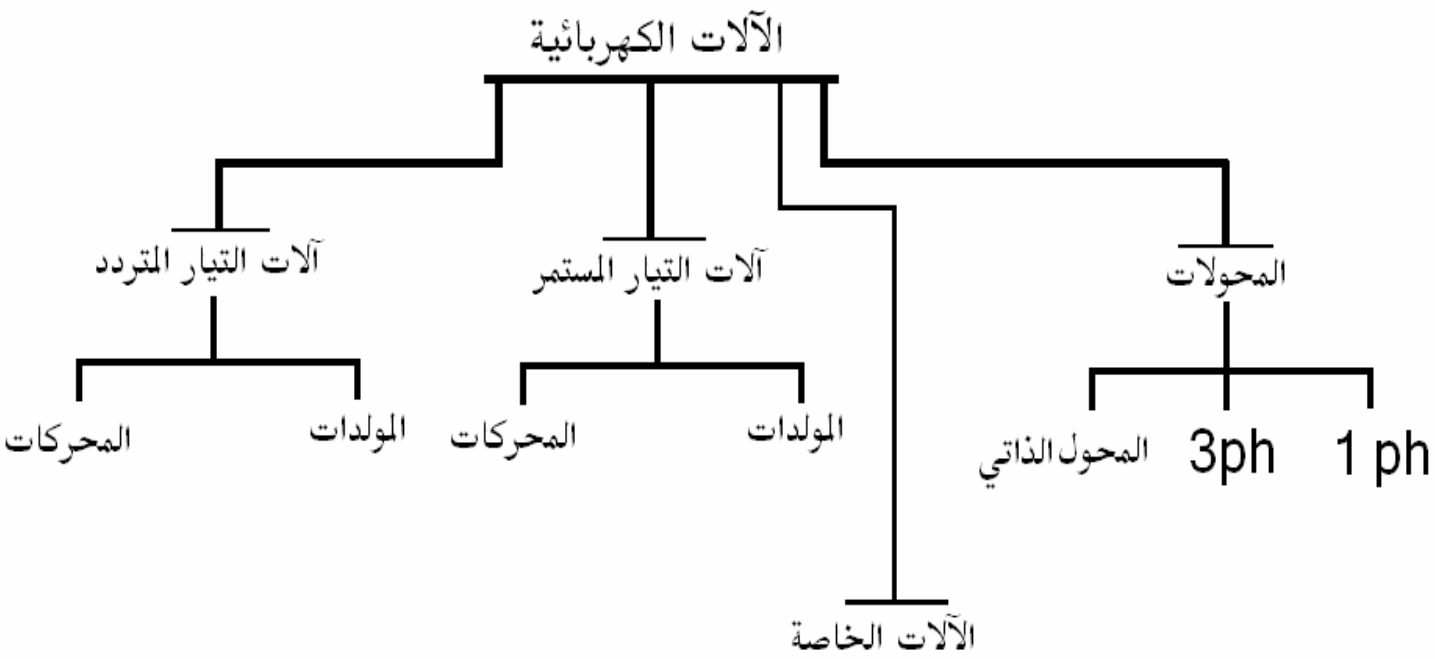
الآلات الكهربائية



مقدمة :

المواد المغناطيسية تشكل جزءا هاما في تركيب الآلات الكهربائية فهي تشكل وتوجه المجالات المغناطيسية التي تمثل الوسط الذي تتم فيه عملية تحويل الطاقة من ميكانيكية إلى كهربائية في حالة المولد والعكس في حالة المحرك

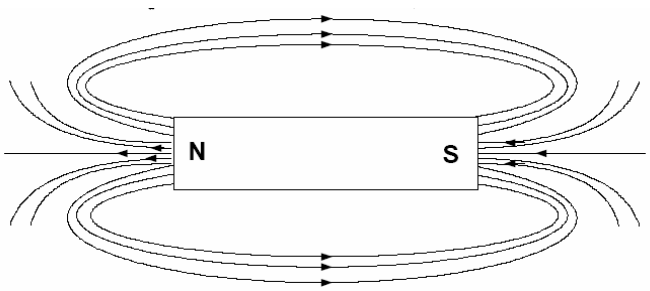
ففي المحولات تكون الدائرة المغناطيسية مغلقة بينما في الآلات الكهربائية الدوارة تحتوى على عنصرين أساسيين هما العضو الدوار والعضو الثابت متصلين بثغرة هوائية

في معظم الآلات الكهربائية ماعدا ذات المغناطيس الدائم يتم توليد المجال ألمغناطيسي (magnetic field) بتمرير التيار الكهربائي في ملف ملفوف (coil wound) على مادة حديدية مغناطيسية (ferromagnetic material) .

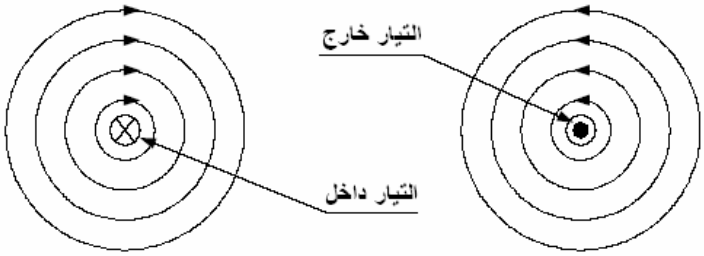
الوحدة الأولى

المغناطيسية

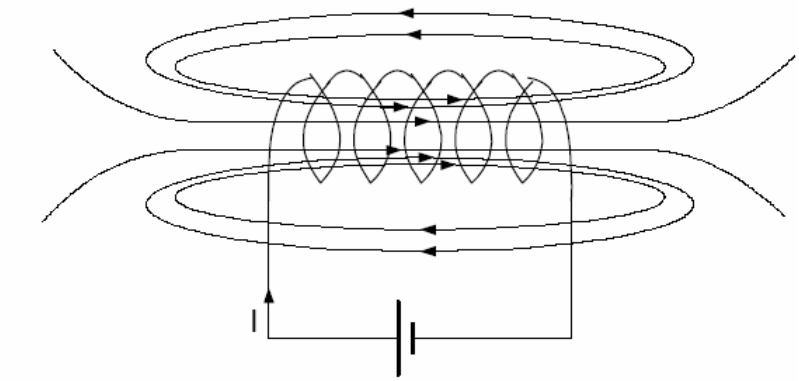
المجال المغناطيسي (magnetic field):
هو المنطقة الموجودة حول قطعة حديدية ذات مغناطيس دائم أو موصل يمر فيه تيار كهربائي



خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

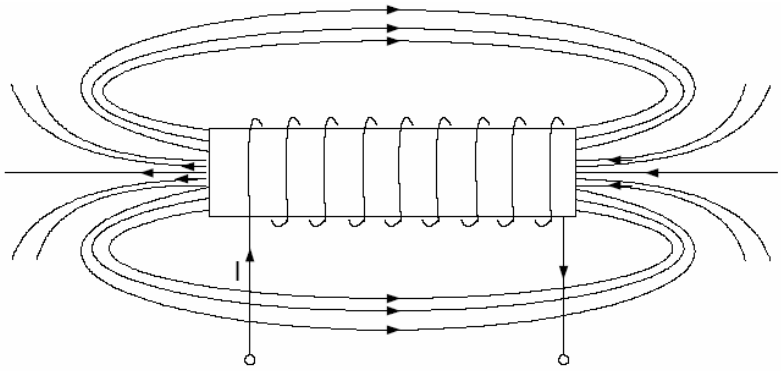


خطوط المجال المغناطيسي حول موصل يمر فيه تيار



خطوط المجال المغناطيسي لملف يمر فيه تيار

وإذا تم لف الملف حول قطعة من الحديد أو الكوبالت فنحصل على مايسمى بالمغناطيس الكهربائي

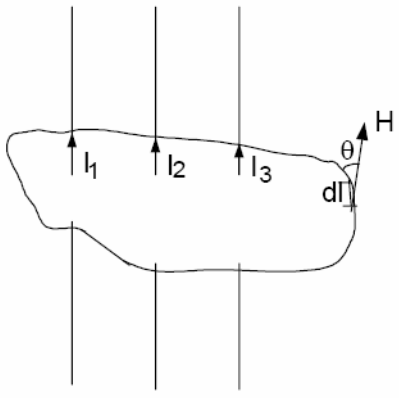


خطوط المجال لمغناطيس كهربائي

التدفق المغناطيسي (magnetic flux):
هو عدد خطوط المجال المغناطيسي الموجودة في دائرة مغناطيسية ويقاس بالويبر (waber)
يحافظ على قيمته خلال أي جزء مستقيم في الدائرة المغناطيسية فهو مماثل للتيار في الدوائر الكهربائية .

شدة المجال المغناطيسي (magnetic field intensity < H >) :
يمكن حسابها في الدوائر المغناطيسية البسيطة بتطبيق نظرية أمبير والتي تقول بان التكامل الخطي لشدة المجال المغناطيسي H حول مسار مغلق يساوي التيار الكلي داخل هذا المسار .

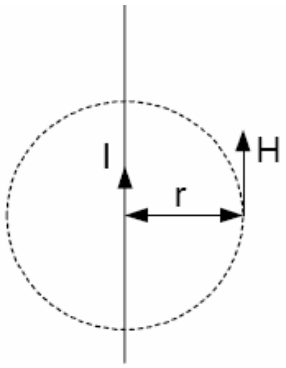
$$\int H.dl = \sum i \text{ ----------(1)}$$



توضيح نظرية أمبير

$$\int H.dl\cos\theta = \sum i \text{ ----------(2)}$$

حيث θ هي الزاوية بين خط المماس لشدة المجال مع المسار الغلق للتيار عند نقطة لها طول تماس *l*



تعيين شدة المجال حول موصل يمر فيه تيار

$$\int H.dl = i \rightarrow H2\pi r = i \rightarrow H = \frac{i}{2\pi r} ----(3)$$

كثافة التدفق المغناطيسي (magnetic flux density < B >) :
هي كمية التدفق المغناطيسي Φ التي تعبر مساحة معينة A تكون عمودية على خطوط المجال المغناطيسي
أي أن :

$$B = \frac{\phi}{A} \Rightarrow\Rightarrow \frac{weber(Wb)}{m^2} \Rightarrow Tesla(T) ----------(4)$$

أما علاقة شدة المجال المغناطيسي مع كثافة التدفق هي :

$$B = \mu H \Rightarrow\Rightarrow\Rightarrow B = \mu_r \mu_o H \Rightarrow (tesla(T)) ----------(5)$$

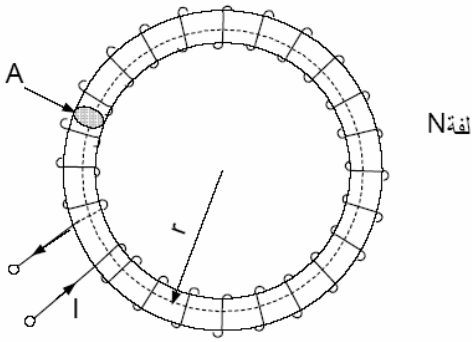
حيث μ_r هي معامل النفاذية النسبي للمادة

μ_o هي معامل النفاذية للفراغ والتي تساوي $4\pi 10^{-7} \Rightarrow henry/meter$

ملاحظة :
$\mu_r=1$ لأي وسط غير مغناطيسي كالفراغ والموصلات (النحاس والألمنيوم) والعوازل
μ_r تكون ثابتة إلا للمواد غير المتشبعة

الدائرة المغناطيسية المكافئة (magnetic equivalent circuit)

كمثال نأخذ دائرة مغناطيسية لقلب حديدي على شكل حلقة لها مساحة مقطع A ولها نصف قطر r مغلقة ملفوف عليها ملف له عدد لفات N ويمر به تيار I والمجال المغناطيسي خارجها يسمى مجال التسرب (leakage flux) وغالبا يكون مهمل لأنة قليل جدا :



شدة المجال المغناطيسي على شكل حلقة

$$\int H.dl = Ni \Rightarrow\Rightarrow Hl = Ni \Rightarrow\Rightarrow H\,2\pi r = Ni ---(6)$$

ومقدار Ni هو القوة الدافعة المغناطيسية (magneto motive force (mmf) < F >)

$$Hl = Ni = F \Rightarrow\Rightarrow H = \frac{N}{l} i \Rightarrow ampere - turn / meter(At/m) ---(7)$$

ومن المعادلة 5 ومعادلة 7

$$B = \frac{\mu N}{l} i(T) ----------(8)$$

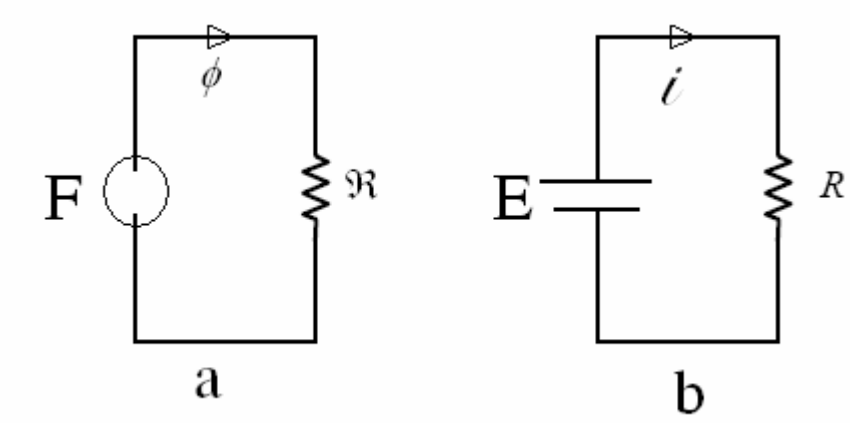
ومن المعادلة 4 ومعادلة 8

$$\phi = \frac{\mu N}{l} Ai = \frac{Ni}{l/\mu A} ----------(9)$$

$$\Re = \frac{l}{\mu A} ----------(10)$$

$$\phi = \frac{Ni}{\Re} ----------(11)$$

حيث $\mathcal{R}$ ممانعة مغناطيسية



وتاليا جدول يبين مقارنة بين الدارة الكهربائية والمغناطيسية حسب الشكل السابق

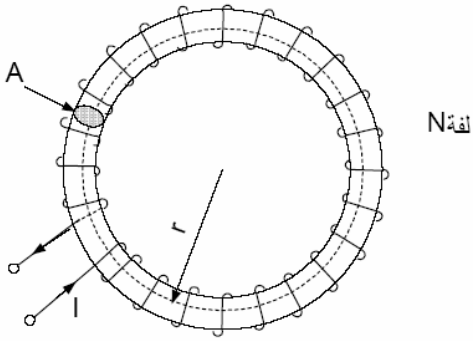
الدائرة المغناطيسية--------- a

الدائرة الكهربائية --------- b

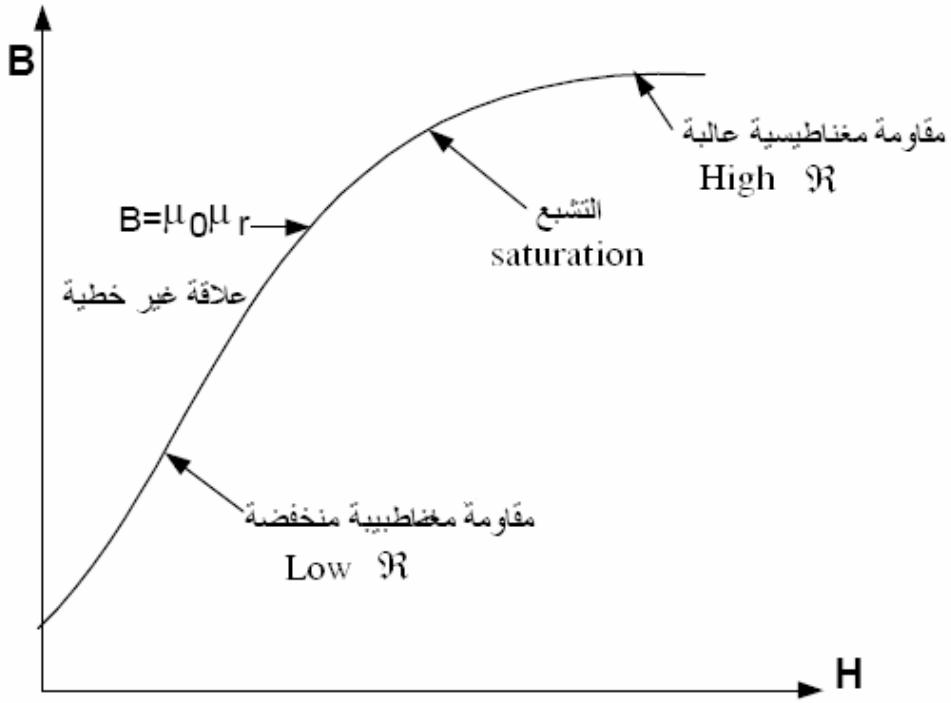
	a	b
القوة الدافعة driving force	القوة الدافعة المغناطيسية Mmf (F)	القوة الدافعة الكهربائية Emf (E)
الناتج produces	التدفق المغناطيسي flux $(\phi = F / \Re)$	التيار الكهربائي current $(i = E / R)$
المحدد limited by	ممانعة مغناطيسية Reluctance $\Re = l / \mu A$	مقاومة كهربائية Resistance $R = l / \sigma A$
الثوابت constant	النفاذية permeability μ	الموصلية conductivity σ

منحنى التمغنط

كمثال نأخذ دائرة مغناطيسية لقلب حديدي على شكل حلقة لها مساحة مقطع A ولها نصف قطر r مغلقة ملفوف عليها ملف له عدد لفات N ويمر به تيار I والمجال المغناطيسي خارجها يسمى مجال التسرب (leakage flux) وغالبا يكون مهمل لأنة قليل جدا :



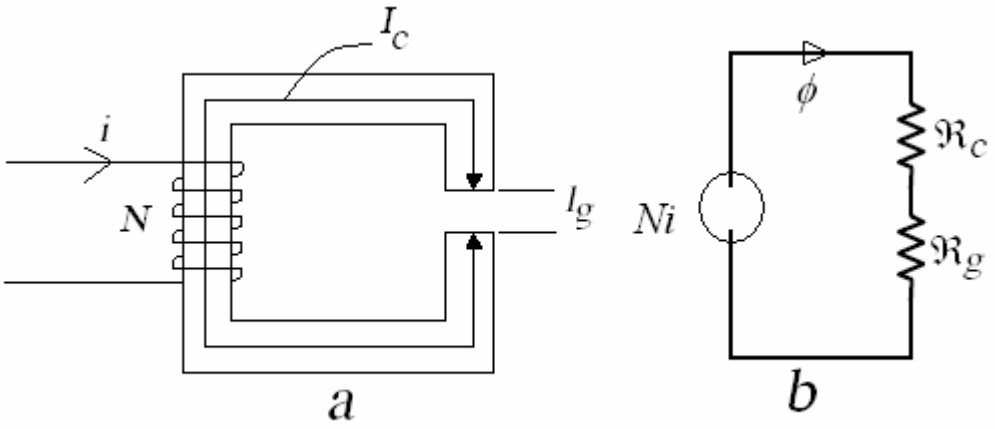
شدة المجال المغناطيسي على شكل حلقة



منحنى التمغنط

الفجوة الهوائية (Air Gap)

عند وجود فجوة هوائية في الدائرة المغناطيسية في هذه الحالة يتم حساب الدائرة المغناطيسية كما يلي



القلب المغناطيسي مع الفجوة الهوائية ---------- a
الدائرة المغناطيسية المكافئة ---------- b

$$\Re_c = \frac{l_c}{\mu_c A_c} \text{ ----------} (12)$$

$$\Re_g = \frac{l_g}{\mu_o A_g} \text{ ----------} (13)$$

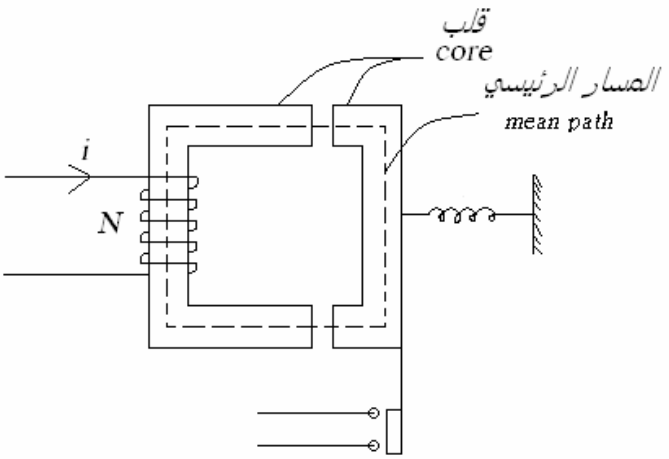
$$\phi = \frac{Ni}{\Re_g + \Re_c} \text{ ----------} (14)$$

$$Ni = H_c l_c + H_g l_g \text{ ----------} (15)$$

حيث $\mathcal{R}_g$, l_g , H_g للفجوة الهوائية
$\mathcal{R}_c$, l_c , H_c للقلب الحديدي

مثال ١:
في الشكل التالي إذا كان

L_c=360mm , l_g = 1.5mm , B_c =0.8 T ,N=500 turns H_c=510At/m



اوجد :
١) تيار الملف
٢) نفاذية القلب μ_c والنفاذية النسبية للقلب μ_r
٣) إذا لم تكن الفجوة الهوائية موجودة اوجد تيار الملف لنفس التدفق B=0.8 T

١) بما أن الفجوة الهوائية صغيرة جدا فان التدفق في الفجوة الهوائية يعتبر نفس التدفق B=0.8 T

$$F_c(mmf) = H_c l_c = 510 \times 0.36 = 184At$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_o}$$

$$F_g(mmmf) = H_g 2l_g = \frac{B_g}{\mu_g} 2l_g = 1910At$$

$$F = F_c + F_g = 184 + 1910 = 2094At$$

$$i = \frac{F}{N} = \frac{2094}{500} = 4.19A$$

٢) معامل نفاذية القلب μ_c

$$\mu_c \frac{B_c}{H_c} = \frac{0.8}{510} = 1.57 \times 10^{-3}$$

النفاذية النسبية للقلب μ_r

$$\mu_r = \frac{\mu_c}{\mu_o} = \frac{1.57 \times 10^{-3}}{4\pi 10^{-7}} = 1250$$

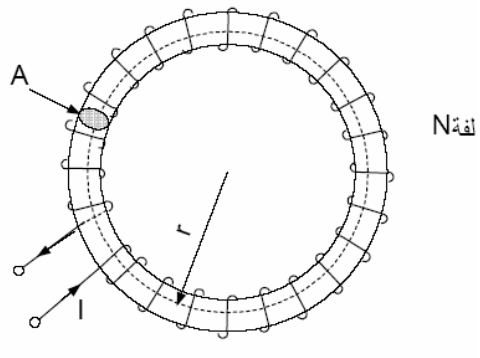
٣)

$$F = H_c l_c = 510 \times 0.36 = 184At$$

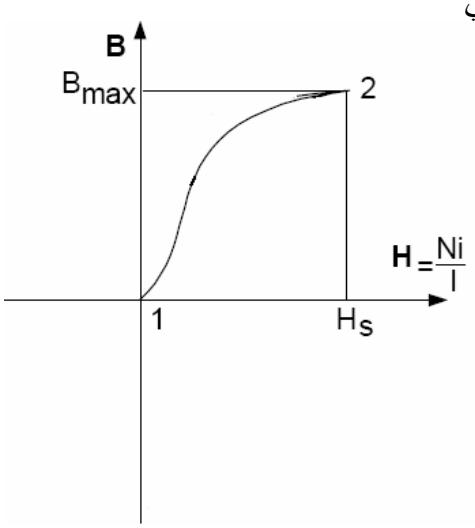
$$i = \frac{F}{N} = \frac{184}{500} = 0.368A$$

