



جامعة الفرات الأوسط التقنية
كلية البولتيكنك النجف
قسم هندسة تقنيات الكهرباء والطاقة المتجددة
المرحلة الثانية

المكائن الكهربائية
(مكائن التيار المستمر والمحولات ومكائن التيار المتناوب)

مدرس المادة :-

م.م فارس عطية محمد الحداد

العام الدراسي (٢٠٢٥/٢٠٢٦)

الكهرومغناطيسية

الاختبار القبلي:-

١** ما المقصود بالمجال المغناطيسي؟ **

أ) منطقة تتولد فيها حرارة

ب) حيز تظهر فيه تأثيرات القوة المغناطيسية

ج) مسار مرور التيار الكهربائي فقط

د) مادة عازلة للكهرباء

٢** ما وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسي في النظام الدولي؟ **

أ) ويبر

ب) أمبير

ج) تسلا

د) هنري

٣** ما وحدة قياس الفيض المغناطيسي؟ **

أ) ويبر

ب) تسلا

ج) أوم

د) فولت

٤** ما العاملان الأساسيان اللذان يحددان قوة المجال المغناطيسي الناتج عن ملف؟ **

أ) عدد لفات الملف وشدة التيار

ب) مقاومة الملف ودرجة حرارته

ج) مساحة الملف وطوله فقط

د) جهد المصدر ومقاومة الحمل

٥. ماذا يحدث للمجال المغناطيسي للملف عند زيادة عدد لفاته، مع ثبات التيار؟ **

أ) يضعف

ب) يبقى ثابتاً

ج) يزداد

د) ينعكس اتجاهه

٦. ما دور القلب الحديدي في الملف الكهربائي؟ **

أ) تقليل التيار إلى الصفر

ب) زيادة تركيز الفيض المغناطيسي

ج) منع تولد المجال المغناطيسي

د) تحويل التيار المستمر إلى متناوب

٧. ما المقصود بالممانعة المغناطيسية؟ **

أ) معارضة المادة لمرور الفيض المغناطيسي

ب) معارضة السلك لمرور التيار

ج) مقدار الجهد الكهربائي

د) سرعة دوران المحرك

٨. أي المواد الآتية تُستخدم غالباً في قلوب المكائن الكهربائية؟ **

أ) الخشب

ب) البلاستيك

ج) الحديد أو الفولاذ الكهربائي

د) الزجاج

٩. ما الظاهرة التي تحدث عند تغيير الفيض المغناطيسي المرتبط بملف؟ **

أ) الحث الكهرومغناطيسي

ب) التأثير الحراري فقط

ج) التفريغ الكهربائي

د) التوصيل الحراري

١٠. ** ما الذي يحدد اتجاه القوة المؤثرة في موصل يمر فيه تيار داخل مجال مغناطيسي؟ **

(أ) لون الموصل

(ب) اتجاه التيار واتجاه المجال المغناطيسي

(ج) مقاومة العازل

(د) درجة حرارة المحيط فقط

الكهرومغناطيسية

أولاً: - المقدمة

عرفت الظاهرة المغناطيسية منذ زمن بعيد، فقد لاحظ الاغريق قبل الميلاد انجذاب قطع الحديد نحو بعض المواد المغناطيسية. كما أسنخدم الملاحون العرب البوصلة في رحلاتهم البحرية.

اكتشف العالم الدنماركي أورستد انحراف الإبرة المغناطيسية عند تقريبها من موصل يسري فيه تيار وكان هذا أول دليل علمي عملي على وجود خواص مغناطيسية مصاحبة للدوائر الكهربائية. *

ثانياً: - تعريفات مهمة في علم المغناطيسية

١ - **المجال المغناطيسي:** - هو المنطقة التي تحيط بالمغناطيس وتظهر فيها تأثيراته مثل انحراف الإبرة المغناطيسية وتولد القوة الدافعة الكهربائية عند تحريك موصل داخل المجال المغناطيسي.

٢ - **خط القوى المغناطيسي:** - هو خط وهمي يعرف بأنه المسار الذي تسلكه القوى المغناطيسية من القطب الشمالي الى القطب الجنوبي خارج المغناطيس.

- هانز كريستان أورستد (١٧٧٧-١٨٥١) م . هو عالم فيزيائي وكيميائي دنماركي، اكتشف وجود علاقة بين الكهرباء والمغناطيسية وهو ما قاد الى اكتشاف التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي عام ١٨٢٠ م. وقد تطورت الدراسات المتعلقة بموضوع التأثيرات المغناطيسية للدوائر الكهربائية وسميت بـ (الكهرومغناطيسية) . يعتبر علم المغناطيسية من العلوم الهامة التي بني على أساسها عمل كثير من المعدات الكهربائية، والمغناطيسية يمكن الحصول عليها إما عن طريق المغناطيس الدائم أو المغناطيس الكهربائي . وينشأ عن المغناطيس الكهربائي ما يعرف بالمجال المغناطيسي حيث توجد علاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي . ويطلق على العلم الذي يربط بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي اسم (الكهرومغناطيسية) .

٣ - **معامل النفاذ المغناطيسي:** - هو معامل النفاذ المغناطيسي للمادة الناقلة لخطوط المجال المغناطيسي وهي قيمة ليست ثابتة للمادة الواحدة وإنما تتأثر قيمتها بتغير شدة المجال المغناطيسي المؤثر . ويوجد لكل مادة منحنى خاص يعرف بمنحنى التمعنط وهو من المنحنيات المهمة بالنسبة للمواد المغناطيسية ويعطي منحنى التمعنط العلاقة بين شدة المجال وكثافة الخطوط المغناطيسية التي تنتج في المادة ويربط بينهما معامل النفاذ للمادة .



حيث: -

μ_0 : معامل النفاذ المطلق أو معامل نفاذ الفراغ ويساوي $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

μ_r : معامل النفاذ النسبي وهو يساوي مقدار معين لأي وسط غير مغناطيسي.

٤ - **التدفق المغناطيسي Φ :** - (الفيض المغناطيسي) وهو عدد الخطوط الكلية في المجال المغناطيسي، وهو عبارة عن خطوط القوى المغناطيسية المتوازية التي تسير مجتمعة في حزمة واحدة في مسار مغلق.

٥ - **كثافة التدفق المغناطيسي B :** - يعرف كثافة التدفق المغناطيسي بأنه مقدار التدفق المغناطيسي خلال وحدة المساحة ووحدته (تسلا) (ويبر/متر مربع) .

$$B = \frac{\Phi}{A} \text{ wb/m}^2$$

٦ - شدة المجال المغناطيسي H :- يعرف شدة المجال المغناطيسي بأنه النسبة بين كثافة التدفق المغناطيسي ومعامل النفاذ.

$$H = \frac{B}{\mu} \text{ h/m}$$

٧ - القوة الدافعة المغناطيسية (m.m.f) :- أن الفيض المغناطيسي الناشئ نتيجة مرور تيار كهربائي في موصل له عدد لفات (N) يولد قوة دافعة مغناطيسية تعرف بأنها الضغط المغناطيسي الذي يدفع الفيض المغناطيسي في الدائرة المغناطيسية . وتتوقف قيمتها على قيمة التيار الكهربائي المار في الملف وعدد لفاته ووحداتها (الامبير . لفة) .

$$m.m.f = N.I \text{ (AT)}$$

٨ - الممانعة المغناطيسية R_{mag} :- تعرف الممانعة المغناطيسية بأنها النسبة بين القوة الدافعة المغناطيسية والتدفق المغناطيسي وتحسب من العلاقة .

$$R_{mag} = \frac{m.m.f}{\Phi} = \frac{N.I}{\Phi} \text{ AT/wb}$$

ويمكن حساب الممانعة من علاقة أخرى هي :-

$$R_{mag} = \frac{L}{\mu A}$$

حيث :-

L : طول المسار للفيض المغناطيسي

A : مساحة المقطع العرضي للموصل

μ : معامل النفاذ (نوع الوسط)

ثالثاً :- الدوائر الكهربائية والدوائر المغناطيسية : (التشابه والاختلاف) :

تتكون الدائرة المغناطيسية من مسارات للفيض المغناطيسي وهذه المسارات يمكن أن تكون توالي او توازي .

الدائرة المغناطيسية	الدائرة الكهربائية
ق.د.م m.m.f	ق.د.ك. e.m.f
$R_{mag} = \frac{L}{\mu A}$ الممانعة المغناطيسية	$R = \frac{\rho L}{A}$ المقاومة الكهربائية
$\Phi = \frac{m.m.f}{R_{mag}}$ التدفق المغناطيسي	$I = \frac{E}{R}$ التيار الكهربائي
$B = \frac{\Phi}{A}$ كثافة التدفق	$J = \frac{I}{A}$ كثافة التيار

الفروقات :-

١. يمر التيار الكهربائي في أسلاك ومن حدوث تسرب، بينما في الدائرة المغناطيسية يحدث تسرب للتدفق المغناطيسي .
٢. ليس كل مادة موصلة للكهرباء مواد مغناطيسية، بل المواد جيدة التوصيل مثل الفضة والالمنيوم والنحاس غير مغناطيسية.
٣. المقاومة الكهربائية ثابتة عند درجة الحرارة الواحدة اما المقاومة المغناطيسية فهي ليست ثابتة بسبب تغير معامل النفاذ النسبي للمادة الواحدة .

مثال // إطار من الحديد على شكل مستطيل أبعاده 20×30 سم ، ومساحة مقطعه على شكل مربع طول ضلعه ٥ سم ، ملفوف على أحد جانبي الإطار ملف عدد لفاته ٢٥ ومقاومته ٢ أوم ويغذى من منبع جهد مستمر ٢٤ فولت . فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الإطار ٠.٠٠٨ تسلا ، احسب : التيار في الملف ، شدة المجال المغناطيسي ، التدفق المغناطيسي .

الحل // يوضح الشكل التالي الدائرة المغناطيسية، بفرض ان طول ظلعي المستطيل هما X, Y , يمكن حساب طول المسار المغناطيسي المتوسط L من العلاقة الآتية :-

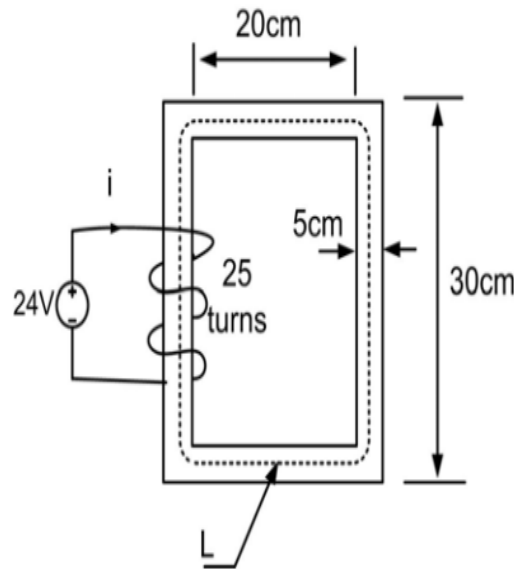
$$L = 2 * ((x - 0) + (y - 0)) = 2 * (20 + 30) = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$N = 25 \text{ turns} \quad R = 2 \Omega \quad V = 24 \text{ V} \quad B = 0.008 \text{ tesla} \quad A = (0.20 * 0.30) = 0.06 \text{ m}^2$$

$$i = \frac{V}{R} = \frac{24}{2} = 12 \text{ A}$$

$$H = \frac{Ni}{L} = \frac{25 * 12}{1} = 300 \text{ A/m}$$

$$\Phi = BA = 0.008 * 0.06 = 4.8 * 10^{-4} \text{ wb}$$



مثال // حلقة من المعدن قطرها المتوسط ٥٠ سم ومساحة مقطعها ٣ سم ٢. ملفوف عليها ملف عدد لفاته ٦٠٠ ويمر به تيار مقداره ٢ أمبير . فإذا كان معامل النفاذ النسبي للمعدن ١٥٠٠ , احسب :

١ - الممانعة المغناطيسية للحلقة

٢ - القوة الدافعة المغناطيسية وكذلك شدة المجال المغناطيسي

٣ - التدفق المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي

الحل // بفرض أن d يمثل القطر المتوسط للحلقة ، فمنه يمكن حساب طول المسار المغناطيسي المتوسط L_{av} من العلاقة

$$L_{av} = \pi d = \pi * 0.01 = 0.0314 \text{ m}$$

$$A = 3 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \mu_r = 1500 \quad \mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \quad N = 600 \quad I = 2 \text{ A}$$

$$1- R_{mag} = \frac{L_{av}}{\mu_r \mu_0 A} = \frac{0.0314}{1500(4\pi * 10^{-7})(3 * 10^{-4})} = 2.78 * 10^6 \text{ At/wb}$$

$$2- \text{mmf} = NI = 600 * 2 = 1200 \text{ At}$$

$$H = \frac{\text{mmf}}{L_{av}} = \frac{1200}{0.0314} = 38216.56 \text{ At/m}$$

$$3- \Phi = \frac{\text{mmf}}{R_{mag}} = \frac{1200}{2.78 * 10^6} = 4.32 * 10^{-4} \text{ wb}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{4.32 * 10^{-4}}{3 * 10^{-4}} = 1.44 \text{ tesla}$$

المبادئ الأساسية لمكائن التيار المستمر

الاختبار القبلي : -

س ١: يُصنع قلب العضو الثابت (Stator) أو أقطاب المجال في مكائن التيار المستمر من:

(أ) النحاس

(ب) الحديد المطاوع أو رقائق الصلب

(ج) الألومنيوم

(د) الكربون

س ٢: الوظيفة الأساسية للمبدل (Commutator) في مولد التيار المستمر هي:

(أ) زيادة الجهد الكهرومغناطيسي

(ب) تحويل التيار المتناوب المتولد في العضو الدوار إلى تيار مستمر

(ج) خفض درجة حرارة الماكينة

(د) حماية الماكينة من الحمل الزائد

س ٣: تُصنع الفرش الكربونية (Carbon Brushes) في مكائن التيار المستمر من الكربون أو الجرافيت لأنها:

(أ) ذات مقاومة عالية جداً

(ب) ذات معامل احتكاك منخفض وخاصة تزييت ذاتي

(ج) تتحمل الصدمات الميكانيكية العالية

(د) تزيد من قيمة التيار الناتج

س ٤: يتم تقليل خسائر التيار الدويمي (Eddy Current Losses) في مكائن التيار المستمر عن طريق:

(أ) استخدام نحاس عالي التوصيل

(ب) جعل قلب العضو الدوار مقسماً إلى رقائق معزولة (Laminated Core)

(ج) زيارة عدد الفرش الكربونية

(د) زيادة سرعة دوران الماكينة

س٥: في محرك التيار المستمر ذو التوازي (DC Shunt Motor)، تكون ملفات المجال:

- (أ) متصلة بالتوالي مع ملفات المنتج ومصنوعة من سلك سميك
- (ب) متصلة بالتوازي مع ملفات المنتج ومصنوعة من سلك رفيع وعدد لفات كبير
- (ج) غير متصلة كهربائياً بالمنتج
- (د) متصلة بفرش كربونية منفصلة

س٦: يُستحسن عدم تشغيل محرك التيار المستمر التوالي (DC Series Motor) بدون حمل (No-Load) لأن:

- (أ) تيار المنتج سينخفض إلى الصفر فوراً
 - (ب) سرعته ستزداد إلى مستويات خطيرة جداً
 - (ج) اتجاه دورانه سيعكس تلقائياً
 - (د) ملفات المجال ستترسب عليها الحرارة وتحترق
- س٧: التفاعل الكهرومغناطيسي الذي يحدث عندما يؤثر المجال المغناطيسي للمنتج على المجال المغناطيسي الرئيسي يسمى:

- (أ) ظاهرة الانزلاق (Slip)
 - (ب) رد فعل المنتج (Armature Reaction)
 - (ج) ظاهرة الظل (Shading Effect)
 - (د) التبديل الكهرومغناطيسي (Commutating Zone)
- س٨: القوة الدفع الكهربائية المعاكسة (Back EMF) في محرك التيار المستمر تكون:

- (أ) متناسبة طردياً مع السرعة والفيض المغناطيسي
 - (ب) متناسبة عكسياً مع السرعة والفيض المغناطيسي
 - (ج) مستقلة تماماً عن سرعة الدوران
 - (د) تساوي دائماً جهد المصدر المطبق
- س٩: للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر عن طريق تغيير الفيض المغناطيسي (Flux Control)، يتم إضافة مقاومة متغيرة:

- (أ) بالتوالي مع ملفات المنتج
- (ب) بالتوازي مع مصدر الجهد الرئيسي
- (ج) بالتوالي مع ملفات المجال (د) بين الفرش الكربونية والمبدل

س ١٠ : يُستخدم محرك التيار المستمر المركب التراكمي (Cumulative Compound DC Motor) عادة في التطبيقات التي تطلب:

(أ) سرعة ثابتة تماماً عند جميع الأحمال

(ب) عزم بدء تشغيل عالٍ مع تنظيم مقبول للسرعة

(ج) تيار بدء تشغيل منخفض جداً

(د) تشغيل بدون فرش كربونية

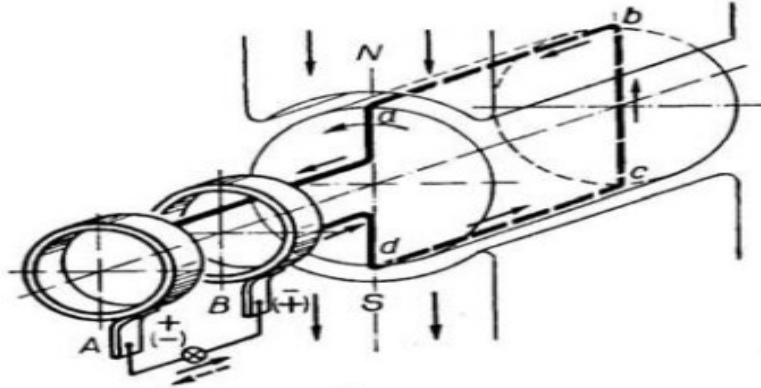
أولاً: المبادئ الأساسية لمكائن التيار المستمر

١ – مولدات التيار المستمر (DC Generators)

تستخدم مولدات التيار المستمر للحصول على جهد ثابت القيمة . وتعتبر تلك الآلات من أول الآلات الكهربائية التي تم تصنيعها للحصول على مصدر للطاقة الكهربائية، حيث استخدمت في البداية لأغراض الإضاءة ثم امتدت استخداماتها بعد ذلك لتشمل تغذية شبكات التيار المستمر المستخدمة في القطارات الكهربائية . كما تستخدم مولدات التيار المستمر أيضاً في محطات توليد الطاقة الكهربائية وذلك لتغذية المجال لمولدات التيار المتردد . وعلى الرغم من استخدام التيار المتردد الآن في التوليد والنقل والتوزيع إلا أنه لا تزال آلات التيار المستمر تستخدم في كثير من الصناعات . وتعتمد فكرة عمل المولدات على تجربة فارادي الشهيرة .

٢ – أسس تشغيل مولدات التيار المستمر

يقوم مولد التيار المستمر بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، ويتم ذلك عند إدارة المولد بسرعة محددة بواسطة أي بادئ حركة كمحرك كهربائي ، محرك ديزل ، توربينة غازية أو بخارية أو مائية . ويعتمد عمل المولد أساساً على قانون فارادي للحث المغناطيسي والذي ينص على : تولد قوة دافعة كهربائية (جهد كهربائي) بين طرفي موصل عندما يقطع هذا الموصل خطوط مجال مغناطيسي – أي تتولد قوة دافعة كهربائية عندما توجد حركة نسبية بين الموصل وخطوط الفيض المغناطيسي ويتم ذلك عندما يكونا متعامدين – أما إذا كانا غير متعامدين فإن المركبة المتعامدة فقط هي المسؤولة عن توليد الجهد ، ولتوضيح كيفية توليد جهد نتيجة حركة موصل في مجال مغناطيسي ، تفرض أن لدينا لفة من السلك (abcd) موضوعة بين قطبين مغناطيسيين أحدهم شمالي (N) والآخر جنوبي (S) كما هو موضح بالشكل التالي :



المجال الناتج
مجال

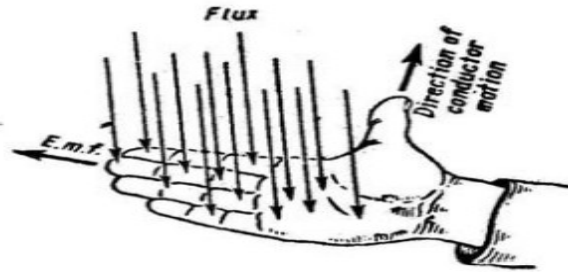
وبفرض أن
عن الأقطاب

مغناطيسي منتظم التوزيع ، وكل طرف من نهايتي اللفة موصل مع حلقة انزلاق أطرافها موصل عليها لمبة إضاءة ، عند إدارة اللفة حول محورها فإن جانبي الملف يقطع خطوط القوى المغناطيسية ، ويتولد قوة دافعة كهربية في كل من جانبي اللفة تتسبب في توهج اللبة وتحسب القوة الدافعة الكهربائية من المعادلة الآتية :

$$e = BLv$$

حيث B (wb/ m^2) كثافة الفيض المغناطيسي ، L (m) طول اللفة بالمتر ، v (m/sec) السرعة الخطية التي تتحرك بها اللفة ، والقوة الدافعة المتولدة (e) في هذه الحالة تعطى بالفولت (volt) . ويكون اتجاهها للموصل (ab) كأنه داخل إلى الورقة وللموصل (cd) كأنه خارج من الورقة حسب قاعدة فلمنج لليد اليمنى كما في شكل التالي :

الشكل

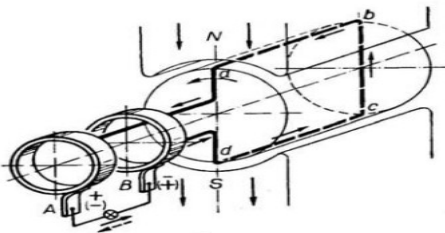


في وضع اللفة (abcd) كما في التالي :

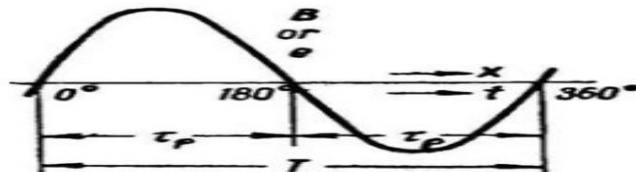
وتتولد
الزاوية
أخرى
ولا يتولد
الدوران

فإنها تتشابك مع خطوط المجال
قوة دافعة كهربية عظمى (عند
°٩٠) وعند دوران اللفة بمقدار °٩٠
فإنها تصبح موازية للمجال ولا تقطعه
جهد كهربائي عند هذه اللحظة ، عند

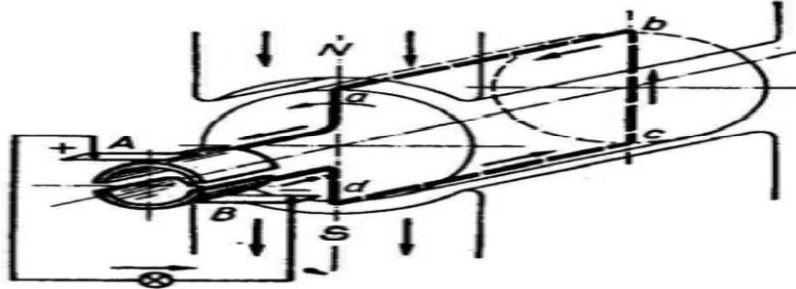
°٩٠ أخرى فإن المجال يكون عمودي على اللفة ويتعكس الوضع وتتولد قوة دافعة سالبة عند الزاوية °٢٧٠ وهكذا تتكرر العملية ، ويلاحظ أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة هي قوة دافعة ذات شكل جيبي (sinewave) كما في الشكل التالي :



