رنين التوازى :

عند توصيل ملف و مكثف على التوازى يمكن ان نصل الى حالة يكون عندها التيار الكلى يساوى صفر و عند ذلك تبلغ التيارات الجزئية قيمتها القصوى. و يحدث ايضا الرنين كما هو الحال فى حالة رنين التوالى عندما تتساوى المفاعلة الحثية و السعوية و يحدث ذلك عند تردد الرنين f_o حيث يحسب من العلاقة:

نلاحظ عند الرنين ان التيار السعوى يلغى التيار الحثى و تعرف هذه الحالة فى الهندسة الاذعية بدائرة التذبذب او الرنين. حيث يكون لهذه الدائرة المقدرة على الاحتفاظ بتيار متردد لبعض الوقت عند التاثير عليها بنبضة جهد واحدة. و فى حالة رنين التوازى تبلغ معاوقة الدائرة قيمتها العظمى و تكون عبارو عن مقاومة فعالة. عند الرنين يكون التيار المار فى الملف هو نفس تيار شحن وتفريغ المكثف.

منحنيات رنين التوازى:

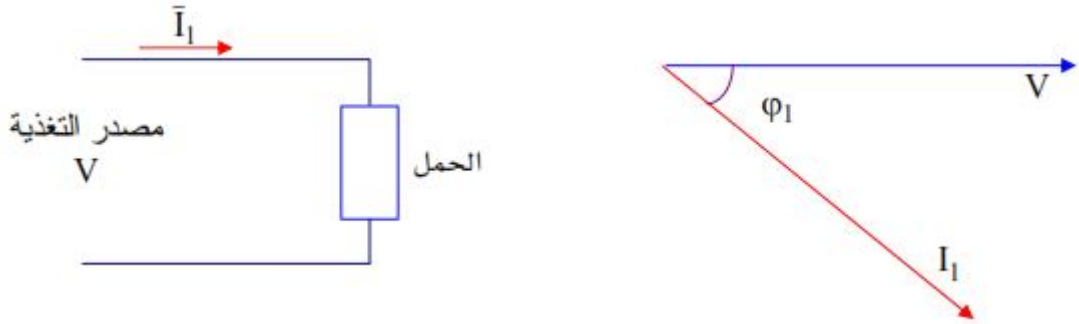
هى عبارة عن منحنيات تبين العلاقة بين كل من المفاعلة الحثية (x_L) و المفاعلة السعوية (x_C) و المقاومة الفعالة (R) و كذلك التيار (I) و المعاوقة الكلية (Z) مع التردد. كما هو موضح فى المنحنيات التالية.



شكل (٢.١٦): رنين التوازى

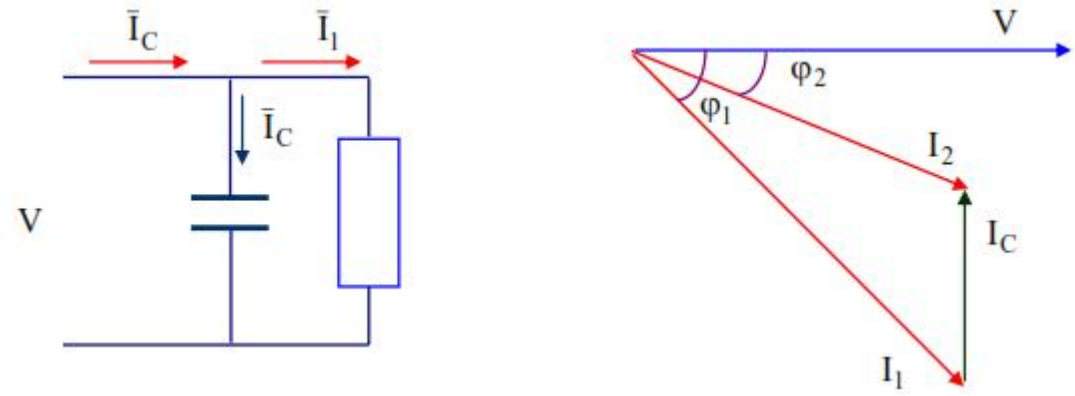
تحسين معامل القدرة

فى معظم الاحمال المنزلية و الصناعية المعتادة يكون التيار الكلى متاخرا عن الجهد كما هو مبين بشكل رقم ٢.١٧ ، و لو نظرنا الى مثلث القدرة لوجدنا ان القدرة الظاهرية S تمثل القدرة الكلية للحمل و القدرة الفعالة P تمثل القدرة المستفادة بالفعل. و القدرة غير الفعالة Q عى قدرة غير مستفاد منها للمستهلك ، و على هذا فانه من المستحسن ان تكون S قريبة من P بمعنى ان تكون القدرة المستفادة اكبر ما يمكن ، و بالتالى القدرة غير الفعالة اقل ما يمكن. و هذا يعنى تصغير الزاوية φ و بالتالى تكبير cosφ او ما يسمى بمعامل القدرة و هذا هو ما نطلق عليه تحسين معامل القدرة. و لتقريب S من P فانه تستخدم المكثفات لهذا الغرض.



شكل (٢.١٧): الدائرة الكهربائية قبل توصيل المكثفات

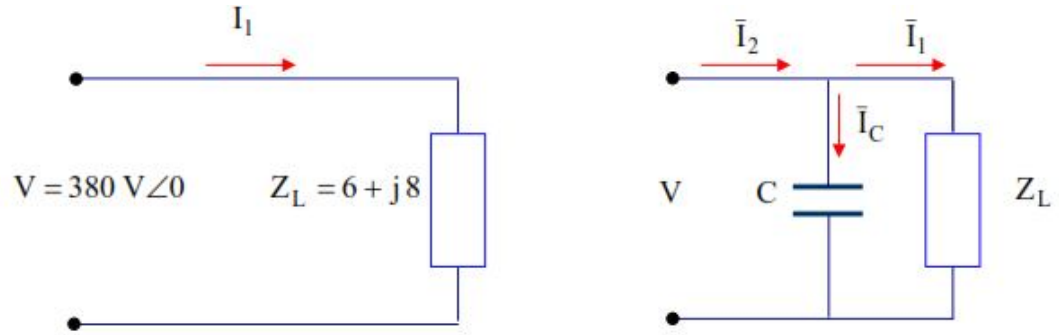
للدوائر الحثية التى يسبق الجهد فيها التيار . و كما هو موضح بالشكل (٢.١٧) ، فتغذية الحمل مباشرة من المصدر ينتج عن ذلك سحب الحمل لتيار مقداره I_1 من المصدر بزاوية φ_1 و بالتالى معامل القدرة هو $P.F_1 = \cos \varphi_1$. ثم لتحسين معامل القدرة تضاف المكثفات على التوازى مع الحمل (و ذلك للدوائر ذات الطبيعة الحثية) حيث تيار المكثف يتقدم دائما على الجهد ، و كما هو مبين بشكل رقم ٢.١٨ ، تقل الزاوية φ و بالتالى يتحسن معامل القدرة.



شكل (٢.١٨): الدائرة الكهربائية قبل توصيل المكثفات

مثال:

شكل رقم ٢.١٩ يبين الحمل الكهربائى الخاص بمنشاة صناعية صغيرة ، احسب سعة المكثف المطلوب لرفع معامل القدرة الى واحد صحيح.



شكل (٢.١٩): الدائرة المكافئة

الحل:

نبدا بحساب المعاوقة Z_L و ذلك كقيمة و زواية:

ثم نحسب الزاوية θ_{ZL}

ثم نحسب التيار I_1

ثم لحساب قيمة المكثف ، على اعتبار ان معامل القدرة اصبح يساوى الواحد الصحيح ، و هذا يعنى ان الزاوية φ_2 اصبحت تساوى صفر. و على هذا فان قيمة تيار المكثف:

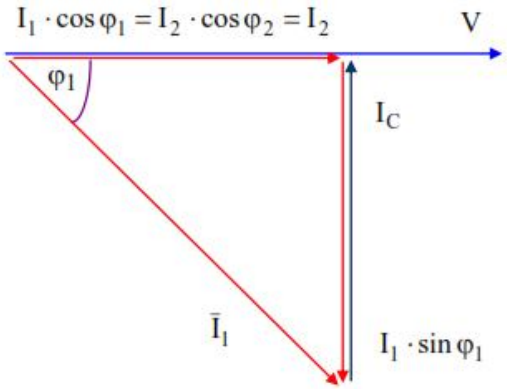
$I_C = I_1 \sin \varphi_1 = 38 \sin(-51.3^o) = -29.66\ A$

و من المعروف ان زاوية تيار المكثف هى $\theta_C = 90^o$.

$I_C = -29.66 \angle 90^o$

و هكذا يمكن حساب قيمة المكثف:

و يمكن رسم المخطط الاتجاهى كما مبين ادناه



التقويم

(١) حدد العلاقة بين تاثير الجهد المتردد على عناصر المقاومة و الملف و المكثف فى التوصبلات المختلفة.

(٢) حلل دوائر التيار المتردد.

(٣)عرِّف تاثير المقاومة، الملف، المكثف، على فرق الطور بين الجهد المسلط و التيار.

(٤يعرِّف تقدم و تاخر زاوية الطور.

(٥)عرِّف معامل القدرة و تاثيراته و طرق تحسينه.

(٦)مستعيناً بالرسم وضح دائرة الرنين لملف ومكثف ومقاومة موصلة على التوازي والدائرة المكافئة

٣

المحـــــــــــولات

الاهداف :

بنهاية هذا الباب يكون الطالب قادرا على ان :

(١)يعرِّف مكونات المحول.

(٢) يحدد المواصفات المطلوبة المحول الجيد.

(٣) يحسب فواقد و كفاءة المحول.

(٤) يحدد تشكيلات مختلفة طبقا لإزاحة الطور .

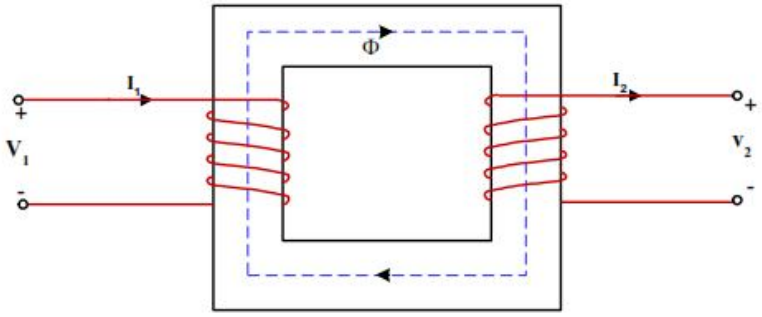
(٥) يذكر استخدامات المحولات الأخرى في تطبيقات العملية

المحولات الكهربية أحادية الوجه :

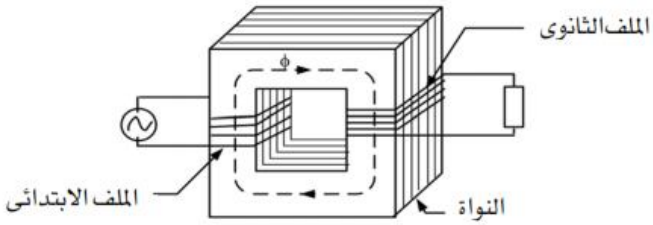
المحول الكهربائي هو ألة أو جهاز استاتيكي (أي ثابت بدون أجزاء متحركة) يستخدم لتحويل القدرة من دائرة إلى دائرة أخرى بنفس التردد مع خفض أو رفع الجهد الكهربائي و حدوث مفقودات قليلة تتبدد على شكل طاقة حرارية . و تسخدم المحولات الكهربية بصورة واسعة في الحياة العملية بقدرات و جهود مختلفة . فعند توليد الطاقة الكهربائية بقدرات عالية فإن هنالك ضرورة تقنية لرفع جهد التوليد و لذلك ياتي دور المحولات الكهربية . أيضا تستخدم المحولات الكهربية في كثير من الاجهزة الكهربية و اجهزة القياس أي أن دوره ليس مقصورا فقط على القدرات العالية و إنما يستخدم على نطاق واسع مع القدرات المنخفطة .

مبادي عمل المحول :

تعتمد نظرية عمل المحول على التاثير المتبادل بين دائرتين معزولتين كهربيا و مرتبطتين بتدفق مغنطيسي متغير و هو في ابسط صورة يتكون من ملفين متقاربين و معزولين كهربئيا و ملفوفين على قلب من شرائح الحديد كما في الشكل 3.1.-a و 3.1-bهذا القلب يربط الملفين مغناطيسيا . فإذا وصل جهد متردد ياخذ الملفين فإنه ينشأ في القلب الحديدي تدفق مغنطيسي متردد أيضا ، و يتشابك هذا التدفق مع الملف الآخر و يتولد به قوة دافعة كهربية مستنتجة بالتاثير المتبادل تبعا لقانون فارادي للحث الكهرومنغاطيسي . فإذا وصل حمل بهذا الملف يمر فيه تيار . و الملف الاولي و الذي يتصل بمنبع الجهد يطلق عليه الملف الإبتدائي و هو ذو عدد لفات N_1 . أما الملف الاخر المتصل بالحمل يطلق عليه الملف الثانوي و عدد لفاته N_2 . يسمى احيانا الملفان بدلالة الجهد على كل منهما فيسمى الملف ذو الجهد الأكبر بملف الجهد العالي ، و يسمى الملف ذو الجهد الاقل بملف الجهد المنخفض . تذكر دائما أن المحول الكهربي يستعمل مع التيار المتردد و لا يستعمل مع التيار المستمر .



شكل (3.1-a): المحول الكهربائى



شكل (3.1-b): تركيب المحول الكهربائى

انواع المحولات :

تنقسم المحولات من وجهة نظرتطبيقاتها إلى ثلاث مجموعات :

١- محولات القدرة:

و هي تستخدم مرافقة لمولدات الجهد المتردد و ذلك لرفع كفاءة نقل الطاقة الكهربية و كذلك تستخدم في محطات التوزيع لخفض الجهد العالي .

٢- محولات الألكترونيات :

و تستخدم في دوائر التكبير الإلكتروني للربط بين المنبع و الحمل و تعمل على توافق دائرتين ذي معاوقة مختلفة و ذلك لنقل أقصى قدرة . أيضا تعمل كمرحلة عزل كهربي بين دوائر مختلفة القدرة .

٣- محولات القياس:

و هي تستخدم في أجهزة قياس الجهد و التيار العالي و التي تستعمل في أجهزة الحماية ،و ايضا كحساس للجهد و التيار في أنظمة التحكم .

تنقسم المحولات من ناحية التركيب إلى :

- ❖ محولات ذات ملفين مستقلين .
- ❖ محولات ذات ملف مشترك (محول ذاتي).
- ❖ محولات رفع.
- ❖ محولات خفض .

كما يمكن تقسيم الممحولات من حيث التغذية إلى :

- ❖ محولات أحادية الوجه .
- ❖ محولات ثلاثية الأوجه .

و لا تختلف نظرية عمل المحول أحادية الوجه عن نظرية عمل المحول ثلاثي الأوجه ، فالمحول الثلاثي الأوجه يعتبر ثلاثة محولات أحادية متصلة مع بعضها ، لذلك سندرس اولا المحول ذو الوجه الواحد ثم المحول ثلاثي الأوجه .

تركيب المحول :

يتكون المحول من الاجزاء الاتية :

القلب الحديدي ، الملفات بخلاف أوعية مناسبة لجمع القلب و الملفات و عوازل مناسبة لعزل و حمل أطراف الملفات و أجهزة الوقاية و التبريد .

- ❖ القلب الحديدي :

و هو يشكل الدائرة المغناطيسية للمحول و يتركب من سيقان توضع عليها الملفات و عوارض لتكملة الدائرة المغناطيسية ، و يتكون كل من السيقان و العوارض من رقائق من سبيكة الحديد مع السلزيوم (لتقليل المفقودات الحديدية) ، و التي سمكها يتراوح من ٠.٣٥ مم إلى ٠.٥ مم . أو من الورنيش الذي يدهن به أحد و جهي الرقيقة . و الهدف من هذا العزل هو الحد من مفقودات التيار الإعصارية . و مقطع الساق ياخذ عدة أشكال ، فإما أن يكون على شكل مربع أو صليب في المحولات صغيرة و متوسطة القدرة ، و إما أن يكون متدرج كما في المحولات كبيرة القدرة . و يوضح الشكل التالي عدة أشكال لمقاطع مختلفة للساق .

تربط الرقائق معا بواسطة أحزمة في المحولات الصغيرة او بمسامير في حالة المحولات الكبيرة ، بحيث لا ينتج عنها طنين بسبب الاهتزازات الناشئة عن القوى المنغاطيسية . و تعشق رقائق الساق مع رقائق العارضة مكونة بذلك القلب الحديدي .

شكل (٣.٢): مقاطع مختلفة للساق (Leg)

- ❖ الملفات :

يوجد نوعان رئيسيان من الملفات في المحولات ، و هما الملفات الأسطوانية و الملفات القرصية ففي الحالة الأولى تكون الملفات الابتدائية و الثانوية على شكل أسطوانات ، بينما في الحالة الثانية تكون على شكل أقراص .

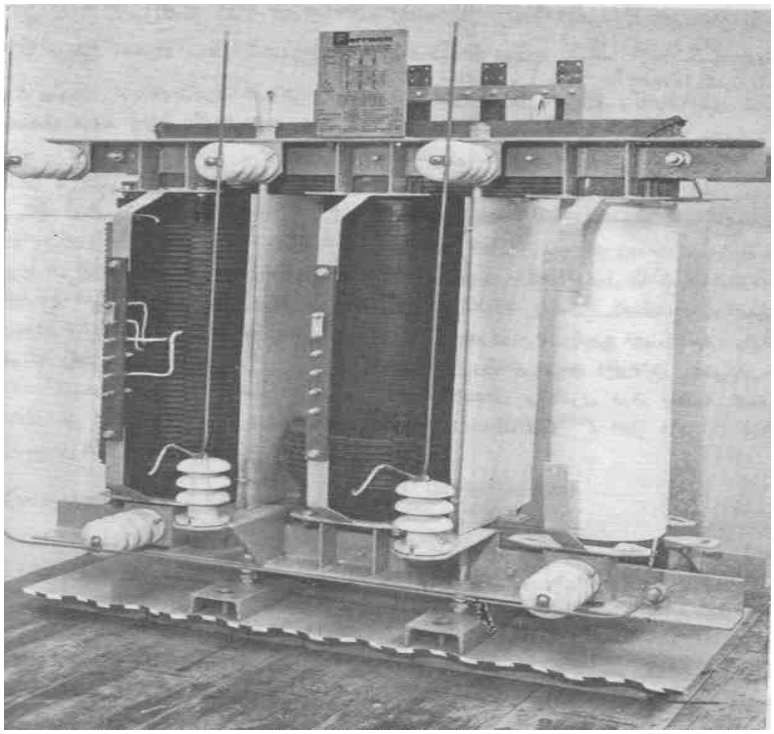
طريقة ترتيب الملفات :

تنقسم الملفات حسب طريقة وضعها حول الساق إلى ملفات متمكزة ، أي متحدة المركز و ملفات متداخلة .

المحولات ثلاثية الأوجه :

التركيب و فكرة العمل :

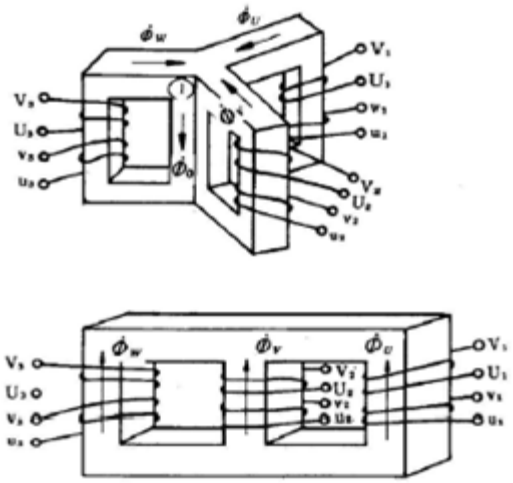
تنقل القدرة الكهربائية عبر خطوط نقل في صورة ثلاثة أوجه . و خلال نقل القدرة الكهربية من محطات التوليد إلى الاستهلاك يتم رفع الجهد لاعتباراتاقتصادية و عند الاستهلاك يتم خفض الجهد مرة أخرى جهد التوزيع . و عملية التحويل هذه للجهد تتم باستخدم إما ثلاثة محولات متماثلة كل منها ذي وجه واحد و توصل معا بطريقة خاصة أو عن طريق استخدام محول واحد ثلاثي الأوجه و يفضل هذا الاخير نظرا لان حجمه و كذلك ثمنه أقل من حجم ثلاثة محولات لها نفس القدرة الكلية . و يوضح الشكل ٣.٣ محول ذو ثلاثة اوجه ، و ثلاثة أفرع بقدرة ٥٠٠ كيلو فولت أمبير ، من النوع ذي القلب الملفوف . حيث تنقسم المحولات الثلاثية الأوجه إلى نوعين ، كما و الحال في المحولات الأحادية الأوجه ، و هما النوع القلبي و النوع الهيكلي (القشري) .



شكل (٣.٣): محول ثلاثي الاطوار من النوع القلبي

النوع القلبي :

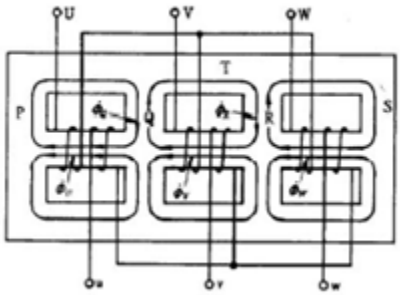
يوضح الشكل ٣.٤ محول قلبي ثلاثي الأوجه ، و يحتوي على ملف ابتدائي و ملف ثانوي لكل وجه و ملفوفين معا على نفس الساق ، حيث ترمز الاحرف الكبيرة V-U لبداية و نهاية الملف الابتدائي ، أما الحرف الصغيرة v-u فترمز لبداية و نهاية الملف الثانوي . و توصل الملفات للثلاثة اوجه بطرق. أما نظرية التشغيل و كذلك الدائرة المكافئة و الاختبارات فهي نفسها كما في حالة المحول الأحادي الوجه مع مراعاة علاقات الجهد و التيار في حالة الثلاثة أوجه .



شكل ٣.٤ محول قلبي ثلاثي الأوجه

الهيكل الدرعي :

يبين الشكل ٣.٥ النوع الهيكلي لمحول ثلاثي الأوجه ، حيث تلف ملفات الابتدائي و الثانوي لكل وجه في القشرة الداخلية ، و بالتالي فهو يشبه ثلاثة محولات أحادية من هذا النوع متبة في صف واحد .



الشكل ٣.٥ النوع الهيكلي لمحول ثلاثي الأوجه

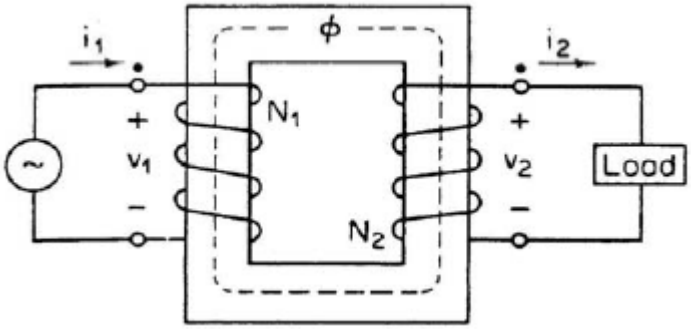
توجد طرق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية و الملفات الثانوية و ذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول ، و يمكن تلخيص أهم الطرق لتوصيل المحولات ثلاثية الأوجه كالتالي

- توصيل الابتدائي نجمة - الثانوي نجمة Y-Y
- توصيل الابتدائي دلتا - الثانوي دلتا Δ-Δ
- توصيل الابتدائي نجمة - الثانوي دلتا Y-Δ
- توصيل الابتدائي دلتا - الثانوي نجمة Δ-Y

العلاقات الخاصة بالمحول المثالي :

المحول المثالي هو إفتراض نظري فقط و يستخدم لفهم المحول الحقيقي . و يفترض في المحول المثالي أنه لا يوجد فقد في الطاقة حيث تنقل الطاقة من دائرة الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي دون أي فقد .ايضا يفترض في المحول المثالي أن الملفاتا ليس لها مقاومة لمرور التيار كذلك لا يوجد تسرب في الفيض المغناطيسي ، و هذه الفروض تساعد على استنتاج

العلاقات المختلفة ، و المحول المثالي يتركب من ملفين لهما ممانعة حثية فقط و ملفوفين حول قلب من الحديد كما في الشكل ٣.٦ .



شكل (٣.٦) : المحول المثالى

$V_1/V_2 = N_1/N_2$

$I_1/I_2 = N_1/N_2$

مثال (١):

محول أحادي االوجه قدرته ٢٥ كيلو فولت أمبير و عدد لفات الإبتدائي ٥٠٠ لفة و الثانوي ٤٠ لفة و صل الملف الابتدائي إلى منبع جهد ٣٠٠٠ فولت، احسب القوة الدافعة الكهربية في الثانوي و تيار الملف الثانوي إذا كان تيار الملف الاولي ٨.٣٣ أمبير؟

الحل

KVA=25 N1=500 N2=40 V1= 3000V

$V_1/V_2 = N_1/N_2$

$$\frac{40}{500} = \frac{V2}{3000}$$

V_2=240V

$$I2 = \frac{KVA}{V2} = \frac{N2}{N1} * I1 = \frac{500}{40} * 8.33 = 104.13A$$

العلامات المميزة المعيارية للمحولات (قطبية المحولات):

مفهوم القطبية عند كثير من الفنيين قد يسبب بعض اللبس ، و يشير صانعو المحولات عادة إلى كل من أطراف المحول بحروف المحول بحروف و أرقام بحيث يمكن تحديد إتجاه القطبية و تختلف هذه الإشارات تبعا للدول المصنعة للمحولات ، و نذكر على سبيل المثال ما يلي :

أ - المحولات المصنعة في أمريكا :

لأطراف الجهد العالي $H_1H_2H_3$

لأطراف الجهد المنخفض $X_1X_2X_3$

ب - المحولات المصنعة في أوربا :

لأطراف الجهد العالي $C_1B_2A_3$

لأطراف الجهد المنخفض $c_1b_2a_3$

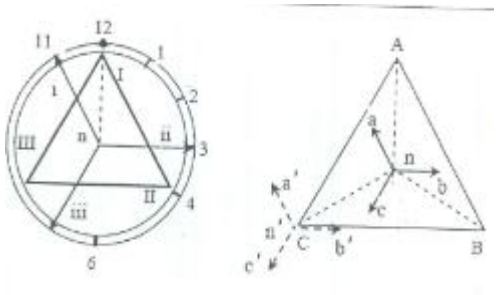
التوصيلات المعيارية لتوصيلة / نجمة *Y* / دلتا D:

توصل اطراف ملفات الدخل و الخرج للمحولات إما نجمة أو دلتا أو زق زاق لزاوية الطور بين ملفات الجهد العالي HV و الجهد المنخفض LV يتراوح بين صفر و ٣٦٠ درجة .

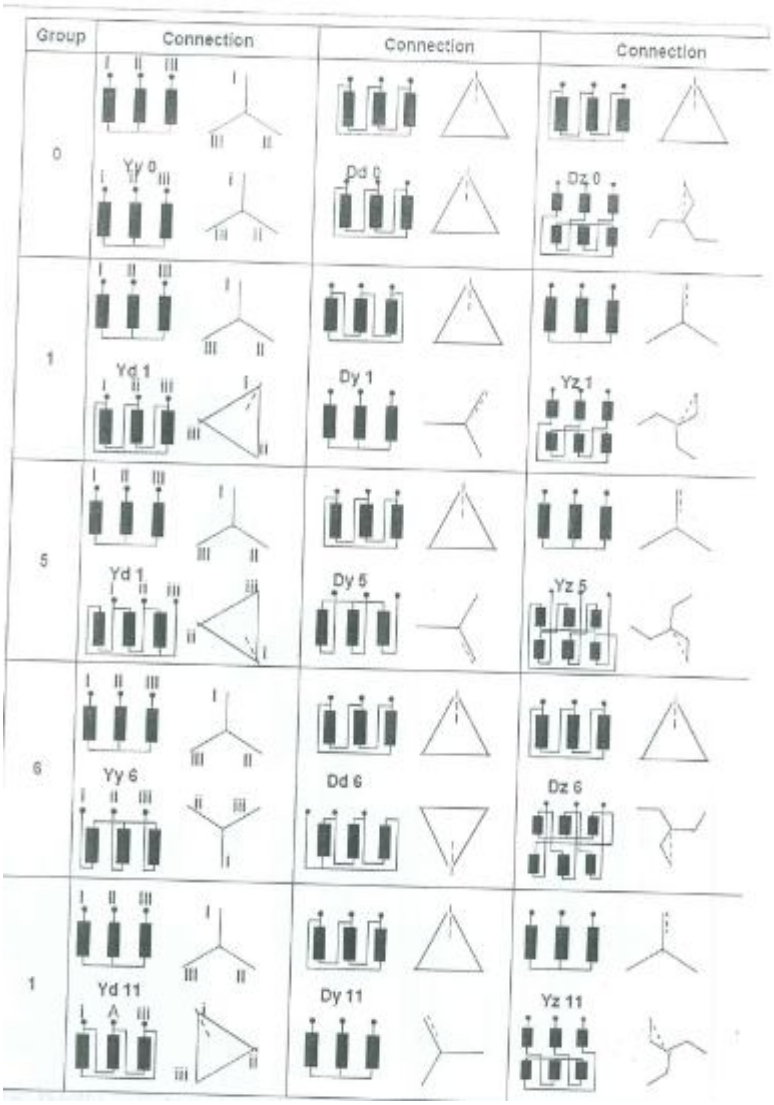
يمكن تحديد زاوية الطور بين ملفات الجهد العالي و المنخفض بارقام الساعة و الدوران في إتجاه عقارب الساعة.