التخلف المغناطيسي Hysteresis

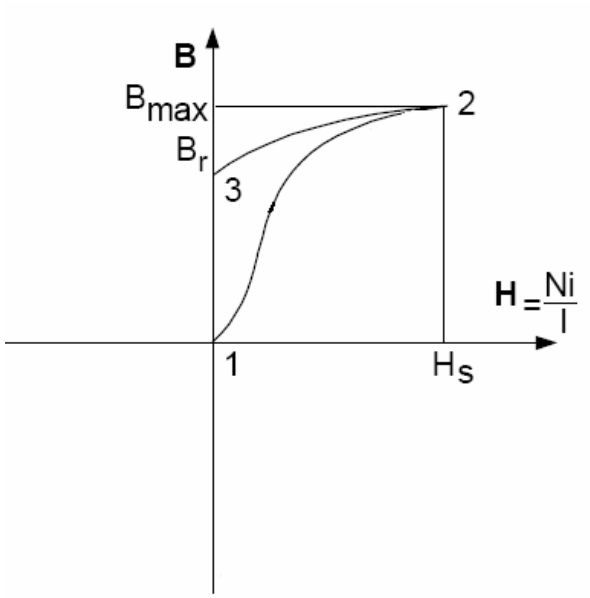
في الشكل التالي



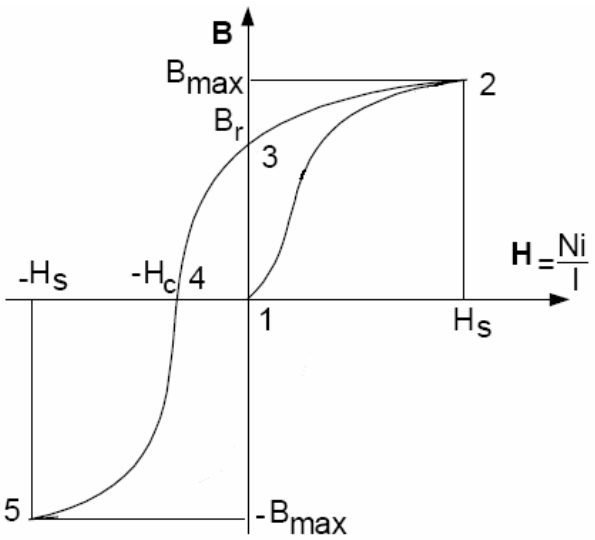
نفترض أن القلب الحديدي لم يكن ممغنطا أي $H = 0 , B = 0$ وقمنا بتوصيل التيار الكهربائي I تدريجيا فان منحنى التمغنط يأخذ الشكل التالي



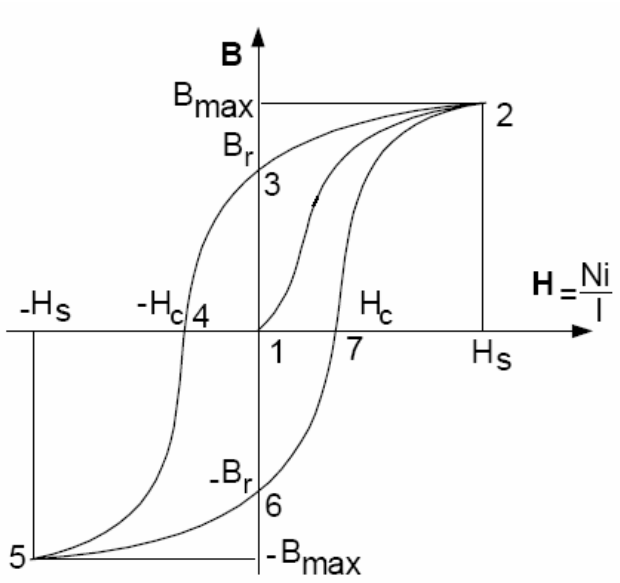
مع زيادة التيار يصل إلى نقطة التشبع الذي بدورة بعدها لو زاد التيار لا يزيد شدة المجال إلا قليل جدا وبدورة تزداد كثافة التدفق بشك قليل أيضا وتكون كثافة التدفق عند هذه النقطة هي B_{max} أي أن المنحنى من 1 إلى 2 وبعد ذلك لو خفضنا التيار الكهربائي إلى الصفر تنخفض شدة المجال H إلى الصفر ولكن تنخفض كثافة الفيض ولاتصل إلى الصفر أي أن المادة تحتفض بكثافة التدفق وتسمى كثافة التدفق المغناطيسي المتبقي B_r هذه الكثافة هي التي تسمح بتكوين المغناطيس الدائم وتكون عند النقطة 3 كما في الشكل التالي .



وبعد ذلك لو عكسنا التيار ستتناقص B مع زيادة التيار إلى أن تصل إلى الصفر و تصل شدة المجال إلى H– عند النقطة 4 تكون كافية لإزالة كثافة التدفق وعند زيادة التيار نصل إلى قيمة التشبع لكن بالاتجاه المعاكس للسابقة بسبب انعكاس التيار وذلك عند النقطة 5 ليصبح المنحنى كما في الشكل التالي .



وبعد ذلك لو عكسنا التيار مرة أخرى ستتناقص B (تزداد قيمة B السالبة) مع زيادة التيار إلى أن تصل إلى الصفر و تصل شدة المجال إلى H عند النقطة 7 تكون كافية لإزالة كثافة التدفق وعند زيادة التيار نصل إلى قيمة التشبع السابقة بسبب انعكاس التيار عند النقطة 2 مرة أخرى ليصبح المنحنى كما في الشكل التالي .



و يبين لنا المنحنى أن القدرة التي يعيدها الملف إلى مصدر القدرة اقل من القدرة التي أخذها منه وبالتالي يوجد ضياعات تسمى هذه الضياعات **بضياعات التخلف المغناطيسي P_h** وتكون على شكل حرارة في القلب ومع تكرار دورة التيار الكهربائي تزداد حرارة القلب بسبب هذه الضياعات لذلك تستخدم في هذه الآلات صفائح الحديد المطاوع وصفائح الصلب السيلكوني لتكوين القلب وذلك لان لها حلقة تخلف مغناطيسي ذات مساحة قليلة وذلك لتقليل هذه الضياعات

وتغير كثافة التدفق المغناطيسي بسرعة في القلب المغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية داخل هذا القلب بسبب تغير الزمني للتدفق المغناطيسي فينشأ تيار دوامي يسمى بالتيار الإعصاري (Eddy Current) وبما أن القلب له مقاومة كهربائية R يؤدي مرور التيار الإعصاري i_e إلى فقد في القدرة قيمته $i_e.R$ ويظهر على شكل حرارة في القلب وتسمي هذه المفاقيد ***بمفاقيد التيارات الإعصارية P_e.***

وتستخدم طريقتين للتقليل من الضياعات الإعصارية :

١- استخدام المواد المغناطيسية ذات مقاومة نوعية عالية (إضافة قيمة مؤوية (حوالي 4%) من السيلكون للحديد تزيد في مقاومته النوعية زيادة ملحوظة)
٢- استخدام قلب مكون من صفائح الصلب الرقيقة والمعزولة عن بعضها حيث تكون التيارات الإعصارية محصورة في مساحات ضيقة تقل تأثيرها على الخصائص المغناطيسية .

وبالتالي نلاحظ أن مفاقيد التخلفية ومفاقيد التيارات الإعصارية تكون على شكل حرارة في القلب وبالتالي مجموع هذه المفاقيد تسمى **بمفاقيد القلب الحديدي (مفاقيد حديدية) (core loss P_c)**

$$P_c = P_h + P_e$$

الوحدة الثانية

المحولات الكهربائية

في بعض المراجع تصنف المحولات الكهربائية على أنها نوع من الآلات الكهربائية ولكن مفهوم الآلة الكهربائية يعني الحركة الميكانيكية ولذلك ولان المحولات الكهربائية تخلو من الحركة الميكانيكية فيمكن فصلها .

تعريف المحول الكهربائي:

هو معدة ساكنة لا تحتوى على أي أجزاء متحركة تستخدم لنقل القدرة الكهربية من جهة إلى جهة أخري وذلك بتغيير قيم مكونات هذه القدرة (الجهد والتيار) مع المحافظة على التردد .

وعادة يسمي الملف المتصل بمصدر الجهد بالملف الابتدائي كما يسمي الملف المتصل بالحمل بالملف الثانوي.

مجالات استخدام المحول الكهربائي:

يعتبر المحول الكهربائي من الهم عناصر النظم الطاقة الكهربائية ويكون مع الآلات الكهربائية أهم جزء في تلك النظم ويمكن استخدامه في عدة مجالات أهمها :

١- محطات الطاقة الرئيسية :- حيث يستخدم لرفع الجهد الكهربائي
٢- محطات تحويل الطاقة :- حيث يستخدم لرفع الجهد الكهربائي أو خفضه
٣- الأجهزة الكهربائية بشكل عام :- حيث يستخدم لإعطاء فولتية قليلة لتشغيل هذه الأجهزة
٤- محولات البدء في المحركات الحثيه
٥- مجالات أخرى

أنواع المحولات الكهربائية :

* تصنف المحولات الكهربائية من الناحية الوظيفية إلى نوعين :
١- محولات رفع step up transformerوتستعمل لرفع الجهد الكهربائي
٢- محولات خفض step down transformer وتستعمل لخفض الجهد الكهربائي
* تصنف المحولات الكهربائية من حيث عدد الأطوار إلى نوعين :
١- محولات الطور الواحد single phase transformer
٢- محولات الثلاث أطوار 3- phase transformer
* تصنف المحولات الكهربائية من حيث تركيبها الداخلي إلى :
١- محول ذو ملفين
٢- محول ذو ملف واحد (محول ذاتي)
* وغيرها من تصنيفات المحولات الأخرى .

وسندرس في هذه الوحدة تركيب ومبدأ العمل لبعض أنواع المحولات الرئيسية كما يلي:

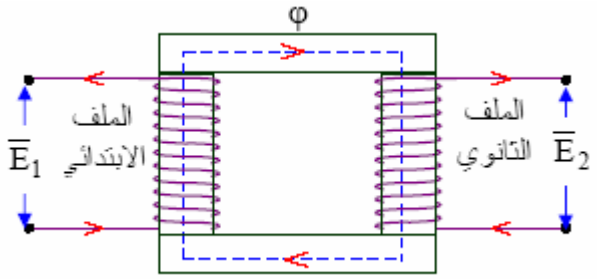
١- محولات الطور الواحد
٢- محولات الثلاث أطوار
٣- المحول الذاتي

Single Phase Ttransformer محولات الطور الواحد

تركيب المحول :

يتركب المحول عموما من:

١- قلب حديدي مصنوع من رقائق من الألواح المصنوعة من الصلب السليكوني.
٢- ملفين من الأسلاك الكهربية المعزولة احدهما هو الملف الابتدائي والآخر هو الملف الثانوي ويتم لفهما على جانبي القلب الحديدي.



أي انه يمكن اعتبار المحول مكون من دائرتين إحداهما دائرة مغناطيسية والأخرى دائرة كهربية حيث يمثل القلب الحديدي الدائرة المغناطيسية و تمثل الملفات الدائرة الكهربية.

مبدأ العمل :

يتلخص عمل المحول كما يلي :

١- تحويل الطاقة الكهربائية من دائرة إلى أخرى .
٢- تحويل الطاقة بدون تغيير في التردد .
٣- تحويل الطاقة بالحث المغناطيسي .
٤- الدائرتان الكهربائيتان في المحول للملف الابتدائي والثانوي في وضع حث ذاتي تؤثر كل منهما على الأخرى .

ولفهم مبدأ عمل المحول سنقوم بدراسة المحول المثالي :

النظرية الأساسية للمحول المثالي :

تعريف المحول المثالي :
هو المحول الذي لا يحدث خسائر فيه (لا توجد مقاومه لأسلاكه ولا تسرب مغناطيسي) .

تحليلات النظرية :

يعمل المحول الكهربائي على مبدأ القوة الدافعة الكهربائية المولدة (emf) . ففي حالة المحول المثالي وعند عدم وجود حمل مربوط على دائرة الملف الثانوي فان هنالك تيار قيمته I_m سيسري خلال دائرة الملف الابتدائي وهذا

التيار هو التيار اللازم لمغنطة القلب المغناطيسي وقيمته صغيرة جدا ولكنة متأخر عن الجهد الابتدائي بزاوية 90 وذلك لأنة يسري في ملف ، كما أن I_m ينتج فيض مغناطيسي قيمته φ ولذلك فان .

$$I_m \ \alpha \ \varphi$$

وبما أن جهد الملف الابتدائي يخضع لموجة جيبيه $v_1 = \nu . \sin(wt)$ فان I_m سيكون جيبيا أيضا بالنسبة للزمن وبالتالي فان الفيض φ سيكون جيبيا ، وبالتالي فإننا نحصل على فيض متغير بالنسبة للزمن وهذا الفيض يقطع الملفين الابتدائي والثانوي ولذلك فأنة ينتج قوة دافعة في كل من الملفين e_1, e_2 .

ولأننا افترضنا محول مثالي بدون خسائر ومن نظرية فراداي ونظرية اليد اليمنى نستنتج ما يلي:

١- تتولد في الملف الابتدائي قوة دافعة كهربائية لحظية مقدارها e_1 معاكسة لجهد المصدر v_1 ومساوية له بالمقدار .

٢- تتولد في الملف الثانوي قوة دافعة كهربائية لحظية مقدارها e_2 تتناسب مع v_2 ومعاكسة لها بالاتجاه وهي مساوية لجهد الحمل v_L وبنفس اتجاهه.

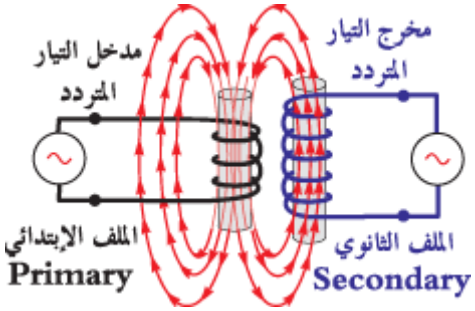
٣- جهد المصدر v_1 يتناسب مع جهد الحمل v_L ومعاكس له في الاتجاه .

<u>ويمكن تلخيص نظرية عمل المحول كما يلي :</u>

١- مرور التيار المتردد في الملفات الابتدائية ينشئ مجالا مغناطيسيا متغيراً.

٢- يقطع الفيض المغناطيسي المتغير لفات الملف الثانوي فيتولد فيها – بالحث – جهدا كهربيا يعارض التغير في شدة واتجاه المجال المغناطيسي .

٣- الجهد المستحث المتولد في الملفات الثانوية يسبب تدفق التيار من هذه الملفات عندما توصل بحمل ما .



معادلة القوة الدافعة الكهربائية للمحول :

إذا كان

N_1 -- عدد لفات الملف الابتدائي

N_2 -- عدد لفات الملف الثانوي

Φ_m -- القيمة العظمى للفيض المغناطيسي

f -- تردد المنبع الكهربائي

T -- زمن الموجة الواحدة

E_{av} -- معدل القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

فأنة ومن نظرية فراداي ينتج :

$$E_{1av} = N_1 \frac{\varphi_m}{t_1}$$

حيث t_1 هو الزمن اللازم لحدوث القيمة العظمى للفيض φ_m

$$t_1 = \frac{1}{4}T$$

ويعرف التردد بأنة مقلوب الزمن

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

وبالتالي E1av تصبح :

$$E_{1av} = N_1 \frac{\varphi_m}{\frac{1}{4f}} = 4N_1.\varphi_m.f$$

وبما أن $I_{rms} = \sqrt{2}.I_m$ و $I_{av} = \frac{2}{\pi}.I_m$

فان معامل الشكل

$$Kf = \frac{I_{rms}}{I_{av}} = \frac{\sqrt{2}I_m}{\frac{2}{\pi}I_m} = 1.11$$

ولتحويل من Eav إلى Erms نضرب بمعامل الشكل

أي أن:

$$E_{1rms} = Kf.E_{1av} = 1.11*4N_1\varphi_m f$$
$$E_{1rms} = 4.44N_1\varphi_m f$$

وبالتالي فان :

$$E_{2rms} = 4.44N_2\varphi_m f$$

وإذا قسمنا E1/E2 ينتج لدينا ما نسميه بثابت التحويل K حيث أن :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

وبما أن القدرة الداخلة للمحول مساوية للدرة الخارجة

$$p_{in} = p_{out} ------> V_1 I_1 \cos\Phi = V_2 I_2 \cos\Phi$$

وبما أن معامل القدرة متساوي فان

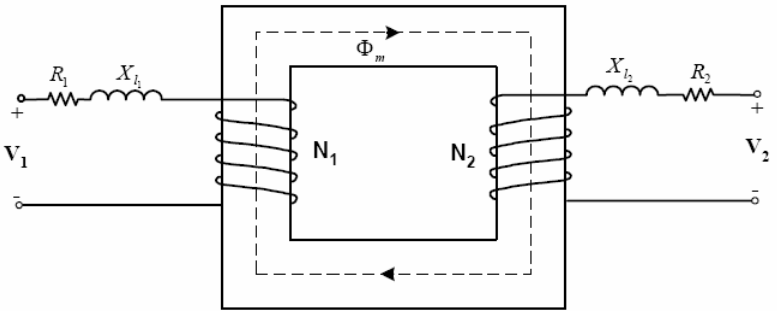
$$V_1 I_1 = V_2 I_2 ------> \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = K$$

المحول العملي

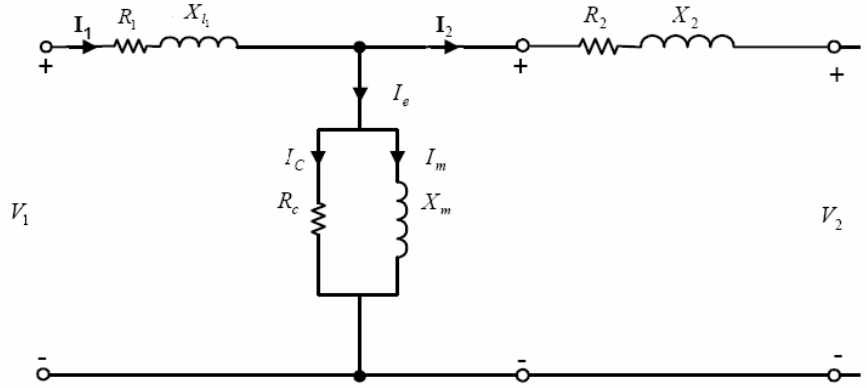
المحول الفعلي يختلف عن المحول المثالي بعدة أوجه منها

١. مقاومة الملف الابتدائي والثانوي غير مهمله
٢. وجود الفيض المغناطيسي في الملف الابتدائي والثانوي على التوالي
٣. المفاقيد الحديدية غير مهمله
٤. وجود المفاعلة للفيض المغناطيسي المتسرب في الملف الابتدائي والثانوي

وبالتالي يمكن إعطاء المحول كما في الشكل التالي :



وبما أن المفاقيد الحديدية غير مهملة يمكن التعويض عن القلب الحديدي بمقاومة ومفاعله ليصبح المحول كما يلي



حيث :

R_1 , X_1 - مقاومة وفاعلة (محاثة) الملف الابتدائي

R_2 , X_2 - مقاومة وفاعلة (محاثة) الملف الثانوي

R_c , X_m - مقاومة وفاعلة (محاثة) القلب الحديدي

وبما أن المحول الفعلي لا يمكن حسابه كما في المحول المثالي فابتكر العلماء مايسمى المحول المنسوب الذي ليس له وجود عمليا بل هو محول نظري (وهمي) لكي تسهل عمليات الحساب والمخططات وعند التحويل إلى المحول المنسوب يجب مراعاة الحفاظ على أن :

$V_2I_2=V_2'I_2'$

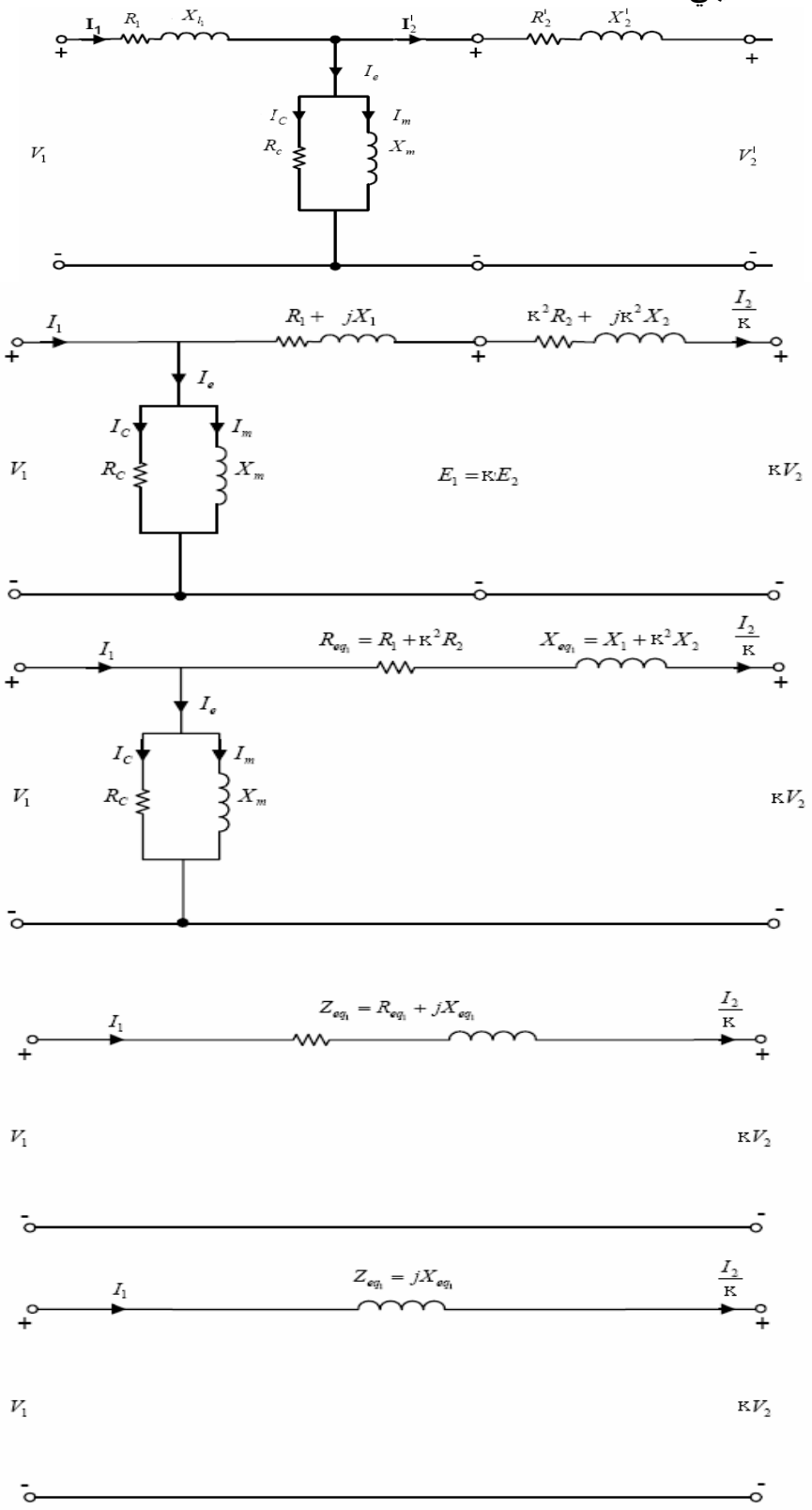
$\cos\varphi_2=\cos\varphi_2'$

وبالتالي :

$$E_2' = E_2K = E_1 \text{ ---------} I_2' = {I_2}/{K} = I_1$$

$$R_2' = R_2K^2 = R_1 \text{ ---------} X_2' = X_2K^2 = X_1$$

لتصبح الدائرة المكافئة كما يلي



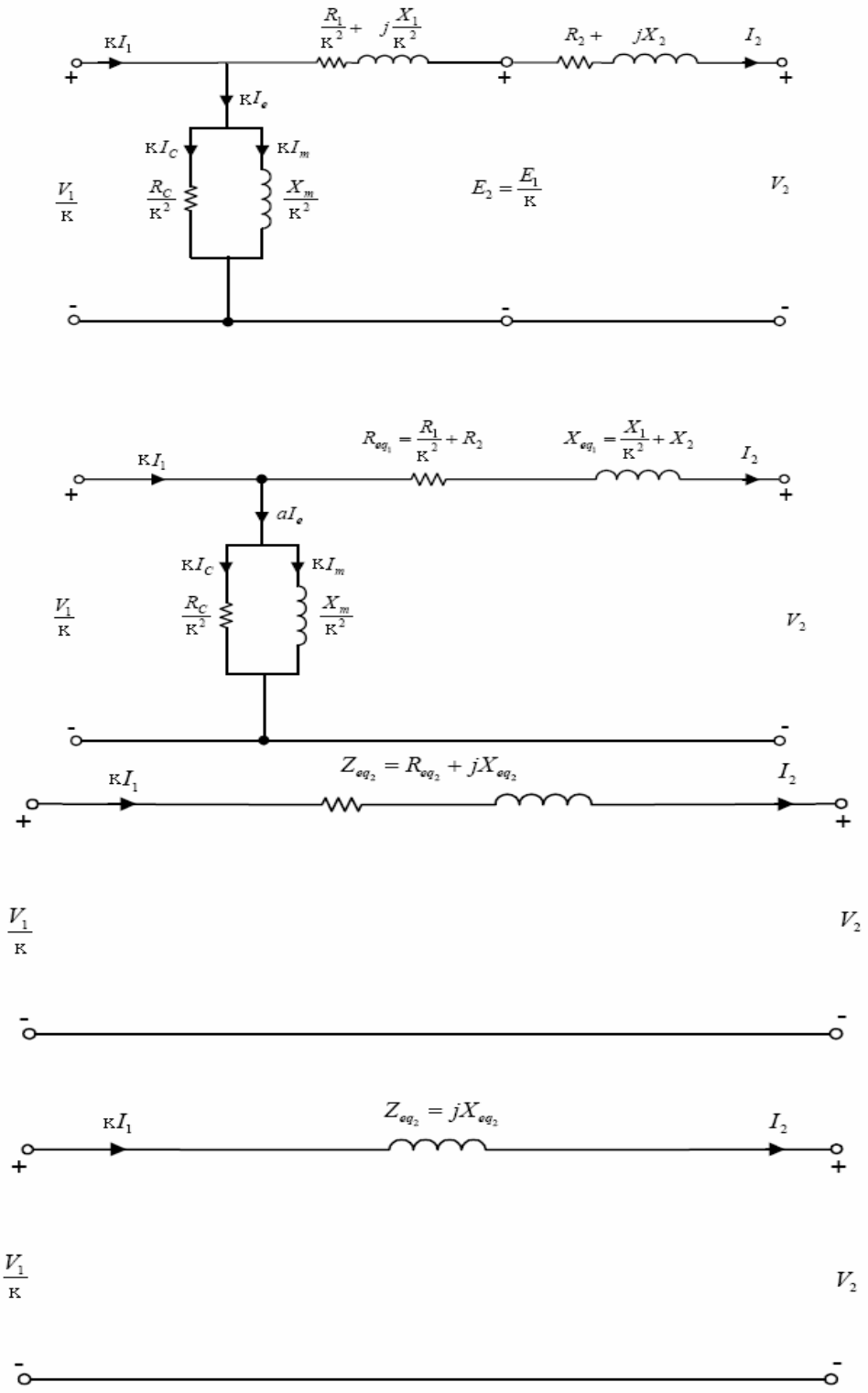
وتكون هذه الحالة أن الملف الثانوي منقول(منسوب) للابتدائي