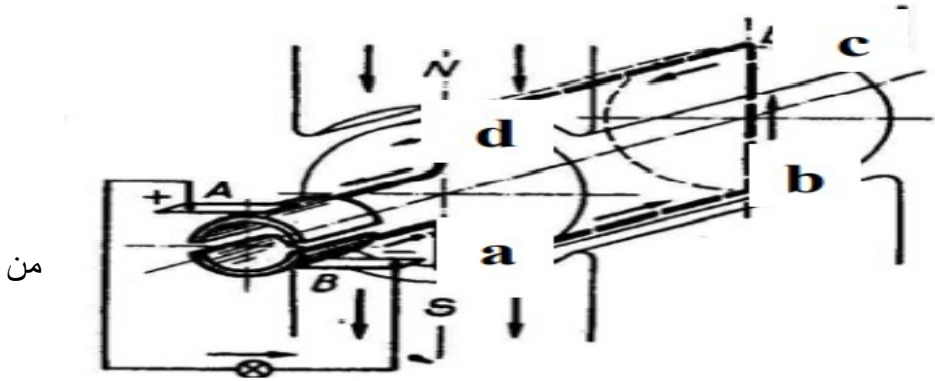
وتكون متغيرة القيمة والاتجاه (جهد متردد) وللحصول على قوة دافعة كهربائية لا تتغير مع الزمن (DC) يجب أن يتم توحيد الموجة الجيبية قبل خروجها واستخدامها . يتم ذلك باستبدال حلقتي الانزلاق إلى حلقة انزلاق مكونة من قطعتين معزولتين (أسطوانة مشطورية إلى جزئين بينهما عازل) A , B ، حيث تكون الفرشة الموجبة ملامسة لحلقة الانزلاق A كما في الشكل التالي :



وبعد دوران اللفة (abcd) ١٨٠ درجة ، كما في شكل التالي :



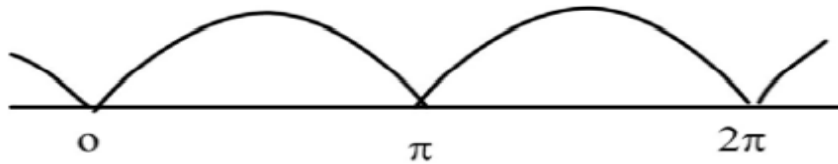
تكون الفرشة الموجبة ملامسة لحلقة الانزلاق B ، ويوضح في الشكل التالي :

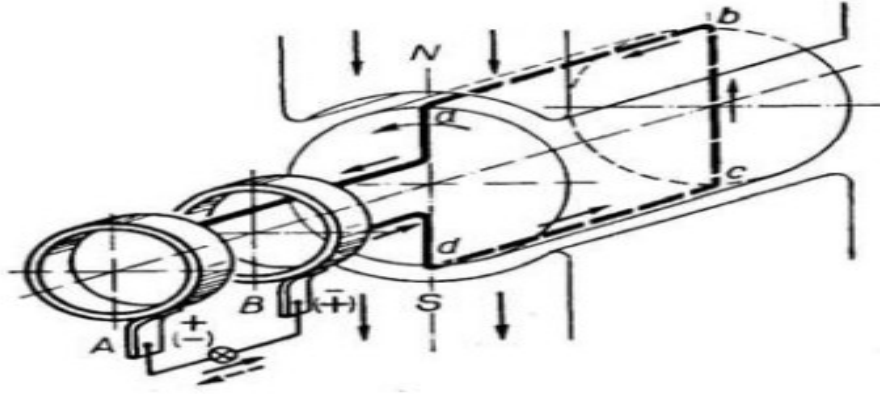


من

أن نصف
الموجة
الموجب هو
صفر إلى ١٨٠
درجة ، بينما
نصف الموجة

السالبة من ١٨٠ درجة إلى ٣٦٠ درجة قد انعكس وأصبح موجبا نتيجة وجود حلقة الانزلاق المنشطرة والتي تعمل كعضو توحيد بدلا من حلقتين منفصلتين كما في الشكل التالي :



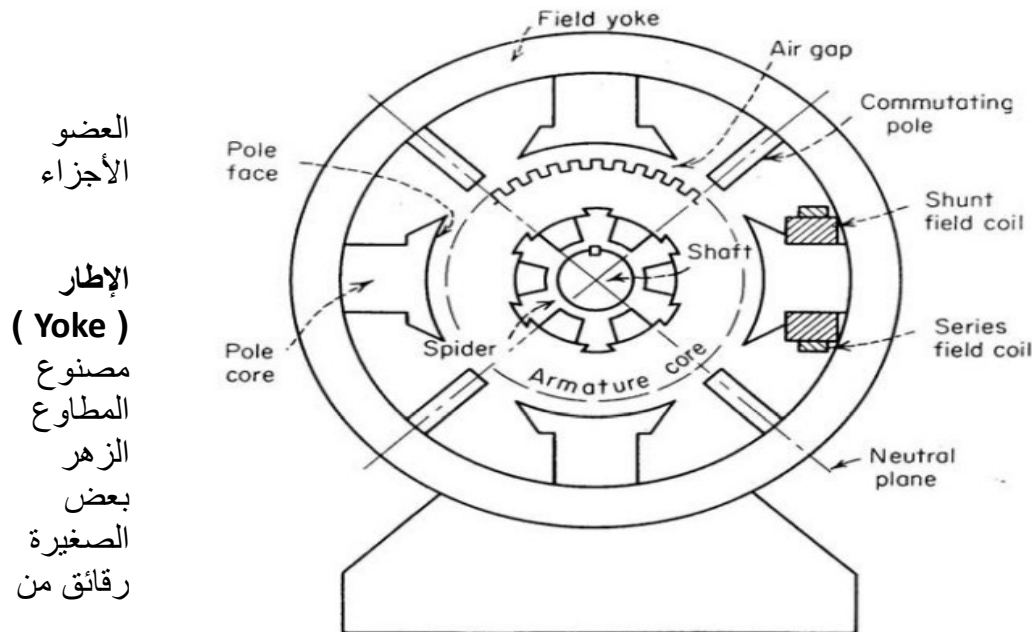


وبهذه الكيفية
يتم الحصول
على جهد
موحد الاتجاه
(مستمر) ولكن
قيمته غير ثابتة
. وللحصول
على جهد ثابت
القيمة يمكن

استخدام أكثر من لفة وتوزيعها على محيط الآلة كما سيتضح فيما بعد ، وهذه الطريقة لتوليد الجهد تم بناء عليها بناء آلة التيار المستمر .

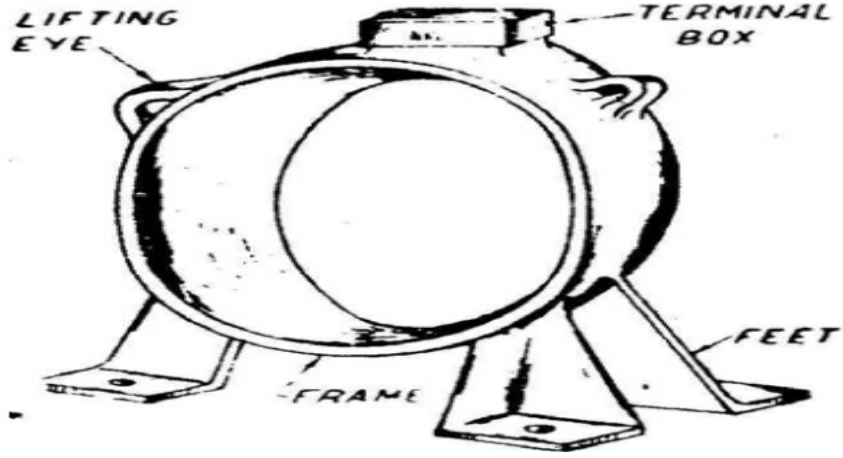
ثانياً : الاجزاء الرئيسية للمكائن

تتكون آلة التيار المستمر من جزئين رئيسيين ، العضو الثابت وهو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي والعضو الدوار ويسمى عضو الإنتاج أو المنتج ، وفيه تتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وتولد به القوة الدافعة الكهربائية . يفصل العضو الدائر عن العضو الثابت الثغرة الهوائية ، ويوضح الشكل التالي رسم تخطيطي لآلة التيار المستمر :-



يتكون
الثابت من
الآتية
- ١ -
الخارجي
: وهو
من الحديد
أو الحديد
وفي
الآلات
يصنع من

الصلب ، ووظيفته يعمل كمسار لاستكمال الدائرة المغناطيسية وكذلك يتم تثبيت الأقطاب به ، ويوضح الشكل التالي الإطار الخارجي لآلة تيار مستمر:



٢ - **الأقطاب الرئيسية (Main poles)** : وتصنع من رقائق من الصلب ويتم تثبيتها في الإطار الخارجي ويركب عليها واجهة للقطب تسمى **بحذاء القطب (Pole face or shoe)** يعمل على توزيع وانتظام خطوط الفيض في الثغرة الهوائية ، ويوجد حول الأقطاب الرئيسية ملفات المجال (Field coils) وتنقسم إلى نوعين : **ملفات توازي (shunt field coil) وملفات توالي (series field coil)** ، وهذه الملفات المسؤولة عن توليد المجال المغناطيسي عند مرور تيار بها ، وتلف هذه الملفات حول القطب نفسه وليس حول واجهة القطب ، وتصنع ملفات المجال إما من أسلاك نحاسية معزولة أو شرائح نحاسية كما في الآلات الكبيرة ، ويوضح الشكل التالي رسم تخطيطي لقطب موضوع حوله ملفات المجال:-

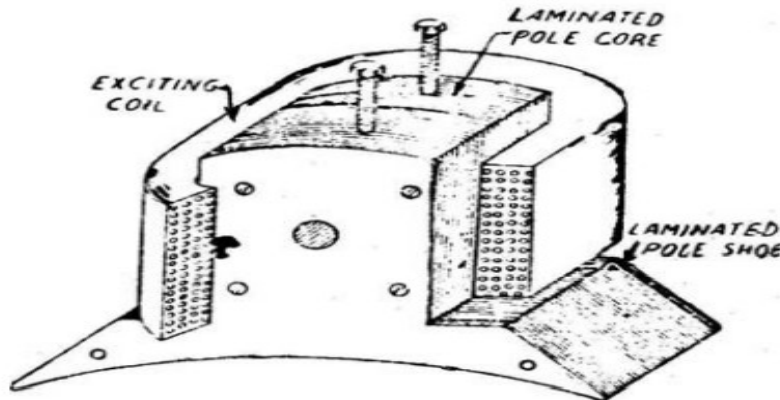
٣ - **أقطاب التوحيد (Commutating poles)** : تشبه الأقطاب الرئيسية ولكن حجمها أقل وتوجد هذه الأقطاب عادة في الآلات كبيرة الحجم (أكبر من ٢ كيلوواط) ، وتوضع في المسافة بين الأقطاب الرئيسية وتثبت في الإطار الخارجي ، وملفوف حولها ملفات تسمى بملفات التوحيد والغرض منها تقليل المشاكل

عملية
المنتج .

الدائر (
 فيتكون

التي تصاحب
التوحيد في

أما العضو
(المنتج
من التالي



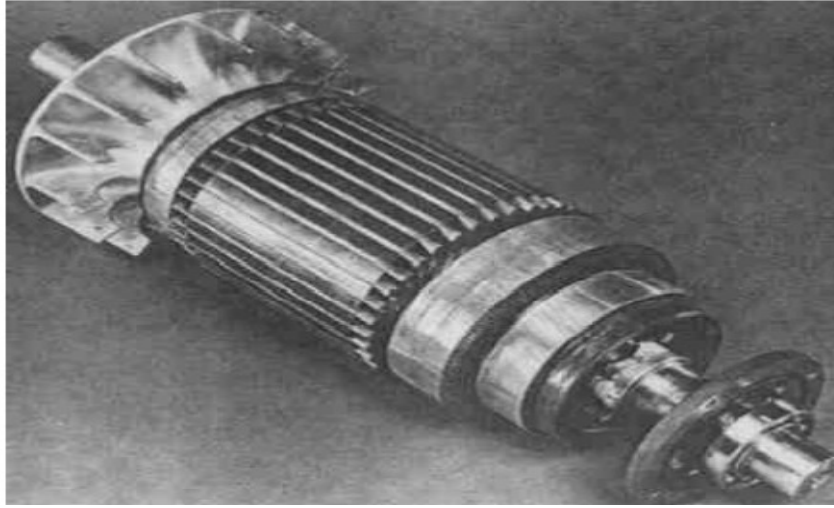
١ - قلب المنتج (Armature core) : وهو جزء أسطواني مصنوع من رقائق من الصلب مضغوطة مع بعضها ومعزولة كهربيا بواسطة طبقة رقيقة من الورنيش ، وذلك لتقليل التيارات الدوامية . يوجد على محيط المنتج مجاري يوضع بها ملفات المنتج أيضا يركب مروحة على عمود الإدارة للتبريد ، كما هو موضح في الشكل التالي :

٢ - ملفات المنتج (Armature windings) : عبارة عن مجموعات متعددة والملف الواحد عبارة عن

وضعها
وتثبت

عوازل
القوة
أثناء
تخرج
توليد

الملفات
الحمل



مجموعة من
الموصلات ويتم
في مجاري المنتج ،
الملفات داخل
المجاري بواسطة
وذلك لحمايتها من
الطاردة المركزية
الدوران وحتى لا
من المجاري ، ويتم
القوة الدافعة
الكهربائية في هذه
وهي التي تحمل تيار

(التيار)

٣ - الموحد (مبدل)

(Commutator) : يعمل على تحويل التيار المتردد المتولد في ملفات المنتج إلى تيار موحد الاتجاه في الدائرة الخارجية ، وهو أسطواني الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلب المسحوب معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة جيدة (الميكا) ، مثبت عضو التوحيد على عمود الدوران للآلة ويتلامس مع سطحه العلوي فرش كربونية ، ويتم توصيل جميع أطراف ملفات المنتج على الموحد كهربائيا .

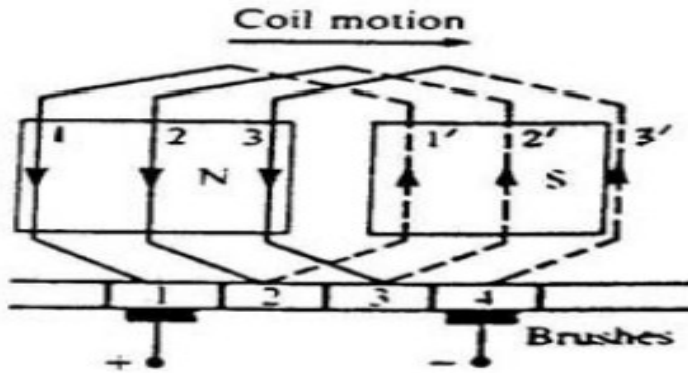
٤ - حامل الفرش الكربونية (Brushes holder) : مثبت في الإطار الخارجي للآلة ويحمل الفرش الكربونية التي تلامس السطح الخارجي للموحد وتعمل على تجميع التيار الكهربائي وتوصيله للدائرة الخارجية (الحمل) وعادة عدد الفرش يساوي عدد الأقطاب الرئيسية ، وتوصل مع بعضها لتكون مجموعة موجبة وأخرى سالبة .

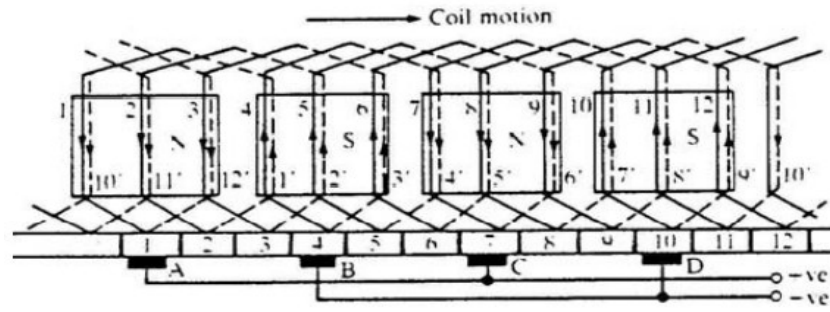
ثالثاً : طرق لف المنتج (Armature winding)

تمثل ملفات المنتج أحد الأجزاء الرئيسية في آلة التيار المستمر وتوضع الملفات في مجاري المنتج ويراعي أن يكون توزيعها منتظم حول محيط المنتج وهذه الملفات توصل مع بعضها إما بالتوازي وذلك لزيادة الجهد الكهربائي أو بالتوالي لزيادة التيار المار بها تكون ملفات المنتج دائرة مغلقة متصلة مع الدائرة الخارجية بواسطة الفرش الكربونية ، يجب أن تكون المسافة بين جانبي الملف مساوية للخطوة القطبية -وهي المسافة بين مركزي قطبين في الآلة - ويلاحظ أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في موصلين بينهما مسافة تساوي الخطوة القطبية تكون معكوسة في أحدهم عن الآخر ، ويتم لحام أطراف الملفات مع أجزاء الموحد (commutator segments) ، وحسب طريقة التوصيل المتبعة فإنه يوجد هناك نوعان من اللف تستخدم بكثرة في لف المنتج :-

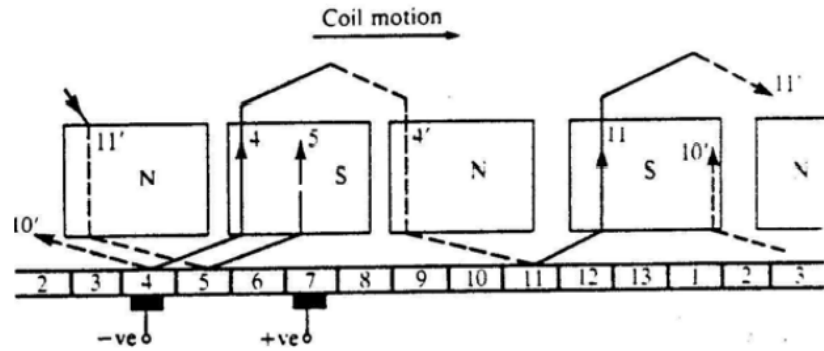
- **اللف الانطباقي (Lap winding) :** في هذا النوع من اللف يوصل طرفا كل ملف إلى قطعتين موحد متجاورتين كما هو موضح في الشكل التالي :

كما يوضح الشكل أيضا طريقة توصيل ثلاث ملفات مع بعضهما (ملفات ١'٢'٣) توصل نهاية الملف ١ مع بداية الملف ٢ وتوصل نهاية الملف ٢ مع بداية الملف ٣ وهكذا وتوصل نهاية آخر ملف مع بداية أول ملف مكونا بذلك دائرة مغلقة . ومن المهم ملاحظته أن نهاية أي لفة وبداية اللفة التابعة يقعا تحت قطبين مختلفين في القطبية . تقسم الملفات في حالة اللف الانطباقي إلى عدد من المسارات المتوازية المتماثلة يساوي عدد الأقطاب في الآلة . كما يوضح الشكل التالي اللف الكامل لآلة عدد أقطابها أربعة وعدد المجاري الكلية اثنتي عشر مجرى :





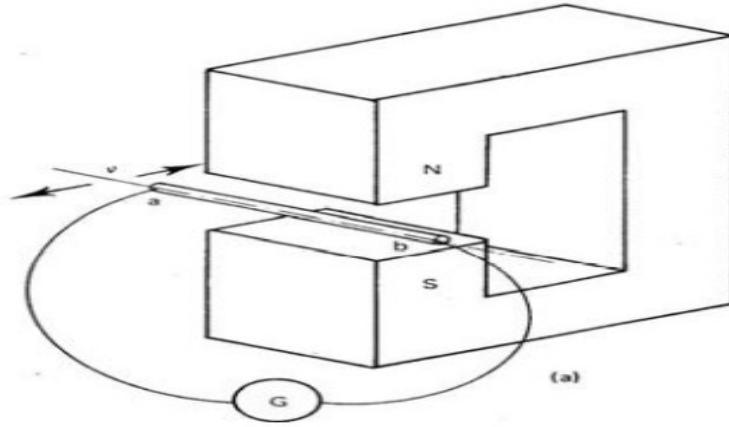
- **اللف التموجي (Wave winding)** : تختلف طريقة توصيل أطراف الملفات مع الموحد في هذا النوع من اللف عن النوع الانطباقي ، إذ تنتشأ أطراف الملفات إلى الخارج ويوصل طرفا كل ملف بقطعتين من الموحد بينهما عدد محدود من القطع ، ويطلق على هذا العدد اسم خطوة الموحد (commutator pitch) كما هو موضح في الشكل التالي :



وعدد المسارات المتوازية في حالة اللف التموجي اثنين فقط ، يحتوى كل منهما على نصف عدد الملفات الكلية.

معادلة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

يمكن الحصول على قوة دافعة كهربائية بالتأثير الكهرومغناطيسي ديناميكيًا وذلك **بتحريك موصل بالنسبة لمجال مغناطيسي أو تحريك المجال المغناطيسي بالنسبة للموصل** ، فمثلا عندما يتحرك موصل طوله L (m) في مجال مغناطيسي منتظم كثافة خطوطه B (tesla) بسرعة مقدارها v (m / sec) **باتجاه عمودي على خطوط المجال** كما في الشكل التالي :



تتولد على طرفي الموصل قوة دافعة كهربائية مقدارها e (volt) تبعا لقانون فارداي بحيث يكون :

$$1 - e = Bl_v \text{ volt}$$

وباعتبار ان نصف قطر المنتج r meter فيمكن حساب السرعة من العلاقة الآتية:

$$2 - v = \omega r = \frac{2\pi n}{60} r$$

حيث n (rpm) هي سرعة الدوران لفة/دقيقة، ω (rad/sec) هي السرعة الزاوية (المحيطية) ويحسب كثافة المجال المغناطيسي تحت القطب من العلاقة التالية :

$$3 - B = \frac{\phi}{A} = \frac{\phi}{2\pi r l / 2p}$$

حيث A هي المساحة تحت القطب، بالتعويض بالمعادلة (رقم ٢) والمعادلة (رقم ٣) في المعادلة (رقم ١) نحصل على القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في موصل موضوع تحت قطب كالتالي :

$$4 - e = \frac{\phi 2p}{2\pi r l} l \frac{2\pi n}{60} r$$

يمكن تبسيط المعادلة (رقم ٤) كالتالي :

$$5 - e = \phi \frac{2pn}{60}$$

وإذا كان عدد الموصلات الكلية هو Z_a وعدد دوائر التوازي $2a$ فإن القوة الدافعة الكلية المتولدة في المنتج تحسب من العلاقة الآتية :

$$6 - E_a = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

مثال // مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٦ وعدد الموصلات الكلية ٢٥٠ ، ملفوف لفا تموجيا ويدور عند سرعة ١٢٠٠ لفة / دقيقة ، فإذا كان الفيض لكل قطب ٤ ميغا خط ، أوجد القوة الدافعة الكهربائية .

الحل $\Phi = 4 \text{ megalines/pole}$ $n = 1200 \text{ rpm}$ $Z_a = 250$ $\alpha = 2$ [wave winding] $p = 6$ $\Phi = 4 \times 10^6 \times 10^{-8} = 0.04 \text{ wb/pole}$

$$E_a = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$E_a = \frac{6}{2} * 0.04 * 250 * \frac{1200}{60} = 600 \text{ volt}$$

مثال // مولد تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٩٦٠ ، ملفوف لفا انطباقيا ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفة / دقيقة . فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ٢٢٠ فولت ، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب .

الحل $E_a = 220 \text{ V}$ $n = 600 \text{ rpm}$ $Z_a = 960$ $\alpha = 2$ [lap winding] $p = 8$

$$E_a = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$220 = \frac{8}{8} * \phi * 960 * \frac{600}{60}$$

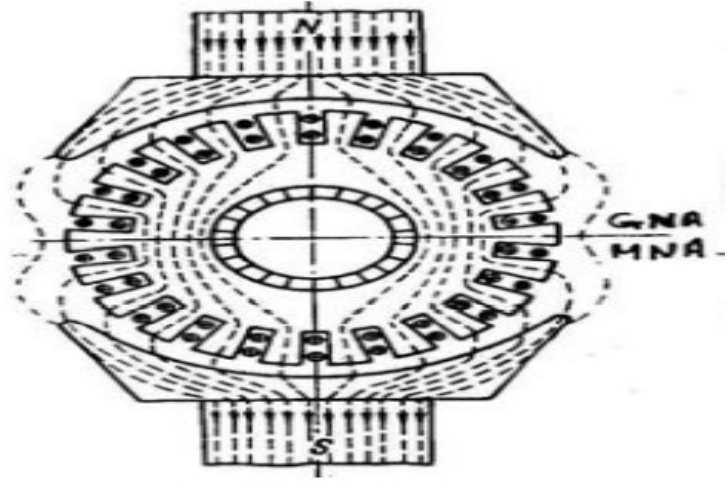
$$\Phi = 220 * 60 / (600 * 960) = 0.023 \text{ wb/pole}$$

رد فعل المنتج (Armature Reaction)

عند دوران المنتج في مجال الأقطاب الرئيسية ، فإنه يتولد قوة دافعة كهربائية نتيجة لقطع المنتج الخطوط المجال المغناطيسي كما سبق شرحه مسبقا ، وعند تحميل الآلة ، أي عندما تعطي الآلة تيارا الى الدائرة الخارجية الموصلة إلى أطرافها ، فإن تيار الحمل هذا يمر في ملفات المنتج ، وينشأ عن مرور التيار ملفات المنتج تأثيرات مغناطيسية حول هذه الملفات يمكن جمعها في مجال مغناطيسي محصل ، وهذا المجال المغناطيسي المحصل لملفات المنتج يمثل ما يعرف بـ **رد فعل المنتج** وعلى حسب قانون لنز (Lenz Law) ينتج من تفاعل المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات المنتج مع المجال المغناطيسي الأصلي في الآلة عزم دوران مضاد لعزم دوران الآلة المحركة ، وهي التي تقوم بإمداد الآلة بالقدرة الميكانيكية ، التي تتحول بفعل مرور التيار في الدائرة الخارجية إلى قدرة كهربائية .

يعمل المجال الناشئ عن ملفات المنتج على إضعاف مجال الأقطاب الرئيسية وعدم انتظامه وبذلك نجد أن محور التعادل والذي يكون موضوع عليه الفرش تغير وضعه ويترتب على ذلك حدوث شرار كهربائي بين المنتج والفرش ، وهذا الشرار يعمل على تآكل الفرش ، وليس رد فعل قاصر على ذلك بل له أيضا تأثيرات أخرى . ولتوضيح تأثير رد فعل المنتج ، يجب أن نفهم أولا توزيع المجال الناشئ عن الأقطاب الرئيسية وعن المنتج ، يوضح الشكل

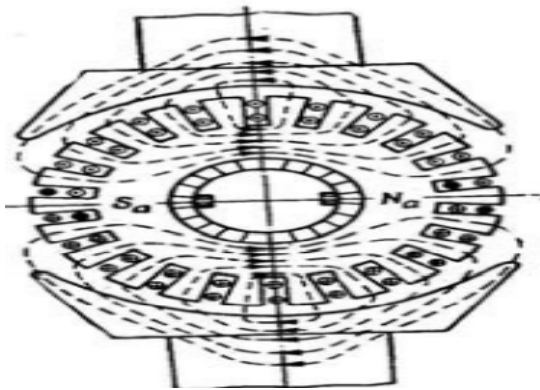
خطوط الفيض
الناشئ عن
للأقطاب وذلك
عدم مرور تيار



(رقم ١) توزيع
المغناطيسي
المجال الرئيسي
عند اللاحمل)
في المنتج (:

(1)

مغناطيسية
إلى أسفل ،
من أعلى إلى
الجنوبي (.
محور التعادل
التعادل



نجد أنه يتولد قوة دافعة
(M.M.F) يكون اتجاهها عمودي
حيث إن خطوط المجال اتجاهها
أسفل (أي من القطب الشمالي إلى
يلاحظ أيضا في هذه الحالة انطباق
الهندسي (G.M.A) مع محور
المغناطيسي (M.N.A).

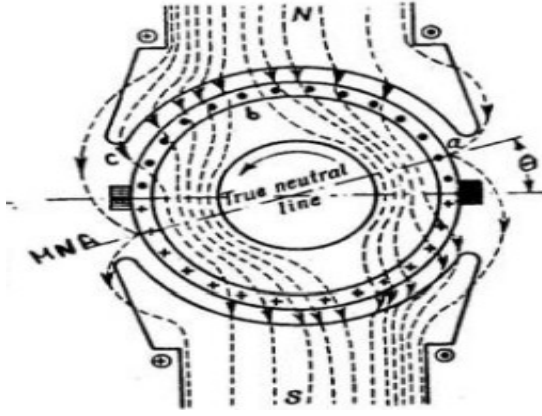
المغناطيسي

يبين الشكل (رقم ٢) المجال

الناشئ عن ملفات المنتج تحت قطبين في الآلة وذلك عند عدم تغذية ملفات :

(2)

مقاطع
تعني التيار
أن علامة x
رسم المجال
ويلاحظ أننا
المغناطيسية
كل قطب
قيمة لها عند



تمثل الدوائر الصغيرة الرسم
الموصلات ، والنقط بداخل الدائرة
من الصفحة إلى الخارج ، في حين
تعني العكس . وبناءً على ذلك يمكن
المغناطيسي حول الموصلات ،
إذا اعتبرنا أن القوة الدافعة
لملفات المنتج صفراً عند منتصف
فإنها تزداد تدريجياً حتى تبلغ أقصى
خط التعادل بين القطبين ، ويكون اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية (M.M.F_a) من اليسار إلى
اليمين في اتجاه أفقياً .

وفي الواقع لا يمكن أن يعطي المنتج تيار دون تغذية ملفات المجال وبناءً على ذلك
يمكن أن نحصل على توزيع المجال نتيجة وجود المجالين معا ، مجال ملفات الأقطاب ومجال
ملفات المنتج ، كما هو موضح بالشكل (رقم ٣) :

(3)

ويلاحظ أن القوة الدافعة المغناطيسية المحصلة للمجالين ($M.M.F_t$) قد أزيحت بزاوية θ بالنسبة لمجال الأقطاب الرئيسية ($M.M.F_f$) ونتيجة لذلك ، ينتقل محور التعادل المغناطيسي ($M.N.A$) بنفس الزاوية بالنسبة لمحور التعادل الهندسي ($G.M.A$) . ويتضح من الشكل (رقم ٣) أن خطوط الفيض تختلف عن تلك التي في الشكل (رقم ١) . كما أن الفيض الكلي لكل قطب قد انقسم إلى نصفين خلال المسافة (ab) ، ومقارنة بالشكل (رقم ١) نجد أن **كثافة الفيض في الثغرة الهوائية قد انخفض في تلك المساحة تحت القطب** ، وخلال (bc) نجد أن الفيض ركز في هذه المنطقة أسفل القطب مما يزيد من كثافة الفيض في هذه المنطقة عنه كما في الشكل (رقم ١) .

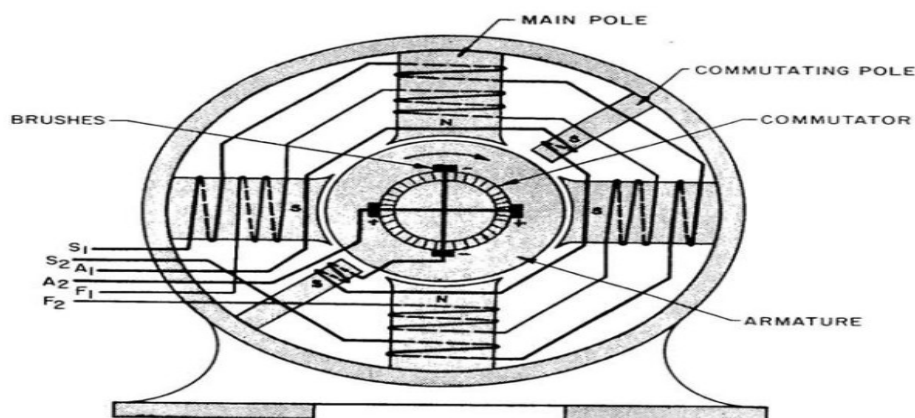
وخلاصة القول:- فإن تأثير رد فعل المنتج قد شوه من توزيع خطوط المجال في الثغرة الهوائية ، وهذا يعني أن رد فعل المنتج يعمل على **إعادة** توزيع خطوط القوى المغناطيسية على طول الخطوة القطبية فتصبح **مزدحمة** على إحدى ناحيتي القطب ، و**قليلة** على الناحية الأخرى ، بعد أن كان توزيعها **متساويا** على الناحيتين ، وهذا يؤدي بالتالي إلى تخفيض قيمة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية مع الحمل (مع وجود رد فعل المنتج) عن القيمة الأصلية بدون حمل ، ولذلك يجب أن نأخذ في الحساب أن **التأثير المغناطيسي المتعاود لرد فعل المنتج سوف يؤدي بطريق غير مباشر إلى حدوث ظاهرة يطلق عليها اسم التأثير المغناطيسي المعاكس (Demagnetizing effect) حيث يظهر تأثير مغناطيسي معاكس يعمل على تقليل قيمة الفيض المغناطيسي تحت الأقطاب .**

ويمكن تلخيص أضرار رد فعل المنتج في الآتي :-

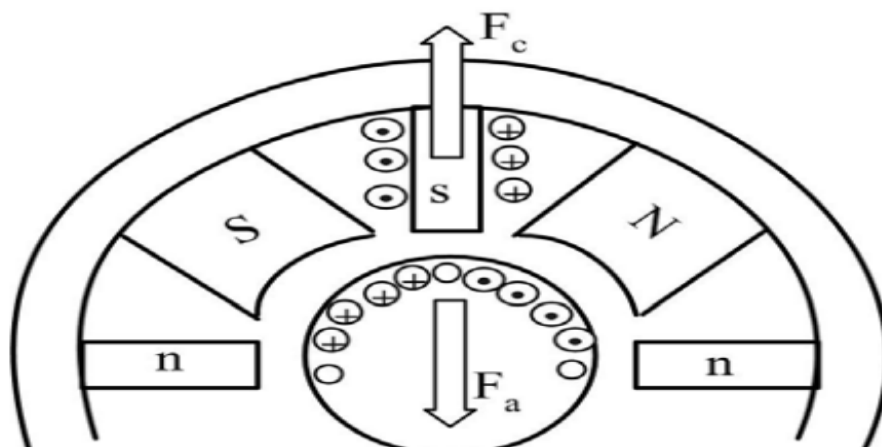
- حدوث شرار بين عضو التوحيد والفرش نتيجة لتغير موضع محور التعادل المغناطيسي ، مما يستدعى تقديمها دائما أثناء الدوران .
- ارتفاع درجة الحرارة في المنتج لدرجة يخشى منها على صهر المادة العازلة للملفات .

- إضعاف المجال المغناطيسي للأقطاب مما يسبب تقليل القوة الدافعة المغناطيسية وبالتالي القوة الدافعة الكهربائية المتولدة .

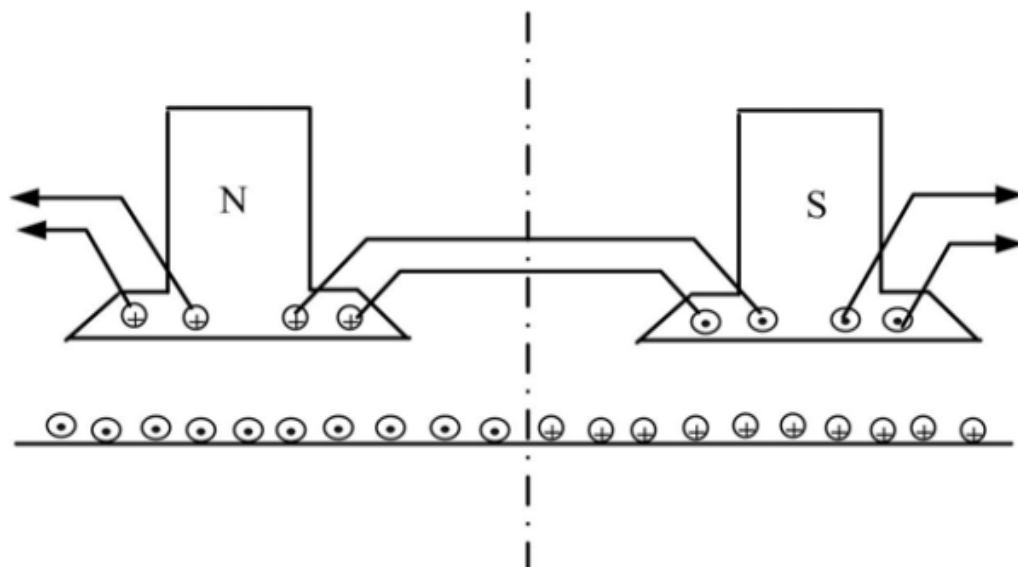
يمكن تقليل رد فعل المنتج عن طريق استخدام **أقطاب مساعدة** أو **ملفات التعويض** . توضع الأقطاب المساعدة بين كل قطبين رئيسيين ووظيفتها أن تعطي مجال مغناطيسي مضاد للمركبة الأفقية للمنتج فلو كان المجالان متساويان وعكس بعضهما لأمكن تلاشي رد فعل المنتج ، **ولذلك** توصل ملفات الأقطاب المساعدة بالتوالي مع ملفات المنتج حتى تتناسب القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة مع تيار المنتج ، ويوضح الشكل التالي طريقة توصيل ملفات الأقطاب المساعدة مع المنتج :



أما شكل التالي فيوضح اتجاه كلا من القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة عن الأقطاب المساعدة (F_c) وكذلك عن المنتج (F_a) :



وبهذه الطريقة تضمن أن وضع الفرش يظل ثابت دائماً عند محور التعادل الهندسي. ويمكن التغلب على المركبة الرأسية التي تضعف المجال الأصلي بوضع ملفات إضافية على الأقطاب (تسمى ملفات التعويض) ويمر فيها تيار المنتج ويمكن توصيلها بالفرش ، أي بالتوالي مع المنتج ، وتعطي هذه الملفات مجال مساعد عكس اتجاه المركبة الرأسية وبالتالي تعمل على إضعافها ويوضح شكل التالي وضع الملفات داخل الأقطاب واتجاه التيار بها :



طرق التغذية (الأثارة) لآلات التيار المستمر (Methods of Excitation)

تحتاج مولدات التيار المستمر إلى وسيلة لتغذية (أثارة) ملفات المجال وذلك لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لمغطة الآلة والحصول على القوة الدافعة الكهربائية عند الدوران ، تستمد ملفات المجال التيار اللازم إما عن طريق مصدر جهد خارجي أو من الجهد المتولد من الآلة ذاتها ، وتنقسم مولدات التيار المستمر من حيث طرق التغذية إلى نوعين :-

- مولدات ذات تغذية مستقلة (منفصلة) (Separately excited) ويتم فيها تغذية المجال من مصدر جهد خارجي (منفصل عن الآلة) .
- مولدات ذات تغذية ذاتية (Self excited) وفيها تغذى ملفات المجال من الآلة نفسها ، ويتم بناء الجهد نتيجة المغناطيسية المتبقية في الآلة والتي تنشأ نتيجة تغذية الآلة تغذية مستقلة .

أولاً : المولدات ذات التغذية المنفصلة (Separately excited generators)

يوضح الشكل التالي مخطط الدائرة لتوصيل مولدات التغذية المستقلة :

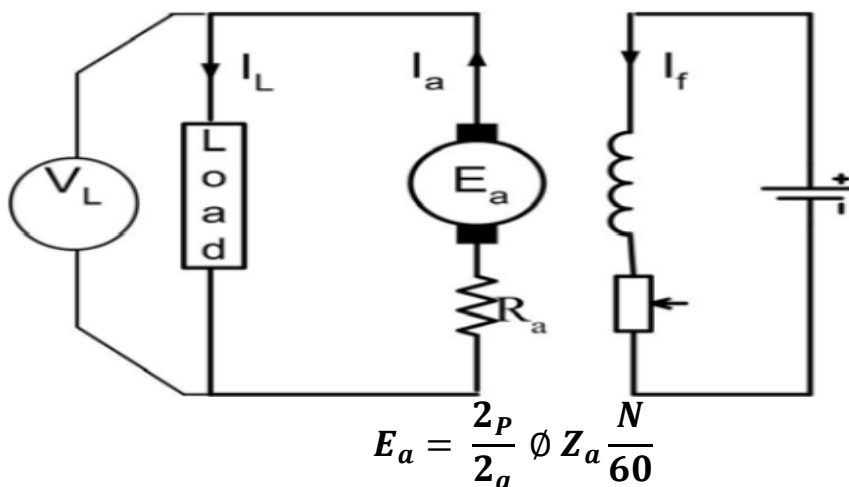
وتستخدم هذه التوصيلة عموماً لحساب منحنى الخصائص الممغنطة للآلة أو كما منحنى الدائرة المفتوحة ، ويمتاز هذا النوع من المولدات بثبات تيار المجال وعدم اعتماده على تيار المنتج ، كذلك يمكن الحصول على مدى أوسع للجهد المتولد على أطراف الآلة ، حيث يمكن الحصول على تغيير الجهد من صفر إلى أقصى قيمة مقننة للآلة .

معادلات الجهد والتيار لمولدات التغذية المنفصلة

بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة المنتج نحصل على المعادلة الآتية :-

$$E_a = V_L + I_a R_a$$

حيث V_L هو الجهد على أطراف المنتج (جهد الحمل) ، E_a القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج وتحسب من المعادلة التالية :



أيضاً يمثل I_a تيار منتج، R_a مقاومة ملفات المنتج، I_L تيار الحمل وهو يساوي تيار المنتج .

$$I_a = I_L$$

مثال // مولد تيار مستمر منفصل التغذية ، يدور عند سرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة ويغذى حمل ثابت المقاومة بتيار قيمته ٢٠٠ أمبير عند جهد ١٢٥ فولت . احسب تيار الحمل إذا انخفضت السرعة إلى ١٠٠٠ لفة / دقيقة ، وباعتبار تيار المجال لم يتغير ، علما بأن مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٤ أوم .

$$n_1 = 1200 \text{ rpm} \quad I_{L1} = 200 \text{ A} \quad V_{L1} = 120 \text{ V} \quad n_2 = 1000 \text{ rpm} \quad R_a = 0.04 \Omega \quad \text{الحل}$$

$$E_a \propto n \quad \text{as } I_f \text{ is constant}$$

$$E_{a1} = V_{L1} + I_{L1} R_a$$

$$= 120 + 200 * 0.04 = 128 \text{ V}$$

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{128}{E_{a2}} = \frac{1200}{1000}$$

$$E_{a2} = \frac{1000 * 128}{1200} = 106.7 \text{ V}$$

$$E_{a2} = V_{L2} + I_{L2} R_a = I_{L2} R_L + I_{L2} R_a$$

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{120}{200} = 0.6 \Omega$$

$$106.7 = I_{L2} [0.6 + 0.04] = I_{L2} [0.64]$$

$$I_{L2} = \frac{106.7}{0.64} = 166.72 \text{ Amp.}$$

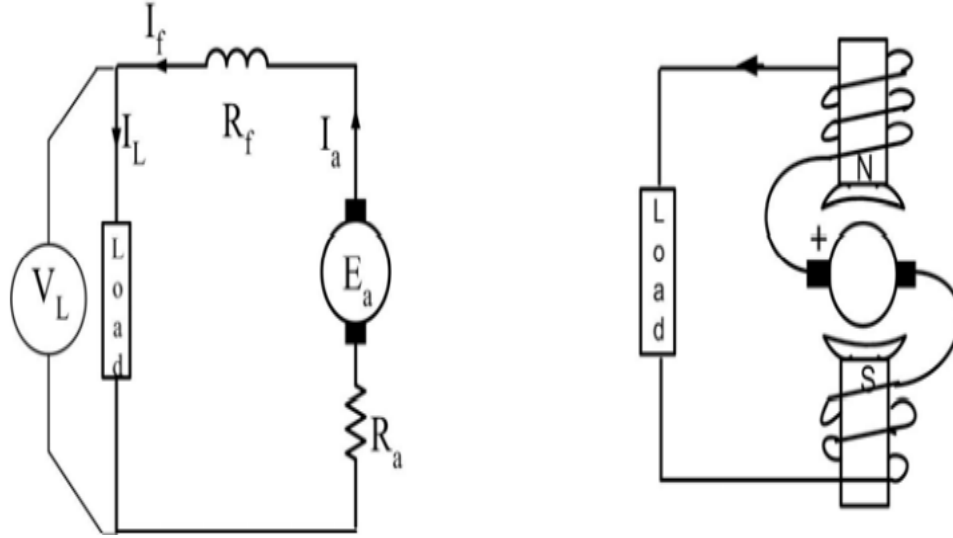
ثانياً : مولدات التغذية الذاتية (Self excited generators)

تنقسم التغذية الذاتية تبعاً لطريقة توصيل ملفات المجال مع المنتج إلى ثلاثة أنواع : -

- تغذية توالي (series excitation) وتسمى الآلة في هذه الحالة مولد التوالي
- تغذية توازي (shunt excitation) وتسمى الآلة بمولد التوازي
- تغذية مركبة (compound excitation) وتسمى الآلة في هذه الحالة بالمولد المركب

١ - مولد التغذية التوالي (series excited generator)

يتم توصيل ملفات المجال بالتوالي مع ملفات المنتج والحمل كما هو موضح بالشكل التالي :



معادلات الجهد والتيار

$$E_a = V_L + I_L (R_a + R_f)$$

مثال // مولد تيار مستمر توالي ، عدد أقطابه ٤ والقدرة المقننة ١٥ كيلو وات عند جهد ١٢٥ فولت وسرعة دوران ١١٥٠ لفة / دقيقة . مقاومة ملفات المجال ١٥ أوم ومقاومة ملفات المنتج ٢٤ أوم . احسب الجهد على أطراف المولد عندما يدور بسرعة ١٢٠٠ لفة / دقيقة ويغذى الحمل بتيار قيمته ١٢٥ أمبير ، علما بأن المجال المغناطيسي قد ارتفع بنسبة ٣٠ % .