يمثل متجه ملفات الجهد العالي بالساعة ١٢ (الإزاحة صفر) و ملفات الجهد المنخفض بقية ارقام الساعة فمثلا المجموعة التوصيلية Dy11 الحرف الكبير D

يشير ان ملفات الجهد العالي موصل دلتا و الحرف الصغير y يشير إلى ملفات الجهد المنخفضنجمة في الشكل ادناه نهاية الجهد العالي الساعة ١٢ (صفر) و نهاية الجهد المنخفض عند الساعة ١١ (بعد ٣٣٠ درجة) نقول أن ملفات الجهد العالي يتقدم عن ملفات الجهد المنخفض بزاوية مقدارها (٣٣٠ درجة) او أن ملفات الجهد المنخفض يتخلف عن ملفات الجهد العالي بزاوية طور تساوي -٣٠ درجة و يلاحظ أن إزاحة الطور تساوي الساعة في ٣٠ درجة .



الجدول ادناه يوضح بعض توصيلات المجموعات طبقا للمعيار الاوربي .



تقنين المحولات :

يتم تقنين المحولات :

الفواقد و كفاءة المحول :

ينقسم فواقد المحولات إلى نوعين:

١- فواقد النحاس:

متغيرة نتيجة لتيار التحميل في الملفات الإبتدائية و الثانوية للمحول فواقد النحاس الكلية تساوي:

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

حيث أن:

٢- فواقد القلب الحديدي :

و هي ثابتة القيمة و لا تعتمد على التحميل تنقسم إلى قسمين :

أ- فواقد التخلف المغنطيسية .

ب- فواقد التيارات الدوامية (الإعصارية) .

كفاءة المحول :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}} = \frac{\text{قدرة الدخل} - \text{قدرة الفقد}}{\text{قدرة الدخل}} = 1 - \frac{\text{قدرة الفواقد}}{\text{قدرة الدخل}}$$

عادة يعبر عن الكفاءة بالنسبة المئوية ، كفاءة محولات القدرة تتراوح بين ٩٥% و ٩٨%

قدرة الخرج=$V_2 I_2 \cos \varphi_2$

الفواقد الكلية= فواقد النحاس + فواقد الحديد

قدرة الدخل =قدرة الخرج + المفاقيد

$$\text{الكفاءة} = \frac{XV_2 I_2 \cos \varphi}{XV_2 I_2 \cos \varphi + \text{مفاقيد الحديد} + X^2 * \text{مفاقيد النحاس}}$$

حيث أن :

X يمثل متغير و يساوي واحد صحيح عند الحمل الكامل

$\cos \varphi$ يمثل معامل القدرة

يمكن الحصول على اقصى قدرة كفاءة عند ما يتساوى مفاقيد الحديد الثابتة مع مفاقيد النحاس المتغيرة .

مثال(٢) :

محول تقنينه $200KVA$، فواقد النحاس عند الحمل الكامل $1.5KW$ و فواقد الحديد $1KW$ عند معامل قدرة 0.85 اوجد كفاءة المحول عند :

١- الحمل الكامل .

٢- نصف الحمل الكامل .

الحل

١- قدرة الخرج الكلية بالكيلوواط=

$$170\text{kW}=VI\cos\varphi=(200)(0.85)$$

الفواقد الكلية =

$$1.5+1.0=2.5\text{ kW}$$

قدرة الدخل = قدرة الخرج + الفواقد=

$$170+2.5=172.5\text{kW}.$$

الكفاءة=

$$1-(2.5/172.5)=1-0.01449$$

$$=0.9855=98.55\%$$

٢-

$$\text{الكفاءة}=\frac{0.5*170000}{0.5*170000+1000+(0.5)^2*1500}$$

$$=0.9841=98.41\%$$

انواع أخرى من المحولات و إستخدامتها:

١- المحول الذاتي:

المحول الذاتي هو جهاز مفيد جدا في بعض الاستخدامات نظرا لبساطته وانخفاض ثمنه مقارنة مع المحول العادي. وهو يعتمد في نظرية تشغيله عل نفس نظرية المحول ذي الملفين ولكن يستخدم فيه ملف واحد فقط ويمثل هذا الملف كله الملف الابتدائي أو الثانوي ويمثل جزء فقط من هذا الملف ذاته الملف الآخر كما هو موضح في الشكل (أ) . ويمكن أن يكون المحول محول خفض كما في الشكل أو محول رفع كما في الشكل (ب) . ويعتمد ذلك على طريقة التوصيل.

يمثل الملف AB في الشكل (أ) الملف الابتدائي وعدد لفاته هي (N_1) بينما يمثل الملف BC الملف الثانوي وعدد لفاته (N_2) ويكون نسبة الجهد كما في المحول ذي الملفين.

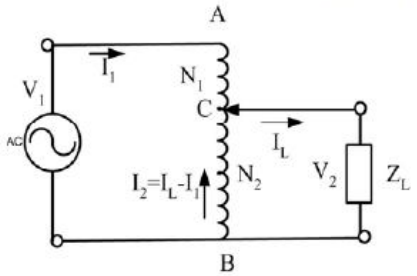
ونحصل عليها بمساواة الأمبير فولت الداخل مع الأمبير فولت الخارج. وهي كالتالي:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_L}{I_1}$$

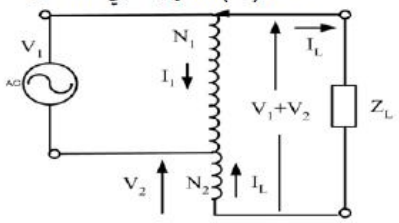
ويكون التيار في الملف الثانوي هو:

$$I_2 = I_L - I_1$$

مميزات المحول الذاتي أنه يعطي جهد متغير. وذلك بتغير موضع النقطة C وبذلك يمكن تغيير عدد لفات الثانوي للحصول على جهد يتراوح من صفر وحتى جهد الابتدائي أو أكبر منه كما في المحول الذاتي الرافع كما الشكل (ب) ويسمى المحول الذاتي المتغير القيمة لجهد الثانوي فاريك "Variac". ويستخدم هذا النوع من المحولات في المختبرات وأجهزة بدأ الحركة عندما يكون نسبة التحويل المطلوبة في حدود من ١ : ٢.٥ أي الجهد الثانوي والابتدائي متقاربين. ويتميز هذا النوع عن المحول ذي الملفين بصغر حجمه لنفس القدرة وذلك لتوفير النحاس المستخدم في الملفات ولكن من عيوب هذا المحول أن العزل الكهربي بين المنبع والحمل غير متوفر نظرا لاستخدام ملف واحد بين الدخل والخرج. ولذلك لا يفضل أيضا استخدامه بنسبة تحويل كبيرة حيث يسبب خطورة وإمكانية حدوث قصر بين ملفات الجهد العالي والمخفض وذلك لنفس السبب. وهذا على العكس تماما كما في المحول ذي الملفين.



شكل (أ) محول ذاتي خافض



شكل (ب) محول ذاتي رافع

٢- محولات القياس :

يمكن تعديل نطاق الفولتميتر و جهاز الاميتر بإستخدام محولات الجهد و محولات التيار لقياس جهود و تيارات اعلى

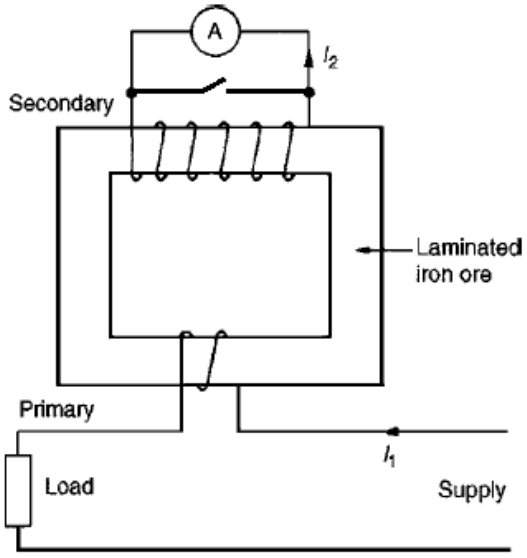
أ- محولات التيار :

تستخدم محولات التيار لقياس تيارات اعلى من ١٠٠ امبير .يحتوي الملف الغبتدائي في هذه المحولات على لفيفة واحدة او إثنتين بينم يحتوي الملف الثانوي على عدة مائات من الملفات فمثلا إذا كان عدد ملفات الابتدائي(N_1) يساوي لفتين و عدد ملفات الثانوي (N_2) يساوي ٢٠٠لفة و كان تيار الملف الإبتدائي يساوي ٥٠٠ امبير فإن تيار الملف الثانوي

$$(I_2) = \frac{N_1}{N_2} * I_1 = \frac{2}{200} * 500 = 5 \text{ أمبير}$$

يفصل المحول الاميتر من الدائرة الرئيسية و يمكن إستخدام الاميترات القياسية التي لديها إنحراف كامل 1A ,2A,5A لقياس تيارات كبيرة .

من المهم جدا قصر الملف الثانوي قبل إزالة الاميتر و ذلك لسبب أنه يمكن أن تنشأ قوة دافعة كبيرة و خطيرة في الملف الثانوي إذا ترك مفتوحا .



في الاميتر الكماشة يستخدم محول تيار ، الملف الإبتدائي يمثل السلك المراد قياس التيار خلاله (لفة واحدة) و مخالب الجهاز عبارة عن القلب ، الملف الثانوي داخل الجهاز بعدة لفات .

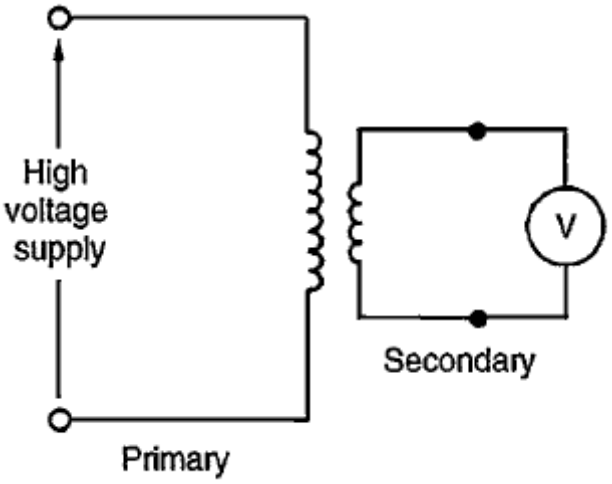
ب- محولات الجهد :

تستخدم محولات الجهد لقياس جهود تزيد عن ٥٠٠ فولت عدد ملفات الإبتدائي كبير و يوصل إلى الجهد العالي و مع عدد قليل من الملفات في الملف الثانوي .

إذا كان عدد ملفات الابتدائي(N_1) يساوي ٤٠٠٠لفة و عدد ملفات الثانوي (N_2) يساوي ٢٠لفة و جهد الملف الإبتدائي يساوي ٢٢كيلو فولت فإن جهد الملف الثانوي (V_2)

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

$$22000 * \frac{20}{4000} = 110 \text{ فولت}$$



محول التوفيق :

لنقل كل الطاقة من مرحلة إلى مرحلة أخرى فلابد أن تتساوى مقاومة حرج المرحلة الاولى مع مقاومة دخل الثانية . إذا لم تتساوى المقاومتين تستخدم المحولات بعمل توفيق بين المرحلتين تتساوى المعاوقتين

في المحول المثالي:

$$V_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) V_2 \quad \text{——— (1)}$$

$$I_1 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) I_2 \quad \text{——— (2)}$$

بقسمة المعادلة ١ على المعادلة ٢ :

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{\left(\frac{N_1}{N_2}\right) V_2}{\left(\frac{N_2}{N_1}\right) I_2}$$

$$= \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \left(\frac{V_2}{I_2}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$$

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$$

مثال ١:

محول له نسبة تحويل ١:٤ يمد حمل مقاومته ١٠٠ أوم أوجد مقاومة الدخل للمحول؟

الحل

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$$

=1600 ohm

٣- محولات العزل:

إن وظيفة المحولات لا تنحصر في تحويل الجهود و التيارات من مستويات إلى مستويات مختلفة و لكن بالإضافة لذلك يعمل كعازل كهربائي حيث أنه لا يوجد اتصال كهربائي بين الملف الإبتدائي و الثانوي .

في الدوائر الالكترونية تستخدم مثل هذه المحولات لعزل التشويش و لتاريض الدوائر الالكترونية حيث أن المحول لا يمرر التيار المباشر DC(مصدر التشويش) إلى الملف الثانوي .

في دوائر التطبيقات المنزلية فإن محول العزل عبارة عن محول بنسبة تحويل ١:١ في تطبيقات كثيرة مثل بلكات مكنات الحلاقة في الحمام . و في الأجهزة المتنقلة .

التقويم

(١)عرِّف مكونات المحول.

(٢) حدد المواصفات المطلوبة المحول الجيد.

(٣) محول تقنينه *200KVA*، فواقد النحاس عند الحمل الكامل *1.5KW* و فواقد الحديد *1KW* عند معامل قدرة *0.85* اوجد كفاءة المحول

(٤) حدد تشكليلات مختلفة طبقا لإزاحة الطور .

(٥) أذكر إستخدامات المحولات الأخرى في تطبيقات العملية

٤ نظريات و قوانين الشـــــــــــبكات

الاهداف :

عند الإنتهاء من دراسة هذا الباب يكون الطالب قادرا على أن :

(١) يذكر انواع مصادر تشغيل الدوائر الكهربائية

(٢) يحلل شبكات التيار المتردد بتطبيق النظريات المختلفة.

(٣) يقارن النتائج بطرق مختلفة.

(٤) يطبق قوانين كيرتشوف لتحليل دوائر التيار المتردد

(٥) يحول الشبكات الموصلة نجمة الى دلتا و العكس.

فى الفصول السابقة تعرضنا لكيفية تحليل انواع دوائر التيار المتردد احادية الطور و التى تحتوى على مصدر واحد للجهد باستخدام الطرق البسيطة (قانون اوم). هنالك نماذج اخرى من الدوائر اكثر تعقيدا مثل تلك التى تحتوى على اكثر من مصدر للجهد و التيار او كليهما معا. فى مثل هذا النوع من الدوائر نجد من الصعوبة استخدام قانون اوم مما يتطلب ايجاد طرق اضافية لتحليل مثل هذه الدوائر بغرض تبسيط الدائرة.

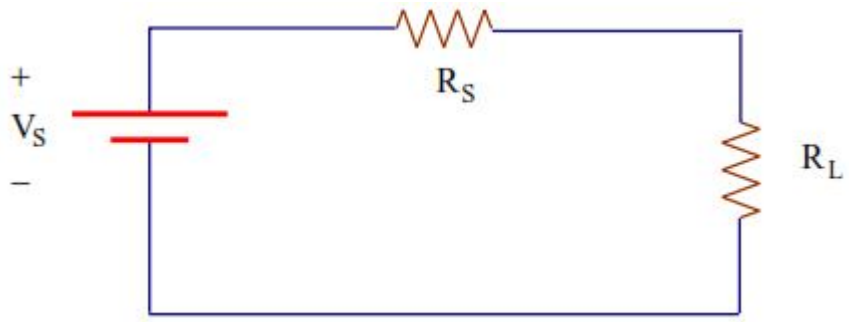
هنالك عدد من النظريات (ثيفنن ، نورتن، كيرتشوف)و كذلك التحويلات نجد انها سوف تعمل على تسهيل و تبسيط تحليل هذه الانواع من الدوائر. و يجب ان نلاحظ بان هذه النظريات و طرق الحل يمكن تطبيقها فى دوائر المتردد او المباشر. فى هذا الفصل سيتم التركيز على تطبيق قوانين كريتشوف لتحليل و دراسة دوائر التيار المتردد.

انواع مصادر تشغيل الدوائر الكهربائية:

جميع انواع الدوائر الكهربائية يمكن تشغيلها عن طريق مصدر جهد Voltage Source او مصدر تيار Current Source ، لذلك من المهم معرفة هذه الانواع من المصادر و اهمية استخدامها فى الدوائر.

مصدر الجهد الثابت Constant Voltage Source :

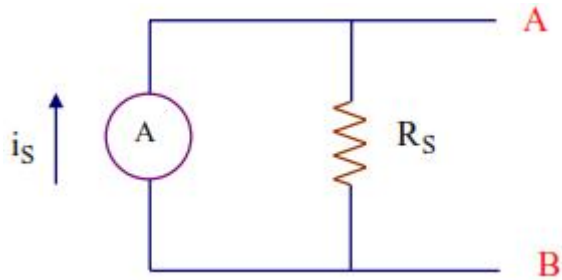
هو مصدر تغذية للحمل بجهد ثابت فى الدائرة الكهربائية و يكون متلا معه على التوالى مقاومته الداخلية R_s و هى صغيرة جدا و يكون شكل الدائرة الكهربائية كما هو مبين بشكل رقم ٤.١.



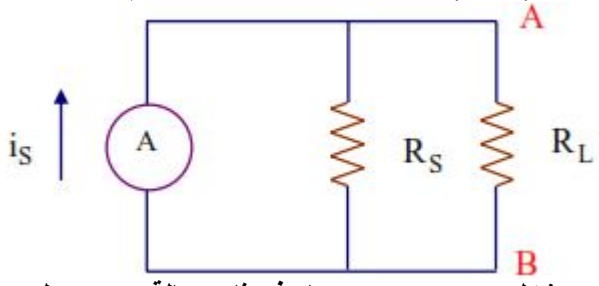
شكل (٤.١): مصدر جهد ثابت

مصدر تيار ثابت Constant Current Source:

هو مصدر تغذية لتيار ثابت للحمل فى الدائرة و يكون متصلا معه على التوالى مقاومته الداخلية R_sو تظل قيمة التيار ثابتة مهما تغيرت مقاومة الحمل و يكون شكل الدائرة الكهربائية فى حالتى عدم وجود حمل كهربائى او فى وجود حمل كهربائى ، كما مبين بشكل ٤.٢



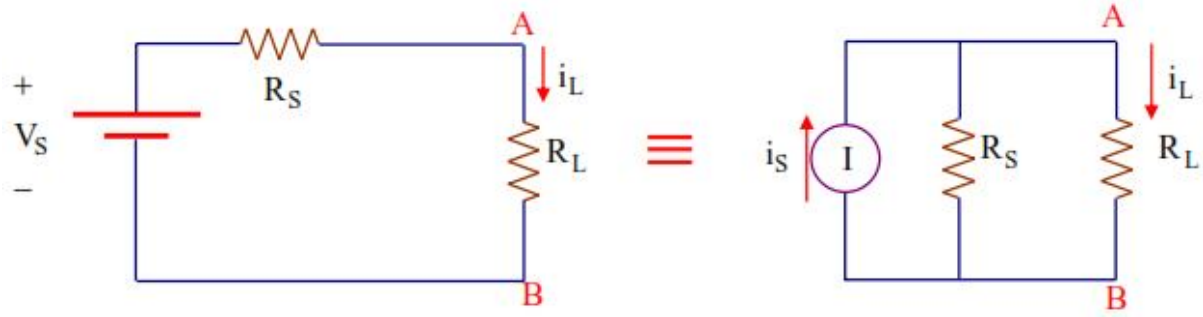
شكل(4.2-a): مصدر تيار فى ثابت حالة عدم وجود حمل



شكل(4.2-b): مصدر تيار فى ثابت حالة وجود حمل

تحويلات المصدر Source conversions :

يفضل فى بغض الاحيان و على حسب نوعية الدائرة ، تحويل مصدر الجهد الى مصدر تيار او العكس كما هو مبين بشكل ٤.٣ و ذلك بغرض تسهيل عملية التحليل



شكل (٤.٣): مصدر تيار ثابت و مصدر جهد ثابت متكافئان

من دائرة مصدر الجهد نجد لن تيار الحمل I_L يساوى

$$I_L = \frac{V_S}{R_S + R_L} (1)$$

و من دائرة مصدر التيار و بتطبيق علاقة توزيع التيار نجد ايضا ان التيار المار فى الحمل I_Lيساوى:

$$I_L = \left(\frac{R_S}{R_S + R_L}\right) i_S (2)$$

و بمساواة العلاقة ١ بالعلاقة ٢ نجد ان :

$$V_s = R_s \times i_s \quad (3)$$

فى حالة التيار المتردد فان R_L و R_S هما Z_L و Z_S.

قبل البدء فى تحليل شبكات التيار المتردد نتطرق بصورة سريعة لشرح العلاقة بين الثنائيات الاتية: المقاومة و المواصلة، المفاعلة الحثية و المهاودة الحثية، المفاعلة السعوية و المهاودة السعوية، المعاوقة و المسامحة.

فى حالة توصيل عدد من المقاومات ($R_1,R_2,R_3,\ldots\ldots$) على التوالى فان المقاومة الكلية (R) تساوى

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

مقلوب المقاومة يعرف بالمواصلة ووحدتها السيمنز (S) و يمكن كتابة المعادلة اعلاه على الصورة

$G = G_1 + G_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

فى حالة التيار المتردد اذا تم توصيل عدد من المعاوقات ($Z_1,Z_2,\ldots..$) على التوازى، فانه يمكن استنتاج العلاقات الاتية

$I = I1 + I2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$$V/Z = V/Z_1 + V/Z_2 + \ldots\ldots\ldots$$

حيث (1/Z) هو مقلوب المعاوقة و يسمى بالمسامحة و يرمز لها بالرمز (Y) ووحدتهه هىالسيمنز (S). كما سبق ذكره.

اذن يمكن كتابة المعادلة السابقة عاى الصورة الاتية

$$Y = Y_1 + Y_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

حيث $Y_1,Y_2\ldots.$ هى مسامحات الافرع المتصلة على التوازى و Y هى مسامحة الدائرة الكلية المكافئة.

اذنا

اعتبر صورة العدد المركب ادناه

بمقارنة المعادلتين السابقيتن اعلاه فانه يمكن كتابة معادلة المسامحة على الصورة الاتية:

$\mathbf{Y = G - jB_L}$(باعتبار ان العنصر حثى)

حيث G هى المواصلة و B_L هى المهاودة الحثية. اذنا

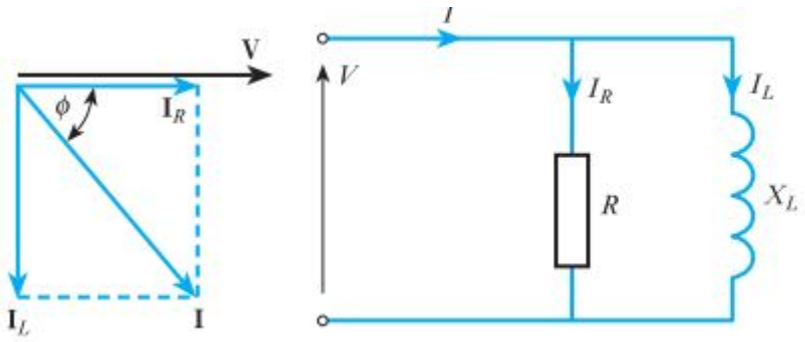
اما اذا كان العنصر مكثفا

$Y =$

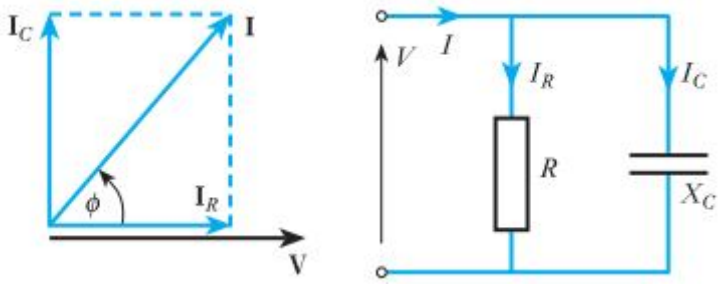
حيث B_C هى المهاودة السعوية.

مما سبق ذكره تستخلص الاتى:

(١) فى دوائر التوازى المكونة من مقاومة و ملف بحت يمكن رسم مخطط بيان المتجهات، الدائرة المكافئة و كتابة المعادلات الاتية



(٢) فى حالة دوائر التوازى المكونة من مقاومة و مكثف :



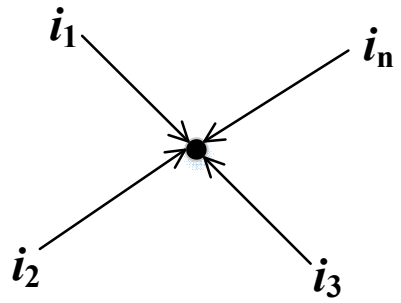
قانونا كيرشوف Kirchhoff's Laws

قانون كيرشوف للتيار Kirchhoff's Current Law

ينص قانون كيرشوف للتيار ان " المجموع الجبرى للتيارات الكهربائية اللحظية الداخلة الى عقدة اى عقدة كهربائية يساوى صفرا" و يعبر عنه رياضيا كما ياتى:

$$\sum_{k=1}^{k=n} i_k = 0 \quad (4)$$

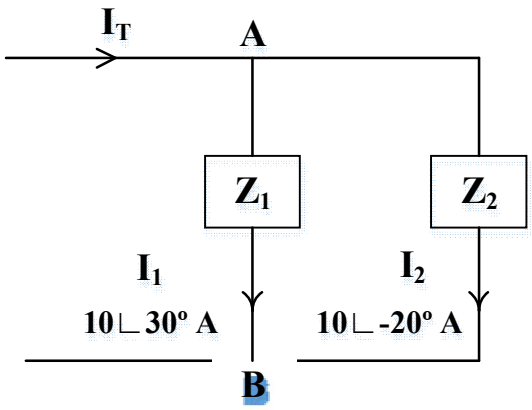
حيث n هو عدد التيارات المتصلة بهذه العقدة الكهربائية ، و تعتبر التيارات اللحظية الداخلة الى العقدة تيارات سالبة بينما تعتبر التيارات اللحظية الخارجة منها تيارات موجبة ، و يلاحظ هنا ان التيارات جميعها كميات اتجاهية. و شكل رقم ٤.٤ يوضح احد هذه العقد الكهربائية



شكل (٤.٤): التيارات الجبرية الداخلة الى العقدة

مثال (١):

فى الشكل المبين ادناه احسب قيمة التيار الكلى I_T:



الحل :

لحساب التيار الكلى I_T ، نطبق قانون كيرشوف للتيارات على اى من النقطتين A او B كالاتى:

- عند نقطة A :

(١) مجموع التيارات الداخلة الى النقطة = (I_T)

(٢) مجموع التيارات الخارجة من النقطة = $(I_1 + I_2)$

اذن

$I_T = I_1 + I_2$

❖ عند نقطة B :

(٣) مجموع التيارات الداخلة الى النقطة = $(I_1 + I_2)$

(٤) مجموع التيارات الخارجة من النقطة = (I_T)

اذن

$I_1 + I_2 = I_T$

نلاحظ ان تطبيق قانون كيرشوف للتيارات عند اى من النقطتين A او B يعطى نفس النتيجة

اذن

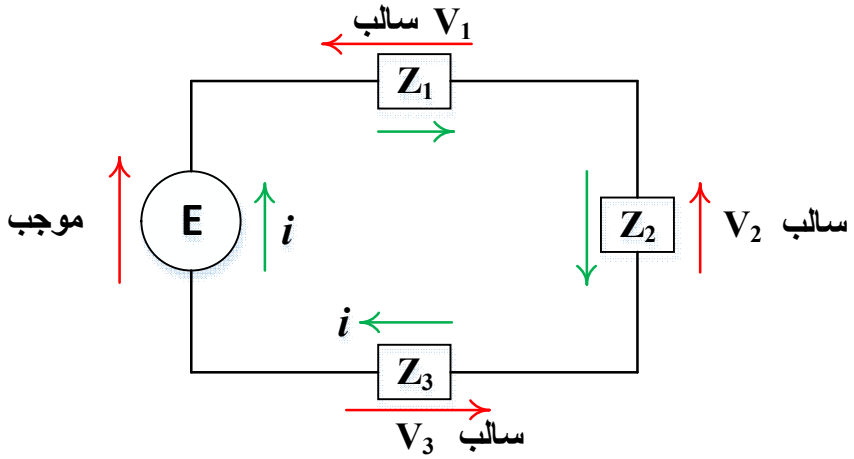
$I_T = I_1 + I_2 = 10 \angle 30^\circ + 20 \angle -20^\circ$

$= (8.66 + j5) + (18.8 - j6.84) = 27.46 - j1.84 = 27.5 \angle -3.84^\circ$ A

قانون كيرشوف للجهود Kirchhoff's Voltage Law :

ينص قانون كيرشوف للجهود " فى اى دائرة كهربائية مغلقة يكون المجموع الجبرى للجهود الكهربائية اللحظية على مكونات هذه الدائرة يساوى صفرا ، و يعبر عنه رياضيا كما ياتى:

$$\sum_{k=1}^{k=n} v_k = 0 \quad (5)$$



شكل (٤.٥): تقسيم الجهود فى دائرة تيار متردد متوالية

و على هذا يمكن كتابة قانون كيرشوف للجهود للشكل السابق الاتى:

$$E - V_1 - V_2 - V_3 = 0 \quad (6)$$

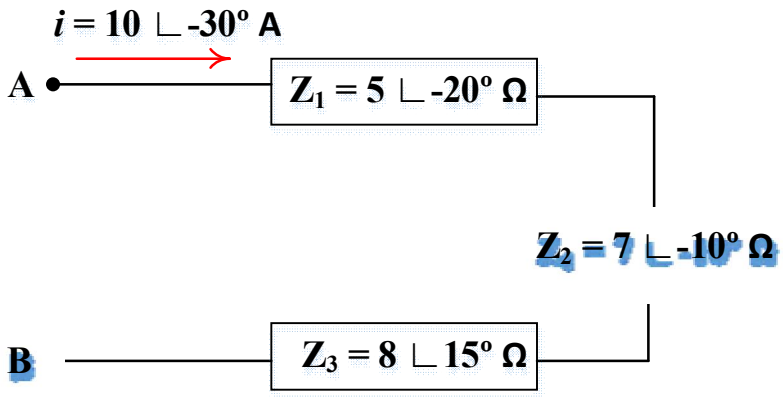
او بصورة اخرى

$$E = V_1 + V_2 + V_3 \quad (7)$$

يلاحظ ان اتجاه الجهد عكس اتجاه التيار فى المعاوقات و فى اتجاه التيار بالنسبة لمصدر الجهد.