$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2K^2$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2K^2$$

أما الحالة الأخرى فهي نقل (نسب) الملف الابتدائي إلى الثانوي كما يلي



$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq}$$

$$R_{eq} = R_2 + R_1 / K^2$$

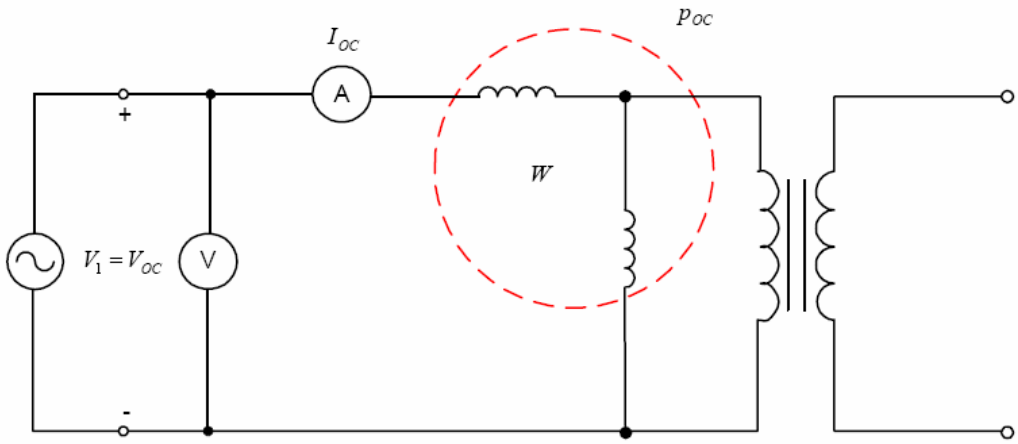
$$X_{eq} = X_2 + X_1 / K^2$$

ولإجراء الحسابات والمعادلات ولإيجاد عناصر المحول يجرى للمحول تجربتين هما
١. تجربة اللاحمل NO-loud
٢. تجربة القصر short circuit

أولا : تجربة اللاحمل :

يمكن إيجاد من هذه التجربة ما يلي
١. معامل القدرة في حالة اللاحمل cos φ
٢. معامل التحويل K
٣. الضياعات المغناطيسية

ويتم توصيل الدائرة في حالة اللاحمل كما يلي



ومن هنا يتبين لنا ما يلي
P_{oc} - قراءة جهاز قياس القدرة
V_{oc} - قراءة جهاز قياس الفولت
I_{oc} - قراءة جهاز قياس الاميتر

$$P_{oc} = V_{oc}.I_{oc}.\cos\varphi_{oc}$$

$$\cos\varphi_{oc} = \frac{p_{oc}}{V_{oc}.I_{oc}} = PF_{oc}$$

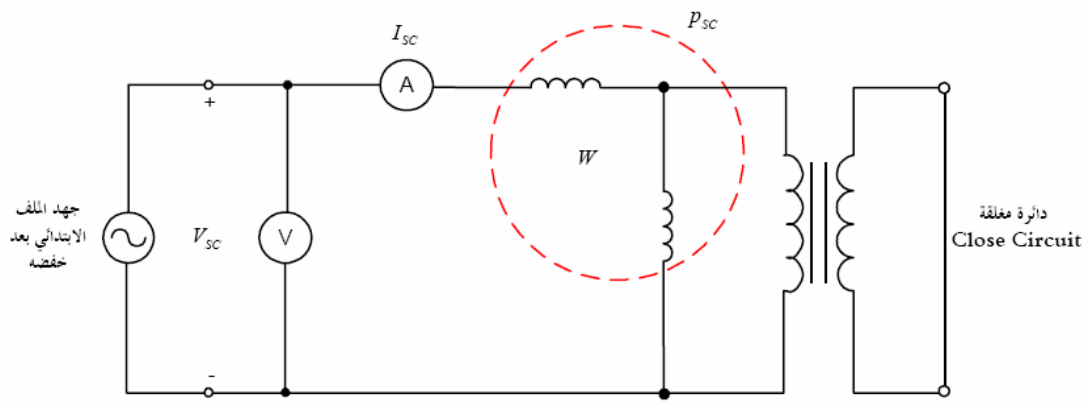
$$Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\varphi_{oc} = \frac{1}{R_c} - j\frac{1}{X_m}$$

$$R_c = \frac{1}{G_{oc}} = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}}$$

$$X_m = \frac{1}{B_{oc}} = \frac{1}{\sqrt{Y_{oc}^2 - G_{oc}^2}}$$

ثانيا : تجربة القصر :

ويجب قبل إجراء هذه التجربة معرفة التيار الاسمي للمحول (الموجود على اللوحة السمية) وبعد ذلك يتم توصيل الدارة الكهربائية التالية



ويتم رفع الجهد تدريجيا إلى أن يصل التيار المار إلى التيار الاسمي وبعد ذلك يتم قراءة أجهزة القياس حيث يستفاد من هذه التجربة ما يلي

١. معامل القدرة في حالة القصر (الحمل الكامل)
٢. الضياعات الكهربائية
٣. معرفة جهد القصر

ومن هنا يتبين لنا ما يلي

P_{sh} - قراءة جهاز قياس القدرة
V_{sh} - قراءة جهاز قياس الفولت
I_{sh} - قراءة جهاز قياس الاميتر

$$P_{sc} = V_{sc}.I_{sc}.\cos\varphi_{sc}$$

$$\cos\varphi_{sc} = \frac{p_{sc}}{V_{sc}.I_{sc}} = PF_{sc}$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}\angle\varphi_{sc} = R_{eq} - jX_{eq}$$

الحالة الأولى المنسوبة للابتدائي

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

$$R_1 = R_{eq} - R_2^{'} = \frac{R_{eq}}{2} = K^2 R_2$$

$$X_1 = X_{eq} - X_2^{'} = \frac{X_{eq}}{2} = K^2 X_2$$

الحالة الثانية المنسوبة للثانوي

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

$$R_2 = R_{eq} - R_1^{'} = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{R_1}{K^2}$$

$$X_2 = X_{eq} - X_1^{'} = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{X_1}{K^2}$$

كفاءة المحول

كفاءة أي جهاز كهربائي كنسبة القدرة الخارجة إلى القدرة الداخلة

$$\zeta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{in} + P_{loss}}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{core} + P_{cu}$$

$$P_{out} = V_2 I_2 \cos\varphi$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

P_{out} - القدرة المعطاة من المحول
P_{in} - القدرة التي يستهلكها المحول
P_{loss} - القدرة المفقودة
P_{core} – الفواقد الحديدية
P_{cu} - الفواقد النحاسية

ويمكن الحصول على أعلى كفاءة للمحول عندما $P_{core} = P_{cu}$

معامل التنظيم (voltage regulation %)

$$\text{voltage regulation \%} = \frac{V_{2nl} - V_{2\,fl}}{V_{2nl}}$$

$$V_{2nl} = V_1 / K$$

عندما تكون الملفات الثانوية منسوبة للابتدائي

$$V_1 = KV_2 + I_1 Z_{eq}$$

$$V_1 = KV_2 + I_1 R_{eq} + jI_1 X_{eq}$$

عندما تكون الملفات الابتدائي منسوبة للثانوي

$$\frac{V_1}{K} = V_2 + I_2 Z_{eq}$$

$$\frac{V_1}{K} = KV_2 + I_2 R_{eq} + jI_2 X_{eq}$$

ملاحظة : يكون معامل التنظيم يساوي صفرا عند معامل قدرة يساوي 1 وسالب عند معامل قدرة متقدم وموجب عند معامل قدرة متأخر

مثال

محول كهربائي له المعطيات التالية 100KVA , 200/240 V , 60Hz اجرية علية تجربة اللاحمل وكانت قراءات أجهزة القياس كما يلي

V_{oc}=7500v , I_{oc} =0.65A ,P_{oc} =425w

وتجربة القصر وكانت قراءات أجهزة القياس كما يلي

V_{sc} =250 v , I_{sc} = 13.889A , P_{sc} = 1420w

بافتراض أن المحول يعمل عند الحمل الكامل ومعامل قدرة متأخر ٠,٩ احسب :

١. المقاومة المكافئة ومقاومة الحمل منقولة للجزء الثانوي
٢. المفاقيد الكلية عند الحمل الكامل
٣. كفاءة المحول
٤. معامل تنظيم الجهد للمحول

١.

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{250}{13.889} = 18\Omega$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{1420}{(13.889)^2} = 7.36\Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2} = \sqrt{18^2 - 7.36^2} = 16.43\Omega$$

.٢

$$I_1 = \frac{S}{V} = \frac{100000}{7200} = 13.89A$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_{eq} = 13.89^2 \times 7.36 = 1419.98W$$

$$P_{core} = P_{oc} = 425W$$

$$P_{loss} = P_{core} + P_{cu} = 1419.98 + 425 = 1844.98W$$

.٣

$$P_{out} = S\cos\varphi = 100000 \times 0.9 = 90kW$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} = 90000 + 1844.98 = 91844.98$$

$$\zeta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{90000}{91844.98} = 0.9799$$

.٤

$$V_1 = KV_2 + I_2\left(Z_{eq}\right)$$

$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq} = 7.36 + j16.43$$

$$I_1 = I_1\angle - \cos^{-1} 0.9$$

$$V_1 = 7200\angle 0 + \left(13.89\angle - 25.84\right)\left(7.36 + j16.43\right) = 7393.19\angle 1.25^o V$$

$$V_{\mathrm{Re}\,g}\% = \frac{V_1 - KV_2}{KV_2} \times 100\% = \frac{7393.19 - 7200}{7200} \times 100\% = 2.68\%$$

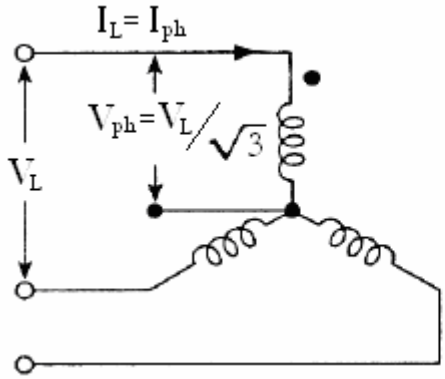
Three phase transformers محولات ثلاثية الطور

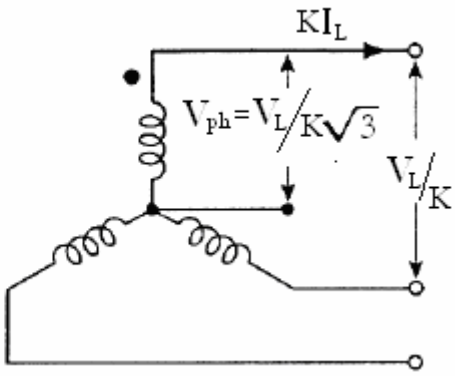
درسنا في السابق طرق تشغيل وعمل محولات ذات الطور الواحد ولكن توجد أجهزة كهربائية في الحياة العملية تعمل على ثلاثة أطوار لذلك فإنها تحتاج إلى محولات ثلاثية الطور لتعمل هذه الأجهزة على أكمل وجه دون أن تسبب أية مشاكل على محطات توليد الكهرباء وسندرس هذه المحولات وطرق توصيلها وكيفية يتم إيجاد التيارات والجهود .

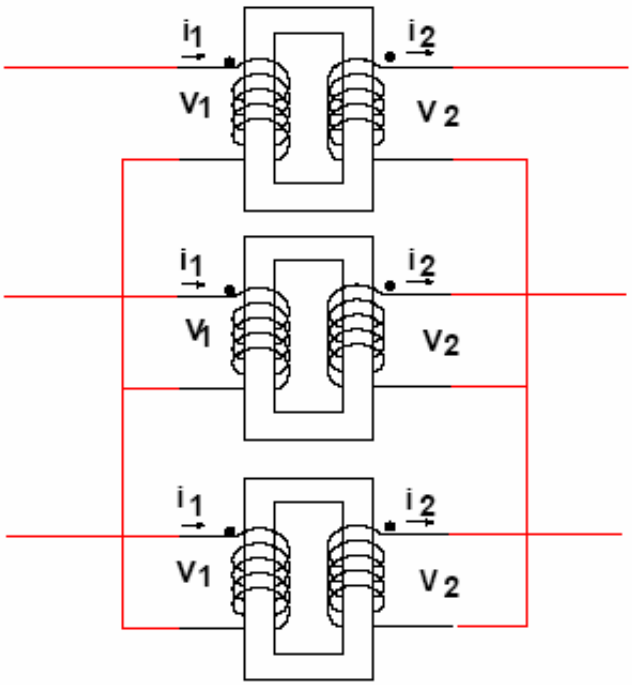
طرق توصيل محولات ثلاثية الطور

١) ستار ---- ستار
٢) دلتا ----- دلتا
٣) ستار ---- دلتا
٤) دلتا ----- ستار

١) ستار ----- ستار







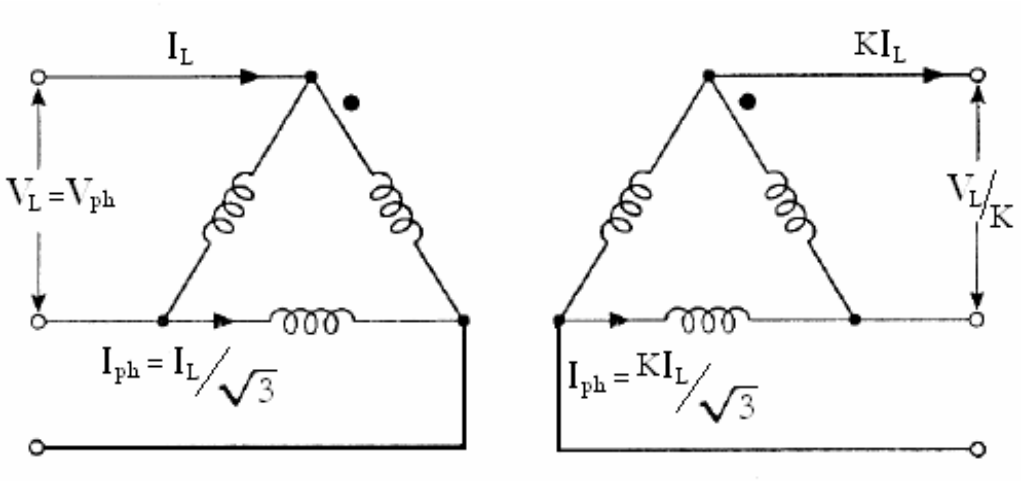
$$Y---Y$$

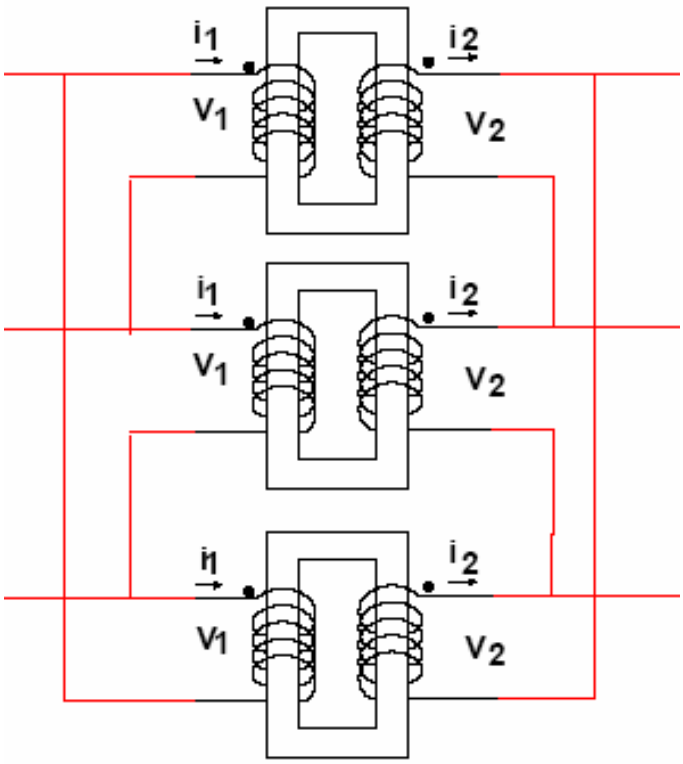
$$I_1 \rightarrow I_{ph} = I_L ----V_1 \rightarrow V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_2 = I_1 K \;\;\;\; I_2 \rightarrow I_{ph} = I_L$$

$$V_2 = V_1 / K \;\;\;\; V_2 \rightarrow V_{ph} = V_L / \sqrt{3}$$

٢) دلتا ----- دلتا





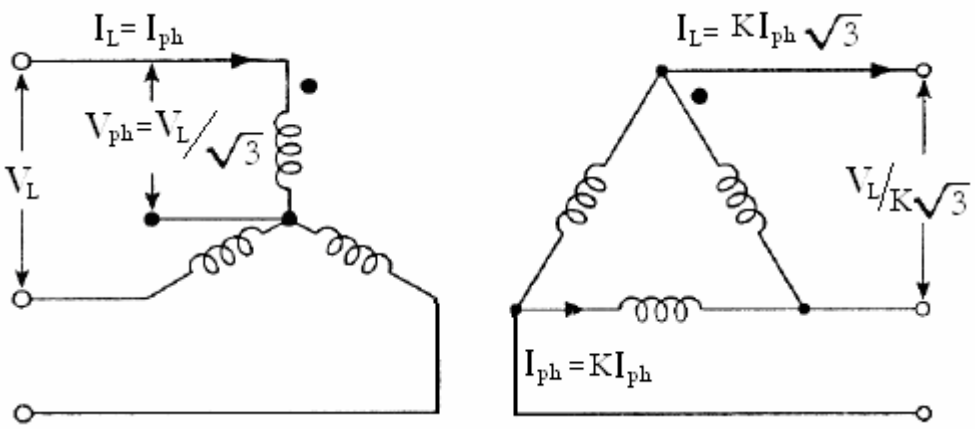
$$\Delta - - - \Delta$$

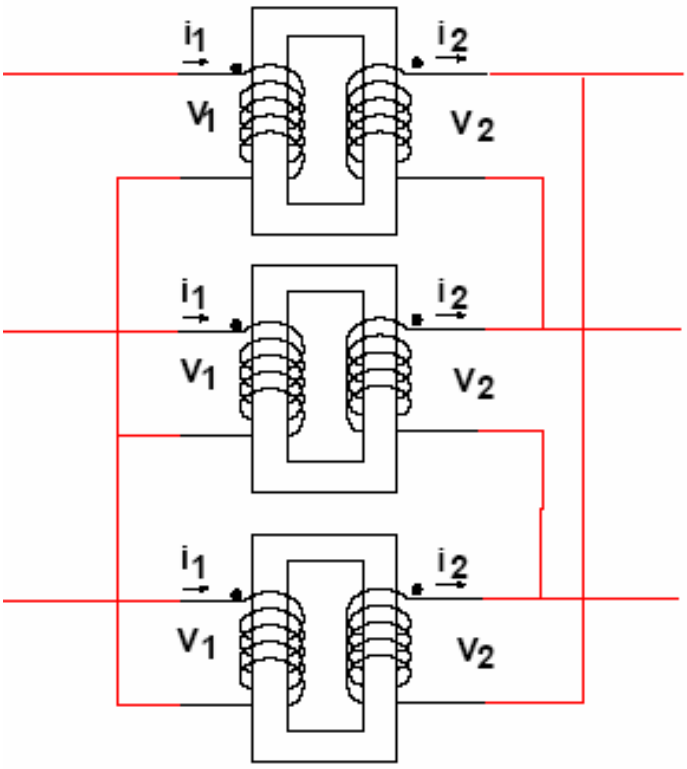
$$V_1 \to V_{ph} = V_L - - - - I_1 \to I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$V_2 = V_1 K \text{ ==== } V_2 \to V_{ph} = V_L$$

$$I_2 = I_1 / K \text{ ==== } I_2 \to I_{ph} = I_L / \sqrt{3}$$

٣) ستار ----- دلتا





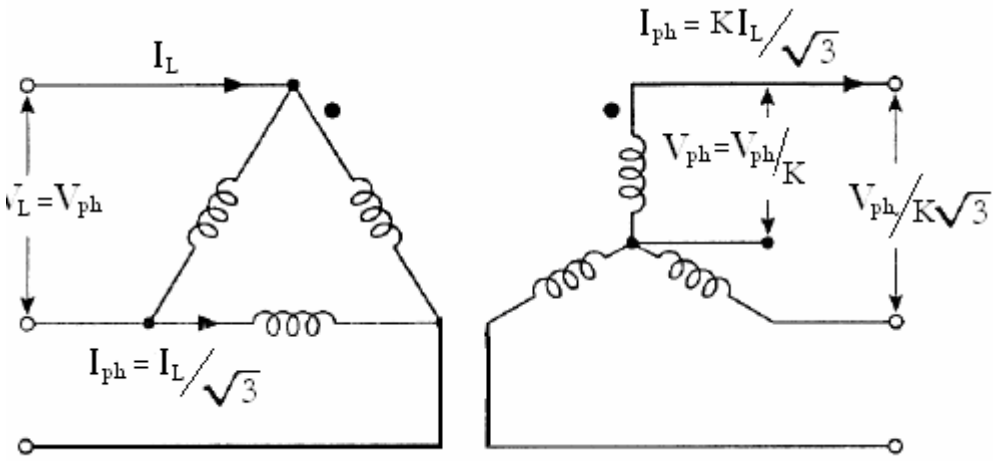
$$Y---\Delta$$

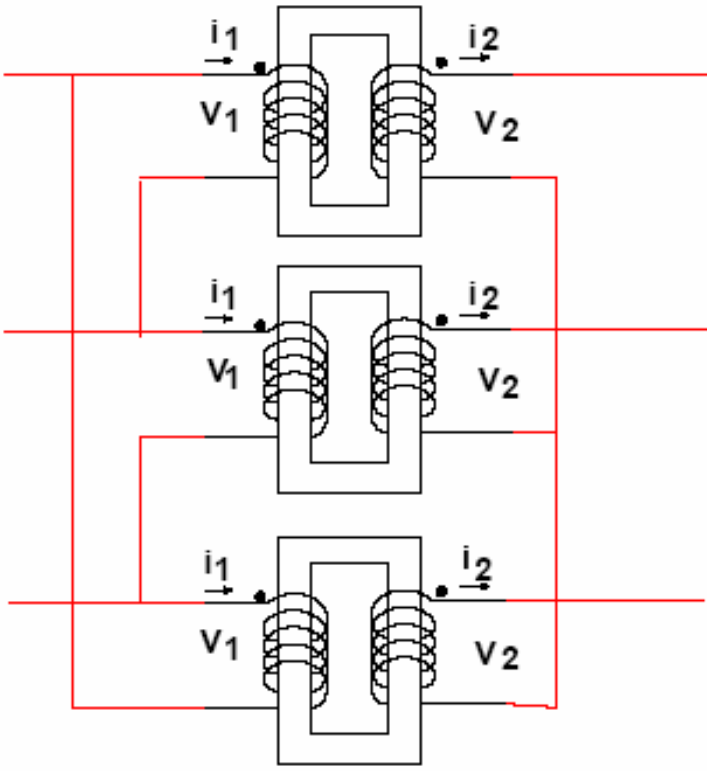
$$I_1 \to I_{ph} = I_L ----V_1 \to V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_2 = I_1 K ==== I_2 \to I_{ph} = I_L / \sqrt{3}$$

$$V_2 = V_1 / K ==== V_2 \to V_{ph} = V_L$$

٤) دلتا ---- ستار





$$\Delta - - - \mathrm{Y}$$

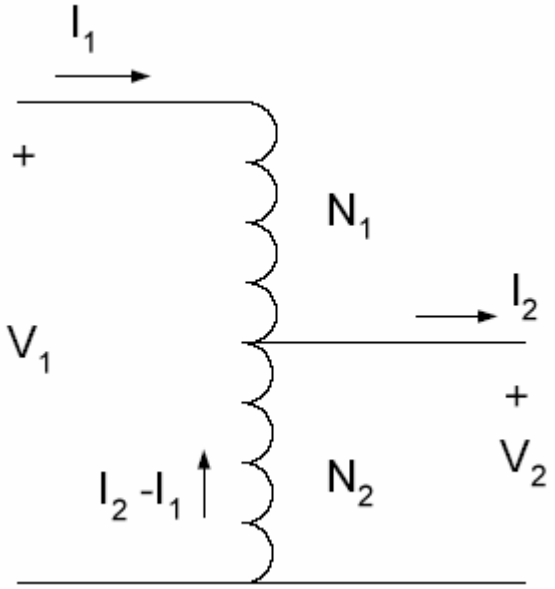
$$V_1 \rightarrow V_{ph} = V_L - - - - I_1 \rightarrow I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$V_2 = V_1 K \text{ ==== } V_2 \rightarrow V_{ph} = V_L / \sqrt{3}$$

$$I_2 = I_1 / K \text{ ==== } I_2 \rightarrow I_{ph} = I_L$$

المحول الذاتي Auto Transformer

علمنا سابقا أن المحول الكهربائي لا يوجد فيه أي اتصال كهربائي وإنما اتصال كهرومغناطيسي ولكن يوجد محولات كهربائية تعتمد على الاتصال الكهرومغناطيسي واتصال كهربائي أيضا وتسمى المحولات الذاتية حيث يكون الملف الابتدائي والثانوي على نفس الملف ولكن بتوصيلة معينة كما يلي :