الحل

$$P_{out}=10KW \quad V_{L1}=120V \quad n_1=1150 \text{ rpm} \quad R_f=0.1\Omega \quad R_a=0.2\Omega \quad n_2=1200 \text{ rpm} \quad I_{L1}=120A$$

$$\Phi_2 = 1.3\Phi_1$$

$$I_{L1} = \frac{P_{out}}{V_{L1}} = \frac{15 \times 10^3}{125} = 120 \text{ Amp.}$$

$$E_{a1} = V_{L1} + I_{L1}R_f + I_aR_a = V_{L1} + I_{L1}[R_f + R_a] \quad \text{as } I_L = I_a$$

$$E_{a1} = 120 + 120[0.1 + 0.2] = 171.8V$$

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{\phi_1 n_1}{\phi_2 n_2}$$

$$E_{a2} = \frac{\phi_2 n_2 E_{a1}}{\phi_1 n_1} = \frac{1.3\phi_1 * 1200 * 171.8}{\phi_1 * 1150} = 233.05V$$

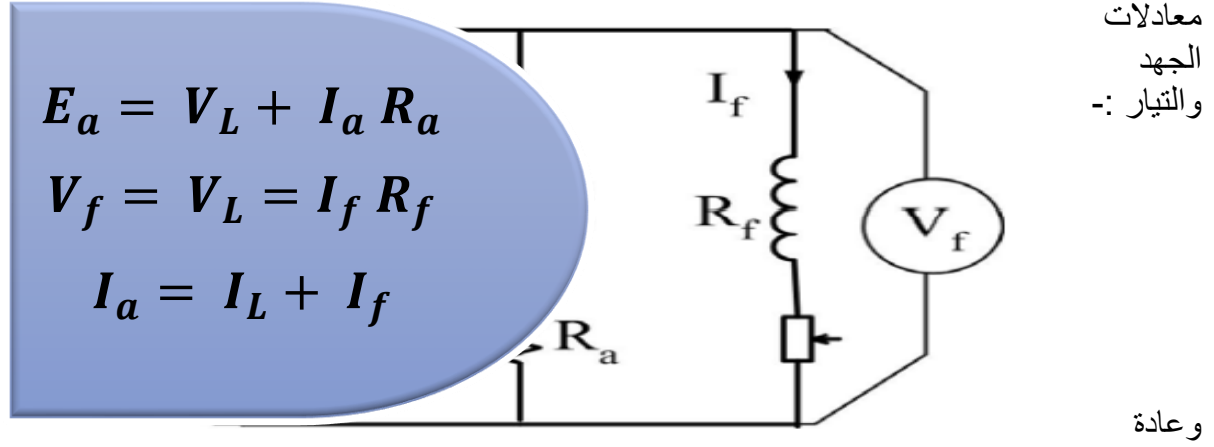
$$E_{a2} = V_{L2} + I_{L2}R_f + I_aR_a = V_{L2} + I_{L2}[R_f + R_a]$$

$$V_{L2} = E_{a2} - I_{L2}[R_f + R_a] = 233.05 - 120[0.1 + 0.2] = 183.05 \text{ volt}$$

٢ — مولدات التغذية التوازي (Shunt excited generators)

في هذه الحالة يتم توصيل ملفات المجال بالتوازي مع ملفات المنتج كما هو مبين بالشكل التالي :

ويجب مراعاة أن مقاومة ملفات المجال المستخدمة تكون كبيرة حيث يقع عليها الجهد المتولد على أطراف المنتج ، مع ملاحظة أن قيمة المقاومة تحدد عند تصميم الآلة ، وذلك على عكس آلات التوالي حيث تكون ملفات التوالي صغيرة وعدد لفاتها أقل .



يتراوح تيار المجال في آلات التوازي من ١ ٪ إلى ٥ ٪ من قيمة تيار المنتج ، حيث تكون القيمة العليا للآلات الصغيرة القدرة .

مثال // مولد توازي يغذى حمل بتيار قيمته ٣٥٠ أمبير عند جهد مقداره ٢٤٠ فولت، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٠,٠٢ أوم و ٥٥ أوم، احسب القوة الدافعة المتولدة .

الحل $I_L=350 \text{ A}$ $V_L=240 \text{ V}$ $R_a=0,02\Omega$ $R_f=55\Omega$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{V_L}{R_f} = \frac{240}{55} = 4.36 \text{ Amp}$$

$$I_a = I_L + I_f = 350 + 4.36 = 354.36 \text{ Amp}$$

$$E_a = V_L + I_a R_a = 240 + 354.36 * 0,02 = 247,1 \text{ V}$$

مثال // مولد تيار مستمر التوازي ملفوف لفا انطباقيا وعدد موصلات المنتج ٥٠٠ موصل ، مقاومة ملفات المنتج ٠٠١ أوم ومقاومة ملفات المجال ٩٥ أوم ، يغذي ٢٠٠ لمبة قدرة كل منها ٦٠ وات عند جهد ١٢٠ فولت ، أوجد سرعة دوران المولد إذا كان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢ ويبر .

الحل

$$2p=2a \text{ [lap winding]} \quad Z_a=500 \quad R_a=0.1\Omega \quad R_f=95\Omega \quad P_{out}=200*60=12000W \quad V_L=120$$

$$V \quad \Phi=0.02 \text{ wb/pole}$$

$$P_{out}=V_L * I_L$$

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_L} = \frac{200 * 60}{120} = 100 A$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{120}{95} = 1.26 A$$

$$I_a = I_L + I_f = 100 + 1.26 = 101.26 A$$

$$E_a = V_L + I_a R_a = 120 + 101.26 * 0.1 = 121.01 V$$

$$E_a = \frac{2p}{2a} \phi Z_a n / 60$$

$$121.01 = \frac{2p}{2a} * 0.02 * 500 * n / 60$$

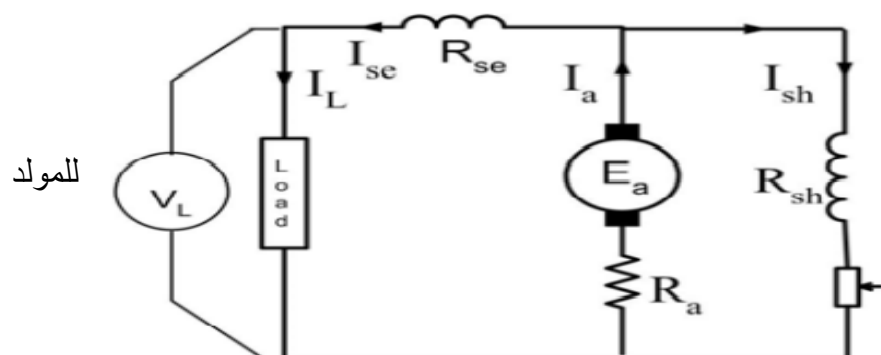
$$n = 121.01 * 60 / (0.02 * 500) = 726 \text{ rpm}$$

٣ - مولدات التغذية المركبة (Compound excited generators)

تحتوي المولدات ذات التغذية المركبة على ملفات التوالي وملفات التوازي معاً وتوصل ملفات التوالي مع المنتج بحيث إن تعطى إما قوة دافعة مغناطيسية في نفس اتجاه القوة الدافعة المغناطيسية المتولدة من ملفات التوازي ، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل التراكمي (cumulative compound) أو توصل بحيث تنتج قوة دافعة مغناطيسية مضادة للمتولدة من ملفات التوازي ، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل الفرقى (differential compound) .

في الآلات المركبة ، توصل ملفات التوازي إما مباشرة مع أطراف المنتج وتسمى طريقة التوصيل بالتوصيل التوازي القصير (short - shunt) ، أو توصل ملفات التوازي عبر الأطراف للدائرة الخارجية (المنتج عبرا مع ملفات التوالي) وتسمى طريقة التوصيل بالتوصيل التوازي الطويل (long - shunt) ، والطريقة الأولى موضحة في الشكل التالي :

أما الطريقة الثانية فهي موضحة بالشكل التالي ، حيث ترمز ملفات التوالي R_{se} وملفات التوازي sh .

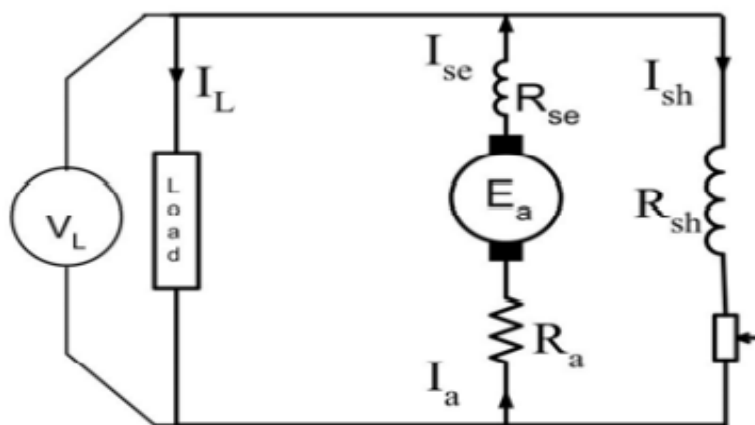


معادلات الجهد والتيار
القصير

$$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{se}$$

$$I_a = I_L + I_{sh}$$

$$I_{se} = I_L$$



معادلات الجهد والتيار
للمولد الطويل

$$E_a = V_L + I_a (R_a + R_{se})$$

$$I_a = I_L + I_{sh}$$

$$I_{se} = I_a$$

تعتمد قطبية المولدات ذاتية التغذية على المغناطيسية المتبقية في الآلة ، وهذه المولدات تستطيع بناء الجهد عندما توصل ملفات المجال مع المنتج بحيث إن تيار المجال يساعد المغناطيسية المتبقية في الآلة ، وأي توصيل معكوس لملفات المجال سوف يتسبب في إلغاء المغناطيسية المتبقية (demagnetize the machine) وبناء عليه لا يتولد جهد على أطراف الآلة .

مثال // مولد مركب طويل يغذي حمل بتيار قيمته ٦٠ أمبير عند جهد ٢٣٠ فولت ، احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ، إذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٤ أوم ، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات التوازي ١٢٥ أوم .

$$V_L=230 \text{ V} \quad I_L=60 \text{ A} \quad R_a=0,04 \Omega \quad R_{se}=0,01 \Omega \quad R_{sh}=125 \Omega \quad \text{الحل}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{230}{125} = 1.84 \text{ A}$$

$$I_a = I_L + I_{sh} = 60 + 1.84 = 61.84 \text{ A}$$

$$E_a = V_L + I_a(R_a + R_{se}) = 230 + 61.84 * (0,04 + 0,01) = 233,092 \text{ Volt}$$

((المقاومة الحرجة والسرعة الحرجة لمكائن التيار المستمر))

المقاومة الحرجة والسرعة الحرجة هما مفهومان أساسيان في تشغيل مولدات التيار المستمر، ويؤثران على إمكانية توليد الجهد الذاتي في المولد.

السرعة الحرجة في مولدات التيار المستمر:- (Critical Speed Nc)

هي أدنى سرعة يجب أن يدور بها المولد لكي يتمكن من توليد جهد ذاتي. إذا انخفضت سرعته عن هذه القيمة، فلن يتمكن من توليد جهد.

المقاومة الحرجة:- (Critical Resistance Rc)

هي أعلى قيمة للمقاومة الكلية في دائرة المجال يمكن أن تسمح بحدوث التوليد الذاتي للجهد في المولد عند سرعة معينة.

• **التفسير العملي:** إذا كانت مقاومة المجال أكبر من Rc ، فلن يتمكن المولد من توليد جهد ذاتي، حتى لو كان يدور بسرعة مناسبة.

ملاحظات مهمة:-

- المقاومة والسرعة الحرجة ترتبطان بمنحنى التشبع المغناطيسي للمولد.
- يتم تحديدهما عملياً من خلال التجارب أو باستخدام منحنيات التشغيل.

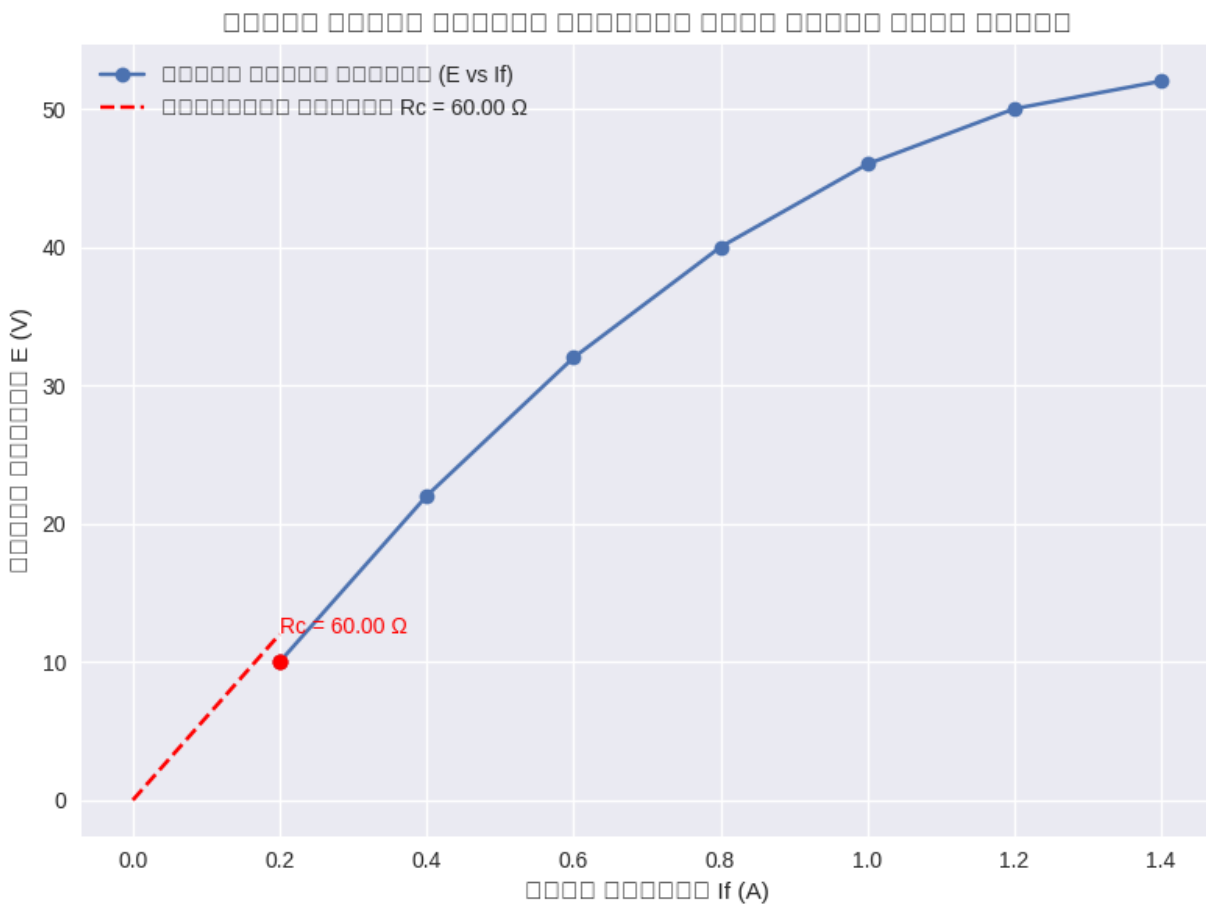
- في التصميم الجيد للمولد، يتم اختيار مقاومة المجال وسرعة التشغيل بحيث تكون أقل من المقاومة والسرعة الحرجة لضمان التشغيل الذاتي.

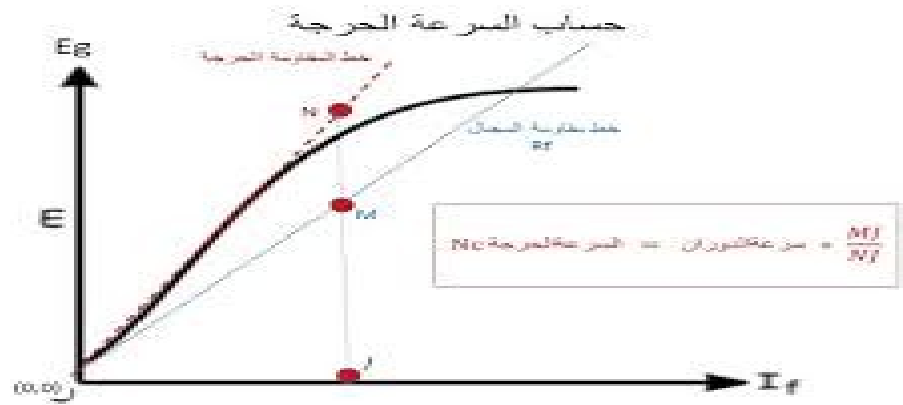
- كيفية الحساب:

- رسم منحنى خصائص التشغيل: (OCC) ارسم منحنى OCC باستخدام البيانات المتوفرة.

- رسم المماس: ارسم مماساً للجزء الأولي من المنحنى.

- حساب الميل: ميل هذا المماس يُعطي قيمة المقاومة الحرجة





١- لحساب المقاومة الحرجة:-

$$R_c = E / I_f$$

or

$$R_c = dE / dI_f$$

E:- الجهد المنتج.

I_f:- تيار المجال.

٢- لحساب السرعة الحرجة :-

$$N_c = R * I_f / \Phi$$

or

$$N_c / N = R_c / R$$

or

$$N_c = E / \Phi$$

N:- السرعة الفعلية.

R:- المقاومة الفعلية للدائرة.

Rc:- المقاومة الحرجة.

Nc:- السرعة الحرجة.

منحنيات الخواص لمولدات التيار المستمر (Characteristic Curves of DC Generators)

تتولد بين نهايتي مجموعات الفرش الموجبة ومجموعات الفرش السالبة - وهما اللتان يخرج منهما طرفا المنتج كما هو موضح في جميع الرسوم السابقة التي تمثل الآلة - قوة دافعة كهربائية تتوقف قيمتها على سرعة الآلة ، والفيض المغناطيسي لكل قطب ، وعدد الموصلات على المنتج وطريقة لفها ، كما تتوقف قطبيتها التي تحدد أي الطرفين هو الموجب ، والآخر هو السالب ، على اتجاه تيار الاثارة في ملفات المجال .

بالرجوع إلى معادلة القوة الدافعة المتولدة وباعتبار أن عدد الموصلات على المنتج في نفس الآلة ثابت القيمة ، وكذلك $2a, 2p$ فإن قيمة القوة الدافعة الكهربائية E_a تتناسب طرديا مع كل من الفيض المغناطيسي ϕ وسرعة الدوران N .

$$E_a = K\phi N$$

تستخدم المعادلة لرسم منحنيات الخواص للآلة الكهربائية ، بالإضافة إلى معادلة القوة الدافعة المتولدة كدالة في جهد الحمل V_L .

يوجد أربع منحنيات خواص تمثل أهم الخصائص لمولدات التيار المستمر وهم : -

• منحنى خواص اللاحمل:-

No - load characteristic:- $E_o = F(I_f)$, $N = \text{constant}$

ويعرف أيضا بمنحنى التمكنط للآلة أو منحنى الدائرة المفتوحة (o.c.c) وهو يعطي العلاقة بين القوة الدافعة المتولدة داخل المنتج في حالة اللاحمل (E_o) والتيار المجال (I_f) عند ثبوت السرعة .

• منحنى خواص الحمل:-

Load characteristic:- $V_L = F(I_f), I_a$ and $N = \text{constant}$

وهو العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) والتيار المجال (I_f) عند تحميل المولد وذلك بثبوت السرعة والتيار الحمل .

• منحنى الخواص الخارجية:-

External characteristic:- $V_L = F(I_L), I_f$ and $N = \text{constant}$

يعطي العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) مع تيار الحمل (I_L) عند ثبوت السرعة وتيار المجال .

• منحني الخواص الداخلية :-

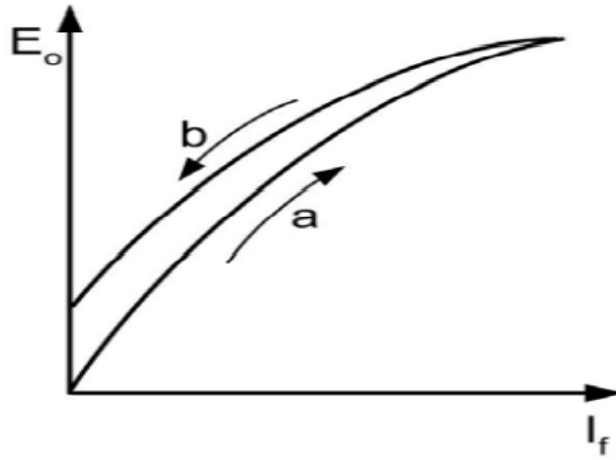
Internal characteristic: - $E_a = F(I_a)$, I_F and $N = \text{constant}$

يعطي منحني الخواص الداخلية العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية المتولدة داخل المنتج وتيار المنتج وذلك عند التحميل وأخذ رد فعل المنتج في الاعتبار.

منحنيات الخواص لمولدات التغذية المستقلة

١ - منحني خواص اللاحمل **No - load characteristic** :-

في
ثابتة ،
القوة
الفيض



،
تيار
:-

للحصول على منحني الخواص
حالة اللاحمل تدار الآلة بسرعة
وبذلك تحصل على علاقة بين
الدافعة المتولدة، E_a وبين
المغناطيسي من المعادلة :-

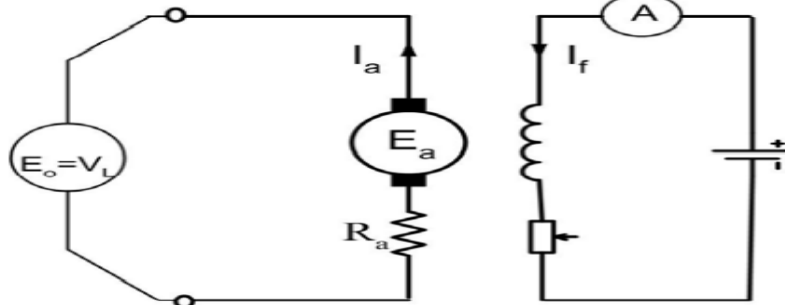
$$E_a = K \phi$$

وحيث إن المنتج لا يحمل تيار
فيعتمد الفيض المغناطيسي على
المجال فقط (I_f) وبذلك يصبح

$$E_a = K' I_f$$

وهذه العلاقة تعطي منحني الخواص في حالة اللاحمل حيث يعتبر الجهد الخارج على أطراف الآلة في هذه الحالة هو ، E_o وهو دالة في تيار المجال ، ويمكن الحصول على هذه العلاقة من خلال توصيل الآلة كما في الشكل التالي :-

الآلة بسرعة
قراءات
على طرفيها
فولتمتر
وتؤخذ في
قراءات
المجال
أميتر موصل



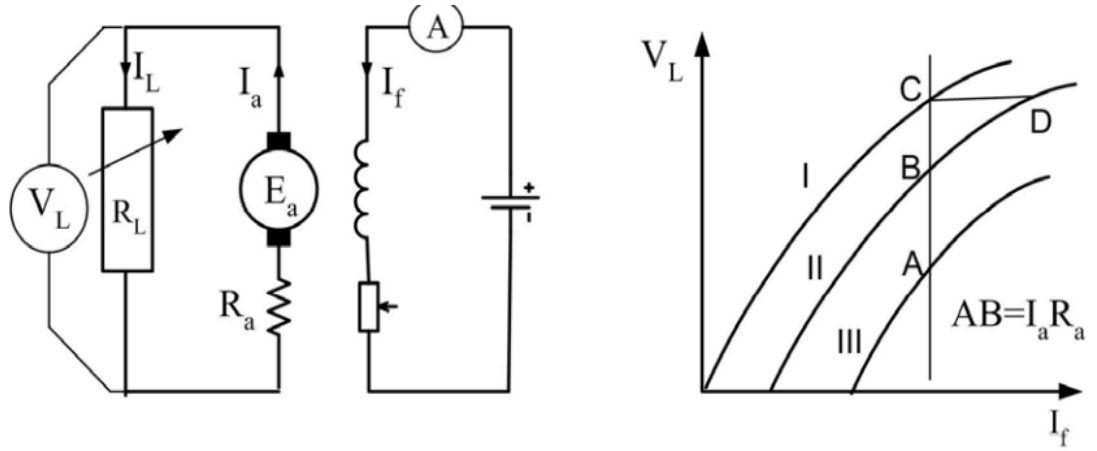
حيث تدار
ثابتة وتؤخذ
مختلفة للجهد
بتوصيل
بينهما ،
نفس الوقت
مناظرة لتيار
باستخدام

على التوالي مع ملفات المجال ، ويتم تغيير قيمة تيار المجال باستخدام مقاومة متغيرة موصلة على التوالي أيضا مع ملفات المجال ، وترسم العلاقة بين القوة الدافعة المتولدة في حالة اللاحمل E_0 وتيار المجال ، والشكل التالي يوضح هذه العلاقة بالمنحنى (a) ، والمنحنى (b) يوضح العلاقة ذاتها عند تقليل تيار المجال ، ونتيجة لوجود المغناطيسية المتبقية في الآلة فإن المنحنيين لا ينطبقان على بعضيهما.