مثال (٢):

فى الشكل المبين ادناه احسب الجهد بين النقطتين A و B



الحل:

لحساب الجهد بين النقطتين ، نطبق قانون كيرشوف للجهود كالاتى:

$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3$

و يمكن حساب كل جهد من الجهود الثلاثة على حدة كالاتى:

$V_1 = i \times Z_1 = (10 \angle -30) \times (5 \angle -20) = 50 \angle -50^\circ \text{ V}$

$V2 = i \times Z_2 = (10 \angle -30) \times (7 \angle -10) = 70 \angle -40^\circ \text{ V}$

$V_3 = i \times Z_3 = (10 \angle -30) \times (8 \angle 15) = 80 \angle -15^\circ \text{ V}$

و بالتعويض فى معادلة الجهد V_{AB} ، نحصل على الاتى :

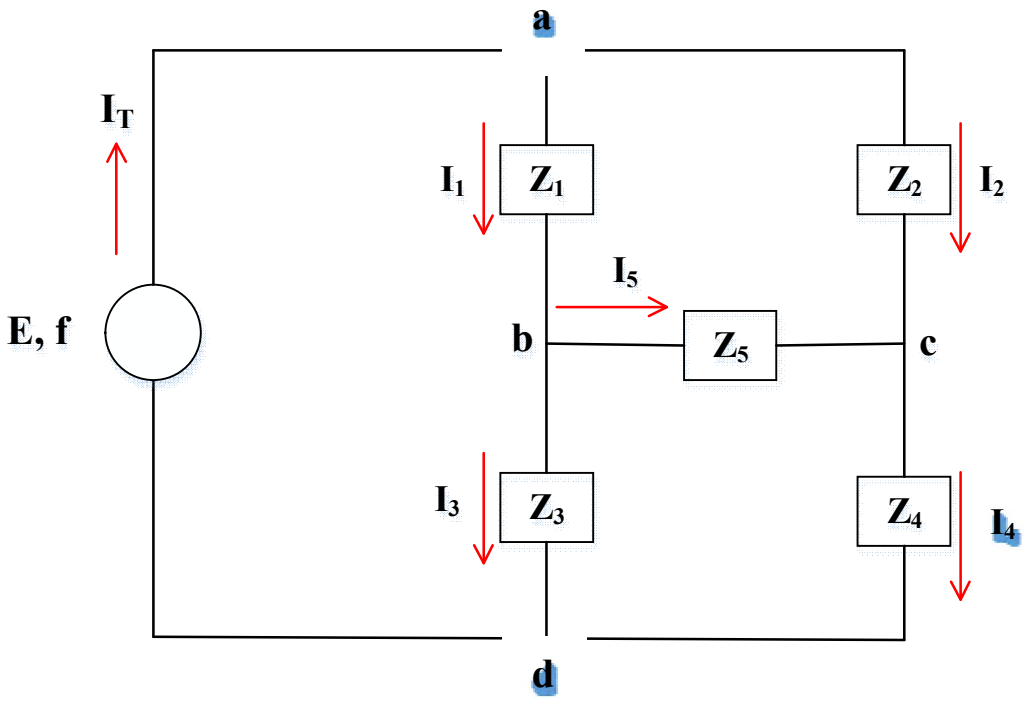
$V_{A-B} = V_1 + V_2 + V_3 = 50 \angle -50^\circ + 70 \angle -40^\circ + 80 \angle -15^\circ$

$V_{AB} = (32.14 - j38.3) + (53.62 - j45) + (77.27 - j20.7) =$

$V_{AB} = 163 - j\ 104 = 193.4 \angle -32.54^\circ \text{ V}$

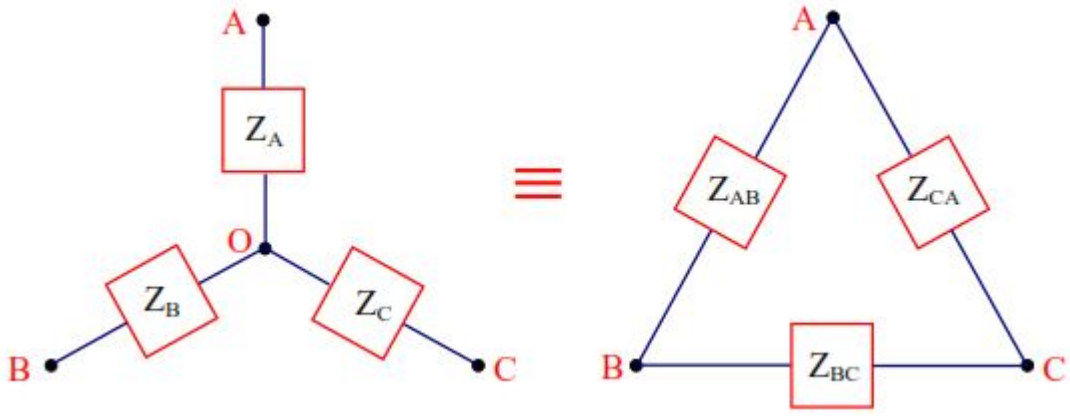
تحويلات الدلتا – نجمة و النجمة – دلتا:

لو نظرنا الى الشكل رقم ٤.٦ لوجدنا ان توصيل المعاوقات فى الدائرة لا يتبع توصيلات التوالى و لا يتبع توصيلات التوازى. و بالتالى فان الحل عن طريق الاختزال يصبح غير ممكن. و تصبح طريقة الحل المتاحة هى طريقة قوانين كيرشوف ، التى كما راينا تتطلب جهدا كبيرا الذى قد يتطلب وقتا كبيرا و تتطلب ايضا حرصا فى الحل لان مصادر الاخطاء هنا تكون كثيرة



شكل (٤.٦): دائرة كهربائية ذات توصيلات مركبة

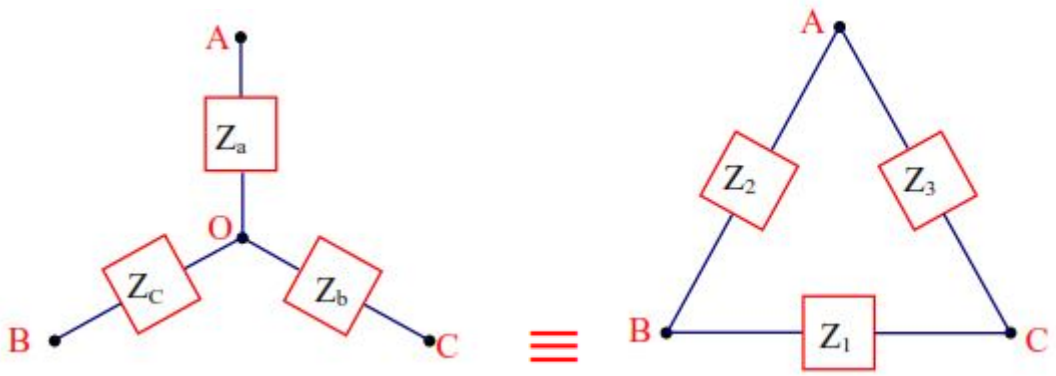
و تحويلات النجمة – دلتا و الدلتا نجمة هى احدى الطرق او النظريات التى تسهل الحل فى مثل هذه الدوائر. و لشرح هذه الطريقة او النظرية، نستعين بشكل رقم ٤.٧ حيث ان النقاط الرئيسية A,B,C هى النقاط الرئيسية فى الدائرة. و تسمى التوصيلة فى الرسم الايمن توصيلة الدلتا و يرمز لها بالرمز(Δ) فى حين تسمى التوصيلة فى الرسم الايسر توصيلة النجمة و يرمز لها بالرمز (Y) . و يكون تحويل اى من منهما الى الاخرى.



شكل (٤.٧): توصيلات الدلتا و النجمة

التحويل من نجمة الى دلتا (Δ-Y) :

بالرجوع الى شكل رقم ٤.٨ اذا تخيلنا وجود مصدر للجهد بين النقطتين A,B فتكون المعاوقة الكلية للتوصيلة ما بين النقطتينA,B بالنسبة للتوصيلة Δ متساوية مع المعاوقة الكلية للتوصيلة مل بين النقطتين A,B بالنسبة للتوصيلة Y . و على ذلك يمكن استنتاج ما يلى:



شكل (٤.٨): التحويل من نجمة الى دلتا

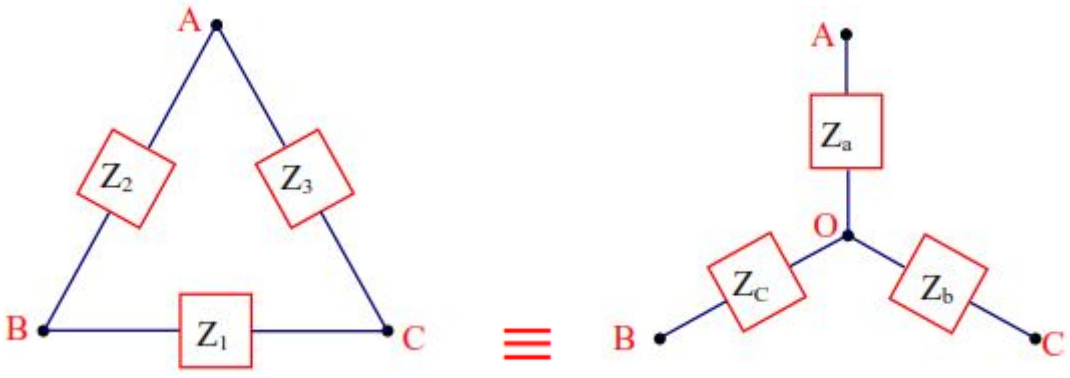
$$Z_1 = Z_b + Z_C + \frac{Z_b Z_C}{Z_a}$$

$$Z_2 = Z_C + Z_a + \frac{Z_C Z_a}{Z_b}$$

$$Z_3 = Z_a + Z_b + \frac{Z_a Z_b}{Z_C}$$

التحويل من دلتا الى نجمة (Δ-Y) :

و بالرجوع الى شكل رقم ٤.٩نجد انه بالمثل اذا تخيلنا وجود مصدر للجهد بين النقطتين B,C فتكون المعاوقة الكلية للتوصيلة ما بين النقطتين B,C بالنسبة للتوصيلة Δ متساوية مع المعاوقة الكلية للتوصيلة مل بين النقطتين B,C بالنسبة للتوصيلة Y . و على ذلك يمكن استنتاج ما يلى:



شكل (٤.٩): التحويل من دلتا الى نجمة

$$Z_a = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

$$Z_b = \frac{Z_3 Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

$$Z_C = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

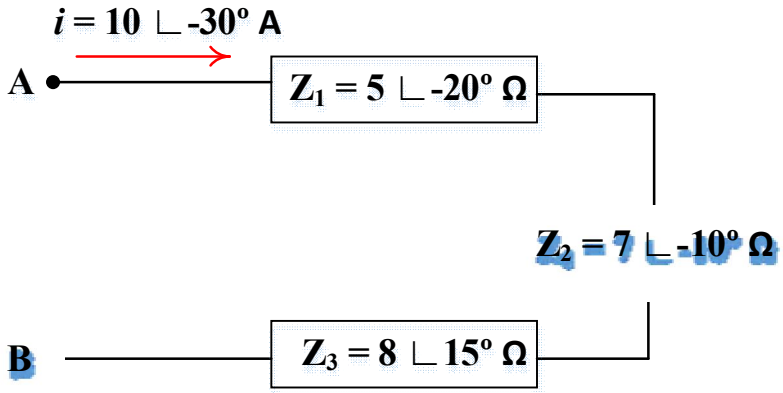
التقويم

(١) أذكر أنواع مصادر تشغيل الدوائر الكهربائية

(٢) حلل شبكات التيار المتردد بتطبيق النظريات المختلفة.

(٣) قارن النتائج بطرق مختلفة.

(٤) في الشكل المبين أدناه احسب الجهد بين النقطتين A و B



(٥)مستعيناً بالرسم حول الشبكات الموصلة نجمة الى دلتا و العكس.

٥

عناصر اشباه الموصلات

الاهداف :

بنهاية هذا الباب يكون الطالب قادرا على ان :

(١) يعرِّف تركيب الدايود.

(٢)يعرِّف رموز و انواع الدايود .

(٣)يعرِّف اطراف الدايود.

(٤)يعرِّف مجالات و إستخدامات الديود.

(٥) يعدد طرق إختبار الدايود.

(٦)يعرِّف تركيب الترانزستور.

(٧) يحدد انواع و رموز الترانزستور.

(٨)يعرِّف إستخدامات و طريقة إختبار الترانزستور.

(٩) يعدد مكونات و تركيب ارجل الدائرة التكاملية.

(١٠) يقارن بين الدارارت التكاملية الرقمية و التماثلية.

(١١) يعدد رموز و خواص المكبر التشغيلي .

(١٢) يتعرف إستخدامات المكبر التشغيلي.

الدايود (الثنائي):

نظرا لان موصيلية اشباه الموصلات تعتبر صغيرة جدا إذا ما قورنت مع موصلية المعادن ،فإن بغض الشوائب تضاف إلى اشباه الموصلات النقية و ذلك لرفع موصليتها ، و يطلق على عملية إضافة الشوائب هذه التطعيم .

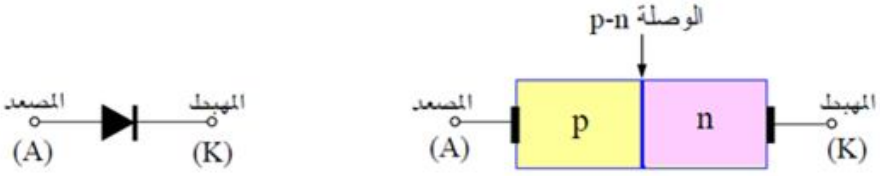
تصنف اشباه الموصلات ذات الشوائب من حيث المواد المطعمة بها إلى اشباه موصلات من النوع السالب او من النوع (n) و اشباه موصلات من انوع الموجب (p) تسلك مادة شبه الموصل من النوع n او من النوع p سلوك الموصل للتيار الكهربائي، و للحصول على عناصر إلكترونية تعمل بخاصية بعيدة عن سلوك شبه الموصل لابد من إستخدام النوعين n و p في تشكيل هذه العناصر و سنتعرض في هذا الفصل على احد هذه العناصر و هو الثنائي n-p .

التركيب :

ثنائي الوصلة p-n:

يتم تشكيل الثنائي على بلورة أحادية و متصلة من مادة شبه موصل نقي مثل السيليكون أو الجرمانيوم يطعم أحد جانبي هذه االبلورة بشوائب مانحة و يطعم الجانب الاخر بشوائب كاسبة و الجدير بالذكر أنه لا يمكن تشكيل ثنائي الوصلة بمجرد وضع قطعة من مادة شبه موصل نوع n ملاصقة لمادة نوع p لأن عدم الاستمرارية في البناء البلوري لمادة شبه الموصل يؤدى إلى ضياع كل الصفات التي شكل ثنائي الوصلة من أجلها . و يبين الشكل ٥.١ التركيب و الرمز الإلكتروني لثنائي

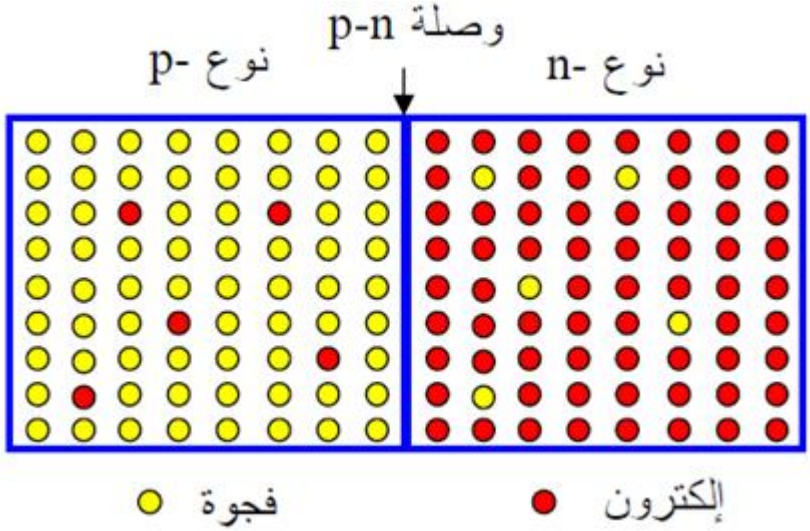
الوصلة . و نلاحظ أن للثنائي طرفين الطرف الاول المتصل بالمادة نوع p و يطلق عليه المصعد أو الانوج و يرمز له بالحرف A و الطرف الثاني بالمادة نوع n و يطلق عليه المهبط أو الكاثود و يرمز له بالرمز K.



(a) التركيب **(b) الرمز الالكترونى**

شكل (٥.١) :التركيب و الرمز الالكترونى لثنائى الوصلة

الشكل ٥.٢ يبين لنا توزيع الشحنات في ثنائي الوصلة حيث تكون غالبية الشحنات في الجزء الايسر و الذي يحتوي على مادة نوع p فجوات و تمثل الإلكترونات أقلبية في هذا الجزاء ، وبينما تكون غالبية الشحنات في الجزء الأيمن و الذي يحتوي على مادة نوع n إلكترونات و تمثل الفجوات أقلية في هذا الجزء.

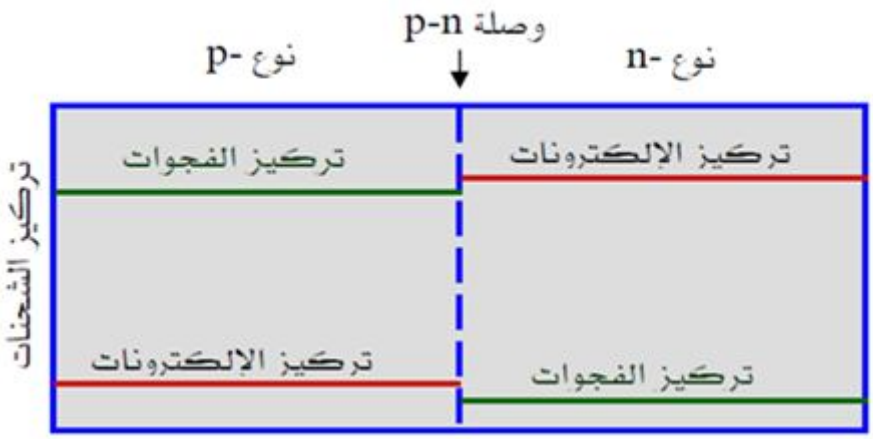


شكل (٥.٢) :توزيع الشحنات فى ثنائى الوصلة (p-n)

ثنائي وصلة p-nعند الاستقرار:

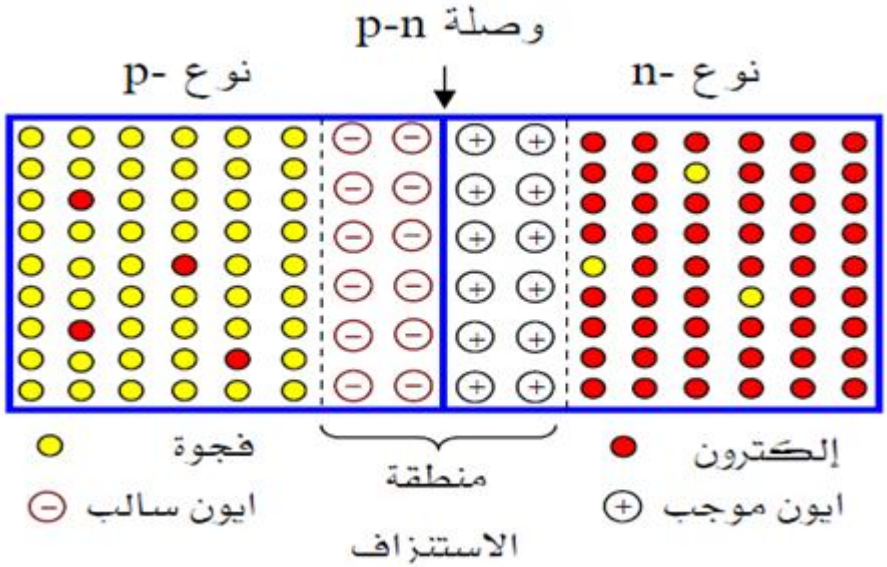
عند تشكيل ثنائي الوصلة p-n يكون تركيز كل من الإلكترونات و الفجوات عل جانبي الوصلة بين المادتين p ، n كما هو مبين في الشكل ٥.٣ . و نتيجة لهذا الإختلاف في التركيز على جانبي الوصلة فإن الشحنات سوف تنتشر من الوسط الإكثر تركيزا إلى الوسط الأقل تركيزا . حيث تنتشر الإلكترونات من المادة nإلى المادة p كما تنتشر الفجوات من المادة p إلى المادة n.

لذا نجد أن الإلكترونات القريبة من الوصلة قد اختلفت نتيجة انتشارها إلى المادة نوع p و اتحادها مع الفجوات التي انتشرت هي الاخرى من المادة نوع p إلى نوع n .



شكل (٥.٣) :تركيز الاكترونات و الفجوات على جانبى الوصلة

و نتيجة لعملية الانتشار و الاتحاد هذه نجد أن المنطقة القريبة من الوصلة أصبحت لا تحتوي على إلكترونات أو فجوات حرة ، كما أن الشحنة في هذا المنطقة اصبحت غير متعادلة لأن الالكترون الذي يعبر إلى المنطقة p يترك ذرته على شكل ايون موجب كما ان الفجوة التي تعبر من المنطقة p إلى المنطقة n تبقى ذرته على شكل ايون سالب . وهكذا تتكون شحنة فراغية على جانبي الوصلة و يطلق على هذه المنطقة التي تكونت فيها الشحنة الفراغية منطقة الإستنزاف أو منطقة الإنتقال أو منطقة الشحنة الفراغية . و يبين الشكل ٥.٤ منطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة p-n .و يعتمد عرض منطقة الاستنزاف على نسبة تركيز الشوائب في مادة شبه الموصل .



شكل (٥.٤) : منطقة الاستنزاف فى ثنائى الوصلة p-

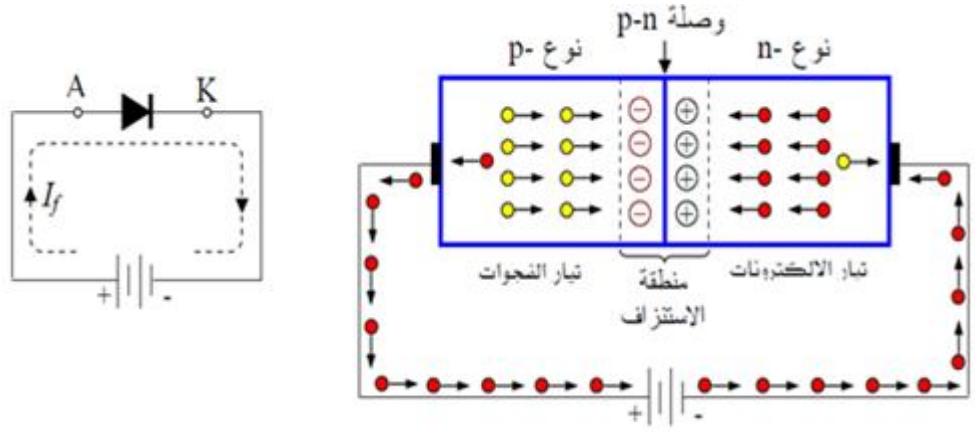
و حيث ان الشحنة الفراغية داخل منطقة الاستنزاف تكون موجبة الشحنة في الجانب n و سالبة الشحنة في الجانب p فإنه ينشئ جهد على جانبي الوصلة و يطلق على هذا الجهد (الجهد الحائل) و يرمز له بالرمز V_B، حيث يؤدي هذا الجهد إلى تكوين مجال كهربائي يكون اتجاهه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة أي من الجانب n إلى الجانب pو يؤدي هذا المجال إلى عرقلة انتشار الإلكترونات إلى الجانب p و الفجوات إلى الجانب n و بذلك نجد أن الشحنة الفراغية في منطقة الاستنزاف يستمر تكويتها حتى تصبح شدة المجال الكهربائي المتولدة عنها كافية لمنع انتشار الشحنات.

ثنائي الوصلة p-n عند تطبيق جهد الإنحياز :

يوجد نوعان من الانحياز هما الانحياز الامامي و الذي يكون عنده جهد المنطقة p موجبا بالنسبة للمنطقة n و الانحياز العكسي و الذي يمون عنده جهد المنطقة p سالبابالنسبة للمنطقة n و سوف نتناول في هذا الجزء دراسة نوعي الإنحياز .

(١) الإنحياز الامامي:

عند توصيل ثنائي الوصلة p-n ببطارية بحيث يكون الجانب pللثنائي متصلا بالقطب الموجب للبطارية و الجانب n للثنائي متصل بالقطب السالب للبطارية كما هو موضح بالشكل ٥.٥ فأن الثنائي يكون في حالة انحياز أمامي و هي الحالة التي تسمح للثنائي بتوصيل التيار . في هذه الحالة تتنافر الالكترونات في الجانب n مع القطب السالب للبطرية و تتدفع لعبور الوصلة إلى الجانب p بينما الفجوات في الجانب p تتنافر مع القطب الموجب للبطارية و تتدفع لعبور الوصلة إلى الجانب n و نتيجة لذلك يقل عدد الايونات الموجبة في الجانب n من منطقة الاستنزاف و يقل عدد الايونات السالبة في الجالنب p من منطقة الاستنزاف و تضيق منطقة الاستنزاف.



شكل (٥.٥) :ثنائى الوصلة فى حالة انحياز امامى

عند زيادة جهد البطارية عن قيمة الجهد الحائل، فإن عرض منطقة الاستنزاف يقل إلى الحد الذي يسمح بإستمرار سريان التيار بين قطبي المصدر عبر الوصلة

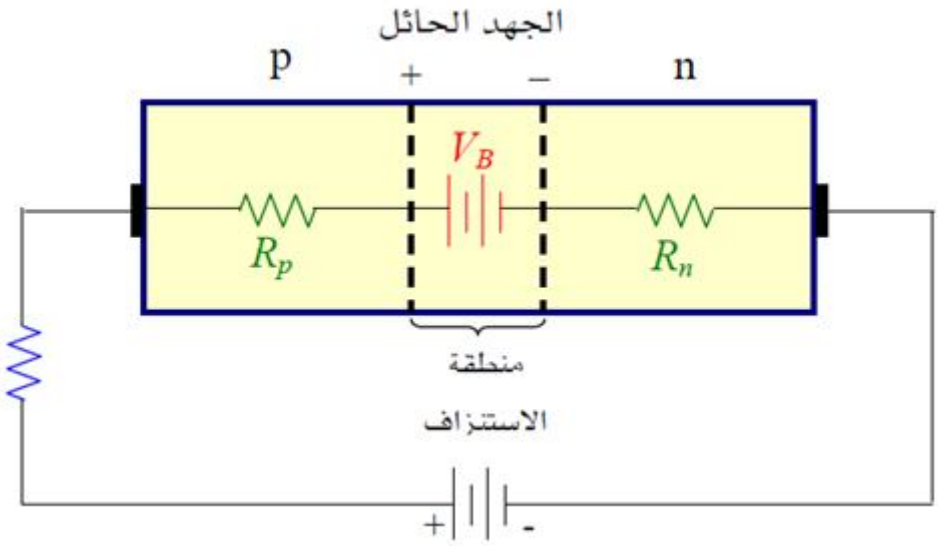
مما سبق يتضح لنا أن الثنائي عندما يكون في حالة انحياز أمامي فإن الإلكترونات سوف تنتشر من المادة نوع n إلى المادة نوع p ، كما ان الفجوات سوف تنتشر من المادة نوع p إلى المادة نوع n و نتيجة لهذا الانتشار يضيق عرض منطقة الاستنزاف و يمر خلال الثنائي تيار كهربائي ناتج عن انتشار الحاملات الغالبية للتيار و له مركبتين الاولى هي المركبة الناتجة عن انتشار الالكترونات و الاخرى الناتجة عن انتشار الفجوات . تزداد شدة التيار المار بالوصلة بزيادة قيمة الجهد الامامي المطبق على الثنائي و يسمى التيار في هذا الحالة بالتيار الامامي و يرمز له بالرمز I_f و يكون اتجاهه من المصعد إلى المهبط و قيمته بالملي أمبير.

و يمكن تمثيل الجهد الحائل لمنطقة الاستنزاف ببطارية صغيرة لها قطبية عكس قطبية الجهد المطبق في حالة الانحياز الامامي كما هو مبين بالشكل ٥.٦ ، و بالتالي لكي يمر تيار عبر الثنائي فإنه يجب أن تكون قيمة الجهد المطبق في حالة الانحياز الامامي اكبر من قيمة الجهد الحائل .و تختلف قيمة الجهد الحائل باختلاف نوع الثنائي فمثلا في حالة الثنائي

المصنوع من السيليكون تكون قيمة الجهد الحائل حوالي ٠.٧ فولت أما في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم فإن قيمة الجهد الحائل تكون حوالي ٠.٣ فولت .

عندما يكون الثنائي في حالة توصيل فإن قيمة الفقد في الجهد على طرفيه تساوي تقريبا قيمة الجهد الحائل حيث يمكن إهمال قيمة الفقد على مقاومة الثنائي و ذلك لصغر قيمة مقاومة المنطقة -n (R_n) و مقاومة المنطقة -p (R_p) .

و نظرا لان مقاومة الثنائي في حالة الانحياز الامامي ، و التي تمثل مجموع المقاومتين R_nو R_p تكون صغيرة جدا فإنه يجب توصيل مقاومة على التوالي مع الثنائي للحد من قيمة التيار المار في الدائرة.