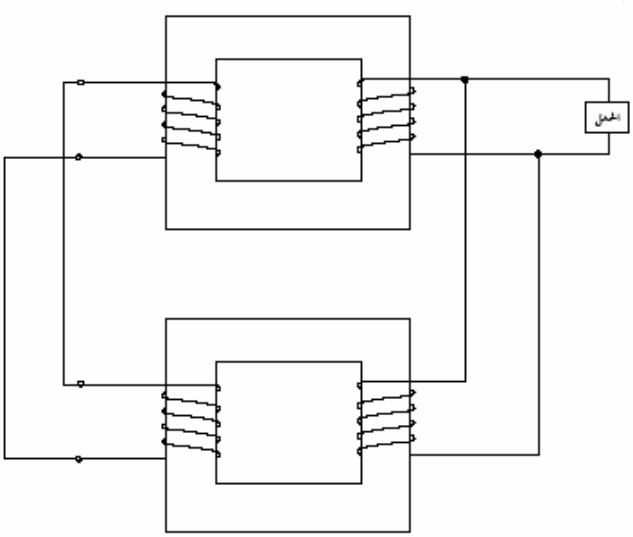
$$K = \frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

مقارنة بين المحول الذاتي والمحول العادي

من حيث	المحول الذاتي	المحول العادي
الحجم	اصغر	اكبر
الكفاءة	أعلى (لان الضياعات الكهربائية اقل)	اقل
الخطورة في التعامل	اشد (لوجود اتصال كهربائي)	اقل
الحساسية	أكثر	اقل
الثمن	ارخص	أغلى
ملاحظة : قد تصل كفاءة المحول الذاتي إلى % 97.7 بينما المحول العادي تصل إلى % 97		

توصيل المحولات على التوازي

لكي يتم ربط المحولات على التوازي يجب أن تتحقق بعض الشروط وهي :
١) يجب أن تكون معاملات التحويل متساوية $K_{T1}=K_{T2}$
٢) مجموعة الربط متشابهة
٣) يجب أن يكون جهد القصر متساوي
٤) تطابق القطبية للمحولات



أسباب ربط المحولات على التوازي:
١) عند خروج أي محول عن العمل بسبب تعطله أو لصيانته تقوم باقي المحولات بتغذية الحمل دون انقطاع
٢) في أوقات الحمولات البسيطة يمكن فصل محول أو أكثر

ولحساب قدرة أي محول موصول في شبكة مع محولات اخرى على التوازي حسب القانون التالي :

$$S_x = \frac{S_T * S_{n(x)}}{V_{shn(x)} * \sum \frac{S_{n(x)}}{V_{shn(x)}}}$$

حيث
X : رقم المحول
S : القدرة الظاهرة
S_T : قدرة الحمل

المردود اليومي للمحول (كفاءة المحول ليوم كامل)

$$\xi\Big|_{day} = \frac{P_{out}\Big|_{day}}{P_{out}\Big|_{day} + P_{loss}\Big|_{day}} \times 100\%$$

القدرة الخارجة ليوم كامل = القدرة الخارجة * عدد ساعات العمل
القدرة المفقود ليوم كامل = (الضياعات النحاسية * ساعات العمل) +(الضياعات الحديدي*ساعات التوصيل بالمصدر)

أمثلة محلولة

مثال (١) : محول كهربائي أحادي الطور له المعطيات التالية

2200/220 V , 10 KVA , 60 Hz		
S.C	O.C	
150 V	220 V	V
4.55 A	2.5 A	I
215 w	100 w	P

اوجد :

١) بارامترات الدائرة التقريبية المنسوبة للابتدائي

٢) كفائه المحول عند 0.75 % من الناتج (المخرج) المقرر و 0.6 PF (ζ)

٣) القدرة الناتجة عند أعلى كفائه ($P_{out}!\zeta_{max}$)

٤) أعلى كفائه للمحول (ζ_{max})

٥) عند أي مقدار من الحمل الكامل تكون أعلى كفائه

الحل :

$$P_{OC} = V_{OC}.I_{OC}.COS\phi_{OC}$$

$$COS\phi_{OC} = \frac{P_{OC}}{V_{OC}.I_{OC}} = \frac{100}{220*205} = 0.182 - - - - - > \phi = COS^{-1}0.182 = 79.51$$

$$Y_{OC} = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} = \frac{2.5}{220} = 0.011$$

$$Y\angle -\phi = YCOS\phi + JYSIN\phi = (0.011*0.182) + J(0.011*0.983) = 0.002 - J0.0108$$

$$R_C = \frac{1}{G_C} = \frac{1}{0.002} = 500\Omega - - - - - - - X_m = \frac{1}{B_m} = \frac{1}{0.0108} = 93\Omega$$

$$P_{SC} = V_{SC}.I_{SC}.COS\phi_{SC}$$

$$COS\phi_{SC} = \frac{P_{SC}}{V_{SC}.I_{SC}} = \frac{215}{150*4.55} = 0.315 - - - - - > \phi = COS^{-1}0.315 = 71.64^{O}$$

$$Z_{SC} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} = \frac{150}{4.55} = 32.96$$

$$Z\angle\phi = ZCOS\phi + JSIN\phi = (32.96*0.315) + J(32.96*0.949) = 10.389 + J31.28$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2K^2 = 10.389 - - - - - - R_1 = \frac{R_{eq}}{2} = 5.19 - - - - R_2 = \frac{R_{eq}/2}{K^2} = \frac{5.19}{100} = 0.0519$$

(١

$$X_{eq} = X_1 + X_2K^2 = 31.28 - - - - - - X_1 = \frac{X_{eq}}{2} = 15.64 - - - - X_2 = \frac{X_{eq}/2}{K^2} = \frac{15.64}{100} = 0.1564$$

(٢

$$P_{OUT} = V_2 I_2 COS\phi_2 = S.COS\phi_2 * 0.75 = 10000 * 0.6 * 0.75 = 4500w$$
$$P_{core} = P_{oc} = 100w$$
$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_{eq} - OR - I_2^2 R_{eq} = (0.75 * 4.55)^2 * 10.389 = 120.98w$$
$$\xi = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_{cu}} \times 100\% = \frac{4500}{4500 + 100 + 120.89} \times 100\% = 95.32\%$$

(٣

$$(P_{core} = P_{cu} --- PF = 1) ====> \quad \xi_{\max}$$
$$P_{core} = P_{cu} = I_2^2 R_{eq} = 100\ w$$
$$I_2 = \sqrt{\frac{100}{0.113}} = 29.75 ----- R_{eq} = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$
$$P_{out}\left|\xi_{\max}\right. = V_2 I_2 \cos\phi_2 = 220 \times 29.75 \times 1 = 6545\ w$$

(٤

$$\xi_{\max} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_{cu}} = \frac{6545}{6545 + 100 + 100} = 97\%$$

(٥

$$P_{out}\left|\xi_{\max}\right. = S.COS\phi.(\%\ full - load)$$
$$\%\ full - load = \frac{P_{out}\left|\xi_{\max}\right.}{S.COS\phi} \times 100\% = \frac{6545}{10000 \times 1} \times 100\% = 65.45\%\ full - load$$

مثال (٢) : محول أحادي الطور قدرته الاسمية $S_n=50KVA$ وكفائتة $\xi=96\%$ يعمل بحملة الكامل مدة 8 ساعات في اليوم وذلك لتغذية خطوط إنارة
اوجد المردود اليومي ξ_{day} إذا كان $P_{cu}=60\%P_{loss}$ عند الحمل الكامل
الحل :
بما أن المحول يستخدم لأغراض إنارة فان $\cos\Phi=1$

$$P_{out} = S * \cos\phi = 50*1 = 50Kw$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\xi} = \frac{50}{0.96} = 52.08Kw$$

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = 52.08 - 50 = 2.08Kw$$

$$P_{cu} = 0.6 * P_{loss} = 0.6 * 2.08 = 1.248Kw$$

$$P_{core} = P_{loss} - P_{cu} = 2.08 - 1.248 = 0.832Kw$$

$$P_{out}\Big|_{day} = P_{out} * 8 = 50*8 = 400Kw$$

$$P_{cu}\Big|_{day} = P_{cu} * 8 = 1.248*8 = 9.98Kw$$

$$P_{core}\Big|_{day} = P_{core} * 24 = 0.832*24 = 19.97Kw$$

$$\xi\Big|_{day} = \frac{P_{out}\Big|_{day}}{P_{out}\Big|_{day} + P_{cu}\Big|_{day} + P_{core}\Big|_{day}} \times 100\% = \frac{400}{400+9.98+19.97} \times 100\% = 93\%$$

مثال (٣) : مقاومة الملف الابتدائي لمحول $R_1=0.1\Omega$ ومفاعلتة $X_1=0.8\Omega$ عندما يكون الجهد المطبق $V_1=1000v$ يكون تيار الابتدائي $I_1=50A$ بمعامل قدرة متأخر $\cos\Phi=0.6$
اوجد القوة الدافعة الكهربائية على الملف الابتدائي E_1
الحل:

$$Z_1 = 0.1 + j0.8 = 0.806\angle 82.8$$

$$\phi = \cos^{-1}\phi = \cos^{-1} 0.6 = 53.1^o$$

$$I_1 = 50\angle -53.1A = 30 - j40A$$

$$E_1 = V_1 - I_1 Z_1 = 1000 - (50\angle -53.1) * (0.806\angle 82.8)$$

$$E_1 = 965\angle -1.2$$

مثال (٤) :
وصلت ثلاث محولات على التوازي لتغذية حمل مقداره 9000 KVA ولهذه المحولات المواصفات التالية

T3	T2	T1	
2000 KVA	3000 KVA	4000 KVA	القدرة الاسمية S_n
6.7 KV	6.3 KV	6.5 KV	جهد القصر V_{shn}
الحمل 9000 KVA			

الحل:

$$S_x = \frac{S_T * S_{n(x)}}{V_{shn\ (x)} * \sum \frac{S_{n(x)}}{V_{shn\ (x)}}}$$

$$\sum \frac{S_{n(x)}}{V_{shn(x)}} = \frac{4000}{6.5} + \frac{3000}{6.3} + \frac{2000}{6.7} = 1390$$

$$S_1 = \frac{9000 * 4000}{6.5 * 1390} = 3984.5KVA - - - (3984.5 < 4000) under - load$$

$$S_1 = \frac{9000 * 3000}{6.3 * 1390} = 3083.2KVA - - - (3083.2 > 3000) over - load$$

$$S_1 = \frac{9000 * 2000}{6.7 * 1390} = 1932.7KVA - - - (1932.7 < 2000) under - load$$

مثال (٥) :
محول كهربائي تيار اللاحمل I_{oc}=4A و $\cos\Phi$=0.25 و N_1=200 turn و V_1=250v و f=50Hz
اوجد ١) القيمة الفعالة للفيض في القلب ٢) الضياعات الحديدية

$$E_1 = 4.44 N_1 \phi_1 f_1$$

$$\phi_m = \phi_1 = \frac{250}{4.44 * 200 * 50} = 5.63mwb$$

$$\phi_{rms} = \frac{\phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{5.63}{\sqrt{2}} = 3.98mwb$$

$$P_{core} = P_{oc} = V_{oc} . I_{oc} . \cos\phi = 250 * 4 * 0.25 = 250w$$

مثال (٦): محول أحادي الطور له المعطيات التالية :

V_1	5000v
V_2	500v
S_n	50KVA
f	50Hz
R_1	8Ω
R_2	0.06Ω
COSΦ	0.8
P_{oc}	1000w
المطلوب	١) ζ عند الحمل الكامل ٢) ζ عند 80% من الحمل الكامل مع ثبات COSΦ

$$P_{core} = P_{oc} = 1000w$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{50000}{500} = 100A$$

$$K = \frac{V_1}{V_2} = \frac{5000}{500} = 10$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{100}{10} = 10A$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = \left(10^2 * 8\right) + \left(100^2 * 0.06\right) = 1400w$$

$$P_{loss} = P_{core} + P_{cu} = 1000 + 1400 = 2400w$$

$$P_{out} = S * COS\phi = 50000 * 0.8 = 40000w$$

$$\xi = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} = \frac{40000}{40000 + 2400} = 96.1\%$$

– –

$$80\%\ full - load$$

$$P_{cu}\Big|_{80\%\ full-load} = \beta^2 * P_{cu}\Big|_{full-load} = (0.8)^2 * 1400 = 896w$$

$$P_{losas}\Big|_{80\%\ full-load} = P_{core} + P_{cu}\Big|_{80\%\ full-load} = 1000 + 896 = 1896w$$

$$P_{out}\Big|_{80\%\ full-load} = \beta * S\Big|_{full-load} * COS\phi = 0.8 * 50000 * 0.8 = 32000w$$

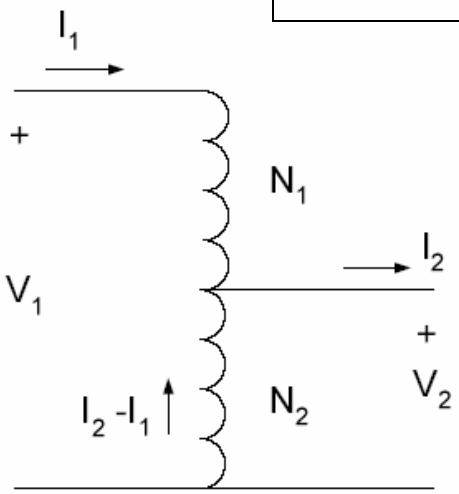
$$\xi\Big|_{80\%\ full-load} = \frac{P_{out}\Big|_{80\%\ full-load}}{P_{out}\Big|_{80\%\ full-load} + P_{loss}\Big|_{80\%\ full-load}} = \frac{32000}{32000 + 1896} = 94.39\%$$

حيث β مقدار نسبة التحميل من الحمل الكامل

مثال(٧) :

محول ذاتي يستخدم لخفض الجهد له المعطيات التالية

V_1	420v
V_2	140v
S_n	20KVA
N_1+N_2	160 turn
COSΦ	0.8
P_{loss}	مهمله
المطلوب	١) N_2 ٢) I_1, I_2



$$K = \frac{V_1}{V_2} = \frac{420}{140} = 3$$

$$I_2 = \frac{P_2}{V_2 * COS\phi} = \frac{20000}{140 * 0.8} = 178.5$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{178.5}{3} = 59.5A$$

$$N_2 = \frac{N_1 + N_2}{K} = \frac{160}{3} = 53.33turn$$

مثال (٨):

محول ثلاثي الطور له المعطيات التالية

V_1	6600v Δ
V_2	440v Y
S_n	750KVA
COSΦ	0.85 متأخر
المطلوب	١) I_{1ph} ٢) I_{2ph}

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

$$I_{2L} = \frac{S}{V_{2L} * \sqrt{3}} = \frac{750000}{440 * \sqrt{3}} = 984.2A$$

$$Y \dashrightarrow I_{ph} = I_L \rightarrow I_{2ph} = 984.2A$$

$$I_{1L} = \frac{S}{V_{1L} * \sqrt{3}} = \frac{750000}{6600 * \sqrt{3}} = 65.7A$$

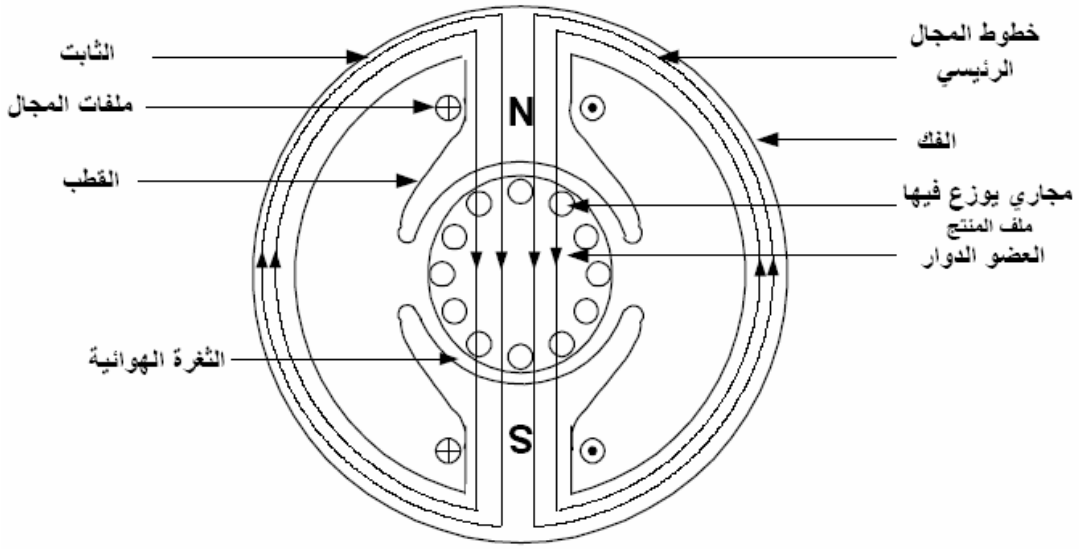
$$\Delta \dashrightarrow I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \rightarrow I_{1ph} = \frac{65.7}{\sqrt{3}} = 37.96A$$

الوحدة الثالثة

آلات التيار المستمر DC Machine

التركيب العام لآلات التيار المستمر

تحتوي آلات التيار المستمر بشكل عام على عنصرين أساسيين هما العضو الثابت والعضو الدوار مفصولين بثغرة هوائية كما في الشكل التالي :



وتاليا سوف نستعرض العناصر الأساسية لآلات التيار المستمر :

١) العضو الثابت stator

وهو الجزء الثابت في آلات التيار المستمر ويكون عادة الهيكل الخارجي للآلة . تركب علية من الداخل أقطاب المجال بعدد زوجي وتوجد عليها ملفات تسمى ملفات الاستثارة أو ملفات المجال وليس من الضروري أن تصنع هذه الأقطاب من صفائح الصلب ولكن تصنع عادة من تصنع من هذه الصفائح ليسهل تجميعها وتركيبها

٢) العضو الدوار Rotor OR armature

وهو الجزء الذي يدور في آلات التيار المستمر ويتكون من عمود إدارة تركب علية قلب اسطواني بها مجاري تكون داخل هذه المجاري ملفات تسمى ملفات المنتج .