٢ - خواص الحمل Load characteristic :-

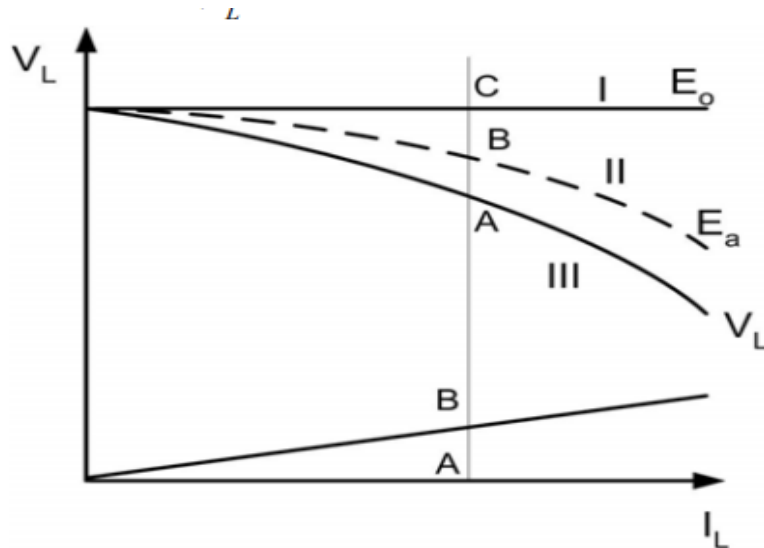
عند تحميل المولد فإن القوة الدافعة الكهربية المتولدة في المنتج تكون أقل من مثيلتها في حالة اللاحمل (E_0) وذلك نتيجة رد فعل عضو الإنتاج (armature reaction) ، وينعكس هذا على قيمة جهد الحمل (V_L) حيث يقل عن القوة الدافعة المتولدة (E_a) بمقدار الانخفاض في الجهد على مقاومة المنتج ($I_a R_a$) ، وإذا أمكن عن طريق تيار التنبيه (المجال) حفظ تيار الحمل ثابت على الرغم من تغيير قيمة مقاومة الحمل (R_L) وتغيير الجهد الطرفي V_L ، فإننا نحصل على منحنى يربط بين V_L (إحداثي رأسي) وتيار الأثارة (إحداثي أفقي) وذلك عند ثبوت السرعة ، يشبه هذا المنحنى منحنى التمرن عند اللاحمل ويسمى منحنى تمرن الحمل .

يبين الشكل التالي مخطط الدائرة المستخدمة :-



منحني III هو منحني خواص الحمل بينما منحني I هو المنحني في حالة اللاحمل لنفس الآلة ، إذا أضيفت $I_a R_a$ (AB) إلى المنحني III ، فينتج المنحني II وهو يمثل القوة الدافعة المتولدة في المنتج نتيجة للفيض المحصل في الآلة ، وتمثل المسافة (CB) الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الانتاج ، ولكي نحفظ الجهد على أطراف الآلة (V_L) مساويا الجهد في حالة اللاحمل (E_o) يجب أن يزيد تيار المجال بمقدار (CD) لكي يعوض الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الانتاج.

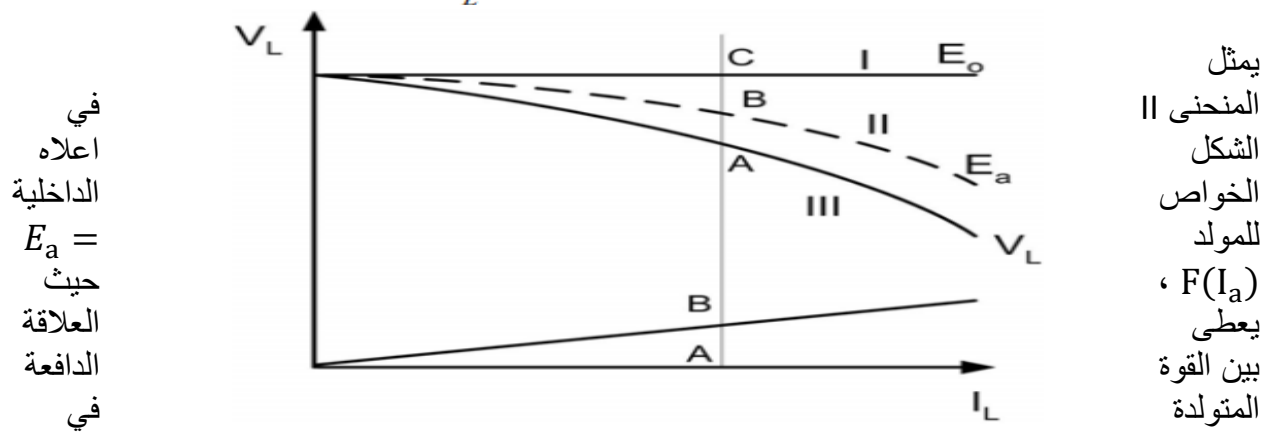
٣ - منحني الخواص الخارجية (External characteristic) :-



يوضح الشكل اعلاه منحني الخواص الخارجي للمولد ، ويعطي منحني هبوط الجهد في المنتج قيم هذا الهبوط عند تيارات الحمل المختلفة والمنحني

المتقطع (II) يعطي قيمة E_a عند تيارات الحمل المختلفة ، ويكون الفرق بين الخط الأفقي (I) الممثل E_o وبين هذا المنحنى عند أي تيار حمل معين هو هبوط الجهد المكافئ لرد فعل المنتج عند هذا الحمل ، فإذا طرحنا منه هبوط الجهد في دائرة المنتج باستخدام المنحنى المعطى نحصل على منحنى الخواص الخارجي كما هو موضح في الشكل بالمنحنى (III) ، وهو يمثل العلاقة بين الجهد على أطراف الحمل (V_L) وتيار الحمل (I_L) عند ثبوت السرعة وتيار المجال .

٤ - الخواص الداخلية (Internal characteristic) :-



الآلة (E_a) في حالة التحميل وبين تيار المنتج (I_a) والذي يساوى تيار الحمل (I_L) للآلة ذات التغذية المستقلة ، وذلك عند ثبوت السرعة وتيار المجال .

وهذا المنحنى يتم الحصول عليه بإضافة الهبوط في الجهد AB إلى منحنى الخواص الخارجية ، ويمثل E_a القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج نتيجة الفيض المحصل في الثغرة الهوائية، بالاستعانة بمنحنى الخواص الخارجية للآلة ، كما في الشكل اعلاه ، يمكن حساب تنظيم الجهد ε للآلة من العلاقة التالية :-

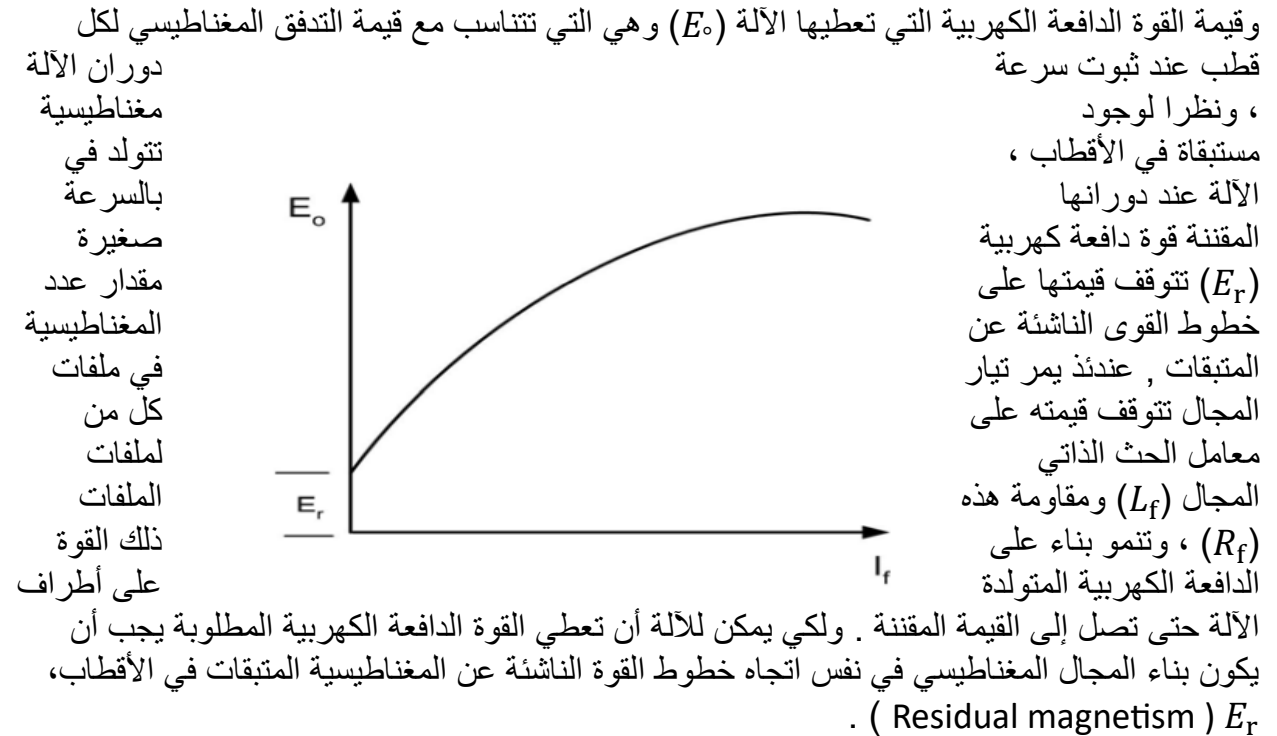
$$\varepsilon\% = \frac{E_o - V_L}{V_L} * 100$$

منحنيات الخواص للمولدات ذاتية التغذية

لتوليد القوة الدافعة الكهربائية، تحتاج إلى المجال المغناطيسي وتنشأ خطوط القوى المغناطيسية في الدائرة المغناطيسية للآلة بفعل التيار الذي يمر في ملفات المجال، وفي آلات التغذية المستقلة نحصل على تيار الاثارة (المجال) من مصدر مستقل ، بينما نحصل عليه في الآلات ذاتية التغذية من الآلة نفسها ، والسؤال

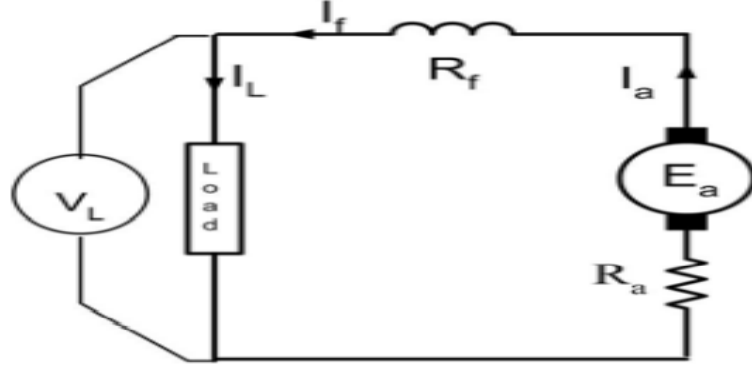
الذي يتبادر للأذهان بخصوص هذا النوع الأخير من الآلات هو : كيف نحصل على تيار المجال في البداية ؟

عند خروج الآلة من المصنع يتم تشغيلها لأول مرة بالتنبيه المستقل ، فيمر تيار من مصدر كهربائي خارجي في ملفات المجال لتوليد المجال المغناطيسي . وعند فصل هذا التيار عن ملفات المجال ، يترك ورائه مغناطيسية مستبقات في أقطاب الآلة ، وهي التي يعتمد عليها في عملية بناء المجال المغناطيسي في الآلة ، يبين الشكل التالي منحنى التمهيط للآلة (Magnetization curve) والذي يربط بين قيمة تيار الاثارة في ملفات المجال (I_f) :-



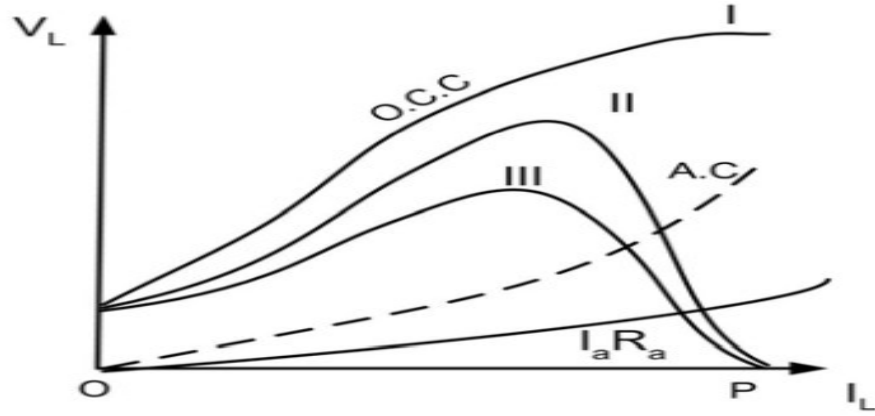
منحنيات الخواص لمولدات التوالي

السمة التي تميز مولد التوالي عن الأنواع الأخرى لمولدات التيار المستمر هي منحنى الخواص الخارجية .
يبين الشكل التالي الدائرة الكهربائية لمولد تغذية توالي والمستخدم للحصول على منحنى الخواص الخارجية :-



يتغير تيار الحمل عن طريق استخدام مقاومة حمل متغيرة (R_f)، في هذه المولدات ملفات المجال موصلة توالي مع ملفات المنتج وبالتالي فإنها تحمل تيار المنتج (I_a) ، وبناءً على ذلك فإن زيادة تيار المنتج يزيد من المجال الناتج وبالتالي القوة الدافعة الكهربائية المتولدة وكذلك زيادة جهد الحمل (V_L) .

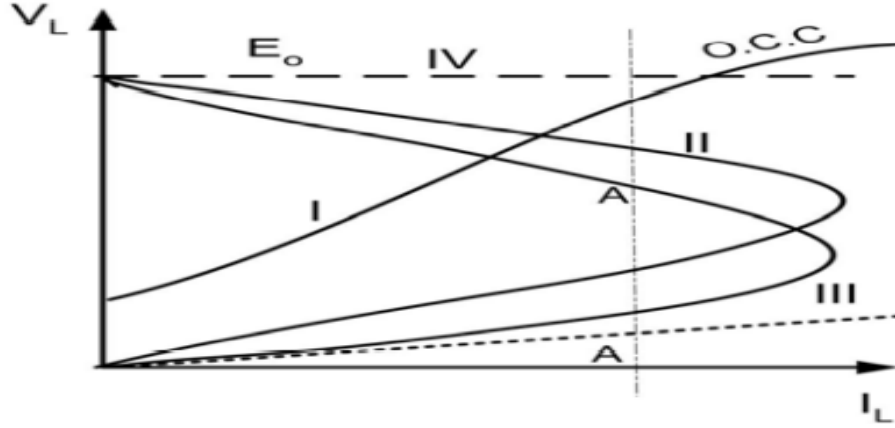
الشكل التالي يوضح منحنيات الخواص لمولد التوالي :-



حيث يمثل المنحنى I خواص الدائرة المفتوحة للآلة ، أما منحنى III فيمثل منحنى الخواص الخارجية وتحصل على هذا المنحنى بمحصلة الفرق بين المنحنى I والمنحنى A.C .

يلاحظ من منحنى الخواص الخارجية لمولد التوالي أن الجهد يزداد مع زيادة تيار الحمل ، ولكن عند زيادة الحمل عن حد معين ، فإن الجهد يبدأ في النقصان نتيجة لزيادة رد فعل عضو الانتاج والذي يتناسب هنا مع تيار الحمل I_L ، وعند تيار حمل OP فإن الجهد على أطراف الحمل يساوي صفراً كما هو موضح بالشكل أعلاه ، إذا تم إضافة منحنى الهبوط في الجهد $I_a R_a$ إلى منحنى الخواص الخارجية (منحنى III) فإننا نحصل على منحنى الخواص الداخلية (منحنى II) وهو يمثل علاقة القوة الدافعة المتولدة E_a كدالة في تيار المنتج (الحمل في هذه الحالة) ، والفرق بين منحنى الدائرة المفتوحة I ، ومنحنى الخواص الداخلية II يمثل الفقد في الجهد نتيجة رد فعل عضو الانتاج .

منحنيات الخواص لمولدات التوازي



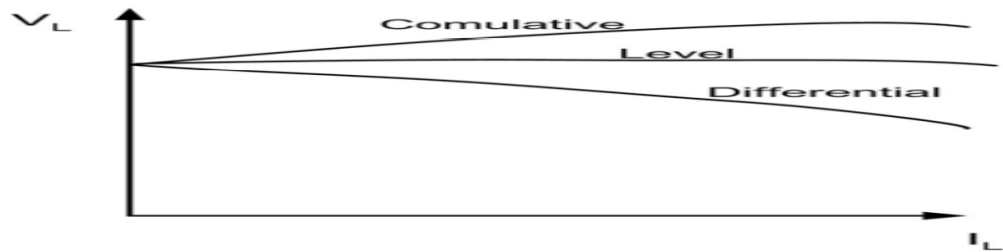
يمثل المنحني I في الشكل اعلاه منحني الخواص المولد التوازي في حالة اللاحمل كما يمثل المنحني II الخواص الداخلية للمولد ، أما المنحني III فيمثل الخواص الخارجية . يلاحظ على الرسم أنه عند قيمة محددة لتيار الحمل تسمى القيمة الحرجة، فإن منحنى الخواص الخارجية يرتد مرة أخرى ويقل جهد الحمل حتى يصل إلى الصفر . أيضا المنحني IV يمثل القوة الدافعة المتولدة في حالة اللاحمل، E_0 للآلة . ويمكن حساب معامل تنظيم الآلة من العلاقة التالية :-

$$\varepsilon\% = \frac{E_0 - AA}{AA} * 100$$

منحنيات الخواص للمولدات المركبة

وضحنا فيما سبق أنه يوجد نوعان من الآلات المركبة ، النوع الأول توازي طويل (long - shunt) وبينما النوع الثاني توازي قصير (short - shunt) ولا يوجد فرق جوهري بين الاثنين ، فالاختلاف بينهما لا يتعدى أنه في الحالة الأولى يوصل أحد طرف ملفات التوازي مباشرة على الحمل ، بينما يوصل في الحالة الثانية مع طرف المنتج ، وهذا يؤثر تأثيرا طفيفا على قيم الجهد والتيار . يختلف منحنى الخواص الخارجي للمولد المركب (سواء كان قصيرا أو طويلا) على حسب تأثير ملفات التوالي بالنسبة لملفات التوازي ، ويوجد من هذه الناحية ثلاثة أنواع من المولدات المركبة .

١- **مركب تراكمي** : تعطى ملفات التوالي مجالا مغناطيسيا في نفس اتجاه المجال المغناطيسي لملفات التوازي ، فتؤدي الزيادة في تيار الحمل إلى زيادة ملحوظة في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية مما يعمل على زيادة قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L كلما زاد تيار الحمل كما يظهر في الشكل التالي :-



٢- **مركب مستوى** : تعطي ملفات التوالي مجالا مغناطيسيا يعمل على تعويض أي نقص في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية نتيجة للمؤثرات المختلفة ، مثل رد فعل عضو الانتاج ، مما يؤدي إلى ثبوت قيمة الجهد الطري على الحمل، V_L مهما تغيرت قيمة تيار الحمل

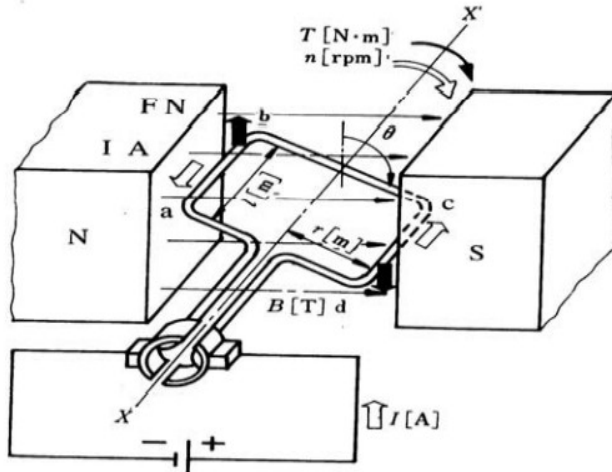
٣- **مركب فرقي** : تعمل ملفات التوالي على إضعاف المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات التوازي ، مما يؤدي الزيادة إلى نقص كبير في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية كلما زاد تيار الحمل ، فينخفض الجهد انخفاضاً ملحوظاً كما يظهر في الشكل اعلاه .

محركات التيار المستمر DC Motors

تعتبر المحركات الكهربائية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية . وتستهلك المحركات الكهربائية بأنواعها حوالي ٦٠ % من الطاقة الكهربائية في العالم ، لذلك من المهم دراسة أداء وخواص تلك المحركات حتى يمكن استخدامها أفضل استخدام حسب طبيعة الحمل ، وتعد محركات التيار المستمر من أهم الأنواع حيث تستخدم بكثرة في الجر الكهربائي والروافع وصناعات الغزل والنسيج ودرفلة الحديد وكذلك صناعات الورق والإسمنت ، وذلك لما تتميز به من سهولة التحكم في سرعتها وإعطائها عزم مرتفع خصوصا عند بدء الحركة ، وسوف نتناول بالتفصيل نظرية عمل محركات التيار المستمر والتعرف على أنواعها المختلفة ، أيضا سوف نتناول دراسة أداء هذه المحركات والخواص الكهربائية لها ، ومن المهم أيضا دراسة طرق التحكم في السرعة لهذه المحركات ووسائل بدء الحركة وذلك لتجنب التيار العالي عند البدء .

نظرية عمل المحرك الكهربائي

يمكن استخدام آلة التيار المستمر للعمل كمحرك وذلك بتغذية الآلة بجهد مستمر ، حيث تقوم الآلة بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركية على عمود الإدارة) . حيث يتم تغذية ملفات المجال بالتيار اللازم لتوليد مجال مغناطيسي وفي نفس الوقت يتم تغذية ملفات عضو الانتاج (المنتج) بتيار مناسب وذلك من خلال الفرش ، ويقوم هذا التيار بتوليد مجال مغناطيسي آخر ونتيجة لذلك ينشأ عزم دوران يعمل على دوران العضو الدوار. تعتمد نظرية عمل محرك التيار المستمر على قانون فارداي ، فإذا وضع موصل يحمل تيار كهربائي في مجال مغناطيسي فإنه يتولد قوة تتسبب في حركة الموصل كما الشكل التالي :-



وبين الشكل اعلاه ملف على شكل مربع موضوع مع عمود دوران ' XX موجود في مجال مغناطيسي منتظم له كثافة فيض B وعند مرور تيار I من الدائرة الخارجية في ذلك الملف ، فإنه يتولد قوة F تؤثر في اتجاه يتحدد بقاعدة فلمنج لليد اليسرى على الجانبين ab , cd بالترتيب في اتجاه محور دوران الملف . وإذا كان طول جانبي الملف هو L فإن القوة المؤثرة تعطى بالعلاقة :

$$1 - F = BIL$$

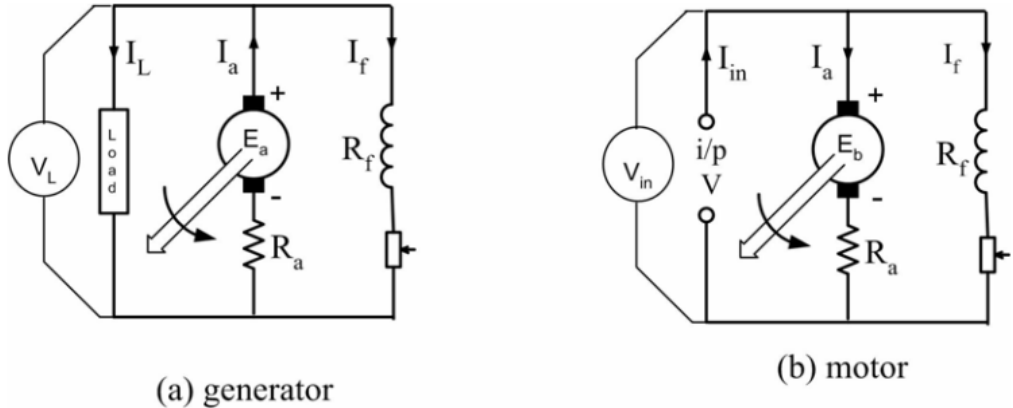
والقوتان المؤثرتان على جانبي الملف ab , cd تعملان كزوج من القوة ، وبالتالي ينشأ عزمًا مقداره T يمكنه إدارة الملف في اتجاه عقارب الساعة .