شكل (٥.٦) : الجهد الحائل و مقاومة

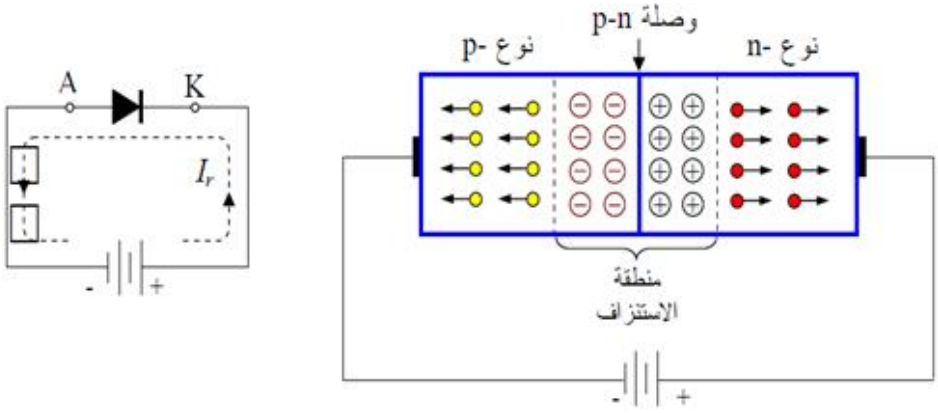
(٢) الإنحياز العكسي :

عند توصيل ثنائي الوصلة p-n ببطارية بحيث يكون الجانب p للثنائي متصلا بالقطب السالب للبطارية و الجانب n للثنائي متصل الموجب بالقطب للبطارية كما موضح بالشكل ٥.٧ .فإن الثنائي يكون في حالة انحياز عكسي . في هذه الحالة تنجذب الالكترونات في الجانب n إلى القطب الموجب للبطارية و تبتعد عن الوصلة بينما تنجذب الفجوات في الجانب p إلى القطب السالب للبطارية مبتعدة ايضا عن الوصلة . بذلك يزداد عدد الايوانات الموجبة في الجانب n من منطقة الاستنزاف و عدد الايونات السالبة في الجانب p من منطقة الاستنزاف .و نتيجة لذلك يزداد عرض منطقة الاستنزاف و تزداد شدة المجال الكهربائي بها.

و نتيجة لزيادة شدة المجال الكهربائي في منطقة الاستنزاف تنتقل الالكترونات من الجانب p إلى الجانب n كما تنتقل الفجوات من الجانب n إلى الجانب p . نتيجة لانتشار الحاملات الاقلية للتيار المتمثلة في الالكترونات في الجانب p و الفجوات من الجانب n فإن تيار صغير جدا يمر في الاتجاه العكسي (من المهبط إلى المصعد) و يرمز له بالرمز I_r عند زيادة قيمة جهد الانحياز العكسي إلى قيمة معينة يصبح التيار العكسي ثابتا و لا يعتمد على قيمة الجهد و يطلق عليه تيار التشبع العكسي و يرمز له بالرمز I_o و يعتمد هذا التيار على كثافة الحاملات الاقلية للتيار.

و نظرا لان كثافة الحاملات الاقلية تعتمد على نسبة الشوائب في شبه الموصل و على درجة الحرارة و حيث ان نسبة الشوائب في الثنائي ثابتة ، فإن درجة الحرارة تشكل العامل الاساسي في تحديد قيمة التيار العكسي المار في الثنائي .

و بما أن مقاومة الثنائي في حالة الانحياز العكسي ، و التي تمثل مجموع المقاومتين R_n وR_p تكون عالية جدا فإن قيمة التيار العكسي تكون بالميكرو أمبير أو بالنانو أمبير.



شكل (٥.٧) :ثنائى الوصلة فى حالة الانحياز

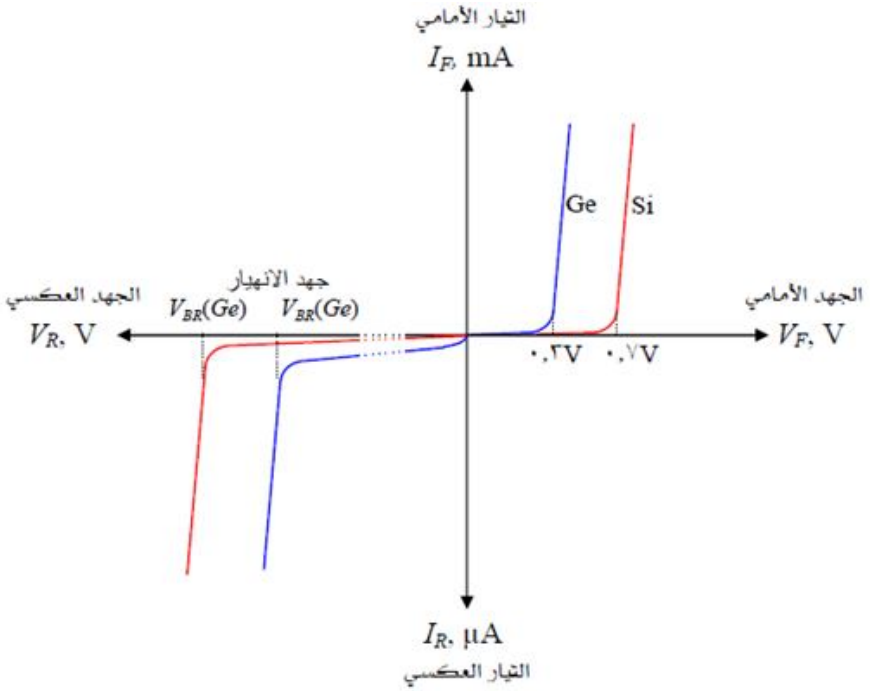
منحنى الخواص لثنائي شبه موصل :

يمثل منحنى الخواص للثنائي العلاقة بين التيار المار خلال الثنائي و بين الجهد المطبق عليه سواءا كان في حالة الانحياز الامامي او الانحياز العكسي . و يبين الشكل 5.8-a منحنى الخواص لثنائي من السيلكون و اخر من الجرمانيوم . و كما هو مبين بالشكل فإن الثنائي يوصل التيار عندما يكون التوصيل في الاتجاه الامامي و لايوصل تيار إذا كان التوصيل العكسي (تيار صغير جدا يمكن إهماله) طالما كان الجهد المطبق على طرفيه أقل من جهد الانهيار V_{BR}.

يبين الجزء الايمن من المنحنى الموضح بالشكل 5.8-a التغير الكبير في قيمة التيار الامامي عند تغير الجهد الامامي المطبق على الثنائي ، حيث يكون التيار قليل القيمة عندما يكون الجهد المطبق على الثنائي اقل من الجهد الحائل و الذي تبلغ قيمته حوالي ٠.٧ فولت في حالة الثنائي المصنوع من السيلكون أو ٠.٣ فولت في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم . و عندما يزيد الجهد المطبق على الثنائي عن الجهد الحائل فإن التيار يزيد زيادة كبيرة مع زيادة الجهد.

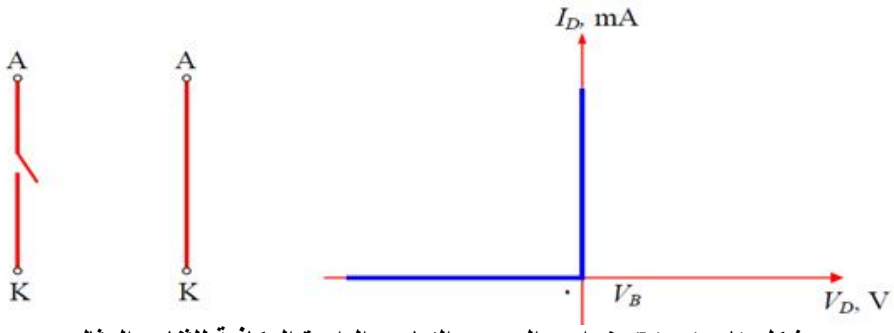
الجزء الايسر من منحنى الخواص يوضح أن التيار المار في الاتجاه العكسي يكون قريبا من الصفر طالما كان الجهد المطبق على الثنائي اقل من جهد الانهيار، و عند وصول هذا الجهد الى جهد الانهيار يزداد التيار زيادة كبيرة تؤدي غالبا الى تدمير الثنائي و يكون هذا الجهد على الاقل ٥٠ فولت في معظم الثنائيات .

نلاحظ من الشكل السابق إستخدام مقياس رسم مختلف لكل من التيار الامامي مئات أو الاف المرات ، كما نلاحظ ان قيمة تيار التشبع العكسي في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم اكبر بضعفين او ثلاثة اضعاف منه للثنائي المصنع من السلكون.



شكل (٥.٨) :(a) منحنى الخواص لثنائى شبه الموصل

و الشكل 5.8-b يبين منحنى الخواص للثنائى المثالى اذ يبلغ هبوط الجهد فى الانحياز الامامى صفر



شكل (٥.٨) :(b) خواص الجهد – التيار و الدائرة المكافئة للثنائى المثالى

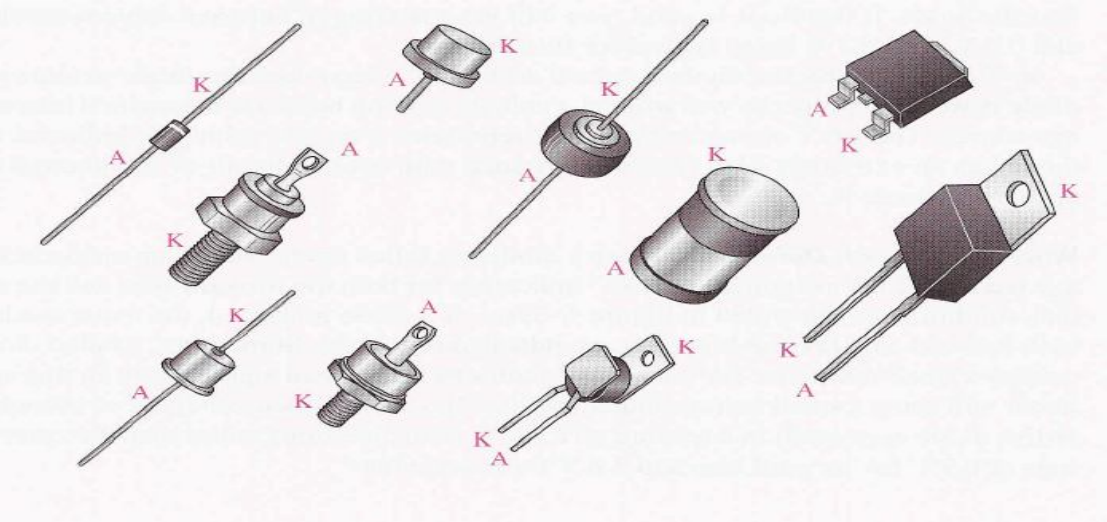
انواع الديود:

تم التطرق إلى نوعين من الثنائي وهما ثنائي السلكون و ثنائي الجرمانيوم . و يوضح الجدول رقم ٥.١ مقارنة بين بين ثنائى السليكون Si و ثنائى الجرمانيوم Ge

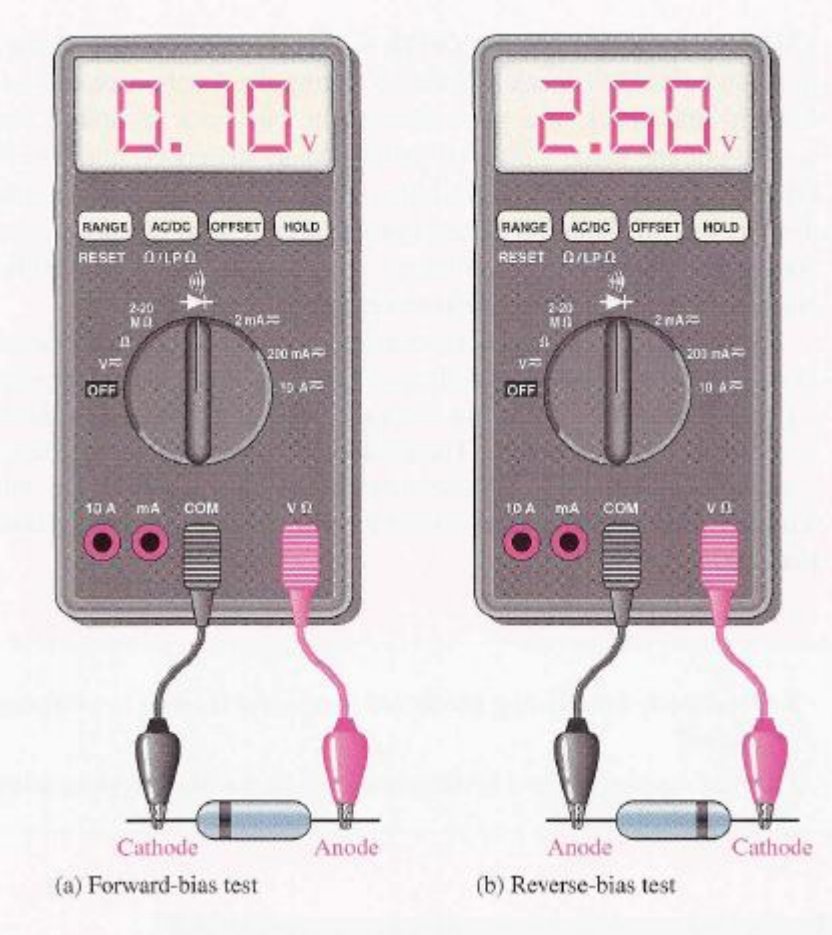
جدول رقم ٥.١ يوضح اهم الفروق بينثنائي السلكون و ثنائي الجرمانيوم

الخاصية	ثنائي السلكون	ثنائي الجرمانيوم
قيمة الجهد الحائل	٠.٧ فولت	٠.٣ فولت
جهد الانهيار العكسى	متغير على الاقل ٥٠ فولت	متغير على الاقل ٢٠ فولت
اقصى حرارة تشغيل	20 Cº	10 Cº
التطبيقات	فى دوائر الجهود و التيارات الكبيرة	فى دوائر الجهود و التيارات الضغيرة

تحديد اطراف الدايود:

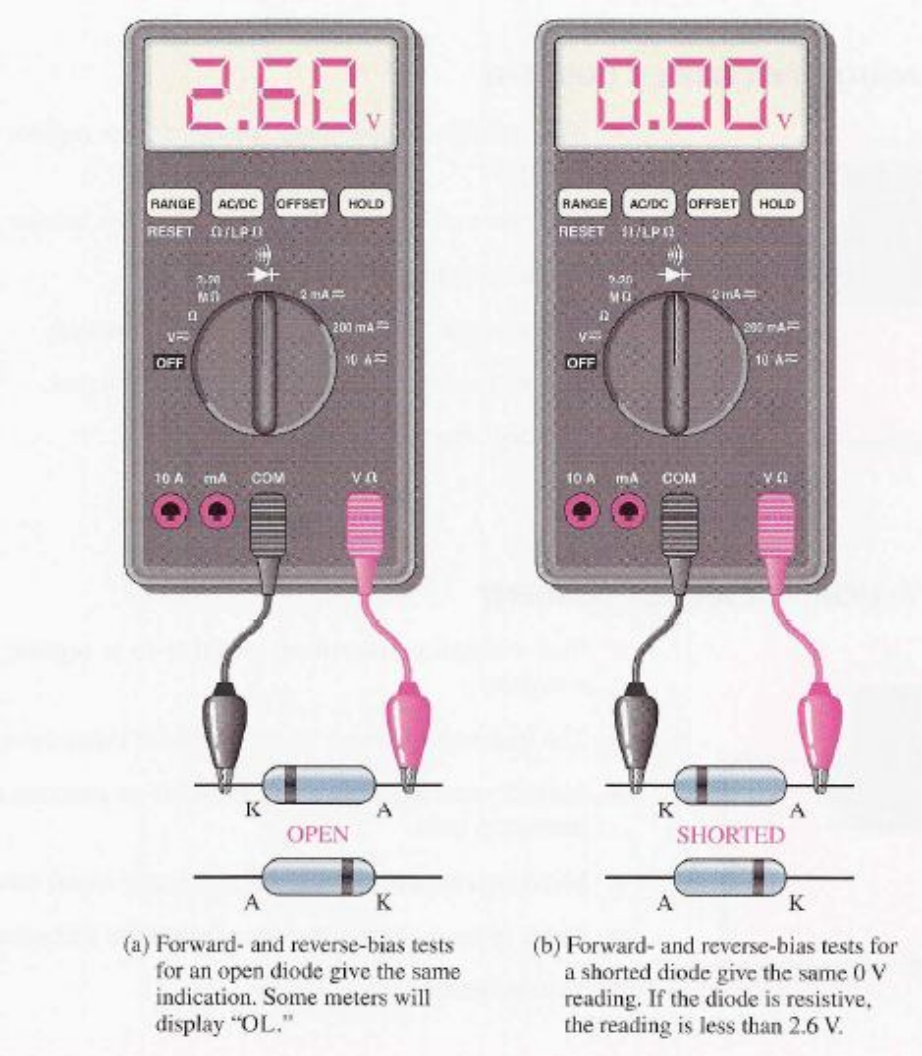


إختبار الإنحياز المامي و العكسي :



أ- إنحياز امامي .

ب- إنحياز عكسي .



(a) Forward- and reverse-bias tests for an open diode give the same indication. Some meters will display "OL."

(b) Forward- and reverse-bias tests for a shorted diode give the same 0 V reading. If the diode is resistive, the reading is less than 2.6 V.

أ- قراءة اختبار الإنحياز الامامي و العكسي لدائرة ثنائي مفتوح تعطي نفس القراءة ، بعض الاجهزة تقرأ OL .

ب- قراءة اختبار الإنحياز الامامي و العكسي لدائرة ثنائي مقصورة تعطي صفر فولت .

إستخدامات الثنائي :

١- تقويم التيار المتردد (تحويل التيار المتردد إلى تيار مباشر) rectifiers

٢- قص الموجه (تقليم الموجات) clipping or limters

٣- استعادة مستوى الجهد او دوائر الملزمات او الممسكات DC restoration or clamps

٤- مضاعفات الجهد voltage multiplier

٥- حماية الدوائر الإلكترونية protection

مثال(١) :

احسب قيمة التيار المار فى الدائرة بفرض ان الدايود حقيقى (عملى)

الحل:

اولا الدايود فى حالة انحياز امامى ، لذلك

$$I_D = \frac{V_S - 0}{R}$$

مثال(٢) :

احسب قيمة التيار المار فى الدائرة

الحل:

اولا الدايود فى حالة انحياز عكسى ، لذلك

$I_D = I_R = 0$

$V_D = 0$

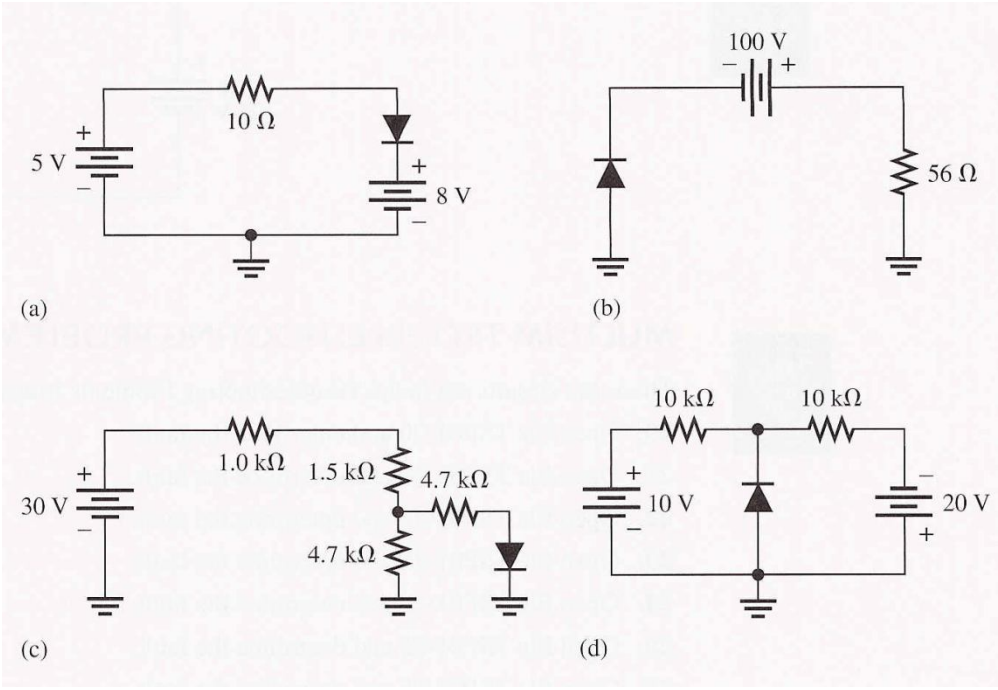
$V_R = V_S = 0$

تمرين

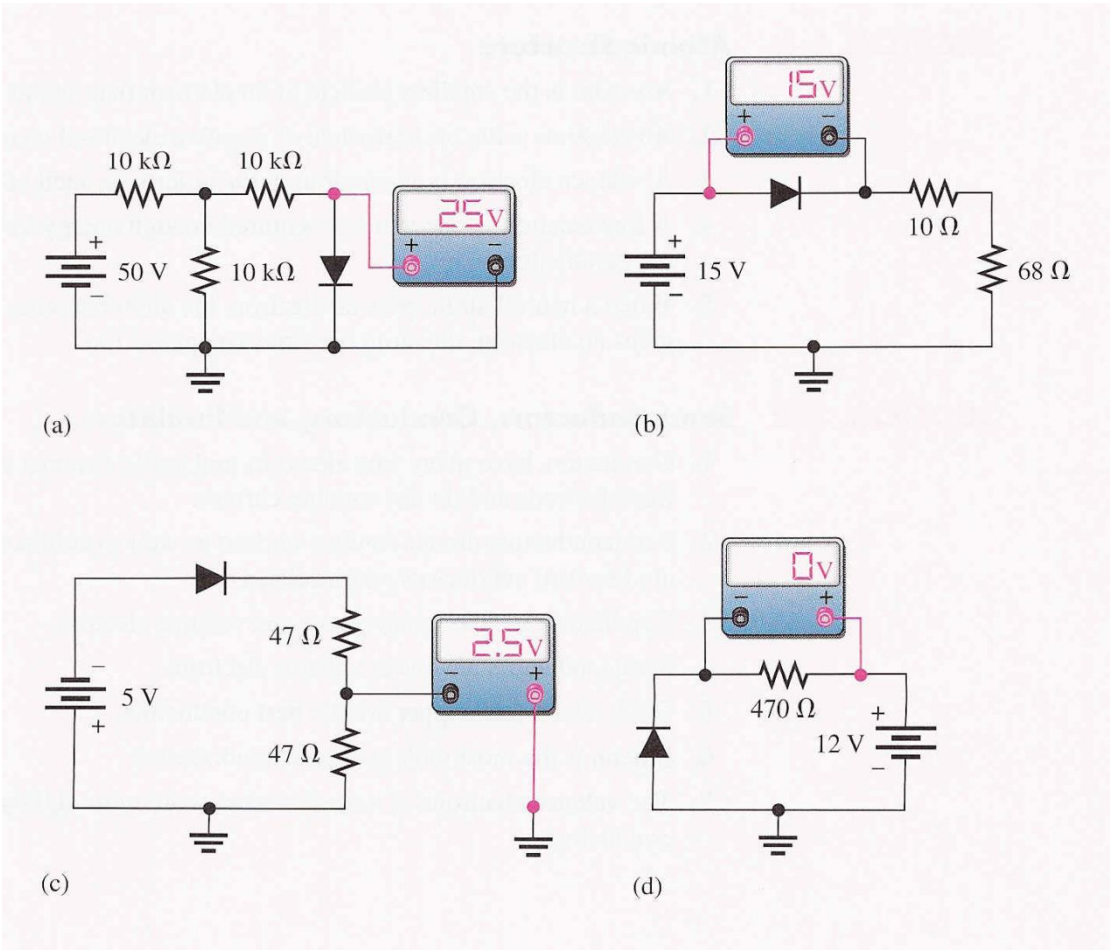
س١:

أ- حدد اي من الثنائيات التالية في حالة إنحياز امامي ام عكسي ؟

ب- احسب فرق الجهد بين طرفي كل ثنائي بفرض أن الثنائيات حقيقية ؟



٢- من القراءات الموضحة حدد ما إذا كان الثنائي يعمل بطريقة سليمة ام يعمل كدائرة مفتوحة ام دائرة مقصورة بفرض أن الثنائيات مثالية ؟



٣- ما المقصود بمنطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة ؟

٤- قارن بين الانحياز الأمامي و العكسي للثنائي من حيث :

أ- منطقة الاستنزاف .

ب- مقاومة الوصلة .

ج- مرور التيار .

٥- ارسم منحنى الخواص لثنائي شبه موصل سلكوني مع بيان كل من الجهد الحائل و جهد الإنهيار؟

الترانزستور:

يعتبر الترانزستور احد اهم عناصر اشباه الموصلات التي تم إكتشافها في العصر الحديث ، يستخدم الترانزستور بصورة عامة في مكبرات الإشارة الكهربائية و المفاتيح الالكترونية المختلفة ، و قد ساعدت عدة عوامل مثل صغر حجمه و سهولة تصنيعه و قلة تكاليفه و إستهلاكه القليل للطاقة الكهربائية على إنتشاره بصورة كبيرة.

يوجد نوعان رئسيان من الترانزستور هما الترانزستور ثنائي القطبية و ترانزستور تاثير المجال.

تتناول هذا الوحدة دراسة النوع الاول و هو الترانزستور ثنائي القطبية و سوف تهتم هذه الدراسة بتناول الموضوعات التالية ١- تركيب الترانزستور ثنائي القطبية.

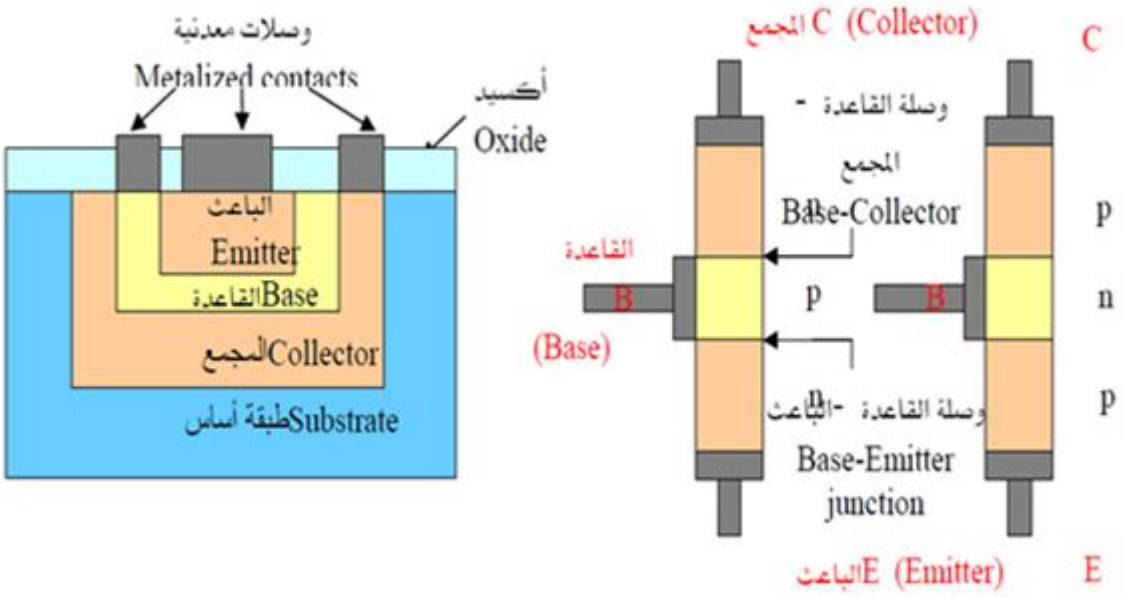
٢- معاملات و خواص هذا الترانزستور.

٣- استخدام الترانزستور كمكبر.

٤- استخدام الترانزسور كمفتاح الكتروني.

يوجد العديد من الطرق لتصنيع الترانزستور ثنائي القطبية و سوف نقوم بدراسة إحدى هذه الطرق و هو إسلوب البناء السطحي بترتيب الطبقات

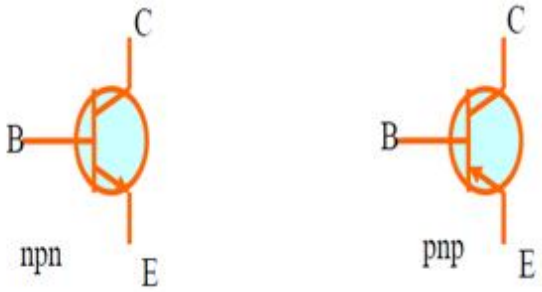
يتركب الترانزستور ثنائي القطبية من ثلاث مناطق من شبه الموصل المطعم مفصولة بوصلتين من النوع p-n كما هو مبين في الشكل 5.9-a و تسمى هذه المناطق بالباعث و القاعدةو المجمع كما هو مبين بالشكل 5.9-b و يرمز اختصارا للمشع بالحرف E و للمجمع C و كذلك للقاعدة بالحرف B.