٣) عضو التوحيد commutator

يركب على نفس عمود الإدارة للعضو الدوار ويكون أمام المنتج ويكون على شكل اسطواني يتكون من قطع متشابهة من النحاس الأحمر معزولة عن بعضها وعن عمود الإدارة وتكون متصلة كل قطعة مع ملفات العضو

الدوار (المنتج) ويقوم بدورة على تقطيع التيار المستمر القادم من الفرش الكربونية ليصبح تيار متردد داخل الآلة (إذا كان محرك) ويقوم بتجميع التيار المتردد الناتج من الآلة لتحويله إلى تيار ثابت (إذا كان مولد)

٤) الفرش الكربونية Brushes

وهي قطع من الكربون مع النحاس وتقوم بملامسة القطع النحاسية على الموحد لنقل التيار الكهربائي من والى ملفات عضو الإنتاج وهي تكون ثابتة غير متحركة مع العضو الدوار (الإنتاج)

بعد التعرف على الأجزاء الرئيسية لآلة التيار المستمر سوف نتعرف على أنواع آلات التيار المستمر وهي نوعين

١) محركات التيار المستمر dc motor

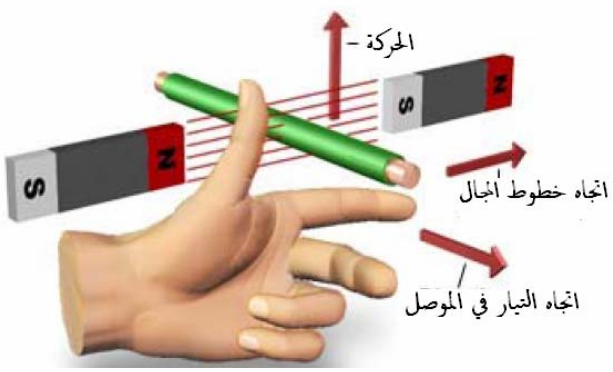
٢) مولدات التيار المستمر dc generator

١) محركات التيار المستمر

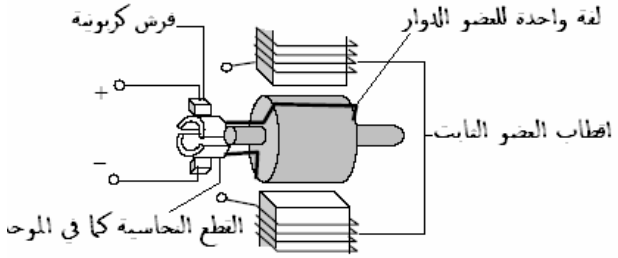
نظرية الحركة في المحرك

بنيت على قانون فاراداي والذي ينص على أنة (إذا مر تيار كهربائي في موصل موضوع في ساحة مغناطيسية فأنة ينشا على هذا الموصل قوة تعمل على تحريكه)

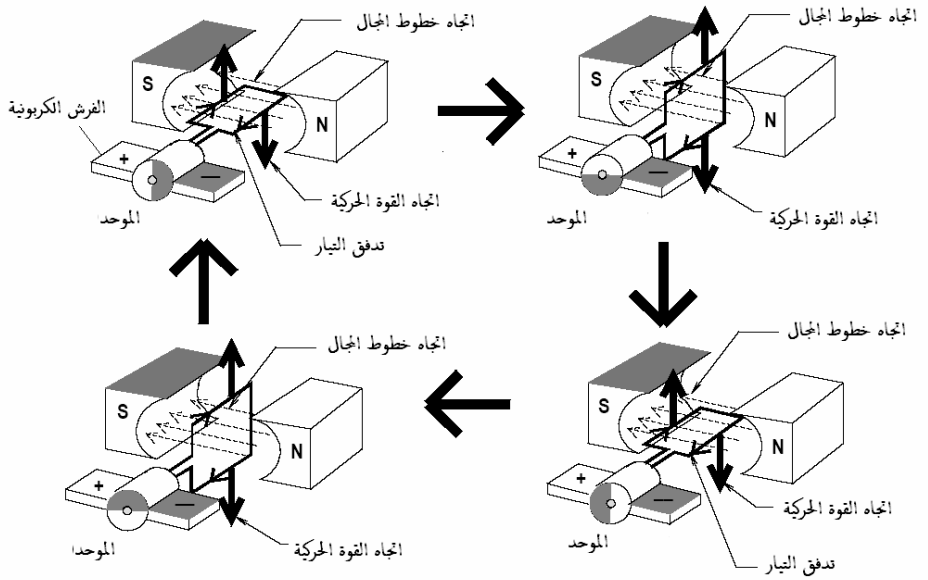
ولتحديد اتجاه حركة الموصل نتبع قاعدة فلمنج لليد اليسرى كما هو موضح في الشكل التالي :



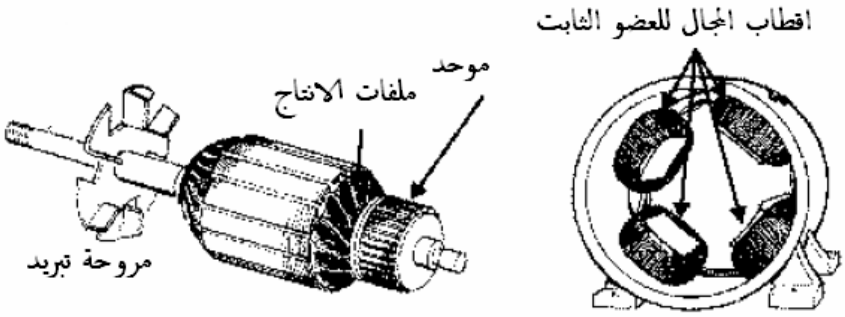
ولتوضيح دوران المحرك نأخذ قطبين مغناطيسيين ولفة واحدة لعضو الإنتاج كما في الشكل التالي

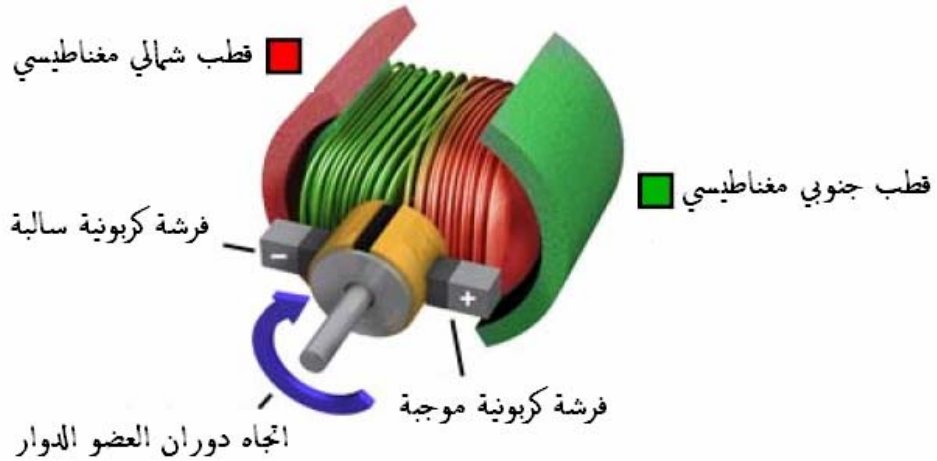


وتوجد حالات متعددة لدوران ألفة الواحدة في هذا الشكل وهي كما يلي



ويكون شكل أجزاء المحرك كما يلي





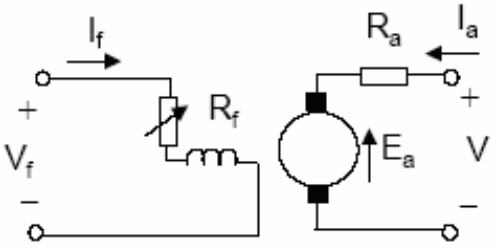
وبعد أن تعرفنا على شكل وأجزاء ونظرية العمل للمحرك لآلات التيار الثابت سوف ندرس أنواع محركات التيار المستمر والحسابات لهذه الأنواع ومنحنيات العمل لها

أنواع محركات التيار المستمر

١) محركات ذات تهيج مستقل Separately Excited
٢) محركات ذات تهييج توازي
٣) محركات ذات تهييج توالي Series Field
٤) محركات ذات تهييج مركب

١) محركات ذات تهيج مستقل Separately Excited

ويكون في هذا المحرك ملفات العضو الثابت (المجال) متصلة بتغذية من مصدر خارجي ومفصول عن مصدر تغذية العضو الدوار (الإنتاج) كما في الشكل التالي :



حيث
V_f جهد ملفات المجال
I_f تيار ملفات المجال
R_f مقاومة ملفات المجال
V جهد المصدر (جهد ملفات الإنتاج)
E_a القوة الدافعة الكهربائية على ملفات الإنتاج
I_a تيار ملفات الإنتاج
R_a مقاومة ملفات الإنتاج

ولاشتقاق العلاقات الرياضية للخواص الميكانيكية والكهروميكانيكية نكتب العلاقات التالية

* حسب قانون كيرشوف الثاني لدارة العضو المنتج

$V=E_a+I_aR_a$

*حسب قانون الحث الكهرومغناطيسي بين ملفات المنتج التي تدور بسرعة ω والمجال المغناطيسي Φ

$Ea=K\Phi\omega$

حيث
Φ : الفيض المغناطيسي الناتج في ملفات التهييج
ω : السرعة الزاوية لملفات المنتج
K : ثابت تصميم المحرك

$$K=\frac{PN}{2\pi a}$$

حيث
P : عدد أزواج الأقطاب
N : عدد الموصلات الفعالة في المنتج
a : عدد الأفرع المتوازية في ملفات المنتج

* أما السرعة الزاوية ω

$$\omega=\frac{2\pi n}{60}[rad/s]$$

حيث
n : سرعة المحرك الدورانية وتقاس دورة لكل دقيقة (r.p.m)

* أما العزم الكهرومغناطيسي يساوي:

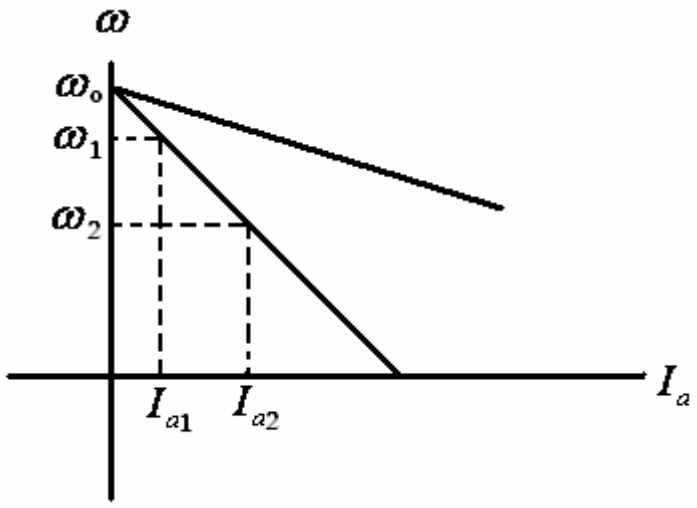
$T=K\Phi I_a[N.m]$

وبالتالي من المعادلات السابقة

$V=K\Phi\omega+I_aR_a$

$$\omega = \frac{V}{K\phi} - \frac{I_a R_a}{K\phi}$$

وهذه هي الخاصية الكهروميكانيكيه لمحركات التيار المستمر ذات التهيج المستقل $\omega=f(I_a)$ وتكون هذه العلاقة خطية لان $K\Phi=const$ وتكون الخاصية الطبيعية عندما $V=V_n$ و $\Phi=\Phi_n$ وتكون رسم الخاصية الميكانيكية



وعندما يكون $I_a=0$ نحصل على سرعة اللاحمل $\omega = \frac{V}{K\phi} = \omega_o$

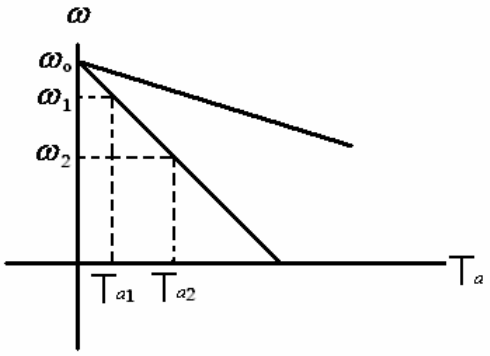
وعند إقلاع المحرك تكون $\omega=0$ و $Ea=0$ وبالتالي نحصل على تيار القصر (الابتدائي) $I_a=I_{sh}=V/R_a$

لنحصل على قيمة هبوط السرعة $\Delta\omega = \frac{I_a R_a}{K\phi}$

أما الخاصية الميكانيكية من القوانين السابقة نستنتج أن

$$\omega = \frac{V}{K\phi} - \frac{T_a R_a}{(K\phi)^2}$$

وبالتالي نستنتج أن الخاصية الميكانيكية تشبه الخاصية الكهروميكانيكية



$$\omega = \omega_o - \Delta\omega$$

أما بالنسبة للقدرة الداخلة للمحرك فهي قدرة كهربائية

$$P_{in} = P_1 = V * I_a$$

والقدرة الخارجة من المحرك فهي قدرة ميكانيكية

$$P_{out} = P_2 = T_L \omega_L$$

وبالتالي بما أنة يوجد ملفات كهربائية في المحرك وثغرة هوائية إذن يوجد ضياعات في المحرك وهي

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

وباعتبار أن نصف الضياعات الكلية في المحرك عند الحمولة الاسمية تساوي الضياعات النحاسية (الحرارية)

$$\frac{\Delta P}{2} = 0.5(P_1 - P_2) = 0.5\left(\frac{P_1}{P_1} - \frac{P_2}{P_1}\right)P_1 = 0.5(1-\xi)I_{an}V_n$$

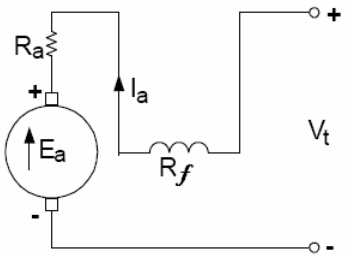
$$= I_{an}^2 R_a = 0.5(1-\xi)I_{an}V_n$$

$$R_a = \frac{0.5(1-\xi)V_n}{I_{an}} = 0.5(1-\xi)R_n$$

٢) محرك تيار مستمر ذو تهييج توالي

تعتبر محركات ذات التهييج التوالي التي تعمل على التيار المستمر من أهم المحركات الكهربائية التي تستخدم في عمليات الجر الكهربائي (مثل القطارات والناصات الكهربائية) حيث تتميز بعزم إقلاع (بدء) عالي وبسرعة عالية عند الحمولة الصغيرة

وفي هذا المحرك تكون ملفات المجال متصلة على التوالي مع ملفات المنتج أي أنها تتغذى من نفس المصدر كما في الشكل التالي



وبالتالي فان $R_\Sigma = R_a + R_f$ و $I_a = I_f$ وبالتالي تكون علاقة If مع Φ علاقة غير خطية

أي أن $V = E_a + I_a R_\Sigma$

$$\omega = \frac{V}{K\phi} - \frac{I_a R_\Sigma}{K\phi}$$

ولتبسيط العلاقات السابقة بالنسبة للعلاقة الغير الخطية التي ظهرت في محركات التهييج التوالي نعتبر أن علاقة Φ مع I_a علاقة خطية

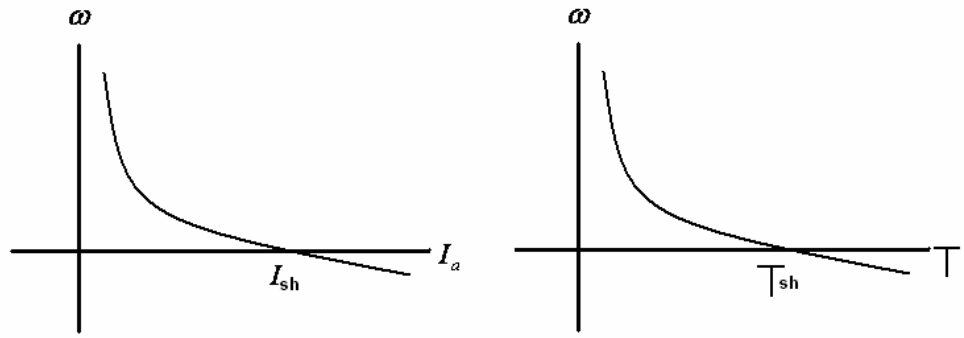
$$\Phi = K_1 I_a$$

حيث K_1 ثابت العلاقة الخطية لتصبح العلاقات السابقة كما يلي

$$\omega = \frac{V}{KK_1 I_a} - \frac{R_\Sigma}{KK_1}$$

$$\omega = \frac{V}{\sqrt{KK_1}\sqrt{T}} - \frac{R_\Sigma}{KK_1}$$

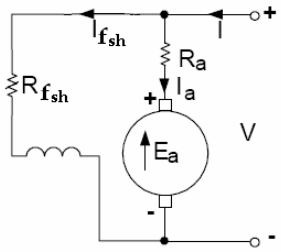
لتصبح المنحنيات كما يلي



الخاصية الكهروميكانيكية　　الخاصية الميكانيكية

٣) محرك تيار مستمر ذو تهييج توازي

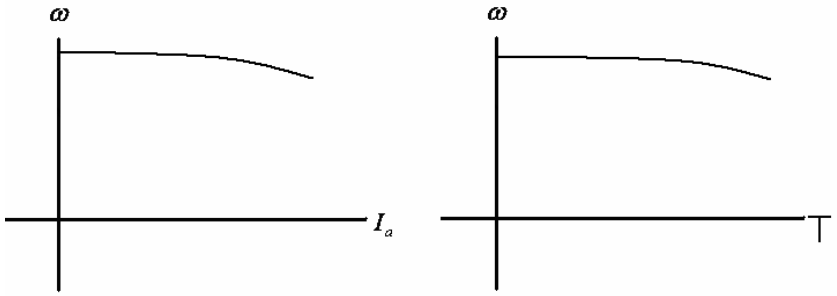
وفي هذا المحرك تكون ملفات المجال متصلة على التوازي مع ملفات المنتج أي أنها تتغذى من نفس المصدر كما في الشكل التالي



وبالتالي فان $I_a=I-I_{fsh}$ وبالتالي تكون $V=E_a+I_aR_\Sigma$ كما في محركات التهييج المنفصل

$$\omega = \frac{V}{K\phi} - \frac{I_a R_\Sigma}{K\phi}$$

ولكن الاختلاف الوحيد هو أن سرعة محرك التوازي تقريبا ثابتة (هبوط السرعة قليل) مع زيادة التحميل



الخاصية الكهروميكانيكية　　الخاصية الميكانيكية

الاستعمال

أ) يستعمل في الأحمال التي تحتاج لسرعة ثابتة (المخارط – المثاقب – المراوح)

ب) في الحمال التي تحتاج لعزم بدء كبير

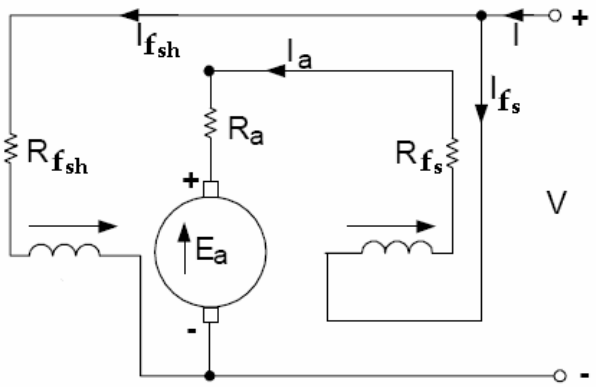
٤) محرك تيار مستمر ذو تهييج مركب

ولتحسين خواص محرك التوازي سوف نقوم بتوصيل ملف تهييج آخر توالي أي ان محركات التيار المستمر سوف تتضمن ملفين تهييج هما ملف تهييج توالي وملف تهييج توازي ولهذه ألتوصيله نوعين هما

أ) توصيلة تراكمية :

ولها نوعين من التوصيل

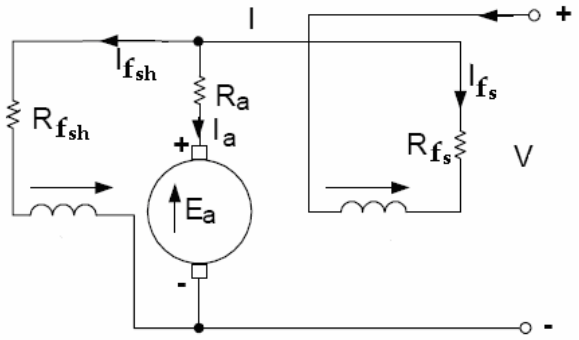
١) طويلة



$$V = E_a + I_a\left(R_a + R_{f_s}\right)$$

$$\omega = \frac{V}{K\phi_\Sigma} - \frac{I_a\left(R_a + R_{f_s}\right)}{K\phi_\Sigma} \longrightarrow \phi_\Sigma = \phi_{f_{sh}} + \phi_{f_s}$$

٢) قصيرة



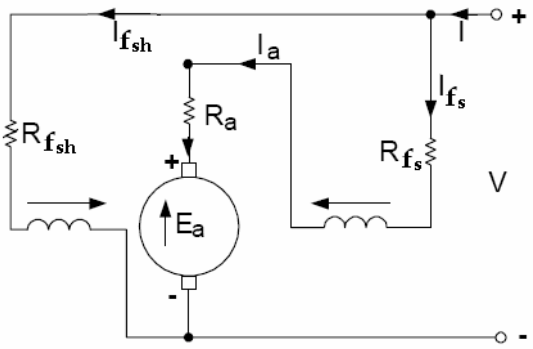
$$V = E_a + I_a R_a + IR_{f_s}$$

$$\omega = \frac{V}{K\phi_\Sigma} - \frac{I_a R_a}{K\phi_\Sigma} - \frac{IR_{f_s}}{K\phi_\Sigma} \longrightarrow \phi_\Sigma = \phi_{f_{sh}} + \phi_{f_s}$$

ب) توصيلة تفاضلية :

ولها نوعين من التوصيل

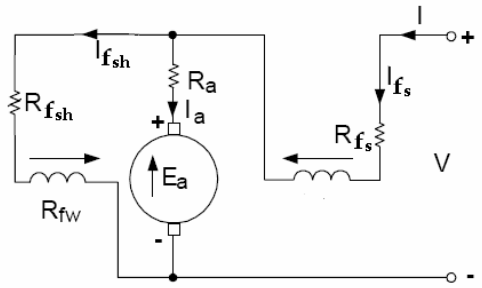
١) طويلة



$$V = E_a + I_a\left(R_a + R_{f_s}\right)$$

$$\omega = \frac{V}{K\phi_\Sigma} - \frac{I_a\left(R_a + R_{f_s}\right)}{K\phi_\Sigma} \longrightarrow \phi_\Sigma = \phi_{f_{sh}} - \phi_{f_s}$$

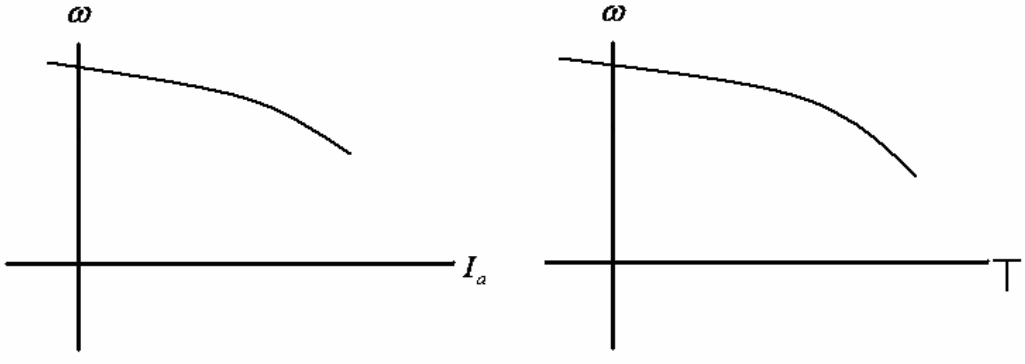
٢) قصيرة



$$V = E_a + I_a R_a + IR_{f_s}$$

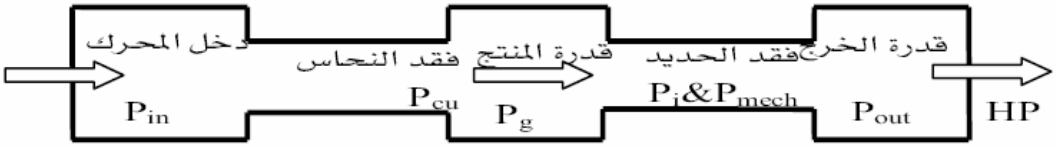
$$\omega = \frac{V}{K\phi_\Sigma} - \frac{I_a R_a}{K\phi_\Sigma} - \frac{IR_{f_s}}{K\phi_\Sigma} \longrightarrow \phi_\Sigma = \phi_{f_{sh}} - \phi_{f_s}$$