القوة الدافعة الكهربائية العكسية:- (Back e.m.f)

عند توصيل جهد على أطراف المحرك فإنه يتولد قوة دافعة كهربائية في ملفات المنتج ويطلق عليها بالقوة الدافعة العكسية أو المضادة (Back e.m.f) وتحسب هذه القوة كما في حالة المولد من المعادلة الآتية :

$$2 - E_b = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

ولمعرفة الاختلاف بين المحرك والمولد يمكن الرجوع إلى الشكل التالي :-



حيث يوضح دائرتين لمولد توازي ومحرك توازي ، من ناحية التركيب لا يوجد أي اختلاف ، ولكن الفرق فقط هو في اتجاه التيارات . يلاحظ من الشكل b أن التيار داخل في القطب الموجب للآلة في حالة المحرك بينما خارج منه في حالة المولد كما في الشكل a ، ويلاحظ أيضا أن اتجاه كل من تيار الاثارة وسرعة الدوران لا يتأثر بتغيير الآلة لدورها من مولد إلى محرك وبالعكس .

ويمكن مراجعة ذلك بتطبيق قاعدتي فلمنج لليد اليمنى بالنسبة للمولد واليد اليسرى بالنسبة للمحرك في نفس الوقت ، فنجد أنه لكي يبقى اتجاه كل من تيار الاثارة وسرعة الدوران ثابتا يجب أن ينعكس اتجاه مرور التيار في ملفات المنتج بالنسبة للحالتين ، ويجب مراعاة ذلك عند كتابة معادلات الجهد .

في حالة المولد :

القوة الدافعة الكهربائية = جهد الحمل + هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$3 - E_a = V_L + I_a R_a$$

في حالة المحرك :

القوة الدافعة المتولدة (العكسية) = جهة المصدر - هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$4 - E_a = V_L - I_a R_a$$

إن انعكاس اتجاه مرور تيار المنتج في ملفاته ينشأ فارقا جوهريا بين الحالتين وهذا الاختلاف ظهر في كتابة المعادلتين رقم ٣ و رقم ٤ ، فبينما نجد أنه في حالة المولد تدفع القوة الدافعة الكهربائية المتولدة التيار في الدائرة ضد هبوط الجهد في كل من مقاومة الحمل ومقاومة المنتج ، نجد أنه في حالة المحرك يجب على جهد المصدر أن يدفع التيار في الاتجاه المضاد أي عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية ، التي تصبح في حالة المحرك مكافئة في عملها لمقاومة يكون هبوط الجهد فيها مضادا لاتجاه الجهد الذي يسبب مرور التيار ، لذلك يطلق عليها في هذه الحالة اسم القوة الدافعة الكهربائية العكسية (المضادة) ، وتحسب قيمة تيار المنتج من المعادلة رقم ٤ وتعطى بالعلاقة :-

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

تناسب القوة الدافعة العكسية مع سرعة الدوران كما هو واضح من المعادلة رقم ٢ ، وهذا معناه أنه عندما يدور المحرك بسرعه المقننة n فإنه يتولد E_b بقيمتها الكاملة عند هذه السرعة .

أما إذا كان المنتج في حالة السكون ويراد إدارة المحرك بتوصيل جهد على أطرافه فإن القوة الدافعة العكسية E_b تكون مساوية للصفر في هذه الحالة ويكون التيار المارة المنتج في هذه الحالة هو تيار البدء (starting current) ويحسب من المعادلة ٣ - ٥ وذلك بوضع $E_b = 0$ ويعطى بالعلاقة التالية :-

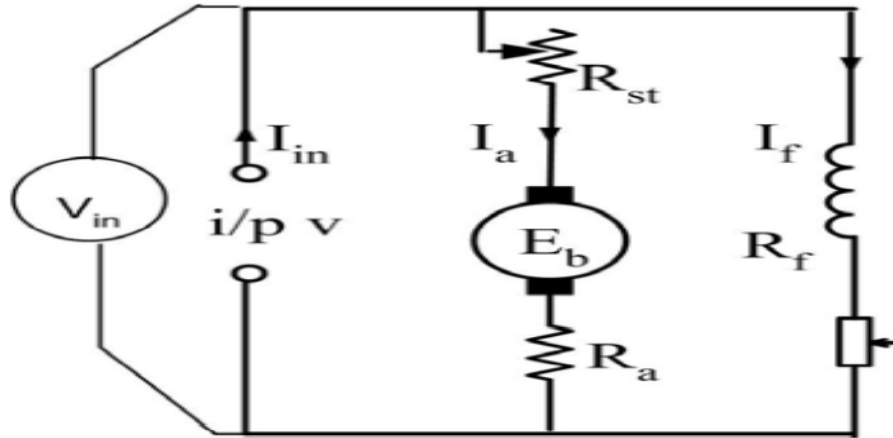
$$6 - I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a}$$

ونظرا لأن V_L تكون كبيرة (أكثر من مائة فولت) كما أن قيمة R_a تكون صغيرة (كسر من الأوم) فإننا نتوقع الحصول على تيار بدء كبير جدا ، في جميع الأحوال تزيد قيمته عن عشرة أمثال تيار الحمل الكامل ، مما قد يؤدي إلى تلف ملفات المنتج لو مر فيها زمنا لا يتجاوز بضع لحظات . وللمحد من تيار البدء وتلافي خطورة مروره بهذا الحجم في المنتج ، يوضع مقاومة كبيرة على التوالي مع ملفات المنتج عند البدء يطلق عليها مقاومة بدء الحركة ويرمز لها بالرمز R_{st} كما في الشكل التالي :-

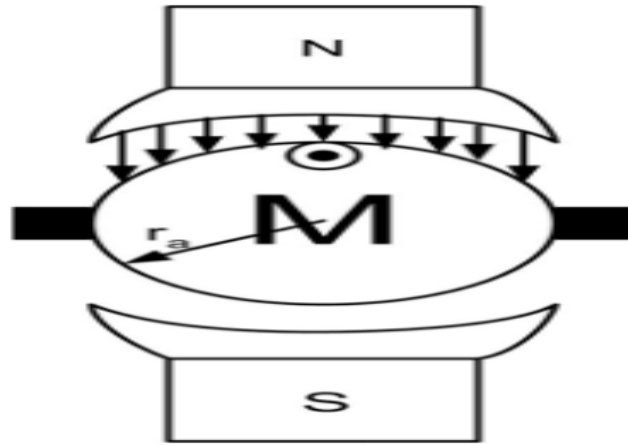
وبذلك تصبح معادلة التيار عند البدء :

$$7 - \quad I_{a(st)} = \frac{V_L}{R_a + R_{st}}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لتحديد قيمة تيار البدء بحيث يكون بنسبة من تيار الحمل الكامل . وعندما يدور المحرك وتزداد سرعة الدوران تدريجيا تزداد معها قيمة القوة الدافعة العكسية بنفس القيمة . لهذا السبب يجب أن نعمل على تقليل قيمة مقاومة البدء بالتدريج كلما زادت سرعة دوران المحرك إلى أن نخرجها تماما من الدائرة عندما يصل المحرك إلى سرعته المقننة .



عزم الدوران المتولد Developed Torque



يمثل الشكل اعلاه أحد الموصلات طوله L موضوع على منتج محرك تيار مستمر نصف قطره r_a ويدور بسرعة n في مجال مغناطيسي قطره شدته B . إذا مر تيار كهربائي I_c في الموصل فإنه تظهر قوة F تؤثر على الموصل يمكن الحصول عليها من المعادلة :

$$1 - \quad F = BLI_c$$

عند محور ارتكاز المنتج (مركز المنتج) ينتج عزم دوران تؤثر على الموصل قيمته :-

2 -

$$\begin{aligned} T_c &= Fr_a \\ &= BLI_c r_a \\ &= \frac{B2\pi r_a L}{2\pi} I_c \end{aligned}$$

المساحة

المغناطيسي

نجد في الشكل اعلاه ان
التي تقطعها خطوط المجال

هي المساحة الاسطوانية $2\pi r_a L$ وبذلك يكون الفيض المغناطيسي للقطب الواحد :

$$3 - \quad \phi = (2\pi r_a L)$$

بالتعويض عن **B** في المعادلة رقم ٢ نحصل على العزم المؤثر على الموصل :-

$$4 - \quad T_c = \Phi \frac{I_c}{2\pi}$$

فإذا كان عدد الاقطاب الكلية هو $2p$ والتيار المار في المحرك هو I_a وعدد الموصلات الكلية هو Z_a وعدد دوائر التوازي هو $2a$ فإنه يمكن إيجاد العزم الكلي التولد في المحرك :

$$5 - \quad \begin{aligned} T &= T_c Z_a 2p \\ &= \Phi \frac{I_c}{2\pi} Z_a 2p \end{aligned}$$

وحيث ان التيار المار في الموصل I_c يساوي الكلي مقسوما على عدد دوائر التوازي :-

$$6 - \quad I_c = \frac{I_a}{2a}$$

بالتعويض من المعادلة رقم ٥ في المعادلة رقم ٦ نحصل على العزم الكلي كدالة في تيار المنتج والفيض المغناطيسي :

$$7 - \quad \frac{2p \Phi}{2a 2\pi} Z_a I_a$$

يمكن كتابة معادلة العزم في هذه الصورة :-

$$8 - \quad T = K \Phi I_a$$

حيث **K** ثابت يعرف بثابت العزل $\frac{2\pi Z_a}{2a 2\pi}$

المعادلة رقم ٨ تبين عزم الدوران الكلي في المحرك يتناسب طردياً مع كل من I_a, Φ .
بالتعويض في هذه المعادلة من المعادلة التالية

$$E_b = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

للقوة الدافعة العكسية Eb نجد أن :

$$9 - \quad T = \frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}}$$

ويمكن الحصول على هذه المعادلة مباشرة على النحو التالي :

$$10 - \quad T = \frac{P}{\omega}$$

حيث P هي قدرة المنتج = Ebla (جهد المنتج x تيار المنتج) و ω هي السرعة الزاوية ويمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$11 - \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

أنواع محركات التيار المستمر Types of DC motors

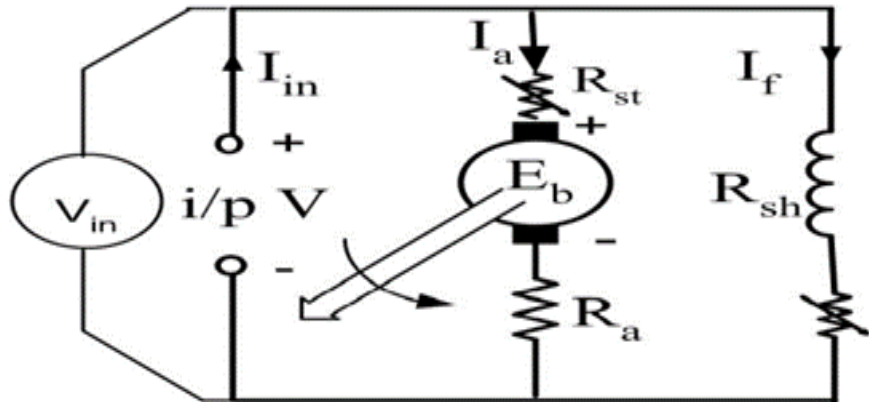
تنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين رئيسيين حسب طريقة تغذية ملفات المجال (كما في المولدات)
- :

- محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة (المنفصلة)

- محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية

ونظرا لأن المحركات ذات التغذية المستقلة تشبه تماما محركات التوازي ، لذا تعتبر حالة خاصة من المحركات ذاتية التغذية وبناءً على ذلك سوف يتم التركيز على المحركات ذات التغذية الذاتية .

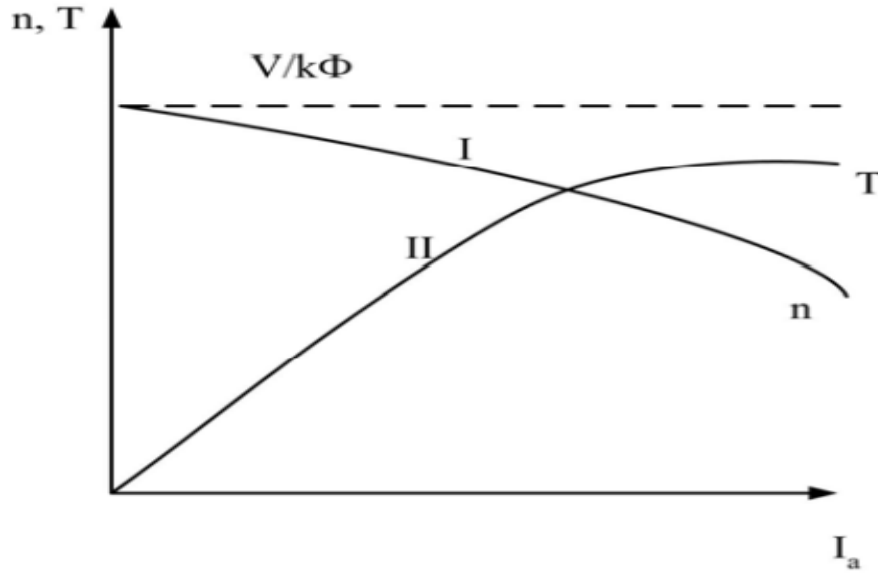
محرك التوازي DC shunt motor



يوضح الشكل اعلاه توصيل محرك التوازي ويلاحظ أن ملفات المجال Rsh تكون متصلة على التوازي مع المنتج ويوصل معها بالتوالي مقاومة تنظيم المجال . أما ملفات المنتج Ra فيوصل معها بالتوالي مقاومة بدء الحركة Rst , ويتميز هذا النوع من المحركات بأنه يمكن اعتباره ذو مجال ثابت تقريبا .

ويمكن كتابة معادلات الجهد والتيار لمحرك التوازي من الشكل اعلاه كالآتي :-

$$12 - \quad E_b = V_{in} - I_a R_a \quad , \quad I_{in} = I_a + I_{sh}$$



وحيث ان
القوة
الدافعة
العكسية
تعطى
بالمعادلة
الآتية :

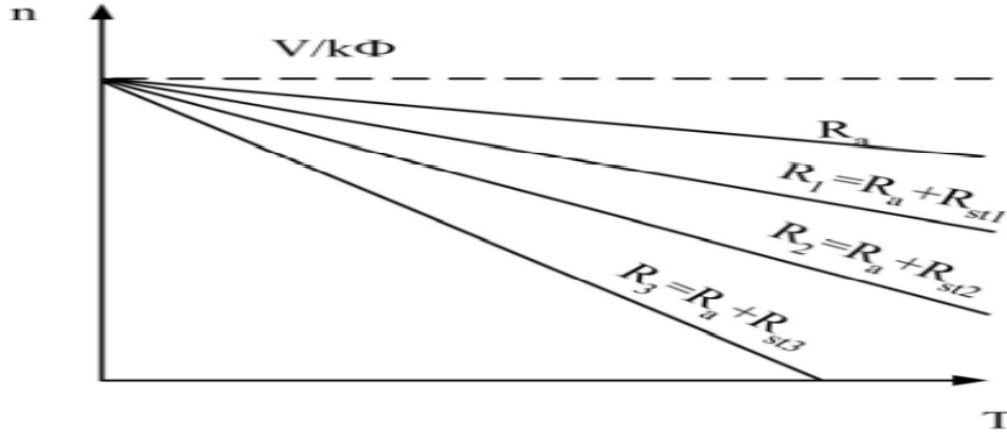
$$13 - \quad E_b = K_b n \Phi$$

بالتعويض من المعادلة رقم ١٢ في المعادلة رقم ١٣ يمكن كتابة السرعة كالآتي :-

$$14 - \quad n = \frac{E_b}{K_b \Phi} = \frac{V_{in} - I_a R_a}{K_b \Phi}$$

منحنيات الخواص:

تمثل



منحنيات الخواص لمحرك التوازي العلاقات التالية :

- السرعة مع تيار المنتج $n = F(I_a)$
- العزم مع تيار المنتج $T = F(I_a)$
- السرعة مع العزم $n = F(T)$

تعطي المعادلة رقم ١٤ العلاقة بين السرعة وتيار المنتج (الحمل) ويلاحظ أن السرعة تقل كلما زاد تيار المنتج بدرجة طفيفة كما هو واضح في الشكل التالي بالمنحني I .

أيضا يمكن رسم منحنى خواص العزم مع تيار المنتج وذلك باستخدام المعادلة رقم ٨ ، حيث يتناسب العزم طرديا مع تيار المنتج عند ثبوت الفيض المغناطيسي (تيار المجال) وثبوت الجهد الداخل للمحرك ، ويلاحظ أن العزم يزداد مع زيادة تيار المنتج كما هو واضح في الشكل اعلاه بالمنحني II .

بالتعويض عن قيمة تيار المنتج من المعادلة رقم ٨ في المعادلة رقم ١٤ نحصل على علاقة تغير السرعة مع العزم :

$$15 - \quad n = \frac{V_{in}}{K_b \Phi} - T \frac{R_a}{K_b^2 \Phi^2}$$

المعادلة رقم ١٥ تمثل منحنى خواص السرعة مع العزم لمحرك التوازي ، وهي علاقة خط مستقيم حيث الفيض المغناطيسي ثابت القيمة . عند اللاحمل ($T = 0$) تصبح السرعة وهي سرعة اللاحمل ، (no load speed) وتمثل بالجزء الأول في المعادلة رقم ١٥ ، أما الجزء الثاني فيمثل الانخفاض في السرعة عند التحميل .

ويوضح الشكل التالي منحني خواص السرعة مع العزم لقيم مختلفة لمقاومة البدء . وهي مجموعة خطوط مستقيمة يختلف ميلها حسب قيمة مقاومة البدء .

استخدامات محرك التوازي

يستخدم محرك التوازي في الحالات التي تحتاج إلى **سرعة ثابتة تقريبا** والتي يمكن أن **تهبط فيها السرعة هبوطا طفيفا مع ازدياد الحمل** ، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط ، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل ، ثم تهبط هذه السرعات هبوطا طفيفا مع الحمل ، أيضا يستخدم المحرك في ماكينات صناعة الورق والأخشاب والدرفلة .

مثال // محرك توازي موصل بمصدر جهد ٢٤٠ فولت ويدور بسرعة ٧٥٠ لفة / دقيقة وتيار المنتج قدره ٣٠ أمبير ، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم احسب عزم المحرك بالنيوتن متر.

$$\text{الحل} \quad V_{in}=240 \text{ V} \quad n=750 \text{ rpm} \quad I_a=30 \text{ A} \quad R_a=0,05 \Omega$$

مثال // محرك

توازي ذو

أربعة أقطاب

يعمل على

منبع جهد

٥٠٠ فولت ،

موصلات

المنتج ٩٦٠

وملفوف لف

تموجي ،

يسحب

المحرك تيار

قدره ٥٢ أمبير

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$

$$= 240 - 30 \times 0,05 = 238,5 \text{ volt}$$

$$T = E_b I_a / \omega$$

$$\omega = 2\pi n / 60 \text{ rad/sec}$$

$$T = 238,5 \times 30 / (2\pi \times 750 / 60) = 91,1 \text{ N.m}$$

عدد

وكان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٣ ميجا خط . فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال هي ٠,٠٤ أوم و ٢٠٠ أوم على الترتيب . احسب سرعة المحرك وكذلك العزم .

$$\text{الحل} \quad R_a = 0.04 \, \Omega \quad \Phi = 3 \text{ megalines} \quad I_{in} = 52 \, A \quad Z_a = 960 \quad V_{in} = 500 \, V \quad p = 4$$

$$R_{sh} = 200 \, \Omega$$

$$I_{sh} = V_{in} / R_{sh} = 500 / 200 = 2.5 \, A \quad I_a = I_{in} - I_{sh} = 52 - 2.5 = 49.5 \, A$$

$$E_b = V_{in} - I_a R_a$$

$$= 500 - 49.5 * 0.04 = 498.02 \, V$$

$$E_b = \frac{2P}{2a} \phi Z_a \frac{n}{60}$$

$$498.02 = \frac{4}{2} * (3 * 10^6 * 10^{-8}) * 960 * \frac{n}{60}$$

$$n = 512.77 \, \text{rpm}$$

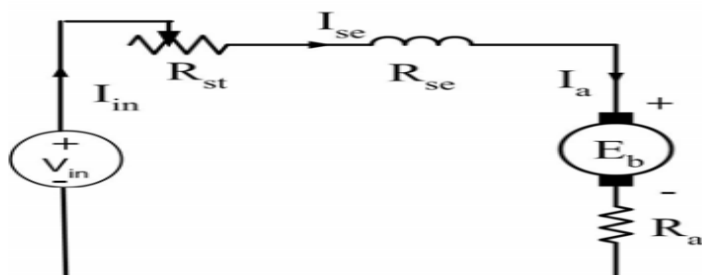
$$\omega = 2\pi n / 60 \quad \omega = 2\pi * 512.77 / 60 = 53.33 \, \text{rad/sec}$$

$$T = E_b I_a / \omega$$

$$T = 498.02 * 49.5 / 53.33 = 459.75 \, \text{N.m}$$

محرك التوالي DC series motor

يوضح الشكل التالي طريقة توصيل محرك التوالي :



حيث توصل ملفات المجال بالتوالي مع المنتج كما في حالة المولد , وتكتب معادلات الجهد والتيار كالتالي :

$$16 - E_b = V_{in} - I_a (R_a + R_{se})$$

$$17 - I_a = I_{in} = I_{se}$$

في هذه الحالة نجد ان الفيض المغناطيسي ϕ يتناسب مع تيار المجال I_{se} أي مع تيار المنتج I_a :

$$18 - \phi = C I_{se} = C I_a$$

بالتعويض في المعادلة رقم ٨ عن قيمة الفيض نحصل على معادلة العزم لمحرك التوالي :

$$19 - T = K' I_a^2$$

أي ان **تيار العزم يتناسب مع مربع تيار المنتج**، أيضا يمكن حساب سرعة المحرك كدالة في تيار المنتج :

$$20 - E_b = K_b n \phi = K'_b n I_a$$

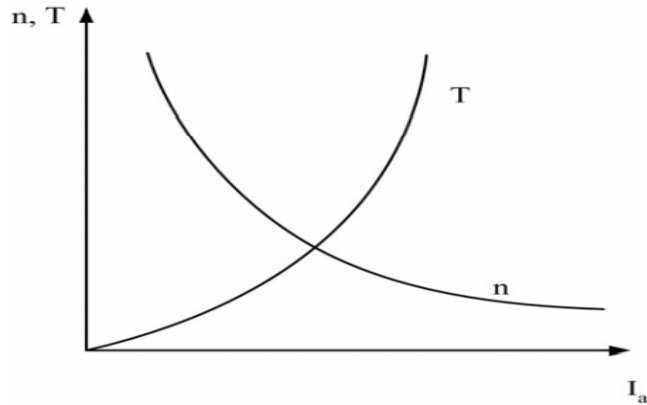
بالتعويض من المعادلة رقم ١٩ في المعادلة رقم ١٦ يمكن كتابة السرعة كالآتي :

$$21 - \quad n = \frac{E_b}{K'_b I_a} = \frac{V_{in} - I_a(R_a + R_{se})}{K'_b I_a}$$

منحنيات الخواص لمحركات التوالي

العزم

المنتج ،
العزم مع
قطع
هو



تبين المعادلة رقم ١٩ أن
يتناسب طردياً مع مربع تيار
لذلك نجد أن منحنى خواص
التيار عبارة عن منحنى
ناقص (parabola) كما
موضح في الشكل التالي :

أيضاً المعادلة رقم ٢١ توضح العلاقة بين السرعة والتيار المنتج لمحرك التوالي وهي علاقة
عكسية ، أي مع زيادة تيار المنتج (الحمل) تقل السرعة وهي أقرب ما يكون إلى قطع زائد (hyperbola) كما يوضح منحنى خواص السرعة مع تيار المنتج في الشكل أعلاه .