(a) (b)

شكل (٥.٩) :البناء الاساسى للترانزستور

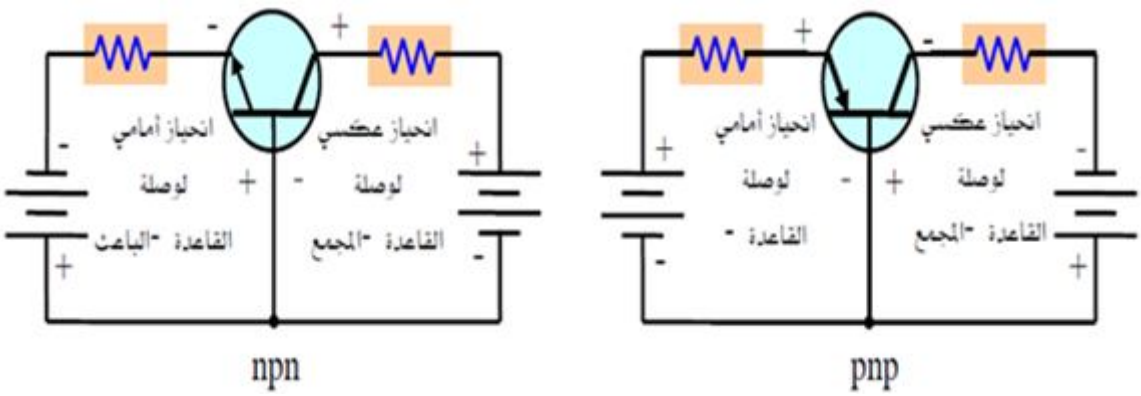
الشكل ٥.١٠ يبين الرمز القياسى الذى الذى يستخدم فى الدوائر الالكترونية لكل من ترانزستور npn و كذلك ترانزستور pnp .



شكل (٥.١٠) : يوضح الرموز لبمستخدمة فى الدوائر الالكترونية

يعمل الترانزستور ثنائي القطبية بصفة اساسية كمكبر. و لجعله يعمل بشكل مناسب لابد من عمل الانحياز المناسب لكل من وصلتيه بجهد تيار خارجي.

الشكل ٥.١١ يبين الانحياز المناسب لكل من الترانزستور npn و الترانزستور pnp للعمل بشكل فعال كمكبر.



شكل (٥.١١) : يوضح الانحياز لترانزستور الوصلة ثنائى القطبية عند استخدامه

من الشكل نلاحظ ان الانحياز الامامي دائما لوصلة القاعدة -الباعث و الانحياز العكسي لوصلة القاعدة - المجمع لكل من نوعي الترانزستور في وضع التشغيل كمكبر .

و لتوضيح نظرية عمل اترانزستور ، لابد اولا من استعراض ما يحدث داخل الترانزستور من النوع npn عند توصيله للعمل كمكبر، أي توصيله في حالة انحياز امامي-عكسي ، و يمكن تلخيص العمل الاساسي للترانزستور في النقاط التالية :

١- الانحياز الامامي من القاعدة للباعث يجعل منطقة الاستنزاف بينهما تضيق و الانحياز العكسي من القاعدة الى المجمع يودي الى اتساع منطقة الاستنزاف بينهما ، كما درسنا في الوحدات السابقة و كما هو موضح بالشكل ٥.١٢.

٢- التطعيم الكثيف لمنطقة الباعث من النوع n يؤدي الى زيادة كبيرة في عدد الكترونات التوصيل التي تستطيع الانتشار بسهولة خلال وصلة القاعدة-الباعث ذات الانحياز الامامي ، الى منطقة القاعدة من النوع p حيث تصبح حاملات الشحنة اقلية ، كما في حالة الثنائي عند ما يكون في وضع الانحياز الامامي.

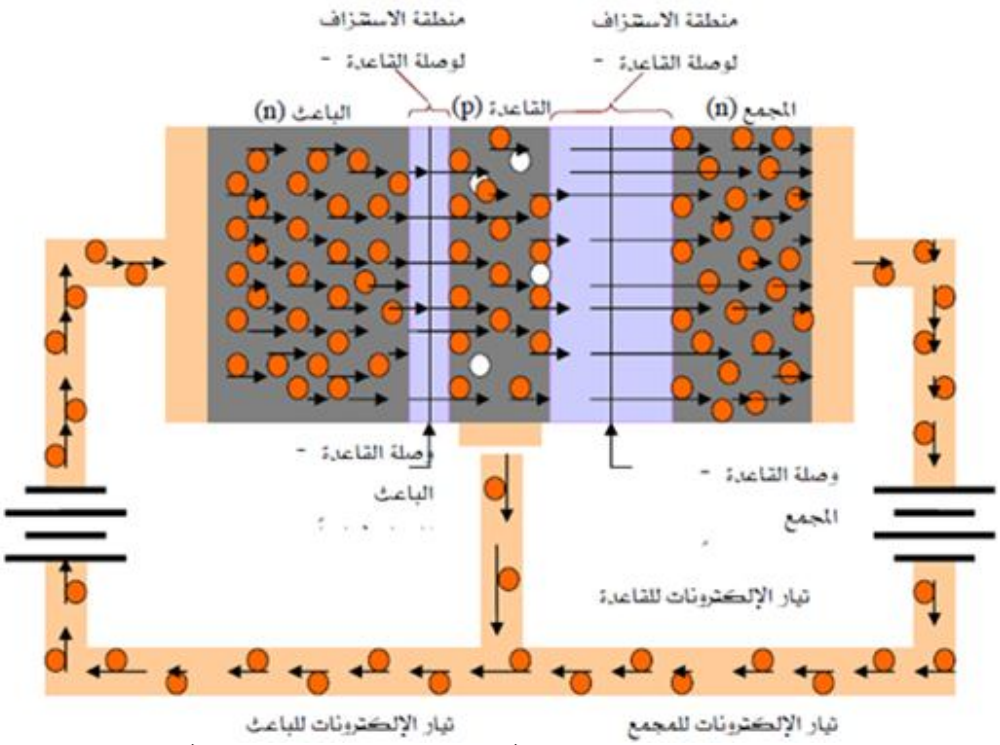
٣- التطعيم الخفيف لمنطقة القاعدة بالاضافة الى سمكها الضيق، يجعل عدد الفجوات فيها محدودا جدا ، و لهذا نسبة صغيرة من الالكترونات الكلية التي تندفع من وصلة القاعدة-الباعث تتحد مع الفجوات المتاحة في القاعدة.

٤- هذه الالكترونات القليلة التحدة نسبيا تندفع خارج طرف توصيل القاعدة كالكترونات تكافؤ و التي تشكل تيار القاعدة الصغير كما في الشكل ٥.١٢.

٥- معظم الالكترونات المندفعة من الباعث الى منطقة القاعدة الضيقة و خفيفة التطعيم لا تتحد و لكن تنتشر الى منطقة الاستنزاف بين القاعدة و المجمع .

٦- في هذه المنطقة يحدث انجذاب بفعل المجال الكهربائي المتكون من قوة التجاذب بين الايونات السالبة و الموجبة نتيجة الامحياز العكسي لوصلة القاعدة المجمع.

٧- تتحرك الالكترونات خلال منطقة المجمع خارجة خلال المجمع الى الطرف الموجب لمنبع الجهد للمجمع مشكلة لتيار المجمع كما بالشكل ٥.١٢ .



شكل (٥.١٢) : يوضح كيفية عمل الترانزستورثنائى القطبية

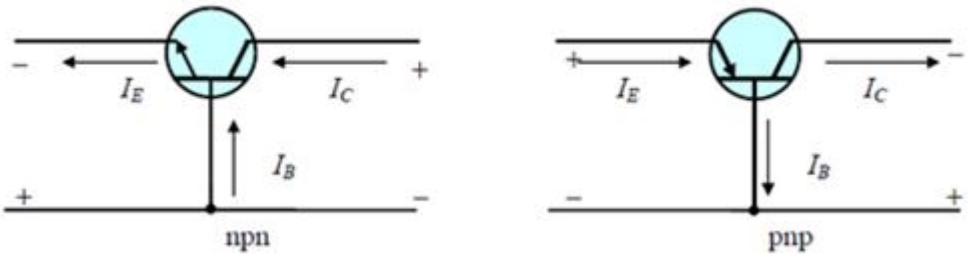
تيارات الترانزستور:

الشكل ٥.١٣ يبين اتجاه تيارات الترانزستورمن النوع npn و كذلك النوع pnp ، حيث يتبع اتجاه تيار الباعث نفس مسار السهم الموجود على الرمز الخاص بالترانزستور و تياري القاعدة و المجمع الاتجاه العكسي.

الشكل يوضح أن تيار الباعث I_E يساوي مجموع تياري القاعدةI_B و المجمعI_Cكما يلي :

$$I_E = I_C + I_B$$

و يجب الاخذ فى الاعتبار ان تيار القاعدة اقل من تيار المجمع و تيار الباعث كما ذكر من قبل فى كيفية عمل الترانزستور



شكل (٥.١٣) : تيارات الترانزستور

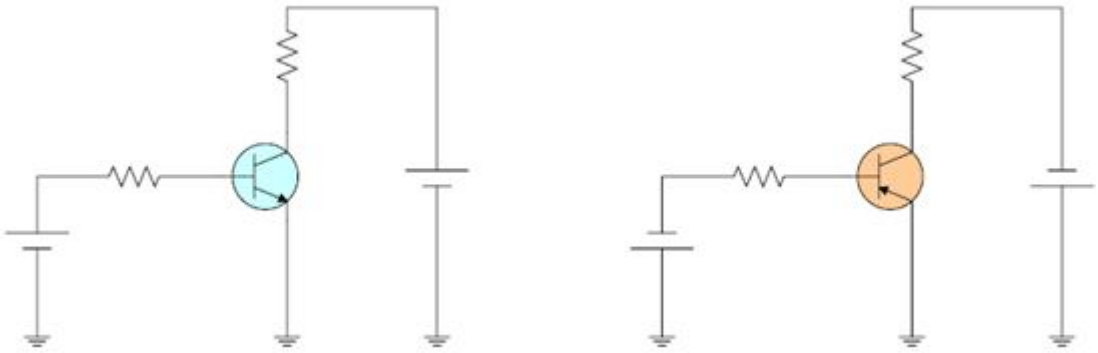
شروط عمل الترانزستور:

لابد من توفر شرطين لكي يعمل الترانزستور :

١- ان تكون الوصلة بين القاعدة و الباعث امامية الانحياز.

٢- ان تكون الوصلة بين المجمع و القاعدة عكسية الانحياز.

فالشكل ٥.١٤ يوضح طريقة توصيل الترانزستور لتحقيق الشرطين.



(a) (b)

شكل (٥.١٤):توصيل الترانزستور لتحقيق شرطى العمل (a) نوع pnp(b) نوع npn

يعرف المعامل β_{dc} على انه النسبة بين تيار المجمع I_C المستمر و تيار القاعدة I_B و الذي يطلق عليه كسب الترانزستور في حالة التيار المستمر :

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

و كذلك يعرف المعامل α_{dc} على انه النسبة بين تيار المجمع I_C المستمر و تيار الباعث I_E و الذي يطلق عليه كسب الترانزستور في حالة التيار المستمر :

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

العلاقة بين المعاملين يمكن استنتاجها كما يلي

$I_E = I_C + I_B$

بقسمة طرفي المعادلة على I_C تصبح:

$$\frac{I_E}{I_c} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dC}}{1 - \alpha_{dC}}$$

نلاحظ من المعادلة السابقة انه كلما اقترب المعامل α_{dc} من الواحد الصحيح كلما ارتفعت قيمة المعامل β_{dc} .

مثال (٣):

جد قيمة كل من β_{dc} و α_{dc} و I_E لترانزستور حيث I_C=3.65m A – I_B = 50 µA

الحل:

$\beta_{dc} = (I_C/I_B)=(3.65\ mA/50\ \mu A)=7.3$

$I_E=I_C + I_B = 3.65\ mA + 50\ \mu A=3.7\ mA$

$\alpha_{dc} = (I_C/I_E)=(3.65\ mA/3.7\ mA)=0.986$

لكل ترانزستور كسب التيار β نسبة مختلفة حسب نوعه وتصنعيه و يمكن الحصول عليها من بيانات الترانزستور الخاصة به . و يرمز لها ايضا بالرمز h_{FE} و تتراوح هذه النسبة بين ١٠ و ٥٠٠ و القيمة التي نحصل عليها من ورقة البيانات الخاصة بالترانزستور قد تتغير قليلا بدرجة الحرارة .

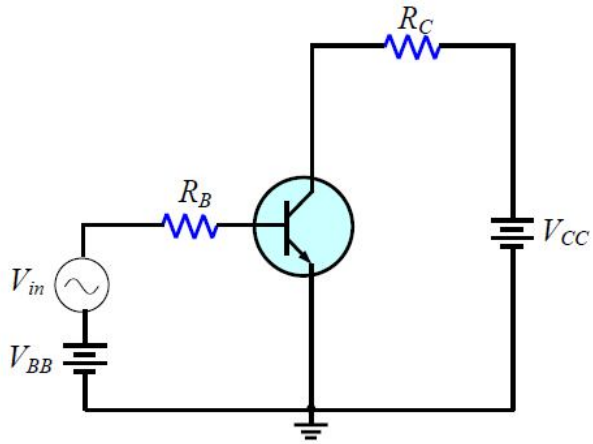
تيار القاعدة هو الذي يتحكم في المجمع .اي عندما نحتاج لمرور تيار معين في المجمع ، فإننا نضبطه بتحديد تيار القاعدة. فتيار القاعدة هو الذي يتحكم في الترانزستور في عمله كمفتاح او كمكبر.

إذا كان تيار القاعدة صغيرا جدا فإن تيار المجمع يكون صغيرا و يقال أن الترانزستور يعمل في نقطة القطع (cut off) بعد هذه النقطة يزداد تيار المجمع بزيادة تيار القاعدة و تسمى هذه المنطقة بالمنطقة الخطية (linear region) حتى تصل إلى نقطة لا يزيد فيها تيار المجمع بزيادة تيار القاعدة و تسمى بنقطة لتشبع (saturation) يعمل الترانزستور كمكبر في المنطقة الخطية و كمفتاح إلكتروني في منطقتي القطع و التشبع .

الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر:

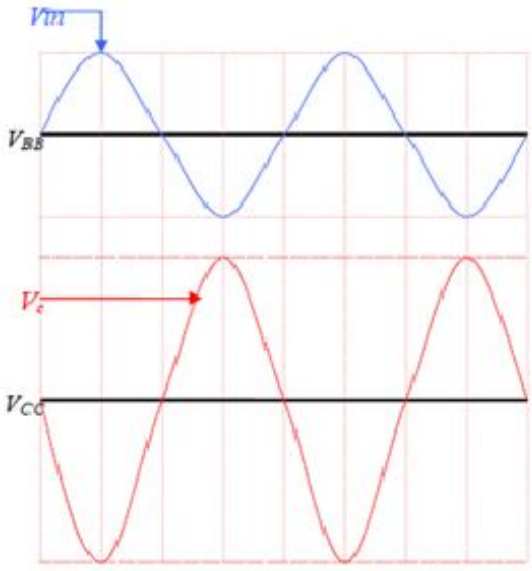
من الدراسة التي تمت في الوحدة السابقة علمنا ان الترانزستور ثنائي القطبية يكبر التيار لان تيار المجمع يساوي تيار القاعدة مضروبا في كسب التيار ($I_C = \beta_{dc}\ I_B$) و حيث ان تيار القاعدة صغير جدا بالمقارنة بتياري المجمع و الباعث فإن تيار المجمع يساوي تقريبا تيار الباعث.

من هذا المنطلق سوف نقوم بدراسة الدائرة الاساسية للترانزستور كمكبر و الموضحة بالشكل رقم٥.١٥ ، حيث تم إضافة مصدر جهد متردد V_{in} إلى جهد المصدر المستمر V_{BB} بتوصيلهما على التوالي مع مقاومة القاعدة R_B و توصيل جهد المصدر المستمر V_{CC} إلى المجمع عن طريق مقاومة المجمع R_C



شكل (٥.١٥): الدائرة الاساسية للمكبر مع جهد الدخل

الجهد المتردد للدخل ينتج عنه تيار القاعدة المتردد و نتيجة لذلك نحصل على تيار المجمع المتردد عالى القيمة و بذلك يتكون جهد متردد عبر المقاومة RC حيث يكون مكبرا و بزاوية طور مقدارها ١٨٠ درجة عكس اتجاه جهد الدخل المتردد كما هو مبين فى الشكل ٥.١٦



شكل (٥.١٥): اشارتى الدخل و الخرج

$$\text{كسب الجهد} = \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{جهد الدخل}}$$

$$\text{كسب التيار} = \frac{\text{تيار الخرج}}{\text{تيار الدخل}}$$

كسب القدرة = كسب الجهد × كسب التيار

يلاحظ أن الكسب لا وحدة له ، و يعبر عنه احيانا بالدسبل كالاتي:

كسب الجهد بالدسبل = ٢٠ لو كسب الجهد المطلق

كسب التيار بالدسبل = ٢٠ لو كسب التيار المطلق

كسب القدرة بالدسبل = ١٠ لو كسب القدرة المطلق

مثال(٤):

إذا كان جهد الدخل لترانزستور ١ ميكرو فولت و جهد الخرج ١ فولت فاحسب:

١- كسب الجهد المطلق ؟

٢- كسب الجهد بالدسبل ؟

الحل

١- كسب الجهد المطق = $\frac{\text{جهد الخرج}}{\text{جهد الدخل}} = \frac{1}{1*10^{-6}} = 1000000$

٢- كسب الجهد بالدسبل =

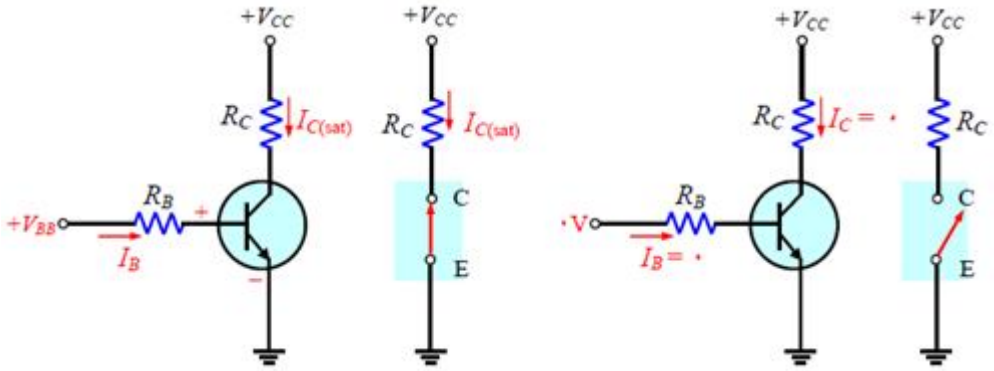
20*6=120 dB

ملحوظة :

الوغرثيم الطبيعي لاي عدد عشري يساوي عدد الاصفار .

الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح :

يعتبر تشغيل الترانزستور كمفتاح الكتروني من اهم تطبيقات الترانزستور في الدوائر الالكترونية و خصوصا الدوائر الرقمية حيث يعمل الترانزستور في منطقتي القطع و التشبع كما بالشكل رقم ٥.١٧.

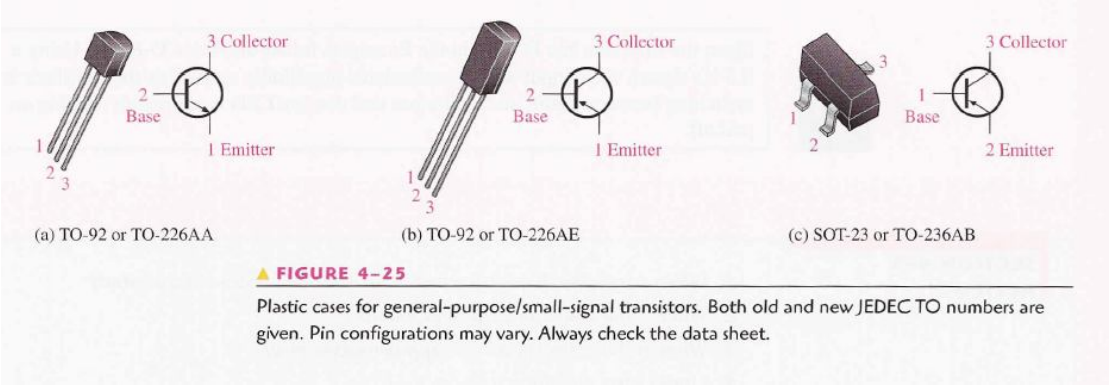


(b) (a)

شكل (٥.١٧):الترانزستور كمفتاح مثالى (a) التشبع – مفتاح مغلق (b) القطع – مفتاح مفتوح

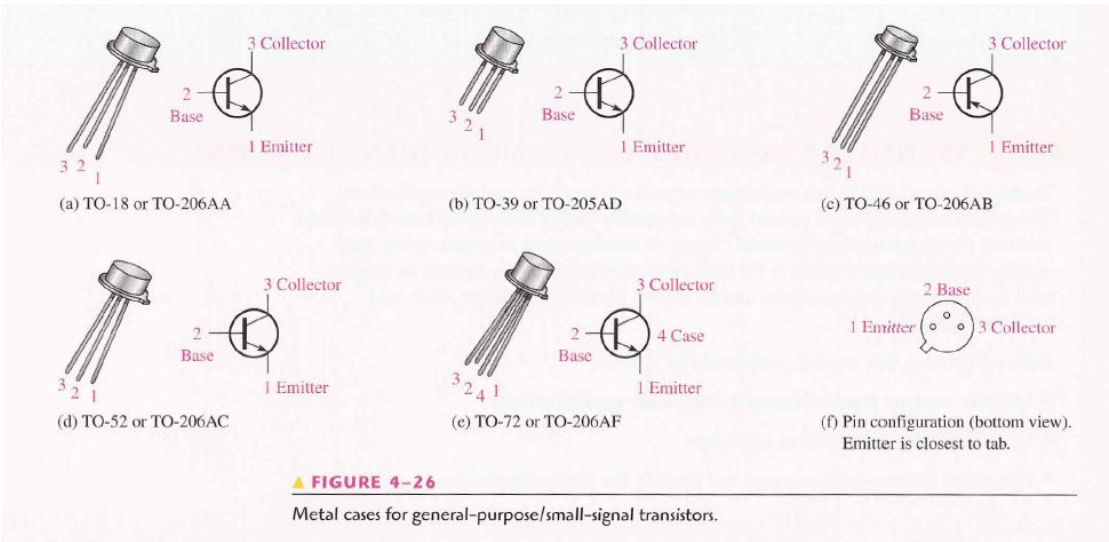
اصناف الترانزستورات:

(١) ترانزستورات للاغراض العامة - إشارة صغيرة :



▲ FIGURE 4–25

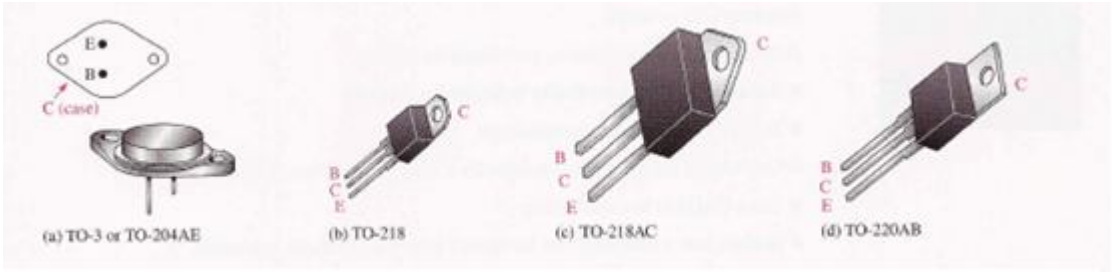
Plastic cases for general-purpose/small-signal transistors. Both old and new JEDEC TO numbers are given. Pin configurations may vary. Always check the data sheet.

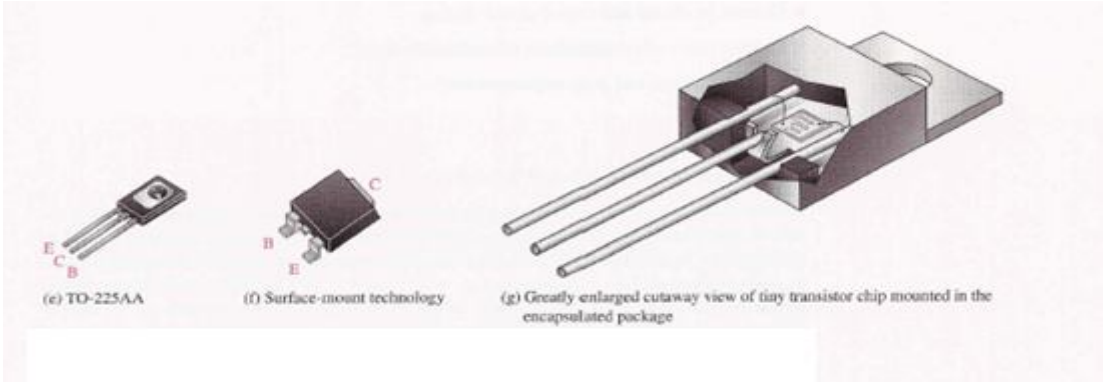


▲ FIGURE 4–26

Metal cases for general-purpose/small-signal transistors.

(٢) ترانزستور قدرة





ترانزستور ترددات راديوية :

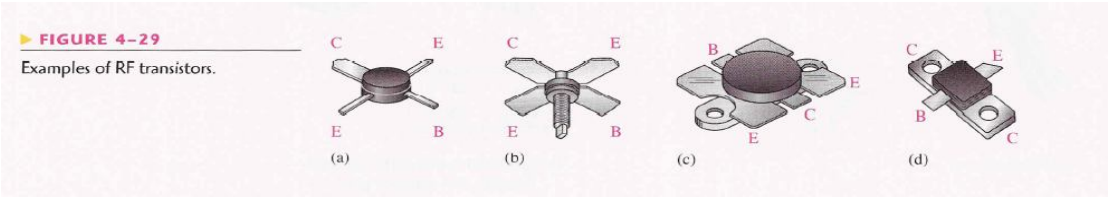


FIGURE 4–29
Examples of RF transistors.

إختبار الترانزستور

الاشكال التالية توضح نتائج الإختبارات لترانزستور NPN يعمل بطريقة صحيحة و تعكس الاطراف لترانزستور PNP:

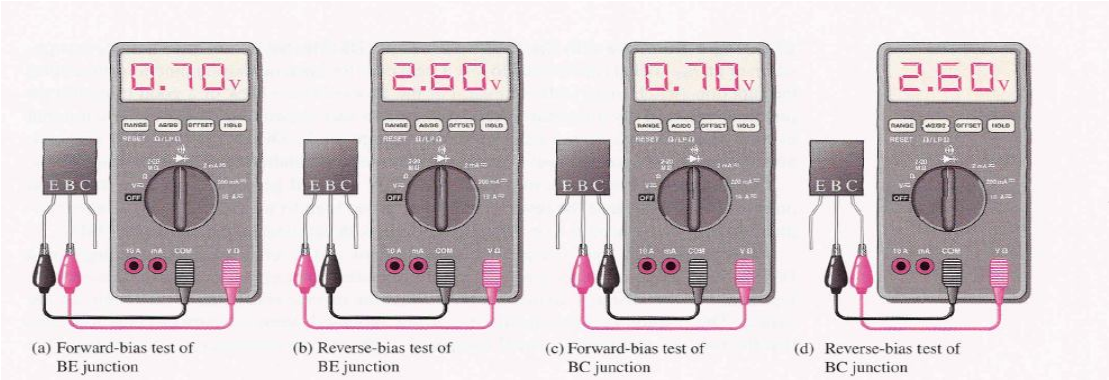


FIGURE 4–33
Typical DMM test of a properly functioning *npn* transistor. Leads are reversed for a *pnp* transistor.

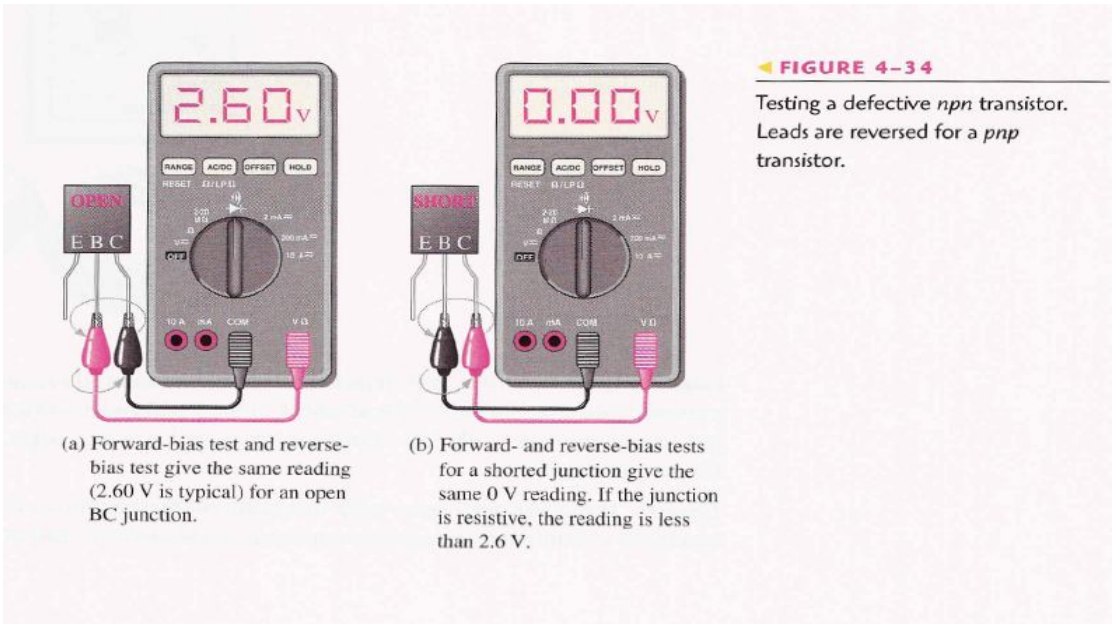
(a) إختبار الإنحياز الامامي لوصلة قاعدة باعثBE.

(b) إختبار الإنحياز العكسي لوصلة قاعدة باعث BE.

(c) إختبار الإنحياز الامامي لوصلة قاعدة مجمع BC.

(d) إختبار الإنحياز العكسي لوصلة قاعدة مجمع BC.

الاشكال التالية توضح نتائج الإختبارات لترانزستور NPN معطوب و تعكس الاطراف لترانزستور PNP:



(a) Forward-bias test and reverse-bias test give the same reading (2.60 V is typical) for an open BC junction.