أما بالنسبة للخاصية الكهروميكانيكية والخاصية الميكانيكية

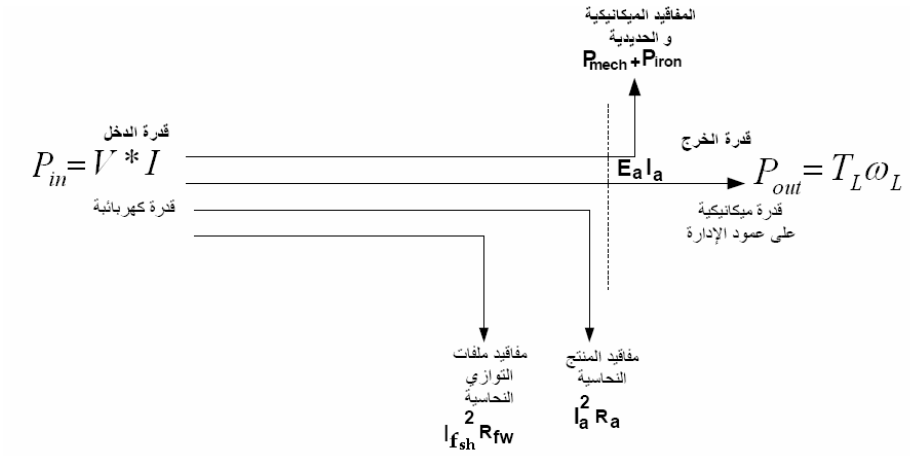


الخاصية الكهروميكانيكية الخاصية الميكانيكية

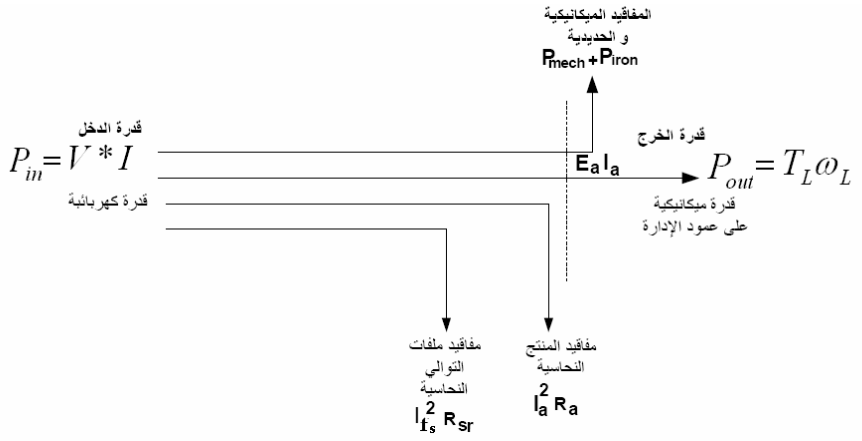
المفاقيد في محركات التيار المستمر



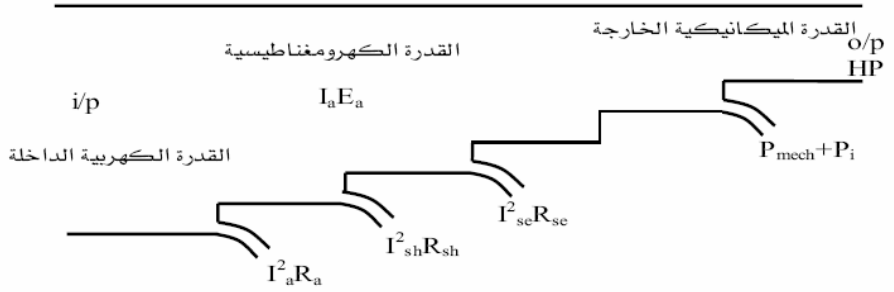
١) محرك تهييج توازي



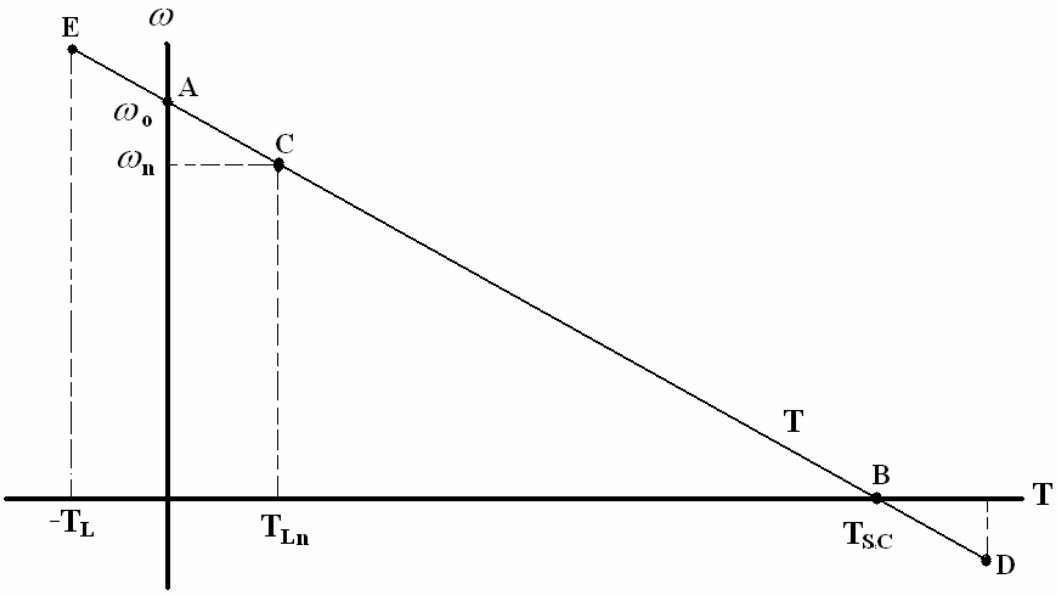
٢) محرك تهييج توالي



٣) محرك تهييج مركب



أنظمة عمل محركات التيار المستمر



١) حالة اللاحمل A No load

$\omega = \omega_o .....T_L = 0.....I_a \approx 0$

$P_{out} = T_L \omega_L = T_L \omega_o \approx 0$

عمليا تيار المنتج لا يساوي صفر لذلك توجد ضياعات قليلة تكون عبارة عن ضياعات ميكانيكية ناتجة عن الاحتكاكات بين أجزاء المحرك وبالتالي أيضا ضياعات قليلة كهربائية في المنتج

٢) نظام عمل المحرك A-B Motoring mode

$\omega_o > \omega > 0.....T_{s.c} > T > 0.....I_{s.c} > I_a > 0$

$P_{out} = T_L \omega_L \neq 0$

$P_{out} = P_{in} - \Delta P_{\Sigma}$

٣) نظام القصر B Short Circuit

$\omega = 0.....T = T_{s.c}.....I_a = I_{s.c}$

$P_{out} = T\omega = 0$

$E_a = K\phi\omega = 0$

$V = E_a + I_a R_{\Sigma} \longrightarrow I_a = \frac{V}{R_{\Sigma}}$

وهنا لا يوجد ضياعات ميكانيكية وإنما ضياعات كهربائية فقط لعدم وجود حركة

$P_{out} = P_{in} - \Delta P_{\Sigma} = 0$

$P_{in} = \Delta P_{\Sigma} = I_{s.c}^2 R_{\Sigma}$

وبالتالي لا يسمح للمحرك للعمل لفترة طويلة على هذه الحالة بسبب ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير مما يؤدي إلى تلف الملفات

٤) عمل المحرك على التوالي مع المصدر Plugging mode D

$$\omega < 0 .....T_L > T_{s.c} .....I_a > I_{s.c}$$

$$P_{out} = T\omega < 0$$

$$P_{in} = -P_{out} + \Delta P_{\Sigma}$$

ولا يسمح العمل على هذا النظام بسبب التيارات العالية ويسمح العمل عليه بحالة إضافة مقاومات مادية على التوالي مع المنتج

٥) نظام عمل مولد على التوازي مع المصدر Regenerating mode E

$$\omega > \omega_o .....T_L < 0 .....I_a < 0$$

$$P_{out} = T\omega < 0$$

$$P_{in} = -P_{out} + \Delta P_{\Sigma}$$

٢) مولدات التيار المستمر Dc Generator

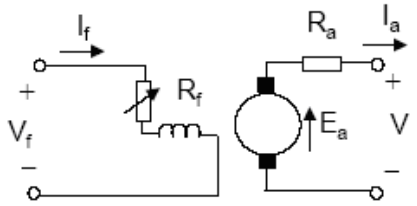
درسنا سابقا محركات التيار المستمر وسوف ندرس الآن مولدات التيار المستمر حيث تشبه المولدات التصميم نفسه للمحركات في آلات التيار المستمر من الأجزاء المكونة له وطرق توصيل ملف التهييج ولكن تختلف في شيء واحد هو أنة في المحركات كنا نغذي المحرك بقدرة كهربائية (جهد وتيار) لإنتاج قدرة ميكانيكية (عزم وسرعة) أما في المولدات فإننا نغذي المولد قدرة ميكانيكية (سرعة وعزم) لإنتاج قدرة كهربائية (جهد وتيار) أي عكس المحرك وسوف ندرس أنواع المولدات التي تشبه في تصميمها وتركيبها المحركات .

أنواع مولدات التيار المستمر :

١) مولدات ذات تهيج مستقل Separately Excited
٢) مولدات ذات تهييج توازي shunt
٣) مولدات ذات تهييج توالي Series Field
٤) مولدات ذات تهييج مركب compound

١) مولدات ذات تهيج مستقل Separately Excited

ويكون في هذا المولد ملفات العضو الثابت (المجال) متصلة بتغذية من مصدر خارجي ويتم اخذ القدرة الخارجة من المولد عن طريق العضو الدوار (الإنتاج) كما في الشكل التالي :



حيث

V_f جهد ملفات المجال
I_f تيار ملفات المجال
R_f مقاومة ملفات المجال
V الجهد الخارج من المولد (جهد ملفات الإنتاج)
E_a القوة الدافعة الكهربائية على ملفات الإنتاج
I_a تيار ملفات الإنتاج
R_a مقاومة ملفات الإنتاج

ولاشتقاق العلاقات الرياضية للخواص الداخلية (اللاحمل) والخارجية (التحميل) للمولد نكتب العلاقات التالية

* حسب قانون كيرشوف الثاني لدارة العضو المنتج

$$V=E_a-I_aR_a$$

$I_a=I_L$ حيث I_L هو تيار الحمل

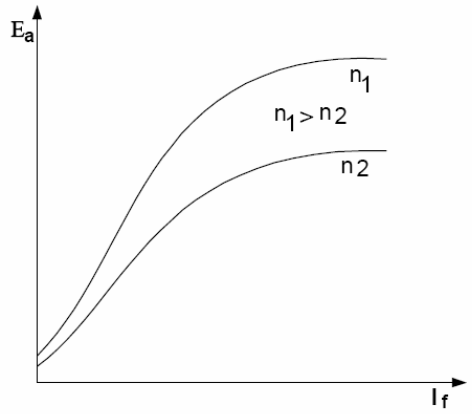
*حسب قانون الحث الكهرومغناطيسي بين ملفات المنتج التي تدور بسرعة ω والمجال المغناطيسي Φ

$$Ea=K\Phi\omega$$

* أما العزم الكهرومغناطيسي يساوي:

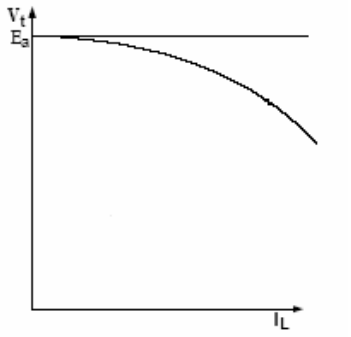
$$T=K\Phi I_a[N.m]$$

أما خاصية اللاحمل للمولد فتكون عبارة بين $Ea=f(I_f)$ كما في المنحنى التالي :



ونلاحظ أيضا من الخاصية السابقة أنة كلما زادت سرعة دوران المحرك زادت القوة الدافعة الكهربائية

أما خاصية التحميل للمولد فتكون عبارة بين $Ea=f(I_a)$ كما في المنحنى التالي :



ويعتمد منحنى الحمل على نوع الحمل المتصل مع المولد

مثال : مولد تيار مباشر يعمل عند سرعة 600 rpm وقوة دافعة كهربائية مولدة 12 V إذا قللنا السرعة إلى 100 rpm تصبح القوة الدافعة الكهربائية دون تغيير في الفيض :

$$E_{a1} = K\Phi_1 * \omega_1 = K\Phi_1 * n_1$$

$$K\Phi_1 = \frac{E_{a1}}{n_1} = \frac{120}{1200} = 0.1$$

$$K\Phi_2 = K\Phi_1 = 0.1$$

$$E_{a2} = K\Phi_2 * n_2$$

$$E_{a2} = 0.1 * 1000 = 100V$$

مثال : مولد تيار مباشر ذو تهييج منفصل يدور بسرعة 1200 rpm ويغذي حملا ثابت المقاومة بتيار 200 A عند جهد 125 V . ومقاومة ملفات الانتاج $R_a=0.04\ \Omega$

اوجد : ١) القوة الدافعة الكهربائية ومقاومة الحمل

٢) اوجد القوة الدافعة الكهربائية إذا انخفضت السرعة إلى 1000rpm مع اعتبار عدم تغير تيار المجال

الحل :

(١

$$E_a = V_L + I_a R_a = 125 + (200 \times 0.04) = 133v$$

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{125}{200} = 0.625\Omega$$

(٢

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} \rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow \omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$$

$$E_{a1} = K\phi\omega_1 \rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow E_{a2} = K\phi\omega_2$$

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{K\phi\omega_1}{K\phi\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$E_{a2} = \frac{E_{a1} \times n_2}{n_1} = \frac{133 \times 1000}{1200} \cong 111v$$

$$I_{a2} = \frac{E_{a2}}{R_a + R_L} = \frac{111}{0.04 + 0.625} \cong 167A$$

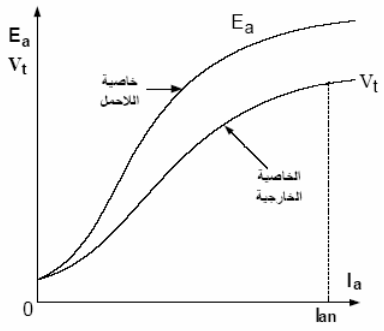
٢) مولد تيار مباشر تهييج توازي

فهو يشبه مولد التهييج المستقل ولكن يختلف بان تيار التهييج مستمد من تيار المنتج ولكن يجب التنويه إلى أن بداية عمل المولد تعتمد على المغناطيسية المتبقية من آخر عملية توليد للمولد في ملفات التهييج

٣) مولدات التيار المستمر ذات التهييج التوالي

*يعتمد توليد التيار الكهربائي على المغناطيسية المتولدة

أما الخاصية للمولد كما يلي



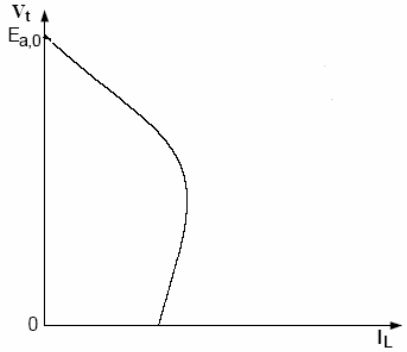
سبب تشابه خاصية الحمل وخاصية اللاحمل هو أن تيار المنتج يساوي تيار المجال .

٤) مولدات التيار المباشر ذو توصيلة مركبة

أيضا يعتمد توليد التيار الكهربائي على المغناطيسية المتبقية لكن لا يوجد تشابه بين خاصية اللاحمل وخاصية التحميل بسبب وجود ملف التوازي :

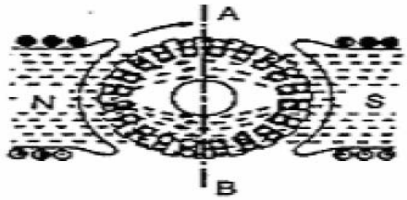
حيث تكون خاصية اللاحمل هي مشابه لخاصية اللاحمل لمولد التواز;

أما خاصية التحميل فهي كما يلي :

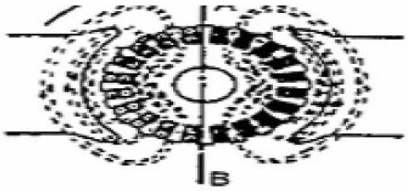


رد فعل المنتج

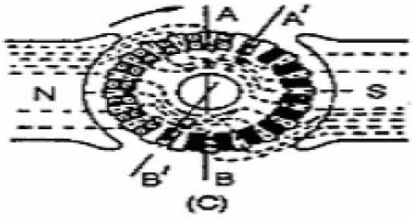
هو التأثير الناتج عن تولد مجال مغناطيسي ناشئ من مرور تيار بملفات المنتج وهذا المجال يتكون من مركبتين إحداهما متعامدة والأخرى مضادة لمجال الأقطاب .



مجال الاقطاب



مجال المنتج



رد فعل عضو الاستنتاج

*تأثير رد فعل المنتج :

١- يضعف المغناطيسية مما يسبب هبوطا في الضغط
٢- يسبب انحراف المجال الأصلي وتشويه انتظامه
٣- ينشا مشاكل في عملية التوحيد مما يسبب توليد شرارة

*طرق تلافي رد فعل المنتج

١- استعمال ملفات تعويض توضع في أحذية الأقطاب
٢- عمل أقطاب مساعدة بين كل قطبين وتحسن من عملية التوحيد
٣- عمل مجار في الأقطاب لزيادة المقاومة المغناطيسية
٤- تكبير الثغرة الهوائية وهذا يعني أنة يصبح أمبير لفات الأقطاب اكبر من أمبير لفات عضو المنتج

لف آلات التيار المستمر

قبل البدء في دراسة اللف لآلات التيار المستمر يجب معرفة بعض المصطلحات والتعريفات المهمة :

* خطوة القطب : المسافة بين قطبين متجاورين وتساوي عدد مجاري المنتج لكل قطب
*اللفة : تحتوي على موصلين على التوالي
* الملف : يتكون من لفات عدة موصولة على التوالي
* الموصل : طول السلك الذي يقع تحت تأثير المجال

$$Z = 2CN_c$$

حيث

Z:عدد الموصلات في العضو الدوار

C : عدد الملفات في الآلة

N_c: عدد اللفات لكل ملف

* خطوة اللف (coil pitch "y") : المسافة بين جانبي الملف الواحد حيث تقاس بعدد مجاري المنتج بينهما

$y = \frac{S}{P}$ حيث S عدد المجاري للمنتج و P عدد الأقطاب

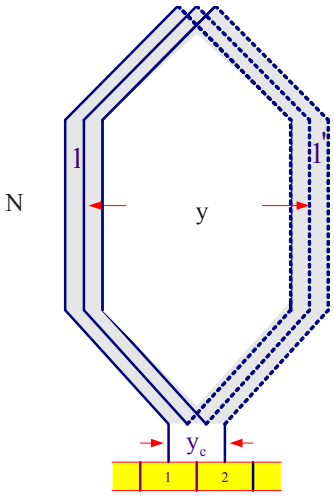
* خطوة الموحد (y_c commutator pitch) : هي المسافة بين قطعتين من قطع الموحد مقاسه بعدد القطع النحاسية $y_c \frac{2(n \pm 1)}{P}$ حيث n عدد القطع النحاسية

+ في حالة اللف التقدمي و – في حالة اللف التراجعي

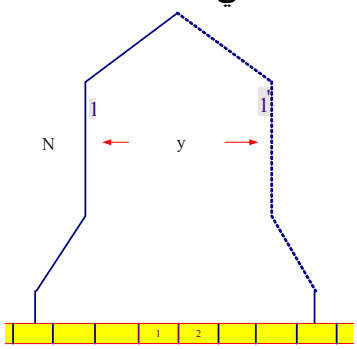
يوجد نوعين للف آلات التيار المستمر :

١- لف انطباقي Lap winding

وفيه توصل نهايتا الملف مع قطعتي نحاس متجاورتين على الموحد كما في الشكل التالي :



٢- لف تموجي wave winding
وفيه توصل نهايتا الملف مع قطعتي نحاس متباعدتين على الموحد كما في الشكل التالي :



توصيل المولدات على التوازي في الشبكة

من المرغوب فيه في معظم محطات التوليد أن ينتج التيار من مولدات متعددة بدلا من وحدة توليد واحدة كبيرة وذلك للأسباب التالية :

١- بسبب أنة إذا توقف المولد الكبير توقفت المحطة أما إذا توقف احد المولدات المتصلة تغذي باقي المولدات الشبكة
٢- يمكن إصلاح المحطة دون توقفها بالكامل
٣- يمكن أن يفوق حمل المحطة قدرة أي مولد فيها مهما كان كبيرا

حتى يتم التوصيل على التوازي للمولدات يجب توفر الشروط التالية

١- فولطية المولدات متساوية
٢- من المفضل أن يكون تنظيم الجهد نفسه
٣- توصيل جميع الأطراف الموجبة على القطب الموجب وكذلك السالبة على القطب السالب

أمثلة علة الوحدة الثالثة

١) مولد تيار مباشر ذو تهييج توازي قدرته 100kw يدور بسرعة 800 rpm موصول على قضبان تجميع جهدها 500 v مقاومة المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملف التهييج 100 Ω احسب سرعة دوران الآلة كمحرك إذا وصل إلى قضبان التجميع حمل قدرته 100 kw

الحل :

عند عمل الآلة كمولد

$$I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{500}{100} = 5A$$

$$I_L = \frac{P}{V} = \frac{100 \times 10^3}{500} = 200A$$

$$I_a = I_L + I_f = 200 + 5 = 205A$$

$$E_{a2} = V_a + I_a R_a = 500 + (205 \times 0.1) = 520.5v$$

عند عمل الآلة كمحرك

$$I_a = 200 - 5 = 195A$$

$$E_{a1} = V - I_a R_a = 500 - (195 \times 0.1) = 480.5v$$

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{K\phi n_1}{K\phi n_2} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow\rightarrow n_2 = \frac{E_{a2}}{E_{a1}} n_1 = \frac{480.5}{520.5} 800 = 738.5rpm$$

٢) يدور محرك توازي بسرعة 469 rpm مستهلكا قدرة 20Kw من مصدر جهده 250v اوجد قدرة الآلة إذا عملت كمولد توازي بسرعة دورانية 500rpm بحيث ان فرق الجهد على أطراف المولد 250v علما أن مقاومة المنتج 0.1Ω ومقاومة ملف التهييج 125Ω .

الحل

عند عمل الآلة كمحرك

$$I_L = \frac{P}{V} = \frac{20000}{250} = 80A$$

$$I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{250}{125} = 2A$$

$$I_a = I_L - I_f = 80 - 2 = 78A$$

$$E_{a1} = V - I_a R_a = 250 - (78 \times 0.1) = 242.2v$$

عند عمل الآلة كمولد

$$E_{a2} = \frac{n_2}{n_1} E_{a1} = \frac{500}{469} 242.2 = 258.2v$$

$$E_{a2} = V + I_a R_a \rightarrow\rightarrow I_a = \frac{E_{a2} - V}{R_a} = \frac{258.2 - 250}{0.1} = 82A$$

$$I_L = I_a - I_f = 82.2 = 80A$$

$$P_{out} = VI = 250 \times 80 = 20000w$$

٣) محرك توازي قدرته 10hp سرعته الدورانية 600 rpm يستهلك تيار 18A عند جهد 500v اوجد كفاءة المحرك عند هذه الحمولة واعزم الأمثل للمحرك .

الحل :

$$P_{out} = P(hp) \times 746 = 10 \times 746 = 7460w$$
$$P_{in} = VI = 500 \times 18 = 9000w$$
$$\zeta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{7460}{9000} = 82.9\%$$
$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{7460}{\frac{2\pi 600}{60}} = 118.4N.m$$

٤) مولد تيار مباشر تهييج توازي يعطي عضو الإنتاج تيار 100A له 200 موصل ويدور بسرعة 500rpm في مجال مغناطيسي مقدار فيضه 0.025wb للمولد 4 أقطاب وعدد دوائر التوازي في المنتج a=2 مقاومة المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 80Ω إذا كانت مفاقيد الحديدية والميكانيكية تساوي 1660w ومع إهمال رد فعل المنتج احسب ما يلي :

أ- القوة الدافعة الكهربائية المتولدة
ب- الجهد على الإطراف الخارجية للمولد
ت- تيار المجال
ث- تيار الحمل
ج- القدرة التي يعطيها المولد للمخرج
ح- المفاقيد النحاسية
خ- الكفاءة

الحل :

$$k = \frac{ZP}{2\pi a} = \frac{264 \times 4}{2\pi \times 2} = 84.03$$
$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 500}{60} = 52.36rad/s$$
$$E = k\phi\omega = 84.03 \times 0.025 \times 52.36 = 110v$$
$$V_L = E_a - I_a R_a = 110 - (100 \times 0.1) = 100v$$
$$I_f = \frac{V_L}{R_f} = \frac{100}{80} = 1.25A$$
$$I_L = I_a - I_f = 110 - 1.25 = 98.75A$$
$$P_{out} V_L I_L = 100 \times 98.75 = 9875w$$
$$P_{cu} = I_f^2 R_f + I_a^2 R_a = (1.25)^2 80 + (100)^2 0.1 = 1125w$$
$$\sum P_{Losses} = P_{iron} + P_{mech} + P_{cu} = 1660 + 1125 = 2785w$$
$$\zeta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum P_{Losses}} = \frac{9875}{9875 + 2785} = 78\%$$

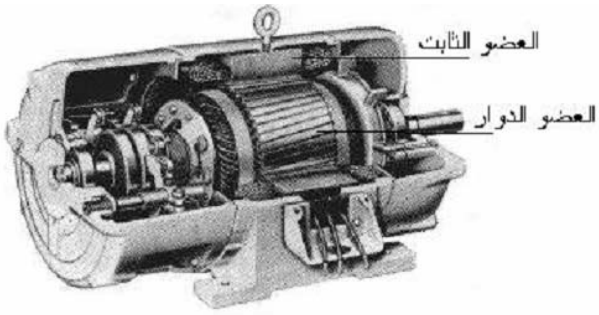
الوحدة الرابعة

آلات التيار المتردد AC MACHINE

المحركات الحثية ثلاثية الطور Three Phase Induction Motors

تستخدم هذه المحركات بكثرة في الصناعات لبساطة تركيبها وسهولة تشغيلها وكفاءتها العالية حيث أن المحرك الحثي يحتاج لمصدر تيار متردد ثلاثي الطور يوصل إلى العضو الثابت فقط ، أما العضو الدوار لا يوصل بأي مصدر ومغلق على نفسه ويتولد به قوة دافعة حثيه ، لذلك سمي بالمحرك الحثي وسرعته لا تتغير كثيرا مع زيادة الحمل إلا بحدود 5% مما يجعل هذا المحرك شائع الاستخدام .