استخدامات محرك التوالي

في حالة محرك التوالي نجد أن عزم الدوران يتناسب طردياً مع مربع تيار المصدر (وهو تيار المنتج) بينما تتناسب السرعة عكسياً مع تيار المنتج (الحمل) بحيث تظل القدرة متناسبة مع تيار المصدر باعتبار جهد المصدر ثابت . معنى ذلك أن هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة أحمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدي الحدود المقبولة في أخذ القدرة من المصدر ، نظراً لأن هبوط سرعة الدوران مع الأحمال الثقيلة يعمل على الحد من القدرة المأخوذة من المنبع .

وهذا يجعل محرك التوالي أكثر ملائمة في حالات الجر (سحب أو دفع) الكهربائي ، وعلاوة على ذلك فإن استخدام محرك التوالي في أغراض الجر الكهربائي ينفي احتمال الزيادة الكبيرة في السرعة نظرا لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل في وزن القاطرة والعربات التي تجرها عندما تكون خالية . أيضا يستخدم محرك التوالي مع الأوناش والروافع والمصاعد الكهربائية .

مثال // محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت بسحب تيار مقداره ٥٠ أمبير عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفة / دقيقة ، مقاومة ملفات المنتج ١٥ أوم ومقاومة ملفات المجال ١ أوم فإذا انخفضت سرعة المحرك إلى ٨٠ ٪ من السرعة المقننة وأصبح تيار المنتج ٦٠ أمبير احسب العزم في الحالتين والقوة الدافعة العكسية في الحالة الثانية .

$$\text{الحل} \quad V_{in}=220 \text{ V} \quad I_{a1}=50 \text{ A} \quad n_1=1000 \text{ rpm} \quad R_a=0,15 \Omega \quad R_{se}=0,1 \Omega \quad n_2=0,8n_1$$

$$I_{a2}=60 \text{ A}$$

$$E_{b1}=V_{in}-I_{a1} (R_a+R_{se})$$

$$=220 - 50(0,15+0,1)=207,5 \text{ V}$$

$$E_{b2}=V_{in}-I_{a2} (R_a+R_{se})$$

$$=220 - 60(0,15+0,1)=205 \text{ V}$$

مثال // محرك تيار مستمر من نوع التوالي ذي أربعة أقطاب موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت ويسحب تيار مقداره ٥٢ أمبير عند الحمل الكامل . ملفوف لفا تموجيا وعدد موصلاته الكلية ٦٣٠ والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠'٠١٨ ويبر ، ومقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٢ , أوم و ١ , أوم . احسب سرعة دوران المحرك وكذلك عزم الدوران ، وإذا انخفض عزم الدوران المطلوب إلى ٦٠ % من قيمته عند الحمل الكامل ، أوجد سرعة الدوران الجديدة .

$$T_1 = E_{b1} I_{a1} / \omega_1$$

$$= 207,5 * 50 / (2\pi * 1000 / 60) = 99,07 \text{ N.m}$$

$$T_2 = E_{b2} I_{a2} / \omega_2$$

$$= 205 * 60 / (2\pi * 0,8 * 1000 / 60) = 146,82 \text{ N.m}$$

$$V_p = 120 \text{ V} \quad V_{in} = 220 \text{ V} \quad I_a = 5 \text{ A} \quad Z_a = 13 \quad \Phi = 0.018 \text{ wb} \quad R_a = 0.2 \Omega \quad R_{se} = 0.1 \Omega \quad \text{الحل}$$

$$T_r = 0.6 T_1$$

$$E_{b1} = V_{in} - I_a (R_a + R_{se})$$

$$= 220 - 5(0.2 + 0.1) = 204.4 \text{ V}$$

$$E_{b1} = \frac{2p}{2a} \phi Z_a \frac{n_1}{60}$$

$$204.4 = \frac{4}{2} * 0.018 * 630 * \frac{n_1}{60}$$

$$n_1 = 541 \text{ rpm}$$

$$T_1 = E_{b1} I_a / \omega_1 = 204.4 * 5 / (2\pi * 541 / 60) = 187.61 \text{ N.m}$$

$$T \propto I_a^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 0.6 = \frac{I_{a2}^2}{I_{a1}^2} = \frac{I_{a2}^2}{(52)^2}$$

$$I_{a2} = \sqrt{0.6 * (52)^2} = 40.3 \text{ A}$$

$$E_{b2} = V_{in} - I_a (R_a + R_{se})$$

$$= 220 - 40.3(0.2 + 0.1) = 208 \text{ V}$$

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}} = \frac{n_2 \Phi_2}{n_1 \Phi_1} = \frac{n_2 I_{a2}}{n_1 I_{a1}}$$

$$\frac{208}{204.4} = \frac{n_2 * 40.3}{541 * 52}$$

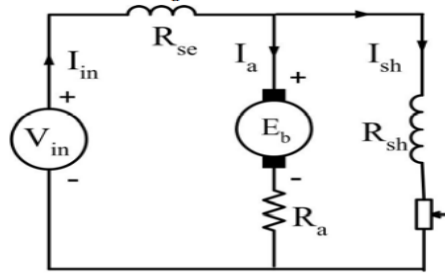
$$n_2 = \frac{208 * 541 * 52}{204.4 * 40.3}$$

$$n_2 = 710 \text{ rpm}$$

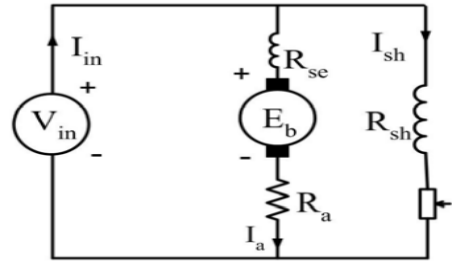
المحرك المركب DC compound motor

المحرك المركب هو أساساً محرك توازي أضيفت إليه ملفات توالي يمر فيها تيار المصدر في المحرك القصير أو تيار المنتج في المحرك الطويل ، في اتجاه معين بحيث يؤدي تأثير المجال المغناطيسي الذي تعطيه هذه الملفات على المجال المغناطيسي لملفات التوازي ، وبذلك يكتسب

المحرك خصائص معينة بالنسبة للسرعة والعزم . وهناك نوعان من المحركات المركبة حسب توصيل ملفات التوالي وملفات التوازي ، ويوضح الشكل التالي رسم تخطيطي لكلا المحركين ،
a محرك مركب طويل و b محرك مركب قصير:



(a)



(b)

معادلات المحرك القصير :

$$22 - E_b = V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}$$

$$23 - V_{sh} = I_{sh} R_{sh} = V_{in} - I_{in} R_{se}$$

$$24 - I_{in} = I_{se} = I_a + I_{sh}$$

$$25 - n = \frac{V_{in} - I_a R_a - I_{in} R_{se}}{K\phi}$$

معادلات المحرك الطويل :

$$26 - E_b = I_a (R_a + R_{se})$$

$$27 - V = I_{sh} R_{sh} = V_{in}$$

$$28 - I_{in} = I_a + I_{sh}$$

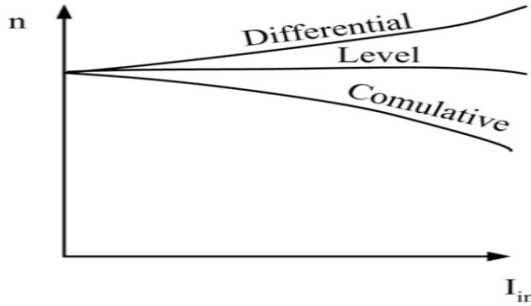
$$29 - n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_{se})}{K\phi}$$

بالنسبة لعزم الدوران يمكن استخدام المعادلة رقم ٩ مع مراعاة أن ϕ هي عدد خطوط المجال المغناطيسي المحصل من مجالات كل من ملفات التوالي وملفات التوازي معا . ويتحدد مقدار المجال المحصل بناء على طريقة توصيل ملفات التوالي (اتجاه التيار فيها) ، فإما أن تعطي

مجال يساعد مجال ملفات التوالي أو يعاكسها، وينقسم المحرك المركب بناءً على ذلك إلى ثلاثة أنواع :-

- **محرك مركب تراكمي (Cumulative compound motor)**

تزداد ϕ قيمة هذا النوع كلما ازداد الحمل فتتخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي ، ويوضح الشكل التالي منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل .



- **محرك مركب مستوي (Level compound motor)**

تحافظ ملفات التوالي في هذه الحالة على قيمة ϕ ثابتة على الرغم من تغير الحمل ، فتظل سرعة المحرك تقريبا ثابتة عند الأحمال المختلفة ، كما هو موضح في الشكل اعلاه .

- **محرك مركب تفرقي (Differential compound motor)**

تعطى ملفات التوالي في هذه الحالة مجالا مغناطيسيا يضاد اتجاه مجال ملفات التوازي وذلك عند مرور التيار فيها ، وبذلك تقل قيمة ϕ كلما ازداد الحمل على المحرك مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك كما هو واضح في الشكل اعلاه .

استخدامات المحرك المركب

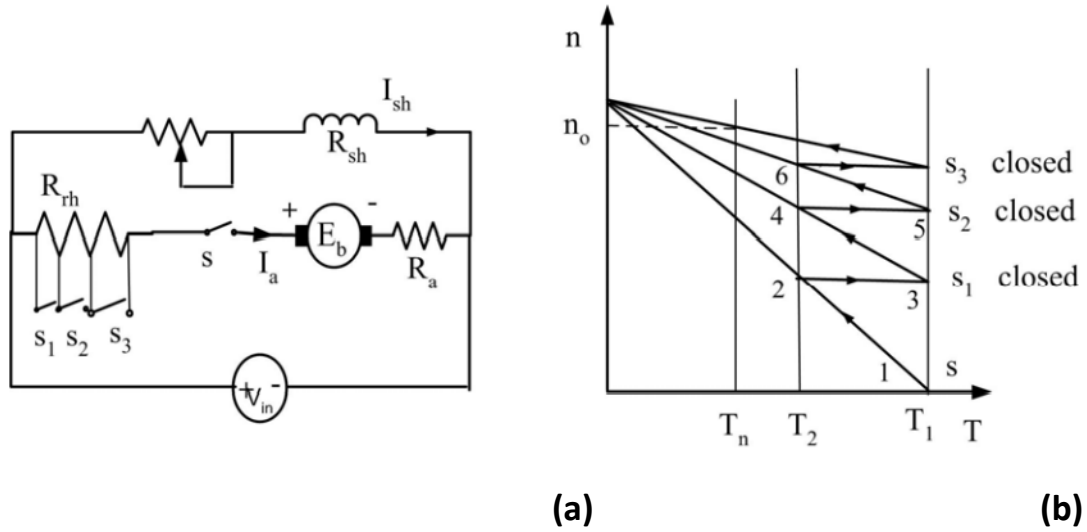
يمكن استخدام المحرك المركب المستوي كبديل عن محرك التوازي ، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى **سرعة ثابتة** على الرغم من تغير الحمل . أما المحرك المركب **التفرقي** فيستخدم في درفلة الحديد (Rolling mills) ، فعند دخول لوح الحديد بين الدرفيلين يزداد الحمل على المحرك وبالتالي تميل السرعة إلى الانخفاض ، فيتم تعويضها بفعل عمل المحرك ، وبالتالي تظل السرعة ثابتة على الرغم من الزيادة المفاجئة في الحمل.

تنظيم السرعة وطرق عكس الحركة Speed control and reversal

تبين معادلات السرعة لمحركات التيار المستمر ، أن السرعة تتغير إما عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج أو عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك وأما عن طريق تغير الفيض المغناطيسي عن طريق دائرة المجال ، ينتشابه كل من محرك التوازي والمحرك المركب في طرق تنظيم السرعة ، لذلك سوف نركز على طرق تنظيم السرعة لمحرك التوازي .

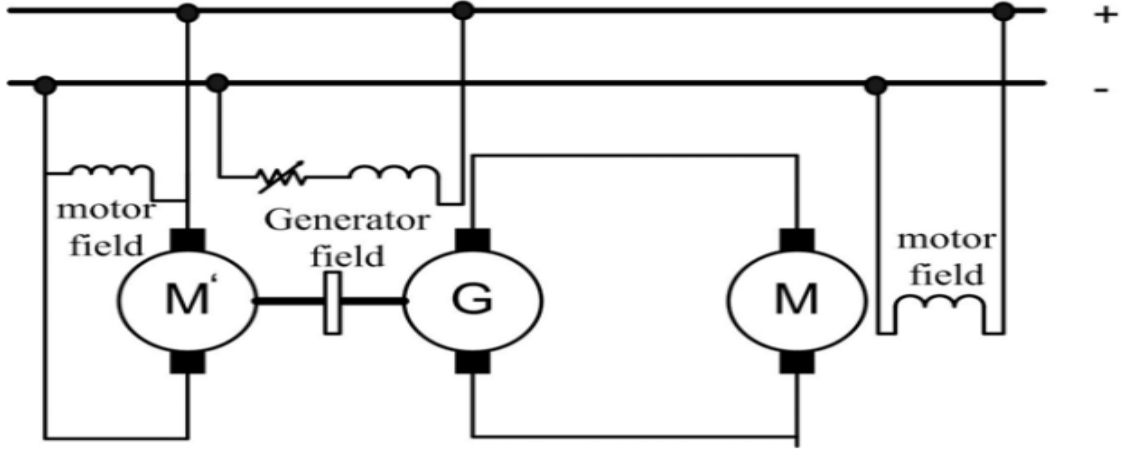
تنظيم السرعة لمحرك التوازي

أولاً : استخدام مقاومة متغيرة : في هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع دائرة المنتج ، كما هو موضح في الشكل التالي .



ويتم تنظيم السرعة عن طريق فتح أو غلق المفاتيح $S1$, $S2$, $S3$ وبذلك يدخل جزء من المقاومة في الدائرة مما يغير من قيمة المقاومة المحصلة للمنتج ، ويوضح الشكل **b** منحنى العزم مع السرعة ، فعند حمل معين نجد أن السرعة تتغير بتغيير المقاومة . تبعا لشكل **a** فإن المحرك يبدأ الحركة يغلق المفتاح S ثم بعد ذلك يتم غلق المفاتيح $S1$, $S2$, $S3$ تباعا بحيث يكون بينهما فاصل زمني ، ولكن من عيوب هذه الطريقة لتنظيم السرعة هو فقد في مقاومة تنظيم السرعة مما يقلل من كفاءة المنظومة ككل .

ثانياً : تنظيم السرعة بالتحكم في الجهد المسلط : يمكن الحصول على مدى أوسع لتنظيم السرعة عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك ، ويمكن التحكم في هذا الجهد باستخدام طريقة " وورد ليونارد " كما هو موضح في الشكل التالي:



حيث يغذي المحرك المراد تنظيم سرعته **M** من مولد محكوم **G** ، وهذا المولد يدار بسرعة ثابتة من خلال محرك تيار مستمر آخر **M'** ، وعن طريق التحكم في مجال المولد يمكن تغيير الجهد المتولد على أطرافه وبالتالي الجهد المغذي للمحرك المراد تنظيم سرعته . ومن عيوب هذه الطريقة هي التكلفة الكلية لنظام التحكم ، ولكن الآن تستخدم طرق إلكترونية للتحكم في الجهد المستمر المغذي للمحرك مباشرة .

ثالثا : تنظيم السرعة عن طريق المجال (flux control) : تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة قليلة التكلفة ، حيث تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة ، وعن طريقها يتم التحكم في تيار المجال وبالتالي الفيض المغناطيسي وهذه الطريقة يمكن أن تعطي سرعات أعلى من السرعة المقننة للمحرك ولكن هذا يتسبب في زيادة الشرر الكهربائي في المحرك وحدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة .

تنظيم السرعة لمحرك التوالي

تتبع الطرق الآتية لتنظيم سرعة محرك التوالي :

أولا : توصيل مقاومة بالتوالي مع دائرة المحرك

من المعادلة التالية :

$$1 - \quad n = \frac{V_{in}}{\alpha I_a} - T \frac{R_a + R_{se}}{\alpha^2 I_a^2}$$

نجد أنه يمكن تغيير سرعة محرك التوالي بإضافة مقاومة بالتوالي مع دائرة المنتج ، ويمكن في هذا المجال تكرار نفس الكلام الذي ذكرناه في حالة محرك التوازي عند استخدام هذه الطريقة لتنظيم السرعة .

ثانيا : توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال

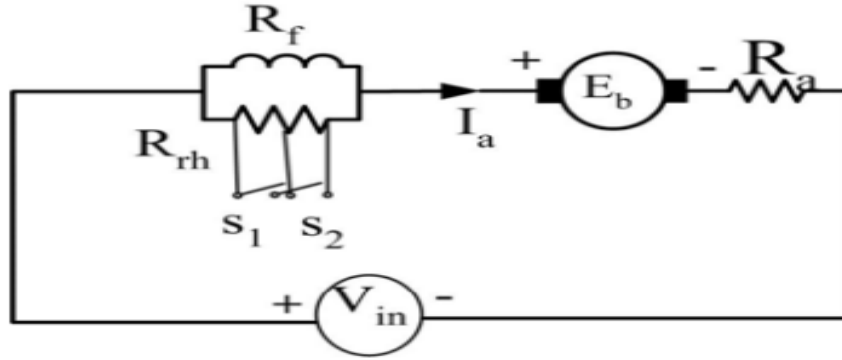
تتوقف سرعة المحرك على الفيض المغناطيسي Φ وبالتالي على تيار المجال الذي يساوي تيار الحمل I_{in} هذه الحالة . ونظراً لأن I_{in} يتوقف على مقدار الحمل ، فإن التحكم في قيمة تيار المجال لا يتأت إلا عن طريق توصيل مقاومة على التوازي مع ملفات المجال ، بحيث يمكن تغيير قيمة تيار المجال عن طريق تغيير المقاومة ، بينما تظل قيمة تيار الحمل ثابتة . ويوضح الشكل التالي طريقة توصيل الدائرة :

ثالثاً : تقسيم ملفات المجال

نستطيع في بعض الأحوال أن نتحكم في تيار المجال عن طريق تقسيم ملفات المجال على الأقطاب إلى قسمين أو أكثر وتوصيلهما على التوازي معاً بدلاً من توصيل الملفات على الأقطاب كلها على التوالي ، كما هو واضح في الشكل التالي، وبهذه الطريقة نستطيع التحكم في تيار المجال وبالتالي في سرعة المحرك .

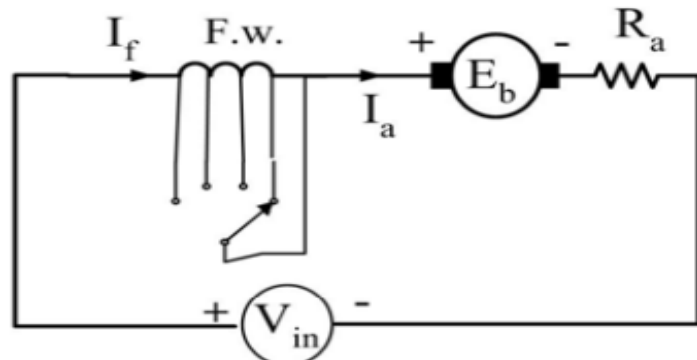
عكس السرعة لمحركات التيار المستمر

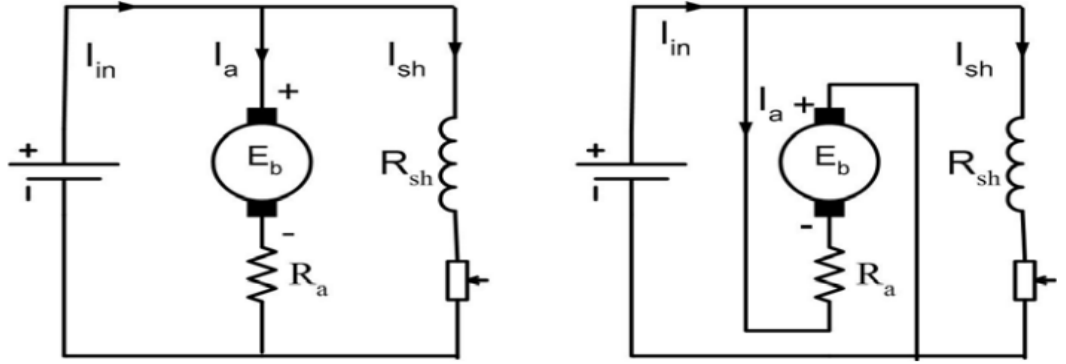
تحتاج كثيراً من الأغراض إلى عكس اتجاه السرعة للمحرك مثل محركات الترام والأوناش وغير ذلك . ويتم عكس سرعة الدوران بعكس اتجاه التيار في ملفات المنتج أو في ملفات المجال . يراعى أن يتم عكس التيار في إحدى



الملفين فقط ، فإذا تم عكس التيار في الملفين معاً في أن واحد يظل المحرك في نفس اتجاهه . ويتم عكس اتجاه التيار في

إحدى الملفين عن طريق تغيير توصيل الأطراف ويوضح الشكل التالي طريقة تغيير ملفات المنتج لمحرك توازي ، بحيث تظل ملفات المجال كما هي دون تغيير .