(b) Forward- and reverse-bias tests for a shorted junction give the same 0 V reading. If the junction is resistive, the reading is less than 2.6 V.

FIGURE 4–34

Testing a defective *npn* transistor. Leads are reversed for a *pnp* transistor.

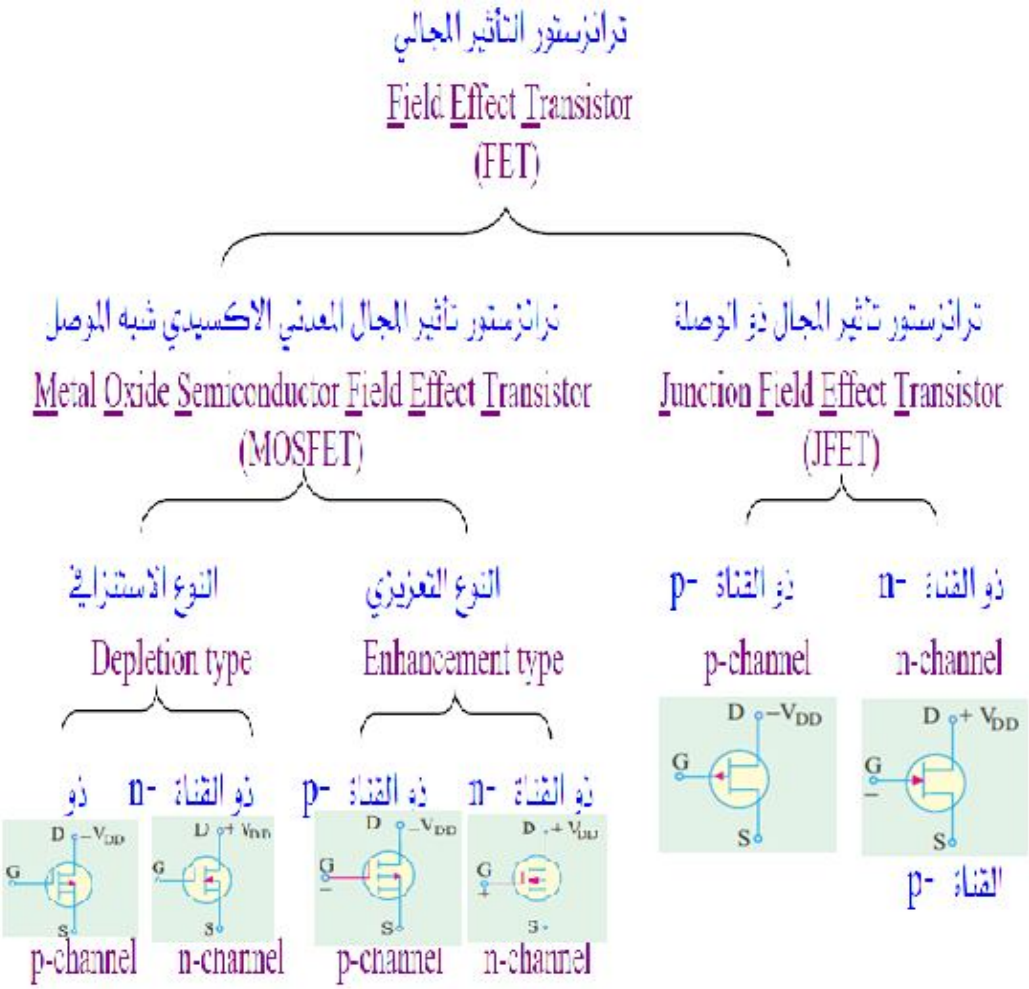
-

(a)نتيجة الإختبار للإنحياز الامامي و العكسي تقرأ نفس القراءة (بالضبط ٢.٦ فولت) نتيجة لفتح وصلة BC.

(b) نتيجة الإختبار للإنحياز الامامي و العكسي تقرأ نفس القراءة صفر فولت إذا كانت الوصلة مقصورة.

ترانزستور تاثير المجال:

يعرف ترانزستور تاثير المجال على انه عنصر من عناصر اشباه الموصلات يعتمد في عمله على التحكم في التيار المار خلاله بواسطة المجال الكهربائي و المخطط يوضح الانواع المختلفة لترانزستور تاثير المجال.



و يعرف ترانزستور تاثير المجال بالترانزستور أحادي القطبية و ذلك تميزا له عن ترانزستور ثنائي القطبية ، حيث التيار المار خلاله يعتمد فقط على حاملات التيار الغالبية و هي الإلكترونات في حالة القناة n- و الفجوات في حالة القناة p- بينما يعتمد التيار في حالة الترانزستور ثنائي القطبية على كل من حاملات التيار الغالبية و حاملات التيار الاقلية. و يمتاز ترانزستور تاثير القطبية بما يلي :

١- الاستقرار الحراري حيث لا يعتمد التيار على حاملات التيار الاقلية التي تتاثر بتغير درجة الحرارة.
٢- سهولة تصنيعه و إحتلاله مساحة اقل في الدوائر المتكاملة.
٣- اقل ضجيجا.
٤- مقاومة الدخل عالية جدا و تصل الى عدة عشرات من الميجا أوم.
٥- صلاحيته للترددات العالية اكثر من الترانزستور ثنائي القطبية ، حيث تحتاج حاملات الشحنة في الترانزستور ثنائي القطبية إلى زمن للعبور مما يجعله غير فعال للترددات العالية.
٦- له كفاءة اكبر من كفاءة الترانزستور ثنائي القطبية.
٧- يمكن إستعماله كحمل فعال في الدوائر التكاملية.

في حين يمتاز الترانزستور ثنائي القطبية بكبر حاصل ضرب الكسب في العرض الترددي مقارنة بترانزستور تاثير المجال.

ترانزستور تاثير المجال ذو الوصلة:

يتكون ترانزستور تاثير المجال ذو الوصلة من قضيب شبه موصل من النوع -n او من النوع -p طعم جانبه ببعض الشوائب للحصول على منطقتين من مادة شبه الموصل من نوع معاكس لنوع القضيب (مطنقتان من النوع -p في القضيب من النوع -n و منطقتان من -n في القضيب من النوع -p) كما هو مبين بالشكل ٥.١٨ و يطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تاثير المجال ذو القناة -n إذا كانت مادة القضيب من النوع -n بينما يطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تاثير المجال ذو القناة إذا كانت مادة القضيب من النوع -p و لترانزستور تاثير المجال ذو الوصلة ثلاث مناطق هي:

المنبع source:

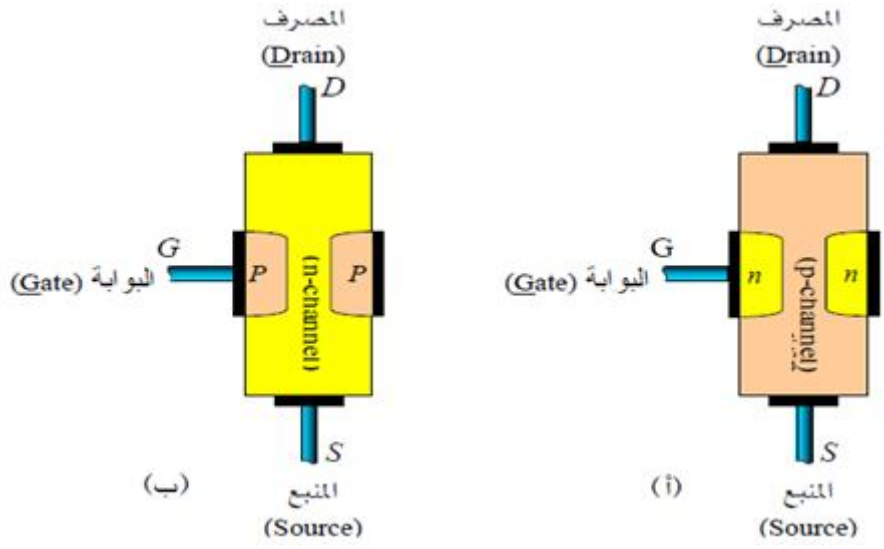
هو طرف القضيب الذي تدخل من خلاله حاملات الشحنة الغالبية (الالكترونات في حالة الترانزستور ذو القناة -n و الفجوات في حالة الترانزستور ذو القناة -p) مكونة بذلك تيار المنبع الذي يرمز له بالرمز I_S و يناظر طرف المنبع (s) في الترانزستور أحادي القطبية طرف الباعث (E) في الترانزستور ثنائي القطبية.

المصرف(D) Drain:

هو طرف القضيب الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبية مكونة بذلك تيار المصرف الذي يرمز له بالرمز I_D و يناظر المصرف (D) في الترانزستور أحادي القطبية طرف المجمع (C) في الترانزستور ثنائي القطبية .

البوابة(G) Gate:

هي عبارة عن المنطقتين الجانبيتين للقضيب و تكون البوابة من مادة معاكسة لنوع مادة القضيب و تتميز بتركيز عال للشوائب و يناظر البوابة(G) في الترانزستور احادي القطبية طرف القاعدة(B) في الترانزستور ثنائي القطبية.



(b) (a)

شكل (٥.١٨):التركيب الاساسى لنوعى ترانزستور تاثير المجال ذو الوصلة (JFET)
(a) ترانزستور JFET ذو القناة n-(b) ترانزستورJFET ذو القناة-p

تمرين

١- عرف كسب الجهد ؟

٢- احسب كسب الجهد المطلق و بالدسبل لترانزستور جهد خرجه 5 فولت و جهد دخله 250ملي فولت ؟

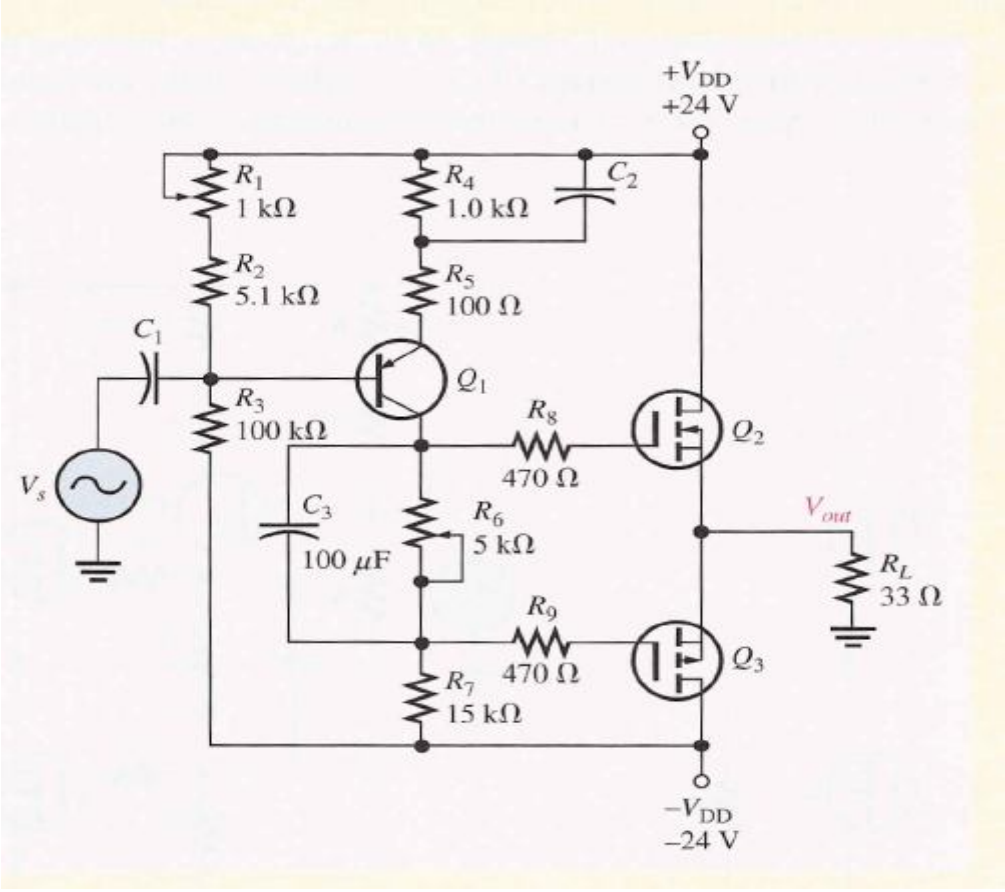
٣- إذا كانت القراءات التالية لوصلة ترانزستور NPN وضح الوصلة السليمة و المعطوبة في حالة الوصلة المعطوبة بين نوع العطب :

أ- قراءة صفر فولت للإنحياز الامامي و العكسي بوصلة BE ؟

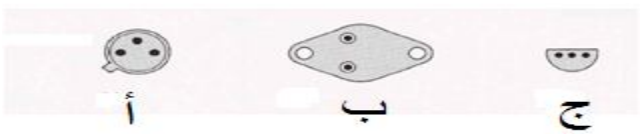
ب- قراءة ٢,٦ فولت للإنحياز الامامي و العكسي لوصلة BC ؟

ج- قراءة ٠,٧ فولت و ٢,٦ فولت للإنحياز الامامي و العكسي على الترتيب لوصلة BE؟

٤- حدد نوع الترانزستور Q1,Q2,Q3 ؟



٥- سمي اطراف الترانزستورات الاتية:



٦- صنف نوع كل ترانزستور مما يلي :

٧- قارن بين مميزات ترانزستور تاثير المجال و الترانزستور ثنائي القطبية.

٨- ارسم التركيب الاساسي و الرمز المستخدم لترانزستور تاثير المجال ذو الوصلة.

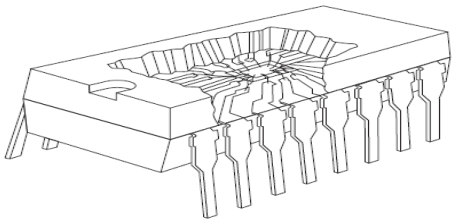
الدوائر التكاملية(Integrated Circuits (ICs

تركيب الدائرة التكاملية:

الدائرة التكاملية هي عنصر مكونة من عدد من المقاومات و الثنائيات و الترانزستورات للحصول على دائرة فغالة إما تكون خطية او منطقية التشغيل كما موضح بالشكل ٥.١٩. الدائرة التكاملية الخطية تتمثل في المكبر التشغيلى و سنتعرض للمكبر التشغيلي فيما بعد.

و المكبر التشغيلي المستخدم هنا هو المكبر الفرقي ذي كسب عال يمكن التحكم في الكسب بواسطة توصيل مقاومات مقاومات خارجية في المكبر التشغيلي العاكس يحدد كسب الجهد بالتحكم على نسبة مقاومات التغذية المنعكسة منسوبة إلى مقاومة الدخل و في المكبر التشغيلي الغير عاكس يحدد كسب الجهد بالتحكم في نسبة مقاومات التغذية المنعكسة .

تحتوي الدائرة التكاملية الرقمية على شريحة (رقيقة) سليكونية تعالج للحصول على عدد من الدوائر المنطقية توصل للحصول على مدى واسع من المهام المنطقية . يوجد نوعان من الدوائر المنطقية المتكاملة دوائر منطق ترانزستور-ترانزستور(TTL) و دوائر اشباه الموصلات الاكسيد المعدنية المتتامة (CMOS) و يشكل النوع الإخير على اساس تقنية عناصر التاثير المجالي ذي البوابة المعزولة (MOSFETS) و تستهلك مقدار صغير من القدرة بالمقارنة إلى نوع (TTL).



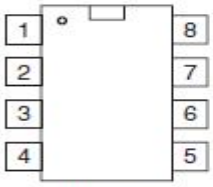
شكل (٥.١٩):تركيب الدائرة التكاملية

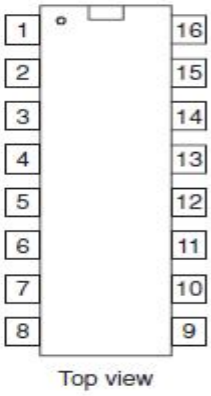
أجهزة المعالجات المصغرة و أجهزة التحكم المصغرة :

تعتمد الغالبية العظمى من الاجهزة الالكترونية المركبة هذه الايام على إستخدام المعالجات المصغرة (microprocessor) او اجهزة التحكم المصغرة (microcontroller) حيث يمكن أن تشتمل مثل هذه الاجهزة على رقيقة واحدة و الذي يتم التحكم في عملها من خلال احد البرامج . بناءا عاى ذلك يمكن اللجوء إلى تغير الكيفية التي يعمل بها الجهاز من خلال البرامج بدلا من عمل تغيير في الجهاز نفسه .

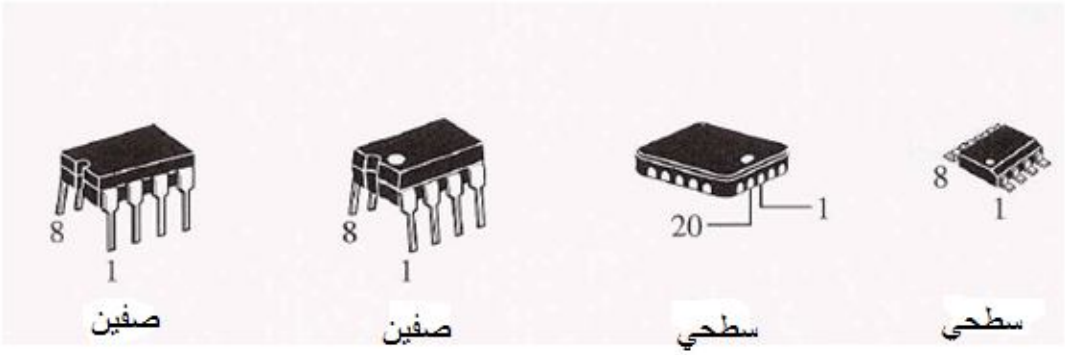
تحديد و ترتيب ارجل الدائرة التكاملية:

يمكن التعرف على ترتيب ارجل الدائرة التكاملية عن طريق النقرة(٠) و الرجل الاقرب إلى النقرة هي الرجل رقم واحد و يرتب تصاعديا عكس عقارب الساعة انظر الاشكال ادناه .





تغليف الدائرة التكاملية :



المكبر التشغيلي OPERATION AMPLIFIER :

يختصر إسم المكبر التشغيلي في اللغة الإنجليزية إلى (OP-Amp) و هو يعتبر تقريبا من اشهر الدوائر المتكاملة إستخداما في كثير من الدوائر الالكترونية المستخدمة في هذه الايام . كما نعلم فإن الدوائر المتكاملة (I.C)عبارة عن نظام إلكتروني كامل مبني في وحدة أو رقيقة واحدة لتادية مهمة معينة و لقد تم اختراع مكبر العمليات خلال الحرب العالمية الثانية في

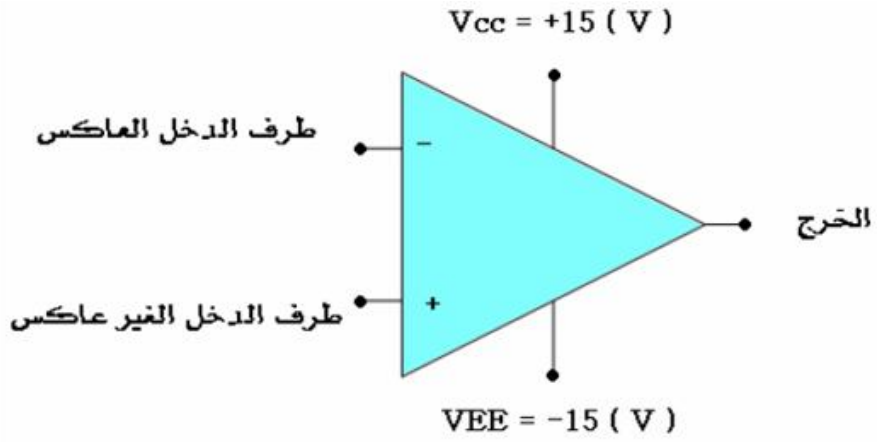
الاربعينيات و مكبر العمليات هوإحدى هذه الدوائر و لقد سمي بمكبر العمليات لكثرة العمليات التي يستخدم فيها و هو مكبر ذو كسب عال جدا يعمل على ترددات من صفر هيرتز (DC) و حتى ترددات عالية(ميجا هيرتز) و اهم مميزاته أنه يمكن التحكم في خواصه بتوصيل عناصر خارجية غير فعالة تربط بين الخرج و الدخل و هو ما يسمى بالتغذية العكسية.

و عمليا اصبح للمكبرات التشغيلية تاثير هائل في تصميم الدوائر الخطية (التناظرية) فهي تستخدم في العمليات الحسابية كالجمع و الطرح والتفاضل و التكامل و بذلك فهي عصب الكمبيوتر الناظري.

و تستخدم أيضا في مكبرات الصوت و الصورة و في الالكترونيات و الاتصالات و تستخدم التحكم و تستخدم ايضا في المذبذبات و المرشحات و كذلك في دوائر تنظيم الجهد . و يمكن القول بان المكبرات التشغيلية اصبحت تستخدم في كل الالكترونيات التناظرية و الرقمية .

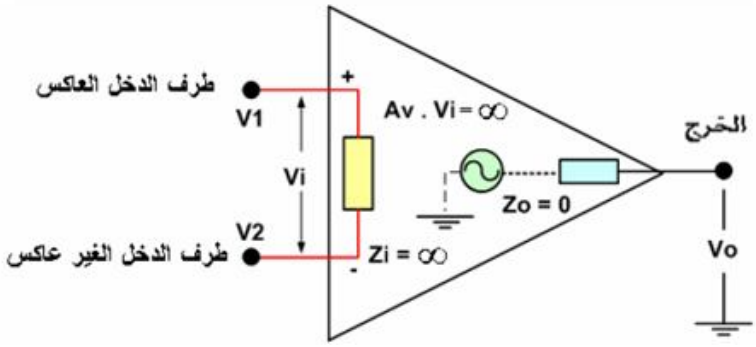
و لان مراحل مكبر العمليات ترتبط بواسطة الربط المباشر بالاضافة إلى أن اول مرحلة على الاقل من مكبر العمليات عبارة عن مكبر تفاضلي لذلك لا نحتاج لاستعمال مكثفات ربط أو تمرير في دوائر مكبر العمليات الداخلية و لذلك فإن مكبر العمليات مناسب جدا لكي يصنع بطريقة الدوائر المتكاملة أحادية البلورة (المونوليثك) و التي يسهل تكامها على شريحة واحدة . و بسبب الربط المباشر بين مراحل مكبر العمليات فهذا يسمح لمكبر العمليات أن يعمل مع ترددات تصل للصفر. أضف إلى ذلك فإن أول مراحل المكبر التشغيلي عبارة عن مكبر تفاضلي لذلك فإن للمكبر التشغيلي اهم مميزات المكبر التفاضليي (الفرقي) و هو رفض الاسلوب المشترك أو نبذ المواد المشتركة المعروفة و رفض او نبذ المواد المشتركة يعبر عن مقدرة المكبر على التخلص من أو منع الإشارات غير المرغوب فيها و التي تسمى ضوضاء أو شرشرة و التي بسبب ها المجال الكهرومنغاطيسي الناتج عن مصابيح النيون أو البرق أو المحركات الكهربية أو بسبب أسلاك التوصيل الخارجية و كذلك الضوضاء الناتجة عن التموجات في مصدر الجهد و خلافه . و سوف نقوم بدراسة مكبر العمليات كنظام كامل مغلق للتعرف على أطراف و خواصه و تطبيقاته دون الدخول في تفاصيل تركيبه الداخلي لأن ذلك يحتاج إلى كثير من الوقت و الخلفية الجيدة في مجال الإلكترونيات .

إن مكبر العمليات هو نظام إلكتروني له دخلين (V_1-V_2) و خرج واحد فقط (V_0) و عادة نحتاج إلى مصدر جهد أحدهما جهدا مستمر موجبا (+15V) و الاخر يعطي جهدا سالبا (-15V) و يتم تمثيل مكبر العمليات بالرمز الاكثر استخداما و المبين بالشكل ٥.٢٠.



شكل (٥.٢٠):رمز المكبر التشغيلي

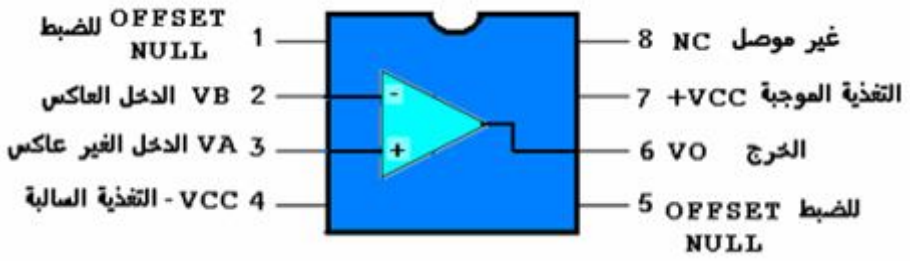
و الشكل ٥.٢١ يوضح الدائرة المكافئة لمكبر العمليات



شكل (٥.٢١):الدائرة المكافئة لمكبر العمليات

ارجل المكبر التشغيلي ٧٤١:

فى الشكل ٥.٢٢ يبين مخطط الدبابيس للمكبر التشغيلى (٧٤١) ثنائى الخطوط



شكل (٥.٢٢):الدائرة المكافئة لمكبر العمليات

لاحظ أنه في مخطط الدبابيس يوجد طرفان هما offset null ± و ذلك لضبط فولتية موازنة الإدخال و ذلك لجعل جهد الخرج يساوي صفرا حيث إنه عمليا يكون خرج المكبر ذو قيمة للجهد بالملي فولت رغم عدم تطبيق أي جهد على أي من طرفي الدخل . و سوف نتعرض لذلك فيما بعد لعمل الموازنة ، كما أن الدائرة المكافئة له موضحا بالشكل ٥.٢١ .

مميزات المكبر التشغيلي :

١- له كسب جهد عال جدا.
٢- رخيص الثمن ، صغير الحجم ، يستهلك قدرة صغيرة لأنه يصنع في دوائر متكاملة .
٣- أهم مميزاته أنه يمكن التحكم في كسب الجهد و عرض الترددات للمكبر حسب الحاجة و ذلك بربط مقاومات خارجية مع المكبر التشغيلي .
٤- تعدد إستخداماته حيث يستخدم في كافة العمليات الحسابية مثل الجمع و الطرح و المقارنة و التفاضل و غيرها ، و كذلك يستخدم في المذبذبات و دوائر تنظيم الجهد و في أنظمة التحكم و الاتصالات و غير ذلك ....

الخواص الاساسية للمكبر التشغيلي :

عندما نتكلم عن خواص مكبر العمليات فسوف نفرق بين مكبر العمليات المثالي و مكبر العمليات غير المثالي مع العلم أن المكبر المثالي لا يمكن بناؤه على الاطلاق ، و يمكن تلخيصها كما يلي:

أ - الخواص المثالية للمكبر :

١- كسب الجهد للمسار المفتوح يساوي ما لا نهاية $Av = \infty$

٢- مقاومة الدخل تساوي ما لا نهاية $R_{in} = \infty$

٣- مقاومة الخرج تساوي صفر $R_O = 0$

٤- له حيز ترددات غير محدود (يساوي ما لا نهاية) $B = 0$

٥- نسبة رفض (نبذ) الاسلوب المشترك تساوي ما لا نهاية $CNMMR = \infty$

٦- خواص (معاملاته) لا تتاثر بتغيرات درجة الحرارة .

ب - الخواص العملية للمكبر التشغيلي :

١- كسب الجهد للمسار المفتوح كبير جدا حوالي $Av > 100\ 000$

٢- مقاومة الدخل كبيرة جدا $R_{in}>200$ K ohm

٣- حيز الترددات كبير جدا

٤- نسبة رفض (نبذ) الاسلوب المشترك تساوي كبيرة جدا $CNMMR = 90\ dB$

٥- اهم خواصه يمكن التحكم في معاملاته عن طريق العناصر الخارجية الموصلة معه .

و كما ذكرنايوجد العديد من انواع المكبرات التشغيلية منها $708\mu A$ و أشهرها المكبر التشغيلي 741 و الذي له الخواص العملية التالي نقلا عن جدول البيانات :

١- كسب المسار المفتوح $Av > 200\ 000$

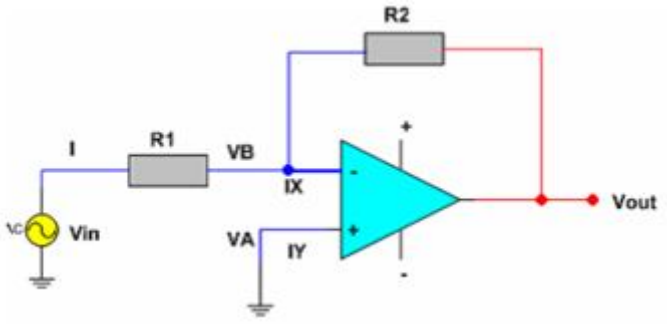
٢- مقاومة الدخل R_{in}=2 M ohm

٣- $R_O = 75$ ohm

٤- CMMR = 90 dB

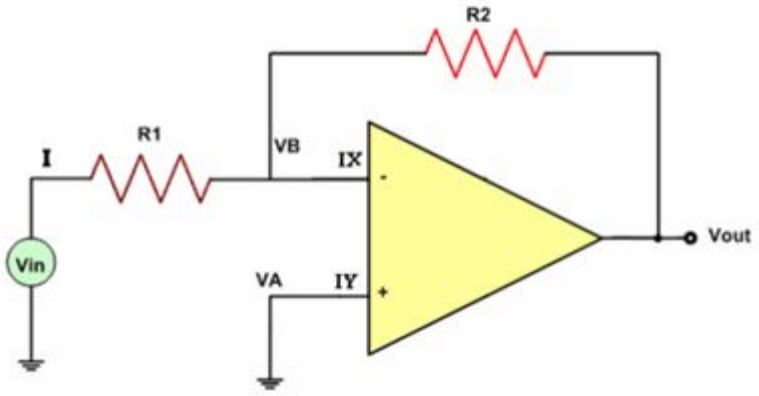
المكبر العاكس (Inverting Amplifier)

الدائرة الاساسية:



شكل (٥.٢٣):دائرة المكبر العاكس

المكبر العاكس دائرة شاسعة الإستخدام للمكبر التشغيلي و يوضح الشكل ٥.٢٣ دائرة المكبر العاكس ، حيث تطبق الإشارة على الطرف العاكس و يتصل الطرف غير العاكس بالارضي ، و تتصل مقاومة بين خرج و دخل المكبر لتحقيق ما يسمى بالتغذية العكسية (الراجعة) السالبة .