التركيب :

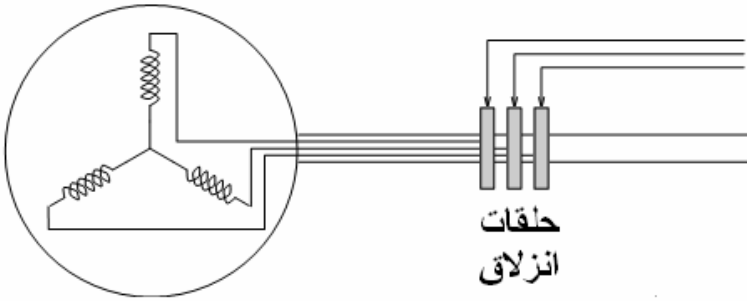


مقطع في محرك حثي

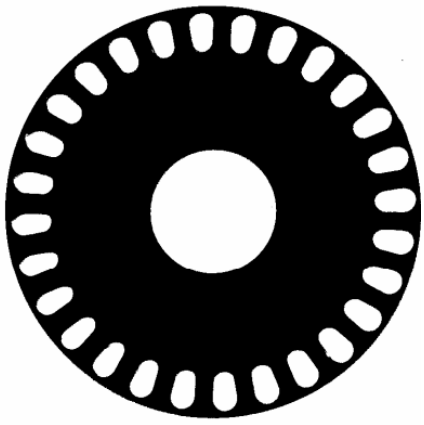
يتركب المحرك الحثي من عضو ثابت وعضو متحرك وكلا هما مصنوع من رقائق الحديد المعزولة لتقليل التيارات الإعصارية في الحديد ومن ثم تقليل المفاقيد الحديدية .
يوجد بالعضو الثابت مجاري يتم لف بها ثلاثة ملفات بحيث يكون بين كل ملف والآخر 120 درجة كهربائية لتشكل مجال مغناطيسي عبارة عن أقطاب مغناطيسية ، وتعتمد سرعة المحرك على عدد هذه الأقطاب .
أما العضو الدوار فهنالك نوعان يختلفان في التركيب ويتشابهان في الخواص الكهربائية وهما محرك ذو العضو الملفوف (ذو حلقات الانزلاق) ومحرك ذو قفص سنجابي .

*** محرك ذو حلقات انزلاق** :
تكون ملفات العضو الدوار عبارة عن ملفات نحاسية كما في العضو الثابت ولكنها غير موصولة بمصدر كهربائي وإنما موصولة على حلقات انزلاق ويتم قصرها وتتميز بإمكانية التحكم بخواص هذه المحركات خارجيا عن طريق ملفات العضو الدوار

*** محرك ذو قفص سنجابي** :
تكون هن الملفات عبارة عن قضبان من النحاس أو الألمنيوم مقصورة من الطرفين على بعضها كما في قفص السنجاب الدوار .



محرك ذو العضو الملفوف



مجاري العضو الدوار

محرك ذو قفص سنجابي

ومع اختلاف تصميم المحركين إلا أنة لا تختلف نظرية العمل لكليهما .

عند توصيل ملفات العضو الثابت بالمصدر ينشا مجال مغناطيسي دوار ويسبب قوة دافعة كهربائية على العضو الدوار بتردد مختلف عن تردد العضو الثابت أما المجال المغناطيسي الدوار فله سرعة ثابتة تسمى بسرعة التزامن (ns) Synchronous Speed وتعتمد على عدد الأقطاب

$$n_s = \frac{60\,f}{P} rpm$$

حيث f تردد المصدر ، P عدد الأقطاب

أما المجال فيكون متشابك مع ملفات العضو الثابت وملفات العضو الدوار بنفس الوقت وهذا يشبه المجال في المحولات في الملفات الابتدائي والثانوي .

نظرية العمل :

١) **عند الوقوف** (عدم الحركة) :

إن تركيب المحركات الحثية مشابه لتركيب المحولات إلا أن المحركان تحتوي على ثغرة هوائية كبيرة .

أي أن ملفات العضو الثابت تقابل ملفات الابتدائي في المحولات وملفات العضو الدوار تقابل ملفات الثانوي مقصورة على بعضها أي أن المحرك عند الوقوف مشابه لدائرة القصر في المحولات .

وعند توصيل ملفات العضو الثابت بالمصدر يمر تيار في هذه الملفات وينشا عنة فيض مغناطيسي وسرعت تسمى سرعة التزامن

ويتشابك هذا الفيض مع ملفات العضو الدوار والثابت قيمته Φ_m وهي ثابتة لا تتأثر بمقدار الحمل على المحرك .

ونتيجة لقطع ملفات العضو الثابت للمجال تتولد قوة دافعة كهربائية وهي :

$$E_1 = 4.44 f_1 \phi_1 N_1$$

حيث f_1 تردد المصدر ، N_1 عدد لفات العضو الثابت

وبما أن العضو الثابت في حالة سكون فان المجال الدوار يقطع ملفات العضو الدوار وتتكون قوة دافعة كهربائية بنفس التردد علية هي :

$$E_2 = 4.44 f_2 \Phi_2 N_2$$

حيث f_2 هي تردد العضو الدوار ومساوية لتردد العضو الثابت ، N_2 عدد لفات العضو الدوار

أي أن $f_1 = f_2 ----\phi_1 = \Phi_2$

ونظرا أن ملفات العضو الدوار مقصورة فيمر بها تيار في هذه ألحظة هو :

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

٢) **المحرك عند الدوران بدون حمل** (سرعة اللاحمل) :

عندما يدور العضو الدوار مع اتجاه المجال المغناطيسي فإن سرعة قطع المجال الدوار لملفات العضو الدوار تقل وتكون سرعته النسبية للمجال المغناطيسي الدوار بالنسبة لملفات العضو الدوار عندما يدور بسرعة n تسمى الانزلاق Slip (S) حيث :

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

وبما أن سرعة تقطيع المجال لملفات العضو الدوار قلة أي أن تردد القوة الدافعة على ملفات المجال قلة وبذلك فان

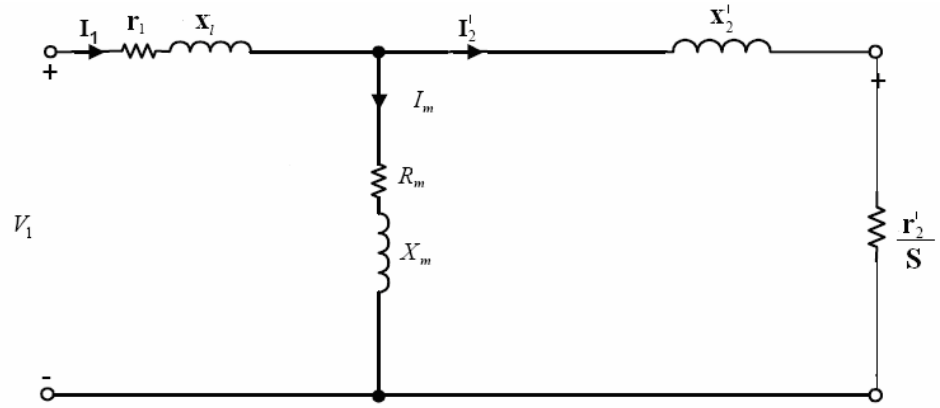
$$f_1 \neq f_2$$

وبما أن القوه الدافعة مرتبطة بالتردد بذلك يكون الانزلاق مرتبط بالتردد أي أن $\frac{f_2}{f_1} = S$

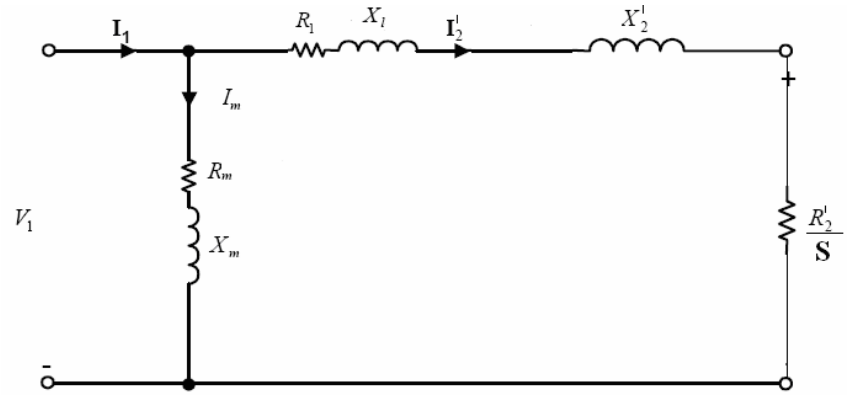
الدائرة المكافئة للمحرك الحثي

وهنالك نوعين من الدائرة المكافئة وهما

١) **دائرة مكافئة على شكل حرف T**



٢) **دائرة مكافئة على شكل حرف Π** وهي التي تساعدنا على حساب الخواص الكهروميكانيكية والميكانيكية للمحرك .



حيث :

V_1 جهد طور واحد للعضو الثابت

I_1 تيار العضو الثابت

I_m تيار الدائرة المغناطيسية

I'_2 تيار العضو الدوار المنسوب للعضو الثابت

r_1 المقاومة المادية لملفات العضو الثابت

x_1 الممانعة الحثية لملفات العضو الثابت

r'_2 المقاومة المادية لملفات العضو الدوار المنسوبة للثابت

x'_2 الممانعة الحثية لملفات العضو الدوار المنسوبة للثابت

r_m المقاومة المادية للدائرة المغناطيسية

x_m الممانعة الحثية للدائرة المغناطيسية

S الانزلاق

حساب المعطيات الدائرة المكافئة على شكل حرف Π

المقاومة المادية لملفات الثابت ---------- $R_1 = cr_1$

الممانعة الحثية لملفات الثابت ---------- $X_1 = cx_1$

المقاومة المادية لملفات الدوار المنسوبة للثابت ---------- $R_2' = c^2 r_2'$

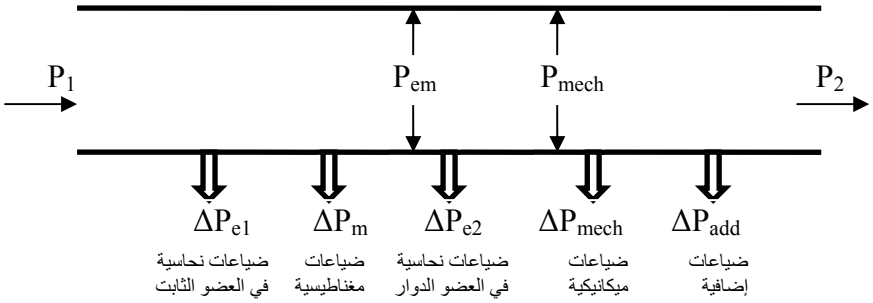
الممانعة المادية لملفات الدوار المنسوبة للثابت ---------- $X_2' = c^2 x_2'$

المقاومة المادية للدائرة المغناطيسية ---------- $R_m = r_m + r_1$

الممانعة الحثية للدائرة المغناطيسية ---------- $X_m = x_m + x_1$

معامل التحويل ---------- $c = \left(\frac{x_1}{x_m} + 1 \right)$

مخطط القدرة للمحرك الحثي



* القدرة الداخلة للمحرك هي قدرة كهربائية وداخلة لملف العضو الثابت P_1

$$P_1 = 3V_{1ph} I_{1ph} \cos\phi$$

* الضياعات النحاسية في العضو الثابت ΔP_{e1}

$$\Delta P_{e1} = 3I_1^2 R_1$$

* الضياعات المغناطيسية ΔP_m

$$\Delta P_m = 3I_m^2 R_m$$

* القدرة الكهرومغناطيسية المنقولة من الثابت إلى الدوار P_{em}

$$P_{em} = T_{em}\omega_o \cong T\omega_o$$

حيث T_{em} العزم الكهرومغناطيسي ، و T العزم الميكانيكي (عزم الحمل)

* أما بالنسبة للضياعات الميكانيكية ΔP_{mech} والضياعات الإضافية ΔP_{add} فمجموعهما يعادل (0.015) من القدرة الاسمية لذلك يمكن إهمالها وبالتالي تكون القدرة على مخرج المحرك P_2 تساوي .

$$P_2 = T_L \omega_L$$

حيث T_L عزم الحمل ، ω_L سرعة الحمل .

* الضياعات النحاسية في العضو الدوار ΔP_{e2}

$$\Delta P_{e2} = 3I_2'^2 R_2'$$

ومن مخطط القدرة السابق يتبين لنا أن

$$P_{em} = \Delta P_{e2} + P_2$$

أي أن

$$\Delta P_{e2} = P_{em} - P_2$$
$$\Delta P_{e2} = T\omega_o - T\omega$$
$$\Delta P_{e2} = T(\omega_o - \omega)$$

حيث ω_o هي سرعة التزامن الزاوية

وبضرب المعادلة بـ $\frac{\omega_o}{\omega_o}$

$$\Delta P_{e2} = T(\omega_o - \omega)\frac{\omega_o}{\omega_o} = T\omega_o\left[\frac{\omega_o - \omega}{\omega_o}\right]$$
$$\left[\frac{\omega_o - \omega}{\omega_o}\right] = S$$
$$\Delta P_{e2} = T\omega_o S$$

وبالتالي فان ضياعات العضو الدوار تعتمد على الانزلاق ولذلك تسمى ضياعات الانزلاق .

$$\Delta P_{e2} = 3I_2^{'2}R_2^{'} = T\omega_o S$$
$$T = \frac{3I_2^{'2'}R_2^{'}}{\omega_o S}$$

ومن الدائرة المكافئة على شكل حرف Π نكتب معادلة التيار في العضو الدوار

$$I_2^{'} = \frac{V_{1ph}}{\sqrt{\left(R_1 + R_2^{'}/S\right)^2 + \left(X_1 + X_2^{'}\right)^2}}$$
$$\left(X_1 + X_2^{'}\right) = X_{S.C}$$

حيث $X_{s.c}$ الممانعة الحثية لدائرة القصر

وهذه العلاقة هي الخاصية الكهروميكانيكية للمحرك الحثي $I_2^{'} = f(S)$

ومن المعادلتين السابقتين وهما $T = \frac{3I_2^{'2}R_2^{'}}{\omega_o S}$ ---- $I_2^{'} = \frac{V_{1ph}}{\sqrt{\left(R_1 + R_2^{'}/S\right)^2 + \left(X_{S.C}\right)^2}}$

نستخرج الخاصية الميكانيكية

$$T = \frac{3V_{1ph}^2 R_2^{'}}{\omega_o S\left[\left(R_1 + R_2^{'}/S\right)^2 + \left(X_{S.C}\right)^2\right]}$$

أما أعلى قيمة للعزم فيكون عندما تكون قيمة الانزلاق ما يسمى بالانزلاق الحرج (S_{cr}) حيث تساوي قيمة الانزلاق الحرج $S_{cr} = \pm \frac{R_2^{'}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{S.C}\right)^2}}$ ومن هذه القيمة تكون قيمة العزم الاعظم تساوي

$$T_{\max} = \frac{3V_{1ph}^2}{2\omega_o\left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + \left(X_{S.C}\right)^2}\right]}$$

وبما أن R_1 ، X_1 ذات قيمة صغيرة جدا يمكن إهمالها لتصبح المعادلات كما يلي

$$S_{cr} = \frac{R_2^{'}}{X_2^{'}}$$

$$T_{\max} = \frac{3V_{1ph}^2}{2\omega_o X_2^{'}}$$

$$T = \frac{3V_{1ph} R_2^{'}}{S\omega_o\left[\left(R_2^{'}/S\right)^2 + \left(X_2^{'}\right)^2\right]}$$

ولربط العزم بالعزم الاعظمي نقوم بترتيب بسيط لعلاقة العزم لتصبح

$$T = \frac{2T_{\max}}{\frac{S}{S_{cr}} + \frac{S_{cr}}{S}}$$

وبتطبيق معلومات اللوحة الاسمية

$$T_n = \frac{2T_{\max}}{\frac{S_n}{S_{cr}} + \frac{S_{cr}}{S_n}}$$

$$\lambda = \frac{T_{\max}}{T_n}$$

وبالتالي فان معامل زيادة التحميل يساوي:

وبالتالي فان $S_{cr} = S_n\left[\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}\right]$

أنظمة عمل المحرك

١) نظام اللاحمل (تجربة اللاحمل)

$$T_L = 0 - - - \omega = \omega_o - - - - S = 0$$

$$I_2^{'} = \frac{V_{1\,ph}}{\sqrt{\left(R_2^{'}/S\right)^2 + \left(X_2^{'}\right)^2}} \cong 0$$

$$\Delta P_{e2} = 0$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{e1} + \Delta P_m$$

$$I_1 = I_m$$

$$P_2 = T\omega = 0$$

$$\zeta = \frac{P_2}{P_1} = 0$$

٢) نظام القصر (تجربة القصر (الكبح))
المحرك موصول بالمصدر ولكنة لا يدور

$$T_L = T_{SC} - - - \omega = 0 - - - - S = 1$$

$$I_2^{'} = \frac{V_{1\,ph}}{\sqrt{\left(R_2^{'}\right)^2 + \left(X_2^{'}\right)^2}} = I_{SC}$$

$$I_m = 0$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{e1} + \Delta P_{e2}$$

$$P_2 = T\omega = 0$$

$$\zeta = \frac{P_2}{P_1} = 0$$

التشغيل لمحركات الحثية

١) الطريقة المباشرة
* حيث يتم توصيل ملفات الثابت مباشرة مع المصدر .
* تستخدم هذه الطريقة في المحركات ذات القدرات القليلة وعندما تكون قدرة المصدر اكبر من قدرة المحرك

٢) الطريقة الغير مباشرة :
*حيث يتم توصيل المحرك بوجود وسائل وسيطة للمحرك ويتم بعدة طرق
* يستخدم في المحركات المتوسطة والعالية القدرة .

أ) التأثير على دائرة العضو الثابت
١- إضافة مقاومة مادية على التوالي مع ملفات العضو الثابت مما يؤدي إلى هبوط الجهد على ملفات العضو الثابت
* ومن سيئاتها وجود ضياعات نحاسية كبيرة
* ومن ميزاتها يتم العمل عليها لفترة قصيرة وسهولة الاستخدام وقلة التكاليف

٢- إضافة ملفات حثيه على التوالي مع ملفات العضو الثابت ويفترض أن تكون مقاومتها قليلة قريبة من الصفر وتستخدم لتقليل سرعة تزايد التيار خلال عملية التشغيل
ملاحظات على الطريقتين السابقتين
- يكون التأثير على عزم القصر والعزم الاعظمي والانزلاق الحرج
- يكون التأثير على عزم القصر في حالة إضافة ملفات اقل من حالة إضافة مقاومات حيث يقل العزم وكذلك العزم الاعظمي
- يكون التأثير على الانزلاق الحرج في حالة إضافة ملفات اقل من حالة إضافة مقاومات حيث يزداد الانزلاق الحرج

٣- استخدام محول ذاتي
وهنا العزم والعزم الاعظمي فقط يتأثران بتغير الفولطية وبشكل طردي ولا يتأثر الانزلاق الحرج

٤- تحويل توصيلة الملفات من ستار إلى دلتا
* وهنا العزم والعزم الاعظمي فقط يتأثران بتغير الفولطية وبشكل طردي ولا يتأثر الانزلاق الحرج
* أما التيار في حالة توصيلة الملفات على شكل دلتا أعلى من توصيلة ستار وبالتالي زيادة العزم

٥ – تغيير عدد أزواج الأقطاب على ملفات العضو الثابت أو تغيير التردد
حيث أن $\omega_o = \frac{2\pi f_1}{P}$
حيث كلما قل عدد الأقطاب زادت السرعة وكلما زاد التردد زادة السرعة

ب) **التأثير على دائرة العضو الدوار** (فقط في المحركات الحثية ذو حلقات انزلاق)
وهي الطريقة الأكثر استخداما في محركات ذو حلقات الانزلاق حيث يضاف مقاومات خارجية مع ملف العضو الدوار عبر حلقات الانزلاق وهنا يتأثر الانزلاق الحرج فيما تبقى قيمة العزم الأعظم ثابتة
***ملاحظة : عكس الدوران في محركات الحثية ثلاثية الطور يتم بعكس طورين إحداهما مكان الأخر

أمثلة على المحركات الحثية

مثال ١

محرك حثي له المعطيات التالية

$$f_1 = 50Hz ----P = 4 ------n = 1420rpm$$

احسب قيمة الانزلاق

الحل :

$$n_s = \frac{60f}{(2P)} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500rpm$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0.053\%$$

مثال ٢

محرك حثي له المعطيات التالية

$$f_1 = 50Hz --- f_2 = 5Hz ----P = 6$$

احسب قيمة سرعة العضو الدوار

$$S = \frac{f_2}{f_1} = \frac{5}{50} = 0.1$$

$$n_s = \frac{60f}{(2P)} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000rpm$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$0.1 = \frac{1000 - n}{1000} \Rightarrow n = 1000 - 100 = 900rpm$$

مثال ٣

محرك حثي ثلاثي الطور له المعطيات التالية

$$V_1 = 440 ---- P_{em} = 80Kw --- f_2 = 1.66Hz --- f_1 = 50Hz ---- P = 6$$

احسب

$$S --n_s --- P_{mech} --- \Delta P_{e2}$$

الحل :

$$S = \frac{f_2}{f_1} = \frac{1.66}{50} = 0.033$$

$$n_s = \frac{60 f_1}{(2p)} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000rpm$$

$$n = n_s(1 - S) = 1000(1 - 0.033) = 967rpm$$

$$P_{em} = T\omega_o = 80Kw$$

$$\Delta P_{e2} = P_{em} S = 80000 \times 0.033 = 2.67Kw$$

$$P_{mech} = P_{em} - \Delta P_{e2} = 80 - 2.67 = 77.33Kw$$

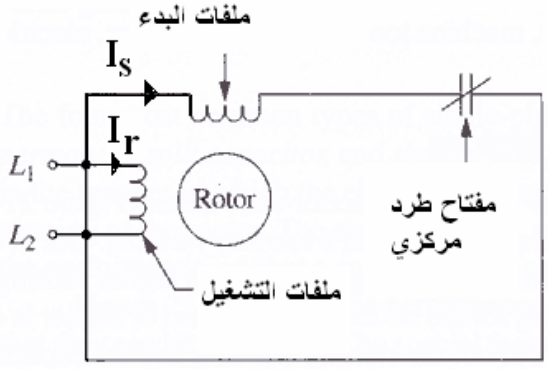
$$\Delta P_{e2} = 3I_2^{'2} R_2^{'}$$

الوحدة الخامسة

المحركات الحثية أحادية الطور
Single Phase Induction Motor

التركيب :
مشابه تماما لمحركات القفص السنجابي ولكن تعمل على طور واحد
مبدأ العمل :
عند تطبيق جهد متردد على ملفات العضو الثابت يتولد فيض مغناطيسي مهتز وليس دوار وبذلك لا يدور المحرك ويحتاج إلى عزم بدء خارجي في بداية عملة ولذلك يوجد عدة طرق لإقلاع هذه المحركات وهي التي تحدد أنواعه

أنواع محركات التيار المتردد ذو الطور الواحد
١) محرك ذو الوجه المشطور
وتكون دائرته كما في الشكل التالي :



محرك ذو الوجه المشطور

مبدأ العمل :
عند تطبيق جهد سوف يمر تيار الشبكة ويتوزع إلى تيارين في المحرك وهما I_r ,I_s ومرورا بمفتاح الطرد المركزي الذي يكون مغلقا وبالتالي سوف يتولد مجال مغناطيسي دوار بسبب ملفات التشغيل وملفات البدء ومن يقطع ملفات الدوار ذو القفص السنجابي ويتكون عزم دوران بسبب التأثير المتبادل مما يؤدي الى دوران العضو وعندما يصل العضو الدوار إلى السرعة التي يعمل عندها مفتاح الطرد المركزي يقوم مفتاح الطرد المركزي بإخراج ملفات البدء عن العمل في دائرة المحرك الكهربائية .
الفرق بين ملفات التشغيل وملفات البدء

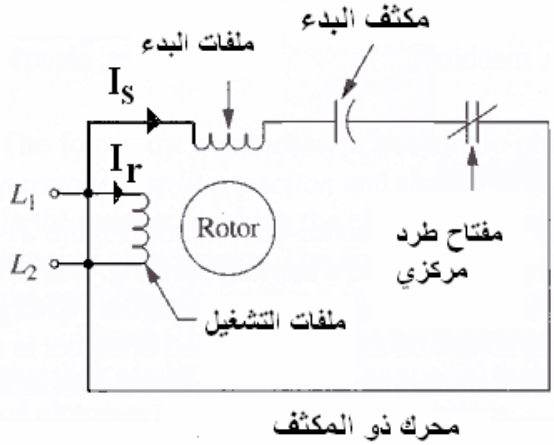
	ملفات التشغيل	ملفات البدء
مساحة المقطع	اكبر	اقل
عدد اللفات	اقل	اكبر
مقاومة الملفات	اقل	اكبر
المكان	الداخل	الخارج