شكل (٥.٢٤):يبين التغذية العكسية

التغذية العكسية السالبة :

كما ذكرنا عادة لا يستخدم المكبر التشغيلي في دائرة مفتوحة . و تتحق التغذية العكسية السالبة للمكبر التشغيلي بأخذ جزء من إشارة الخرج و إعادتها إلى الدخل العاكس للمكبر كما في الشكل ٥.٢٤ حيث R_2 هي مقاومة التغذية العكسية و التي تصل بين خرجو دخل العاكس للمكبر ، و على الرغم من أن التغذية العكسية للمكبر تضحي بالكسب العالي للمكبر (كسب المسار المفتوح) إلا أنها تحسن من أداء المكبر و تحقق المميزات المهمة الاتية:

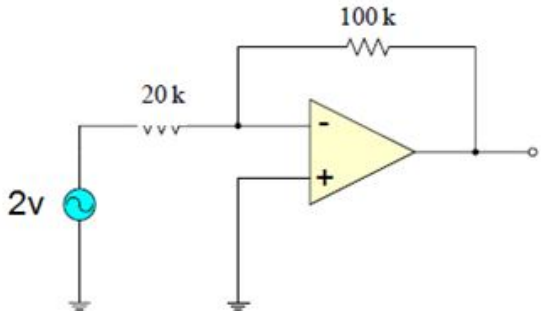
١- تحقيق استقرار الكسب بدرجة كبيرة حيث يعتمد الكسب النهائي على عناصر التغذية العكسية .
٢- تحسين ممانعة الدخل و الخرج و ذلك لأنه يمكن تثبيتها و اختبارهما بناءً على التصميم .
٣- توسيع عرض حزمة التردد .
٤- تقليل التشويش الغير خطي (النسبة المئوية لتشويه التوافقيات) .

و من الملاحظ أن معامل تكبير الجهد يعتمد على كل من R_2 (مقاومة التغذية العكسية) و R_1 و يمكن تحديده بدقة .

الإشارة السالبة في القانون معناها وجود فرق في الطور بين الخرج و الدخل قدره 180° .

مثال (٥):

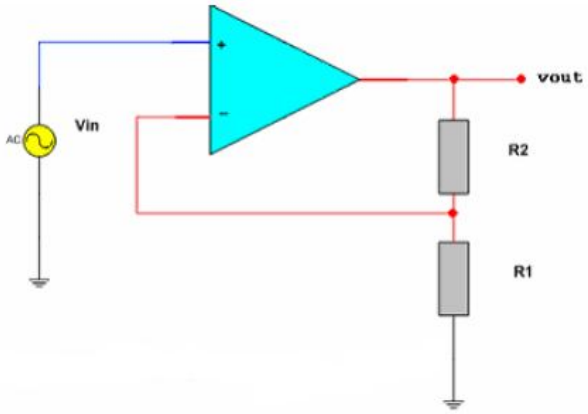
احسب قيمة الخرج



$A_{CL}=(-R_f/R_1) = - 100/50 = - 5$

$A_{CL} =A_{CL} \times V_{in} = -5 \times 2 = -10$ V

المكبر غير العاكس (Non Inverting Amplifier)

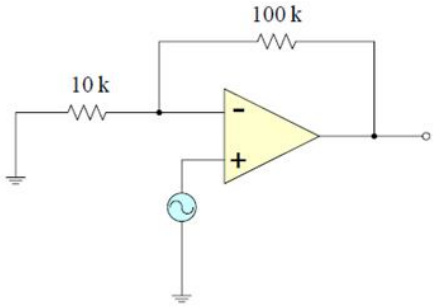


شكل (٥.٢٥):دائرة المكبر غيرالعاكس

قانون الكسب$V_0/V_{in} = 1+(R_2/R_1)$

مثال (٦):

حدد قيمة كسب الجهد للمكبر غير العاكس



$A_{CL} = 1 + (R_f/R_1) = 1 + 100/10 = 11$

تمرين

١- في دائرة المكبر العاكس إذا كانت قيمة المقاومة $R_1 = 100$ K ohm و $R_2 = 500$ K ohm جد كسب المكبر ثم احسب جهد الخرج إذا كان جهد الدخل $V_{in} = -2$ v ؟

٢- في دائرة المكبر غير العاكس إذا كانت قيمة المقاومة $R_1 = 100$ K ohm و $R_2 = 500$ K ohm جد كسب المكبر ثم احسب جهد الخرج إذا كان جهد الدخل $V_{in} = 2$ v ؟

٣- أكمل : في المكبر العاكس توصل مقاومة التغذية العكسية بالطرف ..... بينما تطبق إشارة الدخل على الطرف ..... و يكون فرق الطور بين الدخل و الخرج يساوي ..... درجة .

٤- ارسم دائرة المكبر العاكس و المكبر غير العاكس مع إيجاد الفرق بينهما ؟

٦ الات التيار المستمر DC machines

الاهداف :

عند الإنتهاء من دراسة هذا الباب يكون الطالب قادرا على أن :

(١)يعرِّف اجزاء ماكينات التيار المباشر.

(٢)يعرِّف انواع الالات التيار المباشر.

(٣)يعرِّف عملية رد فعل المنتج و التغلب عليه.

(٤) يعدد خواص السرعة و العزم لمحركات التيار المباشر.

(٥) يعدد بطرق ضبط السرعة .

(٦)يعرِّف طريقة اختبار محركات التيار المباشر.

المكونات:

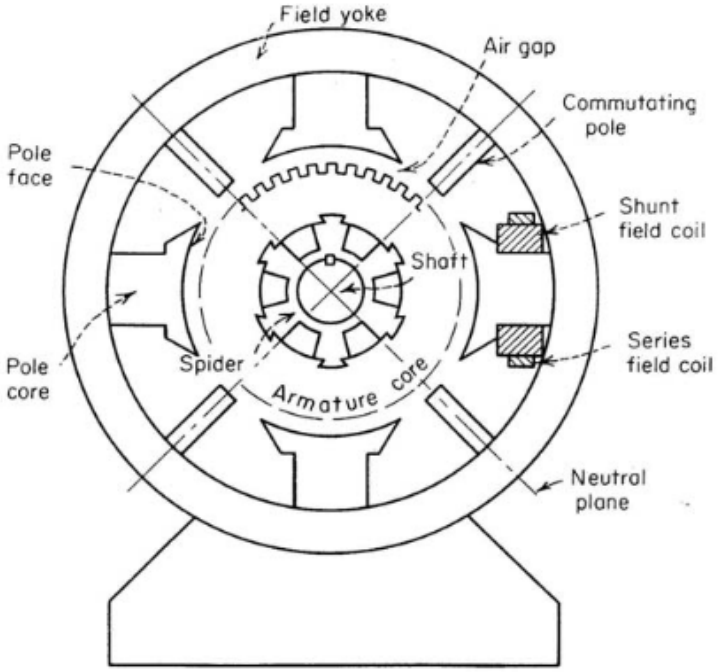
تتكون الة التيار المستمر منجزئين رئيسين :

(١) العضو الثابت : وهو المسئول عن توليد المجال المغناطيسى.

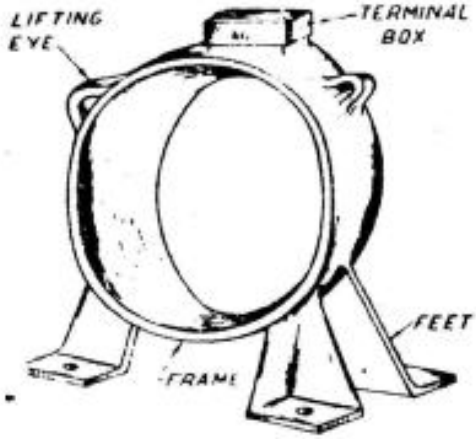
(٢) العضو الدائر (الدوار) : و يسمى عضو الاستنتاج او المنتج ، و فيه تتحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربية و تتولد به القوة الدافعة الكهربية.

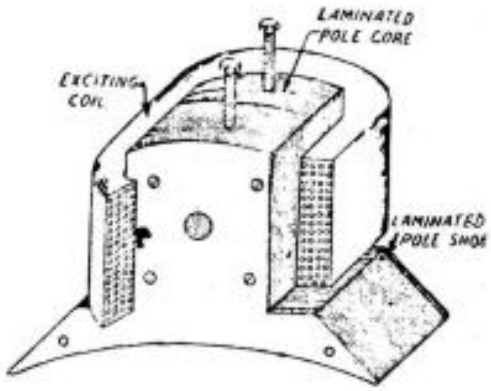
يفصل العضو الدائر عن العضو الثابت الثغرة الهوائية ، و يوضح شكل (٦.١) رسم تخطيطى لالة التيار المستمر.
يتكون العضو الثابت من الاجزاء الاتية:

- الاطار الخارجى (Yoke) : وهو مصنوع من الحديد المطاوع او الحديد الزهر و فى بعض الالات الصغيرة يصنع من رقائق من الصلب ، ووظيفته يعمل كمسار لاستكمال الدائرة المغناطيسية و كذلك يتم تثبيت الاقطاب به، و شكل (٦.٢) الاطار الخارجى لالة التيار المستمر.
- الاقطاب الرئيسية (Main Poles) : و تصنع من رقائق الصلب و يتم تثبيتها فى الاطار الخارجى و يركب عليها واجهة للقطب تسمى بحذاء القطب (Pole face or shoe) يعمل على توزيع و انتظام خطوط الفيض فى الثغرة الهوائية. و يوجد حول الاقطاب الرئيسية ملفات المجال (Fields coils) و تنقسم الى نوعين : ملفات توازى (shunt field coil) و ملفات توالى (series field coil) ، و هذه الملفات المسؤولة عن توليد المجال المغناطيسى عند مرور تيار بها. و تلف هذه الملفات حول القطب نفسه و ليس حول واجهه القطب ، و تصنع ملفات المجال اما من اسلاك نحاسية معزولة او شرائح نحاسية كما فى الالات الكبيرة ، و يوضح شكل (٦.٣) رسم تخطيطى لقطب موضوع حوله ملفات المجال.
- اقطاب التوحيد (Commutating poles) :تشبه الاقطاب الرئيسية و لكن حجمها اقل و توجد هذه الاقطاب عادة فى الالات كبيرة الحجم (اكبر من ٢ كيلووات) ، و توضع فى المسافة بين الاقطاب الرئيسية و تثبت فى الاطار الخارجى. و ملفوف حولها ملفات تسمى بملفات التوحيد و الغرض منها تقليل المساكل التى تصاحب عملية التوحيد فى المنتج.



شكل (٦.١) رسم تخطيطى لالة التيار المستمر



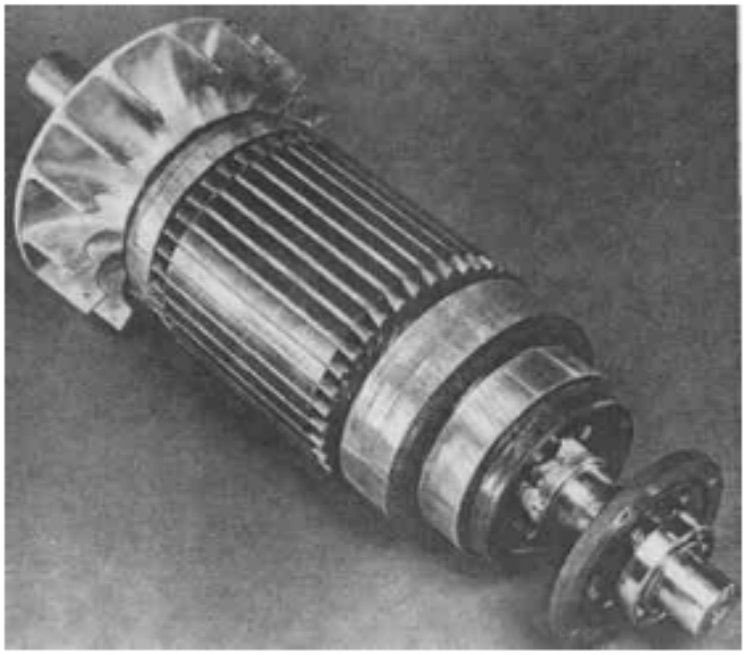


شكل (٦.٣) رسم تخطيطى لقطب موضوع حوله ملفات المجال شكل (٦.٢) الاطار الخارجى لالة التيار المستمر

اما العضو الدائر (المنتج)فيتكون من الاتى:

- قلب المنتج (Armature core): وهو جزء اسطوانى مصنوع من رقائق من الصلب مضغوطة مع بعضها البعض و معزولة كهربيا بواسطة طبقة رقيقة من الورنيش ، و ذلك لتقليل التيارات الدوامية. يوجد على محيط المنتج مجارى يوضع بها ملفات المنتج. ايضا يركب مروحة على عمود الادارة للتبريد ، كما موضح فى شكل (٦.٤).
- ملفات المنتج (Armature windings) : عبارة عن مجموعات متعددة و الملف الواحد عبارة عن مجموعة من الموصلات و يتم و ضعها فى مجارى المنتج. و تثبت الملفات داخل المجارى بواسطة عوازل و ذلك لحمايتها من القوة الطاردة المركزية اثناء الدوران و حتى لا تخرج من المجارى. و يتم توليد القوة الدافعة الكهربية فى هذه الملفات وهى التى تحمل تيار الحمل.
- الموحد (مبدل التيار)-(Commutator) : يعمل على تحويل التيار المتردد المتولد فى ملفات المنتج الى تيار موحد الاتجاه فى الدائرة الخارجية. وهو اسطوانى الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلد المسحوب معزولة عن بعضها البعض

بمادة عازلة جيدة (الميكا). يثبت عضو التوحيد على عمود الدوران للالة و يتلامس مع سطحه العلوى فرش كربونية ، و يتم توصيل جميع اطراف ملفات المنتج على الموحد كهربيا.



شكل (٦.٤) العضو الدوار لالة تيار مستمر (المنتج)

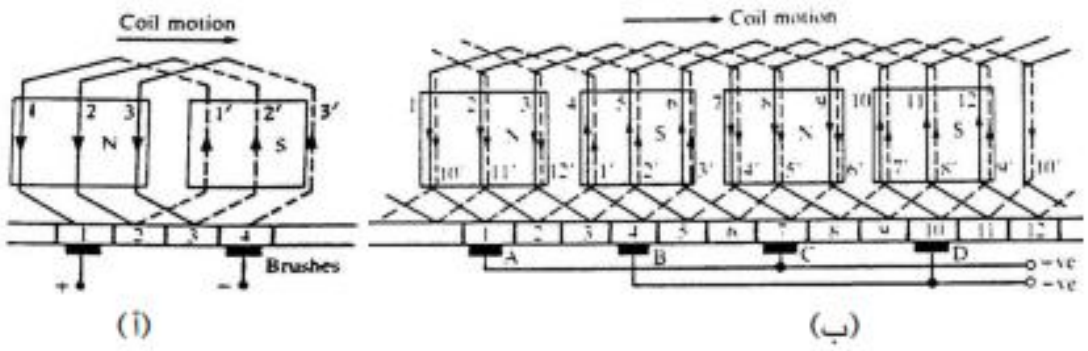
- حامل الفرش الكربونية (Brushes holder): مثبت فى الاطار الخرجى للالة و يحمل الفرش الكربونية التى تلامس السطح الخارجى للمولد و تعمل على تجميع التيار الكهربى و توصيله للدائرة الخارجية (الحمل) و عادة عدد الفرش الكربونية يساوى عدد الاقطاب الرئيسية. و توصل مع بعضها لتكون مجموعة موجبة و اخرى سالبة.

طرق لف المنتج (Armature winding):

تمثل ملفات المنتج احد الاجزاء الرئيسية فى الة التيار المستمر و توضع الملفات فى مجارى المنتج و يراعى ان يكون توزيعها منتظم حول محيط المنتج و هذه الملفات توصل مع بعضها اما بالتوازى و ذلك لزيادة الجهد الكهربى او بالتوالى لزيادة التيار المار بها. تكون ملفات المنتج دائرة مغلقة متصلة مع الدائرة الخاجية بواسطة الفرش الكربونية. يجب ان تكون المسافة بين جانبى الملف مساوية للخطوة القطبية (وهى المسافة بين مركزى قطبين فى الالة) و يلاحظ ان القوة الدافعة الكهربية المتولدة فى موصلين بينهما مسافة تساوى الخطوة القطبية تكون معكوسة فى احدهم عن الاخر ، و يتم لحام اطراف الملفات مع اجزاء الموحد ، و حسب طريقة التوصيل المتبعة فانه يوجد هنالك نوعان من اللف تستخدم بكثرة فى لف المنتج:

(١) اللف الانطباقى (Lap winding) :

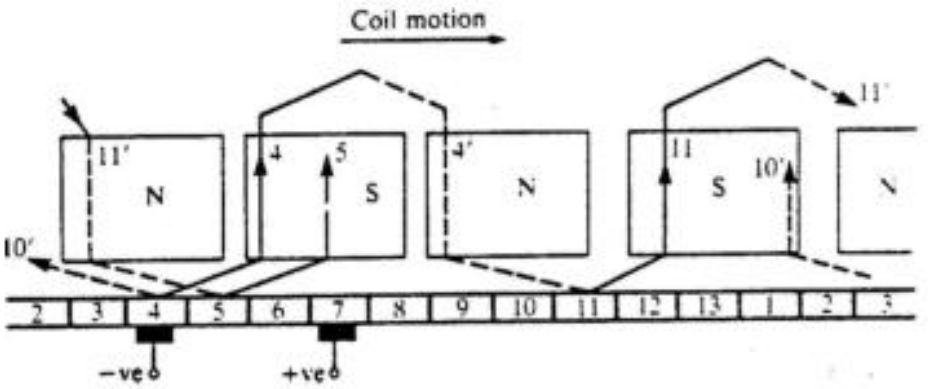
فى هذا النوع من اللف يوصل طرفا كل ملف الى قطعتين موحد متجاورتين كما موضح فى الشكل (أ -٦.٥) حيث يوضح طريقة توصيل ثلاثة ملفات مع بعضهما (ملفات ١,٢,٣) توصل نهلية الملف ١ مع بداية الملف ٢ و توصل نهاية الملف ٢ مع بداية ٣ و هكذا و توصل نهاية اخر ملف مع بداية اول ملف مكونا دائرة مغلقة. تقسم الملفات فى حالة اللف الانطباقى الى عدد من المسارات المنوازية المتماثلة يساوى عدد الاقطاب فى الالة . يوضح شكل (ب-٦.٥) اللف الكامل لالة عدد هقطابها اربعة و عدد المجارى الكلية اثنتى عشر مجرى.



شكل (٦.٥) اللف الانطباقى لالة التيار المستمر

(٢) اللف التموجى (Wave winding):

تختلف طريقة توصيل اطراف الملفات مع الموحد فى هذا النوع من اللف عن النوع الانطباقى ، اذ تثنى اطراف الملفات الى الخارج و يوصل طرفا كل ملف بقطعتين من الموحد بينهما عدد محدود من القطع ،و يطلق على هذا العدد اسم خطوة الموحد (commutator pitch) كما هو موضح فى شكل (٦.٧) و عدد المسارات المتوازية فى حالة اللف التموجى اثنين فقط ، يحتوى كل منهما على نصف عدد الملفات الكلية.



شكل (٦.٧) اللف التموجى لالة التيار المستمر

محركات التيار المستمر (DC Motors):

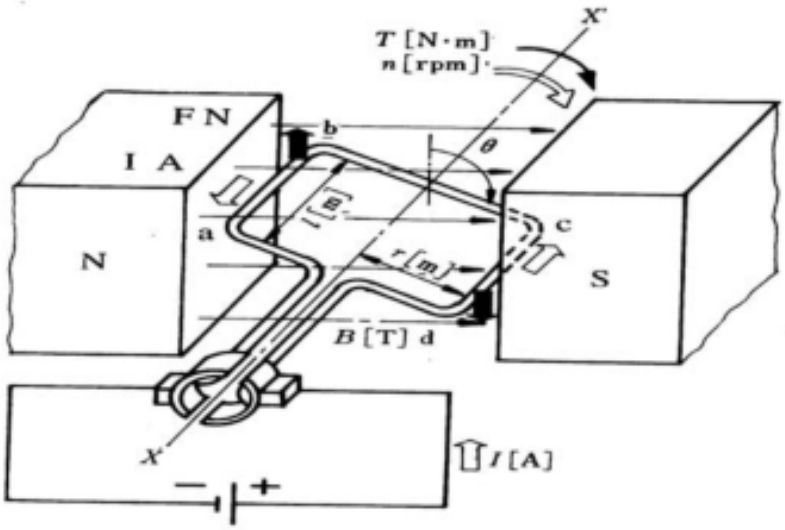
تعتبر المحركات الكهربية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية. و تستهلك المحركات الكهربية بانواعها حوالى ٦٠% من الطاقة الكهربية فى العالم. لذلك من المهم دراسة اداء و خواص تلك المحركات حتى يمكن استخدامها افضل استخدام حسب طبيعة الحمل. و تعد محركات التيار المستمر من اهم الانواع حيث تستخدم بكثرة فى الجر الكهربى و الروافع و صناعات الغزل و النسيج و درفلة الحديد و كذلك صناعات الورق و الاسمنت ، و ذلك لما تتميز به من سهولة التحكم فى سرعتها و اعطائها عزم مرتفع خصوصا عند بدء الحركة.

تعتمد نظرية عمل محرك التيار المستمر عاى قانون فاراداى ، فاذا وضع موصل يحمل تيار كهربى فى مجال مغناطيسى فانه يتولد قوة تتسبب فى حركة الموصل. و يبين شكل ٦.٨ ملف على شكل مربع موضوع مع عمود دوران XX' موجود فى مجال مغناطيسى منتظم له كثافة فيض B و عند مرور تيار I من الدائرة الخارجية فى ذلك الملف ، فانه يتولد قوة F

تؤثر فى اتجاه يتحدد بقاعدة فلمنج لليد اليسرى على الجانبين ab,cd بالترتيب فى اتجاه محور دوران الملف. و اذا كان طول جانبى الملف هو L فان القوة الموثرة تعطى بالعلاقة:

$$F = B \times I \times L \quad (1)$$

و القوتان المؤثرتان على جانبى الملف ab,cd تعملان كزوج من القوة ، و بالتالى ينشأ عزما مقداره T يمكنه ادارة الملف فى اتجاه عقارب الساعة.



شكل(٦.٨): طريقة عمل المحرك الكهربى

القوة الدافعة الكهربية العكسية:

عند توصيل جهد على اطراف المحرك فانه يتولد قوة دافعة عكسية فى ملفات المنتج و يطلق عليها بالقوة الدافعة العكسية او المضادة (Back e.m.f) و تحسب هذه القوة كما فى حالة المولد من المعادلة الاتية:

$$E_b = \frac{2P}{2a} \emptyset Z_a \frac{n}{60} \quad (2)$$

حيث n (rpm) غى سرعة الدوران لفة / دقيقة

Za عدد الموصلات الكلية

2a عدد دوائر التوازى

و لمعرفة الاختلاف بين المحرك و المولد يمكن الرجوع الى شكل ٦.٩ ، حيث يوضح دائرتين لمولد توازى و محرك توازى ، من ناحية التركيب لا يوجد اى اختلاف ، و لكن الفرق فقط هو اتجاه التيارات. يلاحظ من الشكل 6.8-b ان التيار داخل فى القطب الموجب للالة فى حالة المحرك بينما خارج منه فى حالة المولد (شكل 6.8-a). و يلاحظ ايضا ان اتجاه كل من تيار التنبيه و سرعة الدوران لا يتاثر بتغيير الالة لدورها من مولد الى محرك و بالعكس. و يمكن مرجعة ذلك بتطبيق قاعدتى فلمنج للبد اليمنى بالنسبة للمولد و اليد اليسرى بالنسبة للمحرك فى نفس الوقت ، فنجد انه لكى يبقى اتجاه كل من تيار التنبيه و سرعة الدوران ثابتا يجب ان ينعكس اتجاه مرور التيار فى ملفات المنتج بالنسبة للحالتين. و يجب مراعاة ذلك عند كتابة معادلات الجهد.

فى حالة المولد:

القوة الدافعة المتولدة =جهد الحمل +هبوط الجهد فى ملفات المنتج

$$E_a = V_L + I_a R_a (3)$$

اما فى حالة المحرك:

القوة الدافعة المتولدة (العكسية) =جهد المصدر - هبوط الجهد فى ملفات المنتج

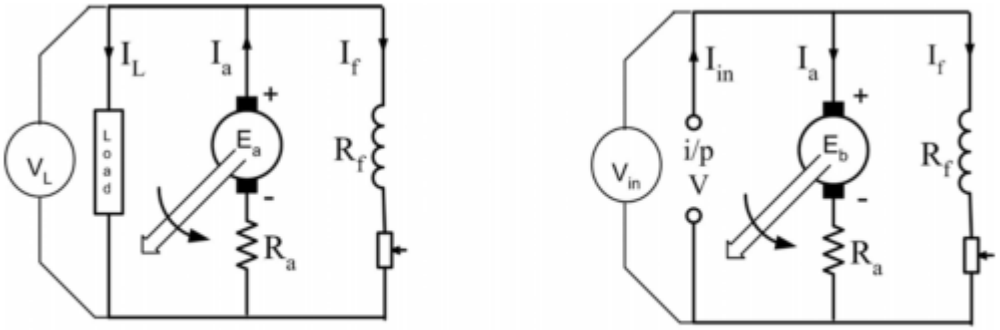
$$E_a = V_L - I_a R_a (3)$$

ان انعكاس اتجاه تيار المنتج فى ملفاته ينشأ فارقا جوهريا بين الحالتين و هذا الاختلاف ظهر فى كتلبة المعادلتين ٣ و ٤. فبينما نجد انه فى حالة المولد تدفع القوة الدافعة الكهربية المتولدة التيار فى الدائرة ضد هبوط الجهد فى كل من مقاومة الحمل و مقاومة المنتج ، نجد انه فى حالة المحرك يجب على جهد المنبع ان يدفع التيار فى الاتجاه المضاد اى عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربية ، التى تصبح فى حالة المحرك مكافئة فى عملها لمقاومة يكون هبوط الجهد فيها مضادا لاتجاه الجهد الذى يسبب مرور التيار. لذلك يطلق عليها فى الحالة اسم القوة الدافعة الكهربية العكسية (المضادة) ، و تحسب من المعادلة ٤و تعطى بالعلاقة:

$$I_a = \frac{V_L - E_b}{R_a} \quad (5)$$

تتناشب القوة الدافعة العكسية مع سرعة الدوران كما هو واضح من المعادلة ٢ ، و هذا معناه انه عندما يدور المحرك بسرعته المقننة n فانه يتولد E_b بقيمتها الكاملة عند هذا السرعة. اما اذا كان المنتج فى حالة السكون و يراد ادارة المحرك بتوصيل جهد على اطرافه فان القوة الدافعة العكسية E_b تكون مساوية للضفر فى هذه الحالة و يكون التيار المار فى المنتج فى هذه الحالة هو تيار البدء (Starting current) و يحسب من المعادلة ٥ و ذلك بوضع Eb=0 و يعطى بالعلاقة:

$$I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a} (6)$$



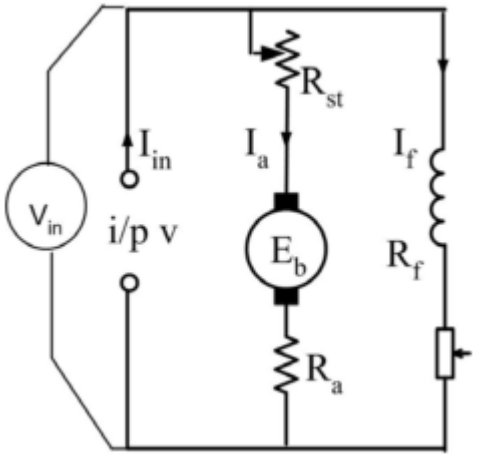
(a) generator (b) motor

شكل(٦.٩): مقارنة بين المولد و المحرك

و نظرا لان V_L تكون كبيرة (اكثر من مائة فولت) كما ان قيمة Ra تكون صغيرة (كسر من الاوم) فاننا نتوقع الحصول عاى تيار بدء كبير جدا ، فى جميع الاحوال تزيد قيمته عن عشرة امثال تيار الحمل الكامل ، مما قد يودى الى تلف ملفات المنتج لو مر فيه زمنا لا يتجاوز بضع لحظات. و للحد من تيار البدء و تلافى خطورة مروره بهذا الحجم فى المنتج ، توضع مقاومة كبيرة على التوالى مع ملفات المنتج عند البدء يطلق عليها مقاومة بدء الحركة و يرمز لها بالرمز Rst كما فى الشكل رقم ٦.١٠ و بذلك تصبح معادلة التيار عند البدء:

$$I_a = \frac{V_L}{R_a + R_{st}} \quad (7)$$

و يمكن استخدام هذا المعادلة لتحديد قيمة تيار البدء بحيث يكون نسبة من تيار الحمل الكامل. و عندما يدور المحرك و تزداد سرعة الدوران تدريجيا تزداد معها قيمة القوة الدافعة العكسية بنفس القيمة. لهذا السبب يجب ان نعمل على تقليل قيمة مقاومة البدء بالتدريج كلما زادت سرعة دوران المحرك الى ان نخرجها تماما من الدائرة عندما يصل المحرك الى سرعته المقننة.



شكل(٦.١٠): كيفية بدء الحركة

عزم الدوران المتولد:

يمكن كتابة معادلة عزم الدوران فى هذه الصورة

$T = K \times \Phi \times I_a$

حيث K ثابت يعرف بثابت العزم $= \left(\frac{ap}{2a}\frac{Z_a}{2\pi}\right)$

المعادلة اعلاه تبين ان عزم الدوران الكلى فى المحرك يتناسب طرديا مع كل من Φ و Ia و يمكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة الاتية

$$T = \frac{E_b I_a}{\left(\frac{2\pi n}{60}\right)} \quad (8)$$

و يمكن الحصول على هذه المعادلة مباشرة على النحو التالى:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (9)$$

حيث P هى قدرة المنتج $= E_b \times I_a$(جهد المنبع × تيار المنتج) و ω هى السرعة الزاوية و يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (10)$$

و المعادلة الاخيرة تبين ان عزم الدوران يتناسب عكسيا مع سرعة الدوران.

انواع المحركات:

تنقسم محركات التيار المستمر الى نوعين رئيسين حسب تغذية ملفات المجال

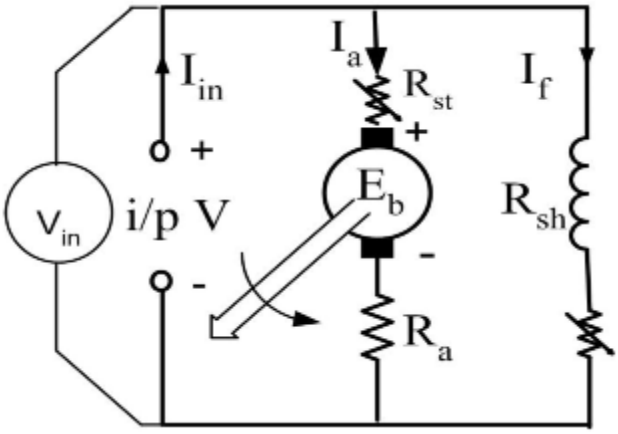
(١) محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة (المنفصلة).

(٢) محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية.

و نظرا لان المحركات ذات التغذية المستقلة تشبه تماما محركات التوازى ، لذا تعتبر حالة خاصة من المحركات ذاتية التغذية و بناءا على ذلك سوف يتم التركيز على المحركات ذات التغذية الذاتية.

محركات التوازى:

يوضح شكل ٦.١١ توصيل محرك التوازى و يلاحظ ان ملفات المجال (التنبيه) R_{sh} تكون متصلة على التوازى مع المنتج و يوصل معها بالتوالى مقاومة تنظيم المجال. اما ملفات المنتج R_a فيوصل معها بالتوالى مقاومة بدء الحركة R_{st} . و يتميز هذا النوع من المحركات بانه يمكن اعتباره ذو مجال ثابت تقريبا.



شكل(٦.١١): محرك التوازى

يمكن كتابة معادلات الجهد و التيار لمحرك التوازى من ٦.١١ كالاتى:

$$\left.\begin{aligned} E_b &= V_{in} - I_a R_a \\ I_{in} &= I_a + I_f \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

و حيث ان القوة الدافعة العكسية تعطى بالمعادلة:

$$E_b = K_b \times n \times \Phi \quad (12)$$

بالتعويض من المعادلة ٦.١١ فى المعادلة ٦.١٢ يمكن كتابة السرعة كالاتى:

$$n = \frac{E_b}{K_b \Phi} = \frac{V_{in} - I_a R_a}{K_b \Phi} \quad (13)$$

منحنيات الخواص:

تمثل منحنيات الخواص لمحرك التوازى العلاقات التالية:

(١) السرعة مع تيار المنتج $n = f(I_a)$.

(٢) العزم مع تيار المنتج $T = f(I_a)$.

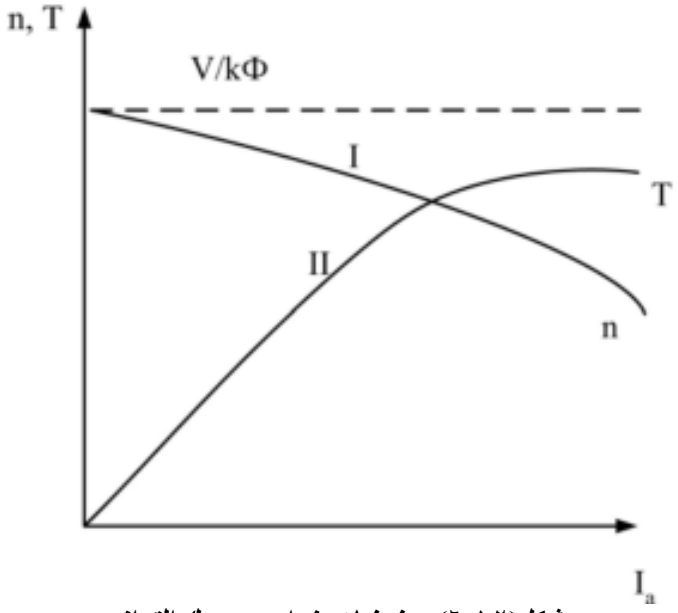
(٣) السرعة مع العزم $n = f(T)$.

تعطى المعادلة ١٣ العلاقة بين السرعة و تيار المنتج (الحمل) و يلاحظ ان السرعة تقل كلما زاد تيار المنتج بدرجة طفيفة كما هو واضح فى الشكل ٦.١٢ بالمنحنى I . ايضا يمكن رسم منحنى خواص العزم مع تيار المنتج و ذلك باستخدام المعادلة $(T = K \Phi I_a)$ ، حيث يتناسب العزم طرديا مع تيار المنتج عند ثبوت الفيض المغناطيسى (تيار المجال) و ثبوت الجهد الداخلى للمحرك ، و يلاحظ ان العزم يزداد مع زيادة تيار المنتج كما هو واضح فى شكل ٦.١٢ بالمنحنى II.

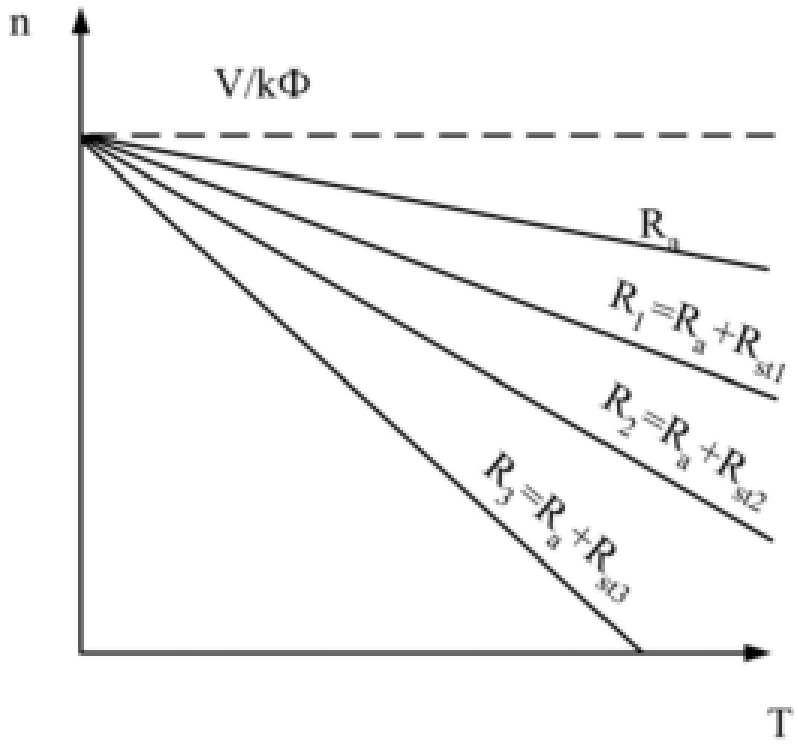
بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ($T= K \Phi I_a$) فى المعادلة ٦.١٣ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{K_b \Phi} - T \frac{R_a}{K_b^2 \Phi^2} \quad (14)$$

المعادلة ١٤ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم امحرك التوازى. وهى علاقة خط مستقيم حيث الفيض المغناطيسى ثابت القيمة. عبد اللاحمل ($T = 0$) تصبح السرعة ($n = V_{in} / K_b \Phi$) وهى سرعة اللاحمل (no load speed) و تمثل بالجزء الاول فى المعادلة ١٤ ، اما الجزء الثانى فيمثل الانخفاض فى السرعة عند التحميل و يوضح شكل ٦.١٣ منحنى خواص السرعة مع العزم لقيم مختلفة لمقاومة البدء وهة مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة البدء.



شكل(٦.١٢): منحنيات خواص محرك التوازى



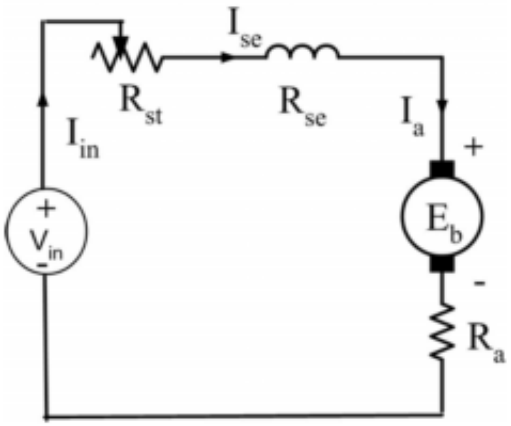
شكل(٦.١٣): منحنيات خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازى

استخدامات محرك التوازى:

يستخدم محرك التوازى فى الحالات التى تحتاج الى سرعة ثابتة تقريبا و التى يمكن ان تهبط فيهاالسرعة هبوطا طفيفا مع ازدياد الحمل ، مثل الات الورش كالمخارط و المقاشط ، كما انه يمكن ان يناسب الات الغزل و النسيج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل ، ثم تهبط هذه السرعات هبوطا طفيفا مع الحمل. ايضا يستخدم المحرك فى ماكينات صناعة الورق و الاخشاب و الطلمبات و الدرفلة.

محرك التوالى:

يوضح شكل ٦.١٤ طريقة توصيل محرك التوالى ، حيث توصل ملفات المجال بالتوالى مع المنتج و تكتب معادلات الجهد و التيار كالتالى:



شكل(٦.١٤): محرك التوالى

$$E_b = V_{in} - I_a(R_a+R_{se}) \quad (15)$$

$$I_a = I_{in} = I_{se} \quad (16)$$

فى هذه الحالة نجد ان الفيض المغناطيسى Φ يتناسب مع تيار المجالIse اى مع تيار المنتج I_a :

$$\Phi = C\, I_{se} = C\, I_a \quad (17)$$

ايضا يمكن كتابة معادلة العزم لمحرك التوالى:

$$T = K' - I_{a2} \quad (18)$$

اى ان العزم يتناسب مع مربع تيار المنتج ، ايضا يمكن حساب سرعة المحرك كدالة فى تيار المنتج

$$E_b = K_b\, n\, \Phi = K'_b\, n\, I_a \quad (19)$$

بالتعويض من المعادلة ٦.١٨ فى المعادلة ٦.١٥ يمكن كتابة السرعة كالاتى:

$$n = \frac{E_b}{K'_b I_a} = \frac{V_{in} - I_a(R_a + R_{se})}{K'_b I_a} \quad (20)$$

منحنيات الخواص:

تبين المعادلة ١٨ ان العزم يتناسب طرديا مع مربع تيار المنتج ، لذلك نجد ان منحنى خواص العزم مع التيار عبارة عن منحنى قطع ناقص (Parabola) كما هو موضح فى الشكل ٦.١٥ . ايضا المعادلة ٢٠ توضح العلاقة بين السرعة و تيار المنتج امحرك التوالى و هى علاقة عكسية ، اى مع زيادة تيار المنتج (الحمل) تقل السرعة وهى اقرب ما يكون الى قطع زائد(Hyperabola) كما يوضح منحنى خواص السرعة مع تيار المنتج فى شكل ٦.١٥ .

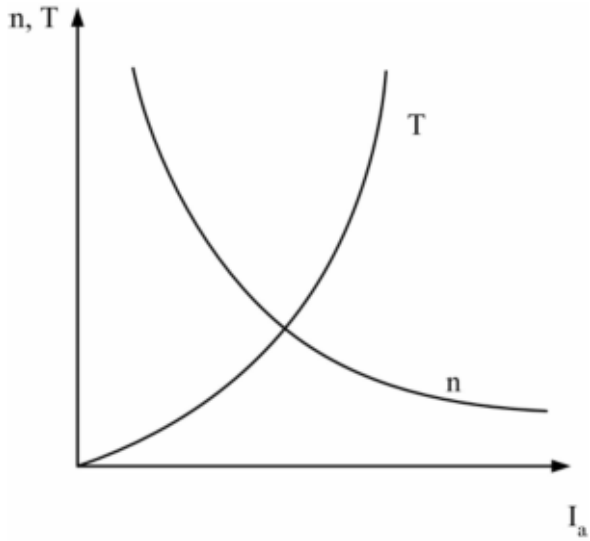
بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة ١٧ فى المعادلة ٢٠ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\alpha\, I_a} - T\, \frac{R_a + R_{se}}{\alpha^2 I_a^2} \quad (21)$$

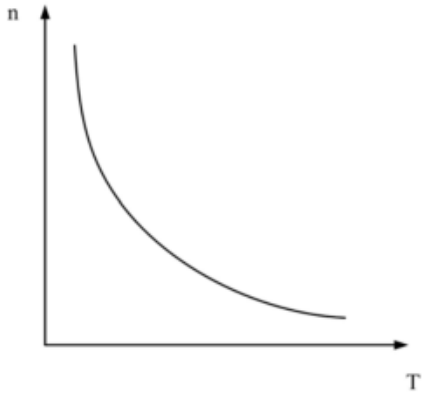
ثم بالتعويض من المعادلة ١٨ فى المعادلة ٢١ نحصل على علاقة السرعة مع العزم:

$$n = \frac{V_{in}}{\sqrt{\alpha\, I_a}} - \frac{R_a + R_{se}}{\alpha} \quad (22)$$

المعادلة ٢٢ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالى كما هو موضح فى شكل ٦.١٦ . يلاحظ من منحنى الخواص ان السرعة تزداد بمقدار كبير جدا عند اللاحمل (T = 0) لذلك لا يفضل استخدام محرك التوالى فى عدم وجود حمل حتى لا يتسبب فى وجود مشاكل ميكانيكية متعلقة بزيادة السرعة.



شكل(٦.١٥): منحنيات خواص العزم و السرعة مع تيار المنتج لمحرك التوالى



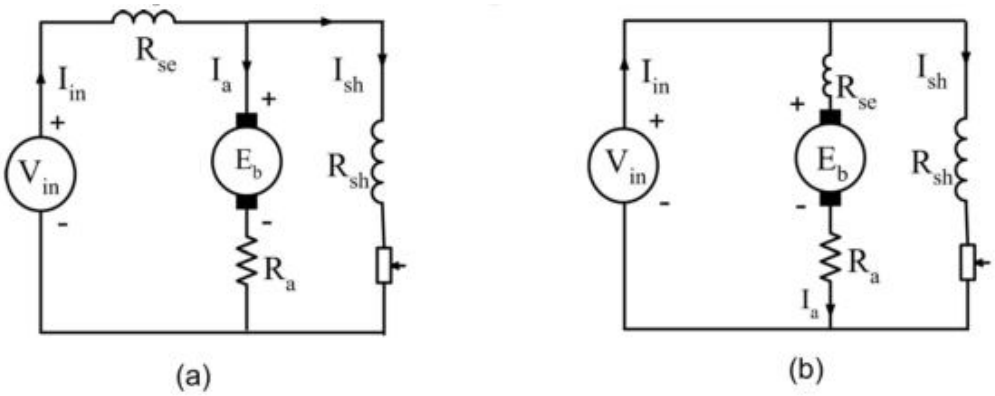
شكل(٦.١٦): منحنيات خواص السرعة مع العزم لمحرك التوالى

استخدامات محرك التوالى:

فى حالة محرك التوالى نجد ان عزم الدوران يتناسب طرديا مع مربع تيار المنبع (وهو تيار المنتج) بينما تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المنتج (الحمل) بحيث تظل القدرة متناسبة مع تيار المنبع باعتبار جهد المنبع ثابت. معنى ذلك ان هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة احمال كبيرة دون الحاجة الى تعدى الحدود المقبولة فى اخذ القدرة من المنبع ، نظرا لان هبوط سرعة الدوران مع الاحمال الثقيلة يعمل على الحد من القدرة الماخوذة من المنبع. وهذا يجعل محرك التوالى اكثر ملائمة فى حالات الجر الكهربائى ، و علاوة على ذلك فان استخدام محرك التوالى فى اغراض الجر الكهربى ينفى احتمال الزيادة الكبيرة فى السرعة نظرا لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل فى وزن القاطرة و العربات التى تجرها عندما تكون خالية. ايضا يستخدم محرك التوالى مع الاوناش و الروافع و المصاعد الكهربية.

المحرك المركب:

المحرك المركب هو اساسا محرك توازى اضيفت اليه ملفات توالى يمر فيها يتار المنبع فى المحرك القصير او تيار المنتج فى المحرك الطويل ، فى اتجاه معين بحيث يودى تاثير المجال المغناطيسى الذى تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسى لملفات التوازى ، و بذلك يكتسب المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة و العزم. و هناك نوعان من المحركات المركبة حسب توصيل ملفات التوالى و ملفات التوازى ، محرك مركب طويل و محرك مركب قصير ، كما موضح فى الشكل ٦.١٧



شكل(٦.١٧): المحرك المركب (a) محرك قصير (b)محرك طويل

معادلات المحرك القصير:

$$E_b = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se} \quad (23)$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{sh} \quad (24)$$

$$I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh} \quad (25)$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K \Phi} \quad (26)$$

معادلات المحرك الطويل:

$$E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se}) \quad (27)$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} \quad (28)$$

$$I_{in} = I_a + I_{sh} \quad (29)$$

$$n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K \Phi} \quad (30)$$

بالنسبة لعزم الدوران يمكن استخدام المعادلة ($T = K \Phi I_a$) مع مراعاة ان Φ هى عدد خطوط المجال المغناطيسى المحصل من مجالات كل من ملفات التوالى و ملفات التوازى معا. و يتحدد مقدار المجال المحصل بناءا على طريقة توصيل ملفات (اتجاه التيار فيها) ، فاما ان تعطى مجال يساعد مجال ملفات التوالى او يعاكسها. و ينقسم المحرك المركب بناءا على ذلك الى ثلاثة انواع:

(١) محرك مركب تراكمى (Comulative compound motor):

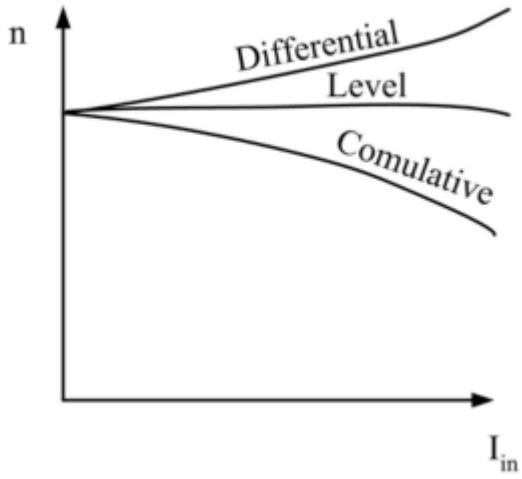
تزداد قيمة Φ فى هذا النوع كلما ازداد الحمل فتنخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة اعداد ملفات التوالى ، و يوضح شكل ٦.١٨ منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل.

(٢) محرك مركب مستوى (Level compound):

تحافظ ملفات التوالى فى هذه الحالة على قيمة Φ ثابتة على الرغم من تغير الحمل ، فتظل سرعة المحرك تقريبا ثابتة عند الاحمال المختلفة ، كما هو موضح فى شكل ٦.١٨.

(٣) محرك مركب فرقى (Differntial Compound motor):

تعطى ملفات التوالى فى هذه الحالة مجالا مغناطيسيا يضاد اتجاه مجال ملفات التوازى و ذلك عند مرور التيار فيها. و بذلك تقل قيمة Φ كلما ازداد الحمل على المحرك مما يودى الى زيادة سرعة المحرك كما هو واضح فى شكل ٦.١٨ .



شكل(٦.١٨): منحنى الخواص للمحرك المركب

استخدامات المحرك المركب:

يمكن استخدام المحرك المركب المستوى كبديل عن محرك التوازى ، و ذلك للاحمال التى تحتاج الى سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل. اما المحرك المركب الفرقى فيستخدم فى درفلة الحديد (Rolling mills) ، فعند دخول لوح الحديد بين الدرفلين يزداد الحمل على المحرك و بالتالى تميل السرعة الى الانخفاض ، فيتم تعويضها بفعل عمل المحرك ، و بالتالى تظل السرعة ثابتة على الرغم من الزيادة المفاجئة فى الحمل.

طرق التحكم فى سرعة المحركات:

يتم التحكم فى سرعة محركات التيار المباشر باحدى الطرق الاتية

(١) عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج.

(٢) عن طريق الجهد المسلط على اطراف المحرك.

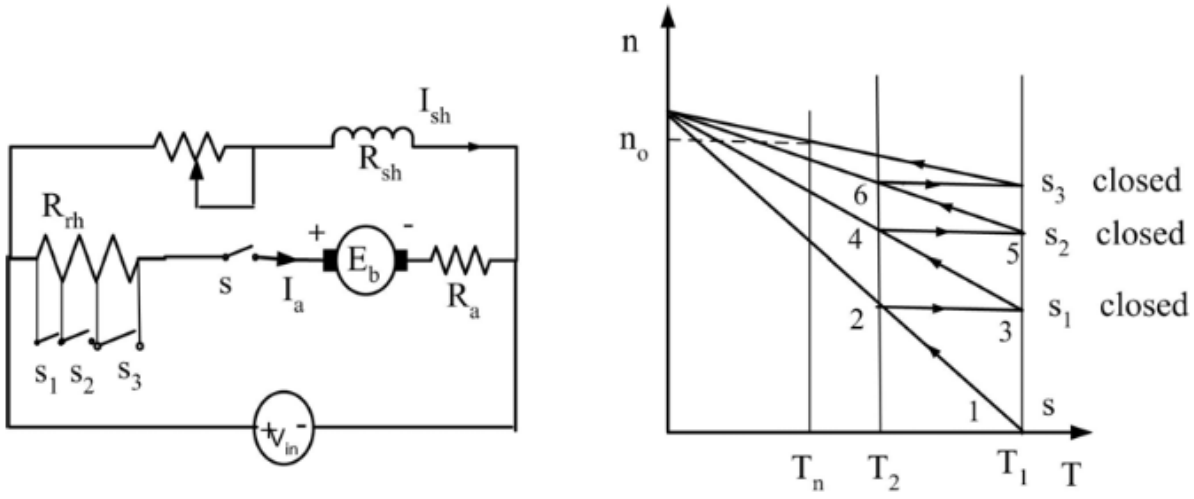
(٣) عن طريق تغير الفيض المغنطيسى عن طريق دائرة المجال.

يتشابه كل من محرك التوازى و المحرك المركب فى طرق التحكم فى السرعة، لذلك ستيم التركيز على طرق تحكم سرعة محرك التوازى

التحكم فى سرعة محركات التوازى:

اولا ـ استخدام مقاومة متغيرة:

فى هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالى مع دائرة المنتج ، كما هو موضح فى شكل ٦.١٩ . و يتم تنظيم السرعة عن طريق فتح او غلق المفاتيح S_1, S_2, S_3 و بذلك يدخل جزء من المقاومة فى الدائرة مما يغير من قيمة المقاومة المحصلة للمنتج. و يوضح شكل 6.19-b منحنى العزم مع السرعة ، فعند حمل معين نجد ان السرعة تتغير بتغير المقاومة. تبعا لشكل 6.19-a فان المحرك يبدا الحركة بغلق المفتاح S ثم بعد ذلك يتم غلق المفاتيح S_1, S_2, S_3 تباعا بحيث يكون بينهما فاصل زمنى. و لكن من عيوب هذه الطريقة لتنظيم السرعة هو الفقد فى مقاومة تنظيم السرعة مما يقلل من كفاءة المنظومة ككل.

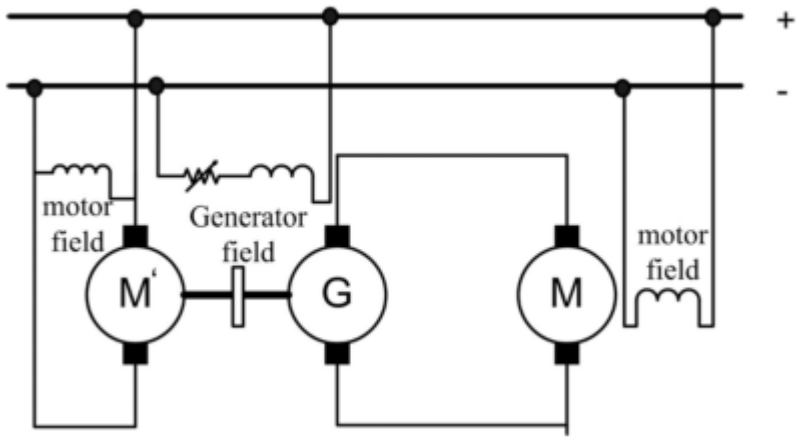


(a) (b)

شكل(٦.١٩): تنظيم السرعة لمحرك توازى باستخدام مقاومة مع المنتج

ثانيا: التحكم فى السرعة عن طريق الجهد المسلط:

يمكن الحصول على مدى اوسع لتنظيم السرعة عن طريق الجهد المسلط على اطرلف المحرك ، و يكمن التحكم فى هذا الجهد باستخدام طريقة "وورد ليونارد" كما موضح فى شكل ٦.٢٠ حيث يغذى المحرك المراد تنظيم سرعته M من مولد محكوم G ، و هذا المولد يدار بسرعة ثابتة من خلال محرك تيار مستمر اخر "M" ، و عن طريق التحكم فى مجال المولد يمكن تغيير الجهد المتولد على اطرافه و بالتالى الجهد المغذى للمحرك المراد تنظيم سرعته. و من عيوب هذه الطريقة هى التكلفة الكلية لنظام التحكم. و لكن الان تستخدم طرق الكترونية للتحكم فى الجهد المستمر المغذى للمحرك مباشرة



شكل(٦.٢٠): تنظيم السرعة لمحرك توازى باستخدام طريقة وورد ليونارد

ثالثا- التحكم فى السرعة عن طريق المجال:

تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة قليلة التكلفة ، حيث تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة ، و عن طريقها يتم التحكم فى تيار المجال و بالتالى الفيض المغناطيسى و هذه الطريقة يمكن ان تعطى سرعات اعلى من السرعة المقننة للمحرك و لكن هذا يتسبب فى زيادة الشرر الكهربى فى المحرك و حدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة.

التحكم فى سرعة محركات التوالى:

(١)توصيل مقاومة بالتوالى مع دائرة المحرك

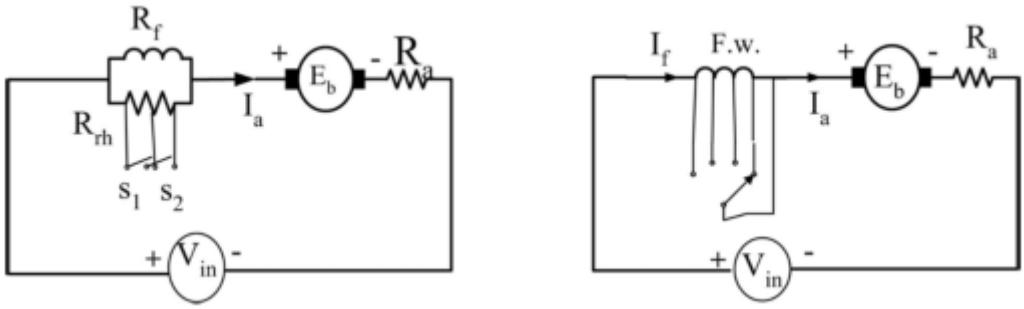
من المعادلة ٢١ نجد انه يمكن تغيير سرعة محرك التوالى باضافة مقاومة بالتوالى مع دائرة المنتج ، و يمكن فى هذه الحالة تكرار نفس الكلام الذى ذكرناه فى حالة محرك التوازى عند استخدام هذه الطريقة اتنظيم السرعة.

(٢)توصيل مقاومة على التوازى مع ملفات المجال:

تتوقف سرعة المحرك على الفيض المغناطيسى Φ و بالتالى على تيار المجال الذى يساوى تيار الحمل I_{in} فى هذه الحالة. و نظرا لان I_{in} يتوقف على مقدار الحمل ، فان التحكم فلى قيمة تيار المجال لا يتاثر الا عن طريق توصيل مقاومة على التوازى مع ملفات المجال ، بحيث يمكن تغيير قيمة تيار المجال عن طريق تغيير المقاومة ، بينما تظل قيمة تيار الحمل ثابتة. يوضح شكل 6.21-a طريقة توصيل الدائرة.

(٣)تقسيم ملفات المجال:

نستطيع فى بعض الاحوال ان نتحكم فى تيار المجال عن طريق تقسيم ملفات المجال على الاقطاب الى قسمين او اكثر و توصيلهما على التوازى معا بدلا من توصيل الملفات على الاقطاب كلها على التوالى ، كما هو واضح فى شكل 6.21-b . و بهذه الطريقة نستطيع التحكم فى تيار المجال و بالتالى فى سرعة المحرك.



شكل(٦.٢١): تنظيم السرعة لمحرك التوالى

اسئلة و تمارين:

(١) اشرح نظرية عمل محرك التيار المستمر.

(٢) ما هى انواع محركات التيار المستمر؟ مع ذكر استخدامات كل نوع.

(٣) اشرح منحنيات الخواص لمحرك التوالى و المحرك المركب.

(٤) اشرح طرق تنظيم السرعة لمحركات التيار المستمر.