ويتم عكس دورانه بعكس أقطاب احد طرفي ملفات البدء أو ملفات التشغيل

ومن خصائص هذا المحرك له عزم بدء عالي ومتوسط القيمة وتيار بدء منخفض ويستخدم في المراوح و الشفاطات ومضخات الطرد المركزي

٢) محرك ذو مكثف بدء Capacitor Start Motor

وهو بنفس تركيب ذو الوجه المشطور ولكن يضاف مكثف للإقلاع لزيادة فرق الطور وعزم الإقلاع لذلك تصنع هذه المحركات بقدرة اكبر من الوجه المشطور كما في الشكل التالي



محرك ذو المكثف

وهو محرك ذو كلفة عالية ويستخدم في التطبيقات ذات التشغيل الهادئ وعزم بدء عالي

٣) المحرك ذو القطب المظلل The Shaded Pole Motor

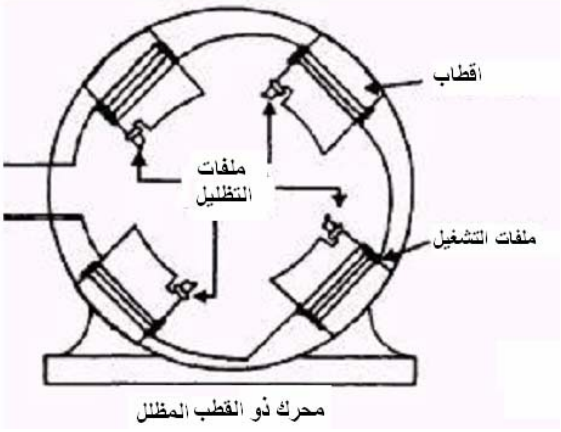
التركيب :

* الغلاف الخارجي
* القلب من الحديد ويحتوي على أقطاب بارزة
* ملف نحاسي ملفوف على الأقطاب البارزة
* الدوار ذو قفص سنجابي

القطب المظلل عبارة عن لفة واحدة من النحاس السميك موضوع على احد جوانب أقطاب الثابت

مبدأ العمل

عند تطبيق جهد AC على ملفات الثابت يمر تيار وبالتالي يولد مجال مغناطيسي وفي نفس الوقت بتولد في ملفات التظليل تيار بدء تأثيري ناتج عن المجال الأصلي وهذا التيار بدورة يولد مجال مغناطيسي يتأخر عن المجال الأصلي وبذلك يتولد مجالين بينهما فرق طور ينشا عنهما مجال دوار يؤثر في القفص السنجابي ويولد تيارات تأثيرية وبالتالي يولد عزم دوران يعمل على تدوير المحرك وعند وصول الدوار إلى السرعة الاسمية تصبح ملفات التظليل غير مجدية



محرك ذو القطب المظلل

يتميز هذا المحرك برخص الثمن وبساطة التركيب ويستخدم في المراوح الصغيرة ومضخات المياه وغسالات الملابس

الوحدة السادسة

الآلات التزامنية (التوافقية) Synchronous Machine

التركيب :

١- هيكل خارجي من الفولاذ وعلية فتحات تهويه
٢- العضو الثابت (المنتج في المولد) مصنوع من الفولاذ وعلية مجاري
٣- الملفات من النحاس
٤- الدوار (المنتج في المحرك) ويكون على شكلين ١- أقطاب بارزة ٢- أقطاب غير بارزة
٥- مروحة تبريد
٦- مواد عازلة
٧- مولد أو مصدر DC لتغذية ملفات الدوار

ملاحظة :

في الأقطاب البارزة تكون السرعة اقل من 1500 rpm وعدد الأقطاب اكبر أو تساوي 8
في الأقطاب الغير بارزة تكون السرعة إما 1500 rpm أو 3000 rpm وعدد الأقطاب 4 or 8

المولدات

مبدأ العمل عند توصيل ملفات الدوار بتيار مستمر يتولد فيض مغناطيسي ساكن وبالتالي لا يدور الآلة وعند تدوير الدوار من مصدر خارجي فان المجال سوف يدور بنفس سرعة الدوار وبنفس الاتجاه ويقطع هذا المجال ملفات الثابت ويولد فيها قوة دافعة كهربائية ثلاثية الطور وعند وجود حمل على المولد يتولد تيار هذا التيار يولد فيض مغناطيسي يسمى رد فعل المنتج .

رد فعل المنتج :

هو فيض مغناطيسي دوار ناتج عن تيارات ملفات ثلاثية الطور والذي يؤثر على الفيض المغناطيسي الاصلي في الدوار .

الأحمال على المولدات التزامنية

١- حمل مادي أي أن $\cos\Phi=1$ وبالتالي الزاوية بين الجهد والتيار تساوي صفر وبالتالي فان رد فعل المنتج يؤثر على الفيض ويقوم على تشويهه
٢- حمل حثي أي أن $\Phi=90^o$ وبالتالي فان التيار متأخر عن الجهد وبالتالي يؤثر رد فعل المنتج بتقليل الفيض الأصلي
٣- حمل سعوي أي أن $\Phi=-90^o$ وبالتالي فان التيار متقدم عن الجهد وبالتالي يؤثر رد فعل المنتج بزيادة الفيض الأصلي

ربط المولدات على التوازي :

الأسباب :

١- التغذية المطلوبة للحمل والتي لا يمكن تغذيتها من مولد واحد
٢- إجراء عمليات الصيانة
٣- استقرارية الشبكة

الشروط :

١- تساوي التردد
٢- نساوي الجهد
٣- تتابع الأطوار
٤- نفس اتجاه الدوران
٥- شكل الموجه

محركات التوافقية

* تركيبها نفس تركيب المولد التوافقي
* يدور العضو الدوار بنفس سرعة المجال الدوار n=ns
* لا يبدأ حركته ذاتيا وإنما يحتاج إلى طرق لبدء الحركة

مساوئه

١- يحتاج إلى مصدر DC
٢- معقد التركيب
٣- غالي الثمن
٤- بدء حركة صعب

محاسنه

١- سرعة ثابتة
٢- الانزلاق يساوي صفر
٣- الضياعات في الثغرة الهوائية صغيرة

طرق الإقلاع

١- الطريقة المباشرة : توضع ملفات على العضو الدوار وبعد وصل ملفات الثابت بمصر ثلاثي الطور يدور المحرك كأنة نحرك حثي وبعد أن يصل إلى 95% من السرعة التزامنية يتم وصل ملفات الدوار بمصدر DC لتصل سرعة المحرك إلى السرعة التزامنية بفعل أقطاب الدوار

٢- البدء بمحرك خارجي : حيث يستخدم محرك حثي صغير لتدوير المحرك وعندما تقترب سرعته من سرعة التزامن يفصل المحرك وتوصل ملفات الثابت والدوار

مقارنة بين المحرك الحثي والتوافقي

المحرك الحثي	المحرك التوافقي
$n \neq n_s$	$n = n_s$
$\cos\phi < 1$	$\cos\phi \leq 1$
$T \alpha V^2$	$T \alpha V$
الكفاءة اقل	الكفاءة اعلي
بسيط التركيب	معقد التركيب
رخيص الثمن	غالي الثمن

الوحدة السابعة

المحركات الخاصة

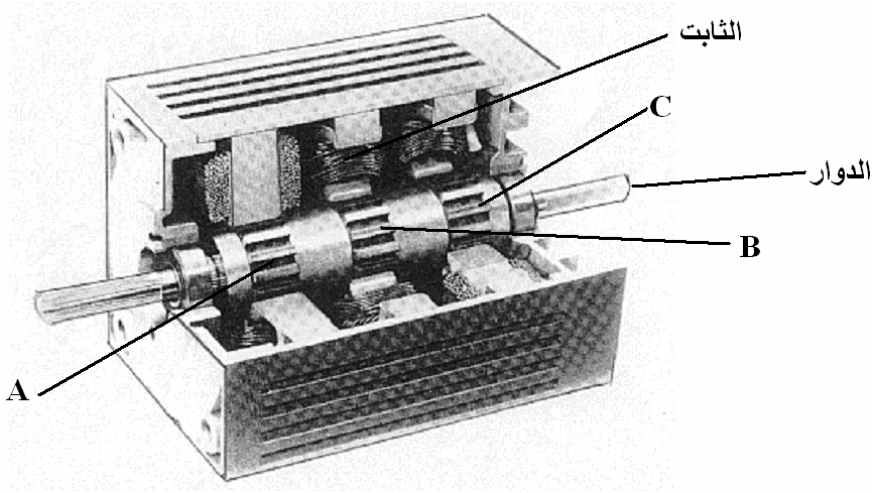
محركات الخطوة stepper motor

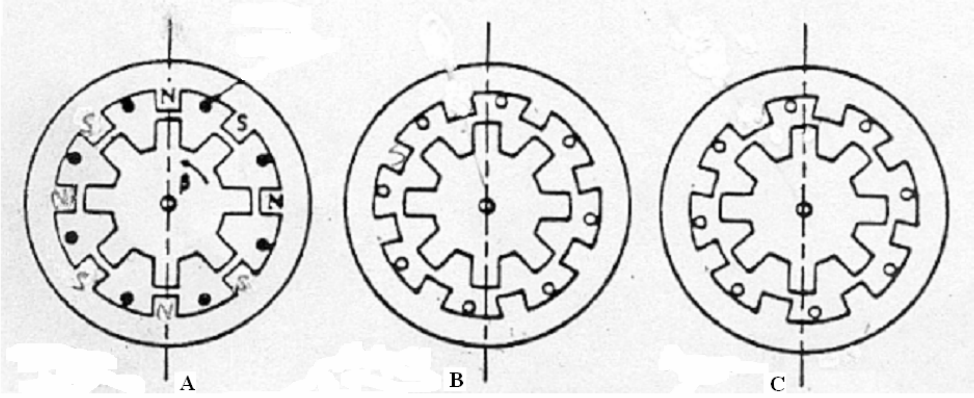
بدا استخدام هذه المحركات عندما بدا الطلب على الأجهزة التي تحتاج الدوران زاوي يمكن اعتبارها مرتبطة بالكمبيوتر والمعالجات الدقيقة ومثال عليها أجهزة القطع والطابعات وغيرها
يوجد أنواع كثيرة من هذه المحركات يمكن تقسيمها إلى نوعين رئيسيين وهما .

١) محركات خطوية ذو ممانعة مغناطيسية متغيرة Variable Reluctance(VR)

التركيب :

* العضو الثابت ويكون مجزئ إلى عدة أقطاب تكون على شكل مجموعات معزولة مغناطيسيا عن بعضها يمكن استثارتها بملفات مستقلة
* العضو الدوار ويتركب من أسنان بارزة





كيفية العمل

عند وصل ملفات المجموعة A بتيار مستمر سوف يدور العضو الدوار إلى أن تتطابق محاورة مع المجموعة A على العضو الثابت وبعد فصل المجموعة A ووصل المجموعة B (التي تشبه المجموعة A من جميع الوجوه ولكنها تختلف بان أسنانها منحرفة بمقدار درجة معينة عن أسنان المجموعة A) بتيار مستمر فان المحرك سوف بمقدار درجة انحرافة عن المجموعة A إلى أن تتطابق محاور المجموعة B على الدوار مع محاور المجموعة B على الثابت . وبعد ذلك يتم فصل المجموعة B ووصل المجموعة C التي تنحرف عن المجموعة B بزاوية انحراف نفس زاوية انحراف المجموعة B عن المجموعة A وبذلك يدور أيضا المحرك إلى أن تتطابق المجموعة C مع محاورها على الثابت .

وتتكرر هذه العملية حسب درجة الدوران المطلوبة .

* أما حساب خطوة المحرك (درجة انحراف المجموعات) فيكون كالتالي :

$$\theta = \frac{360}{g \times N_r} = \frac{360(N_s - N_r)}{N_s \times N_r}$$

$$g = \frac{N_s}{N_s - N_r}$$

حيث :

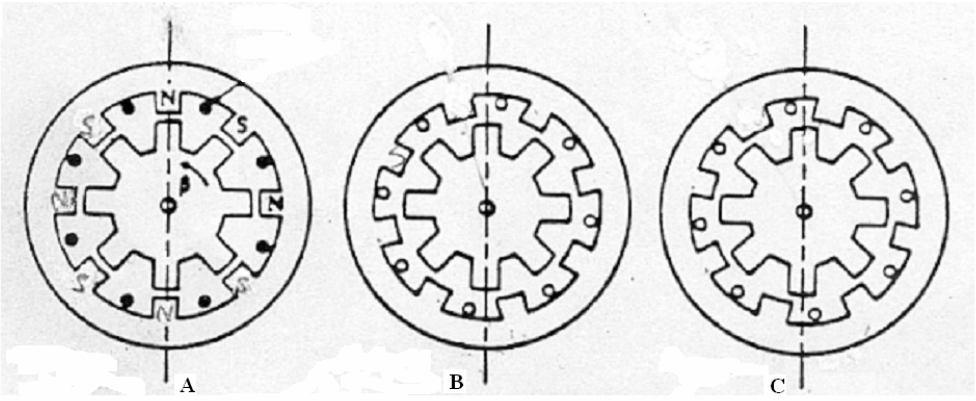
Nr عدد أسنان العضو الدوار لمجموعة واحدة

Ns عدد أسنان العضو الثابت لمجموعة واحدة

g عدد المجموعات

* أما لتحديد اتجاه دوران المحرك نأخذ المثال التالي :

في الشكل التالي إذا أردنا دوران المحرك مع عكس عقارب الساعة بمقدار 90o مع العلم أن عدد أسنان الثابت 12 وعدد أسنان الدوار 8



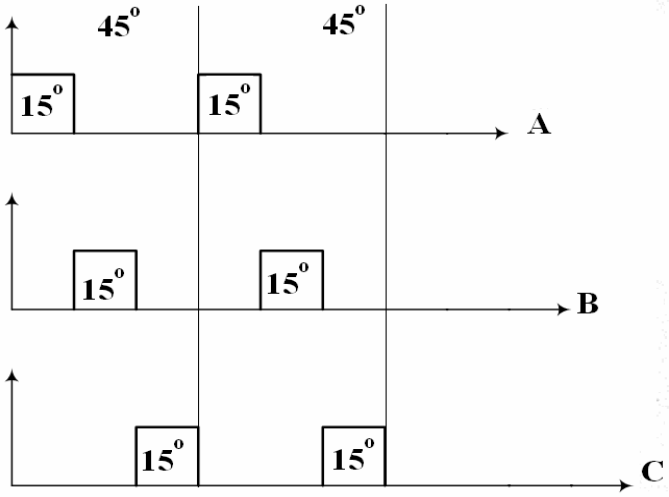
الحل :

نوجد أولا خطوة المحرك

$$g = \frac{N_s}{N_s - N_r} = \frac{12}{12-8} = 3$$

$$\theta = \frac{360}{g \times N_r} = \frac{360}{3 \times 8} = 15^o$$

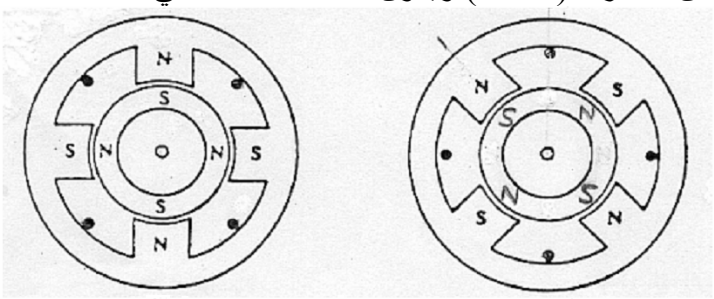
أما مخطط النبضات للمحرك فيكون كالتالي



٢) محركات خطوية ذو مغناطيس دائم Permanent Magnet (PM)

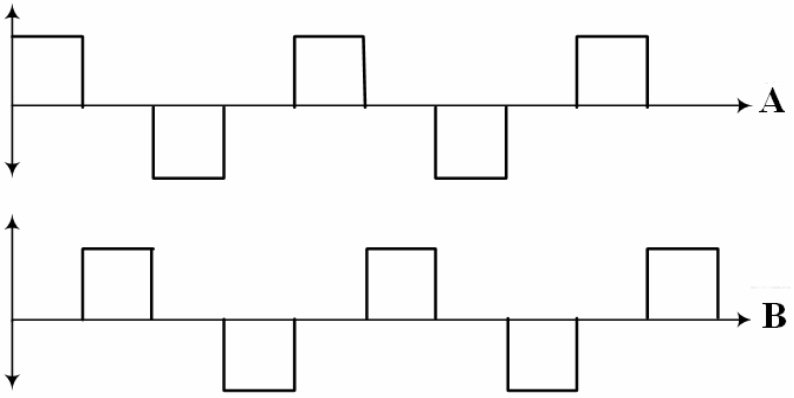
وفي هذا النوع لا يختلف عن المحرك السابق ذو ممانعة مغناطيسية متغيرة من حيث تركيب الثابت والعمليات الحسابية لكن يختلف فقط بان أسنان الدوار تكون عبارة عن مغناطيس دائم مما يجعل عزم المتولد على الدوار أقوى .

أما مبدأ العمل فهو قريب من المحرك (VR) ويكون حسب الشكل التالي :



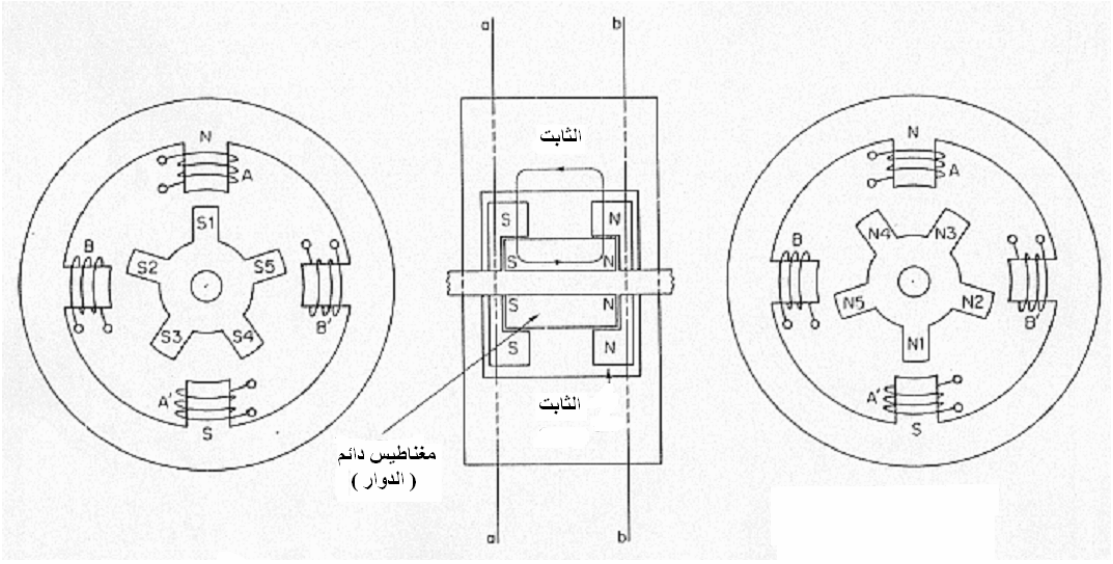
فعند وصل المجموعة A بتيار مستمر يدور المحرك إلى أن تتطابق أقطاب الدوار مع الأقطاب المخالفة لها على الثابت وبعد ذلك يتم أيضا فصل المجموعة A ووصل المجموعة B ليدور المحرك إلى أن تتطابق أقطاب الدوار مع أقطاب المخالفة لها على الثابت لنفس المجموعة .

ملاحظة : وليكمل الدوار دورانه بنفس الاتجاه بعد تغذية المجموعة A ومن ثم المجموعة B يتم تغذية المجموعة A مرة أخرى ولكن بعكس القطبية ومن ثم تغذية المجموعة B أيضا بعكس القطبية والشكل التالي يوضح ذلك .



٣) محركات خطوية هجينة Hybrid

وهي محركات تأخذ مبدأ عملها من النوعين السابقين وهو محرك ذو سرعة منخفضة وله دوار ذو مغناطيس دائم كما في الشكل التالي



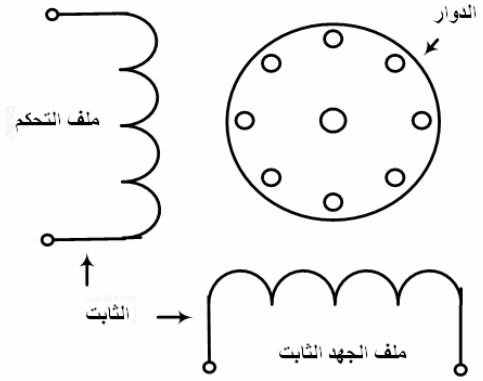
محركات الإزاحة (التحكم) Servomotor

محركات التحكم للتيار المتردد A.C Servomotors

محرك تيار متردد ثنائي الطور ذو ملفين على العضو الثابت بينهما زاوية تسعون درجة في الفراغ والدوار عبارة عن قفص سنجابي .

مبدأ العمل :

يتم تسليط مصدر جهد ثابت القيمة والتردد على احد ملفات العضو الثابت ويسمى ملف الجهد الثابت ويتم تسليط جهد متغير يمكن التحكم به على الملف الأخر الذي يسمى بملف التحكم كما في الشكل التالي



- يمكن تشغيل هذا المحرك من مصدر ثنائي الطور
- يمكن تشغيل هذا المحرك من مصدر أحادي الطور وذلك باستخدام مكثف على التوالي مع مصدر الجهد للحصول على فارق زمني تسعون درجة بين تياري الملفين

ميزات هذا المحرك :
١- العمل بسرعات مختلفة وبدقة عالية
٢- ملفات التحكم تستهلك قدرة قليلة
٣- عزم إقلاع عالي
٤- حجمه ووزنه صغيرين
٥- موثوقية عالية

المحرك العام Universal Motor

هو محرك يعمل على مصدر تيار ثابت او على مصدر تبار متردد ذو طور واحد ويستخدم بشكل عام بقدرات اقل من 1HP ويكون عبارة عن محرك توالي .

استخدامه

١- الخلاطات
٢- المثاقب
٣- آلات الخياطة

التركيب :

* العضو الثابت
١- إطار من الألمنيوم لحمل الملفات
٢- الأقطاب والملفات (ذو قطبين)

* العضو الدوار :
١- قلب يحتوي على مجاري
٢- ملفات
٣- عمود الإدارة

* الغطاءان الجانبيان

مبدأ العمل :

عند تطبيق جهد V على أطراف المحرك فانه يسري تيار مستمر أو متردد في كلا الملفين (المجال والمنتج)
عند التغذية بتيار مستمر

$$V = E_a + I_a(R_a + R_s)$$
$$T = KK_1 I_a^2$$

عند التغذية بتيار متردد

$$V = E_a + I_a(R_a + R + j(X_a + X_s)_s)$$
$$T = KK_1 I_a^2$$

مقارنة :

١- E عند التغذية بتيار متردد اقل منها عند التغذية بتيار مستمر
٢- السرعة عند عزم معين بحالة التيار المتردد اقل من السرعة عند نفس العزم بخالة تيار ثابت

ملاحظات :

١- المحركات العامة كلها تقريبا ذات قطبين لذلك تكون مشابه لمحرك التوالي
٢- لعكس الدوران يتم عكس أطراف ملف التهييج أو أطراف ملف المنتج
٣- يتم تنظيم السرعة بإضافة مقاومة على التوالي مع ملفات المنتج

المحركات الخطية الحثية Linear Induction Motor

محرك حثي يتم الحصول منه على حركة خطية بدلا من الدورانية

التركيب :

١- العضو الثابت : ملفات ثلاثية الطور
٢- العضو الدوار : صفيحة من الألمنيوم أو النحاس لتكملة مسار الفيض المغناطيسي
٣- صفيحة من الفيرومغناطيسية توضع على الجهة الأخرى من الدوار لتحسين أداء المحرك

استنتخداماتة :

١- عندما تكون الدوار متحرك (الأبواب المنزلقة في القطارات الحزام المعدني الناقل)
٢- عندما يكون الدوار ثابت وثابت متحرك (الرافعات المركبات ذات المقعد الهوائي)

السيئات :

مشكلة توصيل الفرش الكربونية ، كيفية تنظيم السرعة