طرق بدء الحركة

الهدف من بدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية، حيث يكون هذا التيار مرتفع جدا ويتضح ذلك من معادلات التيار الموضحة:

بالنسبة لمحرك التوازي :

2 -
$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}}$$

بالنسبة لمحرك التوالي :

3 -
$$I_a = \frac{V_{in} - E_b}{R_a + R_{se}}$$

أثناء تشغيل المحرك يكون الفرق بين جهد المصدر والقوة الدافعة العكسية مقدار صغير وبالتالي تكون قيمة تيار المحرك هي القيمة التي يحددها الحمل . أما لحظة بدء الحركة تكون السرعة مساوية للصفر وبالتالي القوة الدافعة العكسية صفر أيضا (حيث تتناسب مع السرعة) . وبالرجوع إلى المعادلات رقم ٢ ورقم ٣ وايضا المعادلة التالية :

$$E_a = V_L + I_a R_a$$

نجد أن قيمة التيار عند البدء وهو عبارة عن الجهد المسلط مقسوما على مقاومة المنتج في حالة محرك التوازي ومقسوما على مقاومة المنتج ومقاومة ملفات التوالي في حالة محرك التوالي . وهذا التيار قيمته عالية جدا حسب المعادلات التالية :

بالنسبة لمحرك التوازي

4 -
$$I_{staring} = \frac{V_{in}}{R_a}$$

بالنسبة لمحرك التوالي

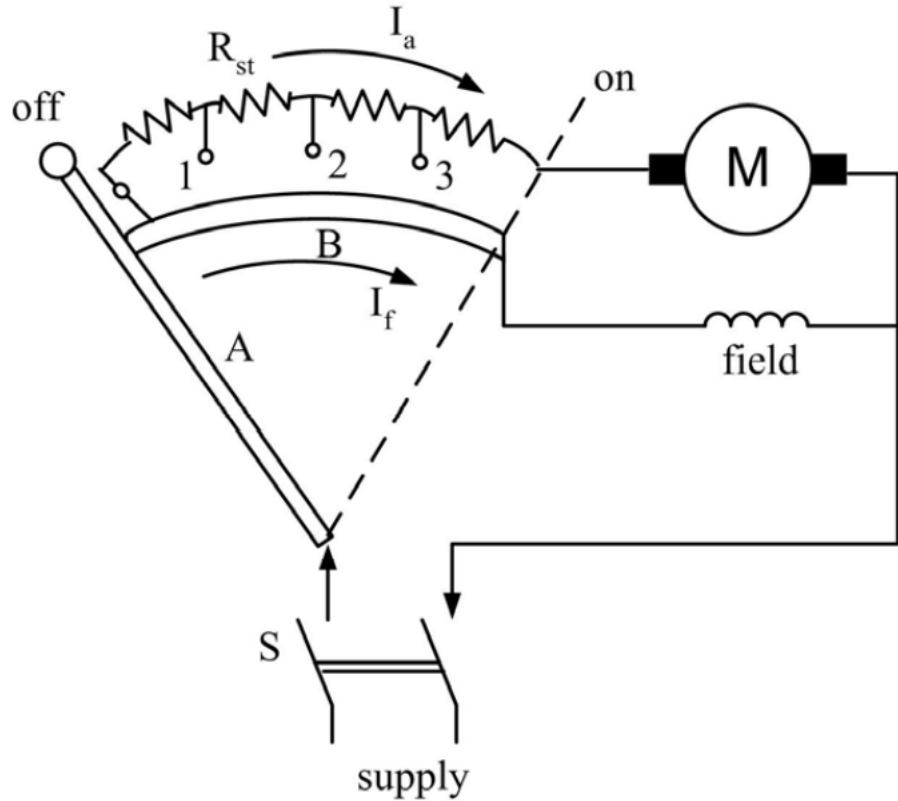
$$5 - I_{staring} = \frac{V_{in}}{R_a + R_{se}}$$

وتبعاً للمعادلات اعلاه ، ولو فرضنا على سبيل المثال أن جهد المصدر ٢٠٠ فولت ومقاومة المنتج ١ ، أوم (عادة أقل من ١ أوم) تكون بذلك قيمة تيار المنتج لحظة بدء الحركة ٢٠٠٠ أمبير وهذا التيار مرتفع جداً بالنسبة لقدرة المحرك ، ولذلك يجب استخدام وسيلة بدء حركة أو ما يسمى ببادئ الحركة (starter) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المنتج وهذه المقاومة بدورها تحد من قيمة التيار إلى القيمة المسموح بها ، فعندما يتحرك المنتج تتولد قوة دافعة عكسية (مضادة) تقلل من قيمة التيار المار وبالتالي تغير هذه المقاومة إلى قيمة أصغر حتى يصل المحرك إلى سرعته المقننة فتصل قيمة المقاومة إلى الصفر .

بادئ الحركة اليدوي :

في المحركات الصغيرة يستعمل بادئ حركة يدوي وهو عبارة عن مقاومة من عدة أجزاء تكون على التوالي مع المنتج ، وتخرج هذه المقاومة على مراحل حتى يصل المحرك إلى سرعته النهائية تكون هذه المقاومات قد أخرجت كلياً من الدائرة ، وعندئذ يكون المحرك موصل مباشرة بمنبع الجهد .

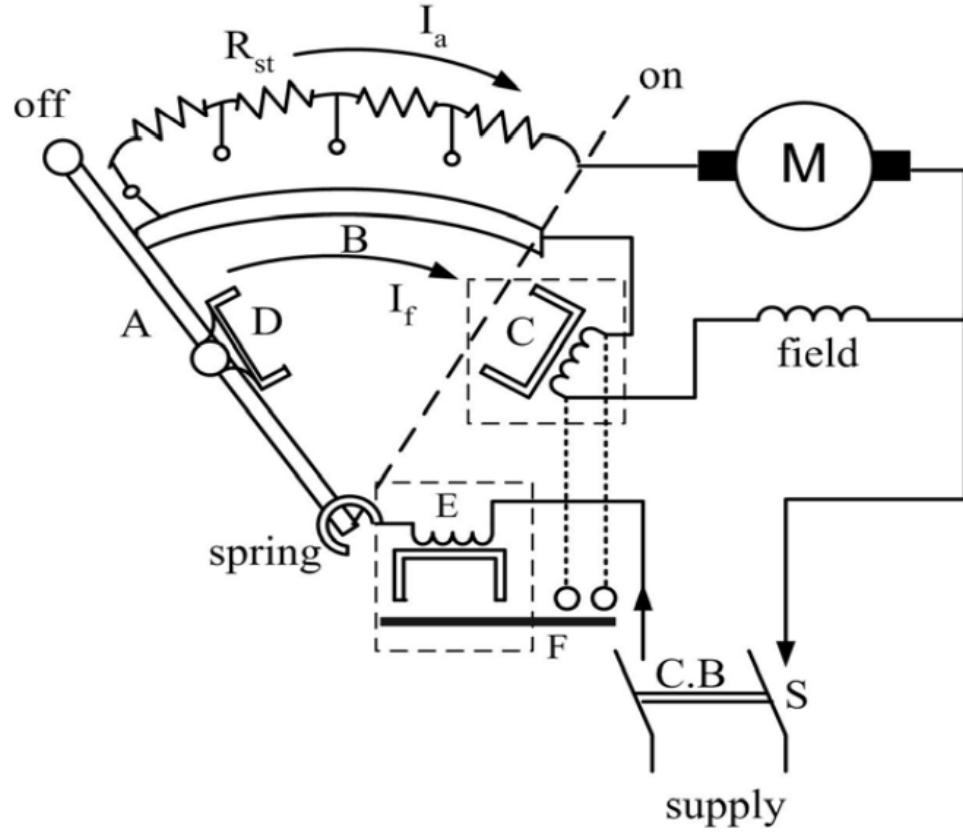
يبين الشكل التالي بادئ الحركة من هذا النوع لمحرك توازي :



وفيه الزراع (A) يلامس نقطة التماس المتصلة بمقاومة بدء الحركة Rst وفي نفس الوقت يلامس القوس النحاس (B) الذي يغذي ملفات التوازي وبهذا الترتيب نجد أنه عند البداية تكون قيمة المقاومة الكلية مضافة إلى مقاومة المنتج وبذلك يقل تيار البدء ، ثم بعد ذلك نبدأ في تحريك الزراع (A) ليصل إلى النقطة رقم ١ ثم ٢ ثم ٣ إلى أن يصل إلى الوضع on تكون المقاومة قد خرجت من الدائرة ويكون الجهد المسلط على المنتج هو جهد المنبع ويدور المحرك عند السرعة المقننة . ولكن من عيوب استخدام البادئ اليدوي أنه بعد فصل المفتاح الرئيسي (S) أي بعد فصل منبع الجهد عن المحرك لإيقافه يبقى الزراع عند وضع التشغيل (on) ويترتب على ذلك أنه عند بدء الحركة مرة أخرى يكون المنتج موصل مباشرة بالمنبع ولذا يجب بعد إيقاف المحرك إرجاع الزراع إلى وضع عدم التشغيل (off).

بادئ الحركة الأتوماتيكي :

يستخدم في محركات التيار المستمر ذات قدرات أعلى من ٢٠ حصان وهو مزود بعلف (متمم) فوق الحمل (overload) الذي يفصل المحرك عن المنبع عند زيادة الحمل كما يوجد أيضا قاطع أتوماتيكي (circuit breaker) للقيام بعمل المفتاح الرئيسي (s) عند حدوث قصر في الدائرة ، الشكل التالي يبين مخطط لترتيب بدء حركة محركات التوازي والمركبة :



في البداية يكون الزراع A عند الوضع off , عند توصيل المفتاح S يتصل منبع الجهد بالقاطع الأوتوماتيكي ويمر تيار في ملف المتمم E ومنه إلى الزراع A ثم القوس النحاس B فملف الجاذب C وأخيرا ملفات المجال وملفات المنتج ، وعند هذه اللحظة تكون مقاومة البادئ الكلية موصلة على التوالي مع المنتج وبالتالي يقل تيار البدء . عند مرور تيار في ملف الجاذب C يتولد مجال مغناطيسي يعمل على جذب الحافظة D إلى الجاذب C وبالتالي يبدأ الزراع A الحركة متجها إلى الجاذب C . ويبدأ خروج أجزاء من مقاومة البادئ Rst تدريجيا إلى أن يصل الزراع A إلى الوضع on تكون مقاومة البادئ قد خرجت كليا من الدائرة وأصبح جهد المنبع مسلط على المنتج .

عند فتح المفتاح الرئيسي S لإيقاف المحرك فإن المجال الناشئ عن مرور التيار في ملف الجاذب C يزول وينتج عن ذلك أن يترك المغناطيس الكهربائي الحافظة D فيعود الزراع A من وضع التشغيل on إلى وضع عدم التشغيل off بواسطة زنبرك (spring) متصل بالزراع A وقاعدة البادئ .

أيضا يوجد بالبادئ متمم E يحتوى على ملف ومغناطيس كربوي وحافظة F ، يمر بالملف تيار الخط فعند زيادة الحمل تنجذب الحافظة F للمغناطيس الكهربائي للمتمم E ، ومثبت بالحافظة قطعة من النحاس تعمل على قفل مسار توصيل فيحدث قصر على طري ملف الجاذب C ويترتب على ذلك أن يتلاشى المغناطيس الكهربائي فيتترك الحافظة D وبالتالي يعود الزراع A يفعل الزنبرك إلى وضع عدم التشغيل ويقف المحرك .

❖ المفاقد في مكائن التيار المستمر :-

في مكائن التيار المستمر (DC Machines)، سواء كانت محركات أو مولدات، يدخل إليها طاقة كهربائية أو ميكانيكية. جزء من هذه الطاقة يتحول إلى طاقة مفيدة (حركة ميكانيكية أو كهرباء)، بينما الجزء الآخر يضيع على شكل حرارة أو احتكاك، مما يقلل من كفاءة الآلة، يسمى الخسائر.

❖ أنواع المفاقد:-

١- المفاقد النحاسية وتشمل :-

- مفاقد المنتج .

$$P_{La} = (I_a^2 \times R_a) \text{ W}$$

- مفاقد ملفات المجال

$$P_{Lf} = (I_f^2 R_f) \text{ W}$$

- مفاقد ملفات التوالي

$$P_{Lse} = (I_{se}^2 \times R_a) \text{ W}$$

- مفاقد الأقطاب البينية

$$P_{Lc} = (I_a^2 \times R_c) \text{ W}$$

- مفاقد الملفات التعويضية

$$P_{Lk} = (I_a^2 \times R_k) \text{ W}$$

- مفاقد الفرش الكربونية

$$P_{Lb} = (1 \text{ to } 6 \text{ v}) \times I_a \text{ W}$$

٢- المفاقد الميكانيكية وتشمل :-

- مفاقد كراسي التحميل.
- مفاقد الفرش الكربونية.
- مفاقد الاحتكاك.

٣- المفاقد الدورانية وتشمل:-

- المفاقد الحديدية.
- مفاقد التيارات الدوامة.
- مفاقد الهسترة المغناطيسية.
- تعتمد المفاقد الدورانية على (سرعة الدوران، كثافة الفيض، سمك الشرائح وكمية الحديد)

٤- الفاقد الشاردة عند الحمل وهذه يصعب حسابها ، وتنتج من التالية:-

- تشويه خطوط المجال الناتج من رد فعل المنتج.
- افتقار التوزيع المنتظم للتيار بين المسارات المتوازية على قطع الموصل خاصة اذا كان كبيراً.
- تيار القصر للملف اثناء عملية التعديل.

تقدر هذه الفاقد الشاردة تقريباً حيث يصعب حسابها بدقة، وتفرض عادة (١٪) من القدرة الخارجة للماكنة عندما تكون القدرة المقننة لها (١٥٠ كيلوواط) فاكثر.

اما للمكائن الصغيرة فتهمل الفاقد الشاردة عند حساب الكفاءة.

الكفاءة

الكفاءة هي النسبة المئوية بين القدرة الخارجة والقدرة الداخلة وتكون بدون وحدات (خالية من الوحدات).

١- كفاءة المولد :- تعرف كفاءة المولد بانها النسبة بين القدرة الكهربائية الخارجة الى القدرة الميكانيكية الداخلة.

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_i} * 100$$

$$p_{in} = p_{out} + p_{loss}$$

٢- كفاءة المحرك :- تعرف كفاءة المحرك بانها النسبة بين القدرة الميكانيكية الخارجة الى القدرة الكهربائية الداخلة.

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_i} * 100$$

$$p_{in} = p_{out} + p_{loss}$$

$$P_{ele.} = P_{mec.} * 746$$

$$P_{mec.} = \frac{P_{ele.}}{746}$$

المحولات الكهربائية

الاختبار القبلي:-

س ١ : يُصنع قلب المحول الكهربائي من رقائق صلب السيليكون (Silicon Steel Laminations) بهدف:

أ) تقليل مقاومة الملفات

ب) تقليل مفقودات التخلف المغناطيسي والتيارات الدوئيمية

ج) زيادة جهد المخرج

د) تحسين معامل القدرة

س ٢ : يعمل المحول الكهربائي بناءً على مبدأ:

أ) الحث الكهرومغناطيسي المتبادل

ب) قانون أوم

ج) التوصيل الكهربائي المباشر

د) التأثير الحراري للتيار

س ٣ : المفقودات النحاسية (Copper Losses) في المحول الكهربائي تختلف باختلاف:

أ) التردد فقط

ب) جهد المصدر فقط

ج) مربع تيار الحمل

د) نوع الزيت المستخدم للتبريد

س ٤ : يتم إجراء اختبار اللاحمل (Open-Circuit Test) في المحول لقياس:

أ) المفقودات النحاسية عند الحمل الكامل

ب) المفقودات الحديدية (المغناطيسية)

ج) المقاومة المكافئة للملفات

د) أقصى كفاءة للمحول

س٥: في المحول الخافض للجهد (Step-down Transformer)، تكون العلاقة بين عدد لفات الابتدائي (N_1) وعدد لفات الثانوي (N_2):

(أ) $N_2 > N_1$

(ب) $N_1 = N_2$

(ج) $N_2 < N_1$

(د) لا توجد علاقة بينهما

س٦: يُستخدم مفتاح تغيير الفرعات (Tap Changer) في المحولات الكهربائية من أجل:

(أ) التحكم في تيار الابتدائي

(ب) ضبط وتنظيم جهد المخرج عند تغيير الحمل

(ج) فصل المحول عند حدوث شورت

(د) قياس حرارة الزيت

س٧: في المحولات ثلاثية الطور، يُفضل توصيل (دلتا - نجمة) Delta-Star عند:

(أ) نقل القدرة لمسافات طويلة جداً

(ب) شبكات التوزيع لتوفير خط التعادل (Neutral) للأحمال الأحادية الطور

(ج) رفع الجهد في محطات توليد القدرة

(د) تغذية الأحمال الصناعية ثلاثية الطور فقط

س٨: شرط الأساسي لربط محولين ثلاثي الطور على التوازي (Parallel Operation) هو:

(أ) تماثل تتابع الأطوار (Phase Sequence) ونفس المجموعة الاتجاهية (Vector Group)

(ب) اختلاف نسبة التحويل

(ج) أن تكون القدرة الكيلوفولت أمبيرية (kVA) متساوية تماماً

(د) أن يكون أحدهما خافضاً والآخر رافعاً

س٩: كفاءة المحول الكهربائي تكون عند قيمتها القصوى (Maximum Efficiency) عندما:

(أ) تكون المفقودات النحاسية مساوية للمفقودات الحديدية

(ب) يعمل المحول بدون حمل

(ج) تكون المفقودات النحاسية أعلى بكثير من الحديدية

(د) يكون معامل القدرة مساوياً للصفر

س١٠: تُعطى سعة المحولات الكهربائية وتقيم بوحدة:

(أ) الكيلوواط (kW)

(ب) الكيلوفولت أمبير (kVA)

(ج) الكيلوواط ساعة (kWh)

(د) الأوم .

❖ المحولة أحادية الطور (Single-Phase Transformer) :-

• المقدمة:-

- المحولة الكهربائية جهاز أساسي في أنظمة القدرة الكهربائية. وظيفتها الرئيسية: (نقل الطاقة الكهربائية بين دائرتين) مع تغيير مستوى الجهد (رفع أو خفض)، وثبوت الطاقة التي تم نقلها من الدائرة الأولى إلى الدائرة الثانية وبثبوت التردد والمحولات أحادية الطور تُستخدم بكثرة في المنازل، الورش الصغيرة، والأجهزة الكهربائية.

• مبدأ العمل :-

- تعتمد على قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي. عند مرور تيار متناوب في ملف الابتدائي، يتولد فيض مغناطيسي متغير في القلب الحديدي. هذا الفيض يحث جهداً في الملف الثانوي.
- العلاقة بين الجهد وعدد اللفات: -

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2} = K = \frac{I2}{I1}$$

حيث ان :-

جهد الملف الثانوي:-V2,, جهد الملف الابتدائي :-V1

نسبة التحويل :-K , عدد لفات الثانوي:-N2 , عدد لفات الابتدائي :-N1

• مكونات المحولة أحادية الطور

- القلب الحديدي :مصنوع من صفائح رقيقة لتقليل الفاقد بالتيارات الدوامية.
- ملف ابتدائي :يستقبل القدرة من المصدر.
- ملف ثانوي :يزود الحمل بالقدرة.
- العوازل :تفصل الملفات عن القلب وتمنع القصر الكهربائي.
- الزيت أو الهواء :للتبريد والعزل في بعض الأنواع.

أنواع المحولات أحادية الطور

- محولة خافضة للجهد :مثل محولات شواحن الهواتف.
- محولة رافعة للجهد :مثل محولات أجهزة الأشعة السينية.
- محولات العزل :لعزل الدوائر وحماية المستخدمين.

الاستخدامات
العملية

- في المنازل: تشغيل الأجهزة الكهربائية بجهد مناسب.

- في الورش: تشغيل المعدات الصغيرة.
- في الأجهزة الإلكترونية: توفير جهد منخفض وآمن.

المزايا والعيوب

المزايا:

- بساطة التركيب.
- كفاءة عالية (تصل إلى ٩٨٪).
- عمر طويل مع صيانة قليلة.

العيوب:

- غير مناسبة لنقل القدرة الكبيرة لمسافات طويلة.
- تعمل فقط على التيار المتردد (AC).

مثال ١:- محولة أحادية الطور تعمل على جهد ابتدائي (٢٢٠ فولت) وجهد ثانوي (١٢ فولت)، اذا علمت عدد لفات الملف الابتدائي (١٠٠لفة).

١- أحسب عدد لفات الملف الثانوي.

٢- ماهو نوع المحولة.

مثال ٢:- محولة أحادية الطور تعمل على جهد ابتدائي (٢٢٠ فولت) وجهد ثانوي (١٢ فولت)، اذا علمت عدد لفات الملف الابتدائي (١٠٠لفة).

١- أحسب عدد لفات الملف الثانوي.

٢- ماهو نوع المحولة.

مثال ٣:- محولة أحادية الطور تعمل على جهد ابتدائي (١١٠ فولت) ، اذا علمت عدد لفات الملف الابتدائي (٢٠٠لفة) و عدد لفات الثانوي (٨٠٠لفة).

١ - أحسب جهد الملف الثانوي.

٢ - ماهو نوع المحولة.

مثال ٤:- محولة أحادية الطور تعمل على جهد ابتدائي (٢٢٠ فولت) وجهد ثانوي (١١٠ فولت)، اذا علمت ان تيار الملف الثانوي (٤ أمبير) والكفاءة (١٠٠٪).

١- أحسب تيار الملف الابتدائي.

٢- ماهو نوع المحولة.

أنواع المحولات الكهربائية

١. محولات القدرة
٢. محولات التوزيع
٣. المحول الرافع والخافض للجهد
٤. محولات القياس
٥. المحولات الجافة
٦. المحولات المغمورة بالزيت
٧. محولات التآريض
٨. محولات العزل
٩. المحول الذاتي
١٠. محول النوع القلبي Core Type
١١. محول نوع الغلاف Shell Type

تصنيف المحولات الكهربائية

يمكن تصنيف المحولات طبقاً للآتي:

- حسب الإستخدام: محولات قدرة ومحولات توزيع، ومحولات قياس.
- حسب عدد الأوجه: محولات أحادية الطور ومحولات ثلاثية الطور.

- حسب نسبة التحويل: محول رفع، ومحول خفض.
- حسب نوع العزل: محولات جافة، ومحولات زيتية.
- حسب عدد اللفات: محولات ثنائية اللف، ومحولات ثلاثية اللف.
- حسب نوع القلب الحديدي: محول Core Type ، محول Shell Typ

أنواع المحولات الكهربائية

مهما اختلفت انواع المحولات الكهربائية فإنها تعمل بنفس المبدأ وتركيبها متشابه مع وجود اختلاف بسيط في بعض الانواع ومن أهم أنواع المحول الكهربائي مايلي :-

١- محولات القدرة

وهي موجودة بين محطات التوليد وخطوط النقل. ويختلف تركيبها باختلاف قيمة قدرتها المقننة وباختلاف مكان تثبيتها، بحيث التي تستخدم في الهواء الطلق، عادة ما تكون مغمورة بالزيت بينما المخصصة للاستخدام الداخلي فهي من النوع الجاف في الغالب

تصنف محولات القدرة لثلاثة أنواع بحسب قدرتها ويعمل محول القدرة عند الحمل الكامل بصفة مستمرة لذلك عند تصنيفه يُراعى أن تكون كفاءته القصوى عند نسبة تحميل ١٠٠٪، أي عند التحميل الكامل

➤ الجدول ادناه يبين نوع المحولة والقدرة والاستخدام.

ت	نوع المحولة	القدرة	الاستخدام
1	محولات التوزيع	KVA(10- 1000)	تغذية الاحياء السكنية والشوارع
2	محولات القدرة الصغيرة	MVA (0.5 – 10)	تغذية المصانع والمحطات الفرعية
3	محولات القدرة المتوسطة	MVA (10 – 100)	تغذية النقل والربط بين المدن
4	محولات القدرة الكبيرة	MVA(> 100)	تغذية محطات توليد الطاقة الرئيسية

➤ ملاحظة:- وحدة قياس القدرة في المحولات هي (VA,,KVA,,MVA) .

الكفاءة (Efficiency)

- تعرف الكفاءة بانتهاء نسبة القدرة الخارجة من المحولة الى القدرة الداخلة للمحولة حيث ان القدرة الداخلة تشمل مجموع القدرة الخارجة والقدرة المفقودة داخل المحولة.

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

$$\zeta = \left(\frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} \right) * 100\%$$

المحولات ثلاثية الأطوار

➤ طرق التوصيل في المحولات ثلاثية الاطوار:-

- ١- دلتا – دلتا ($\Delta-\Delta$).
 - ٢- دلتا – نجمة ($\Delta-Y$).
 - ٣- نجمة – نجمة ($Y-Y$).
 - ٤- نجمة – دلتا ($Y-\Delta$).
- المزايا والعيوب :-
- ١- المزايا:-
- حجم أصغر وكفاءة أعلى مقارنة بثلاثة محولات أحادية الطور.
 - تكلفة أقل في المواد والإنشاء.
 - سهولة التركيب والصيانة.

٢- العيوب:-

- في حالة حدوث عطل في أحد الأطوار يتأثر النظام بالكامل.

- صعوبة النقل بسبب الوزن الكبير.

➤ التطبيقات العملية :-

- محطات توليد الكهرباء (ربط المولدات بالشبكة).
- شبكات النقل والتوزيع عالية الجهد.
- المصانع التي تحتاج إلى قدرة عالية.
- المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار.

➤ الاعتبارات التصميمية :-

- اختيار سعة المحول بناءً على الحمل المتوقع.
- العزل الكهربائي ومقاومة الحرارة.
- أنظمة التبريد (زيت، هواء، غاز).
- معايير السلامة الدولية (IEC, IEEE) .

العلاقات الرياضية للمحول ثلاثي الأطوار

• القدرة الكهربائية :-

١- القدرة الظاهرية (S) .

$$S = \sqrt{3} * VL * IL \text{ (VA)}$$

٢- القدرة الفعالة (P) .

$$P = \sqrt{3} * VL * IL * \cos(\phi) \text{ (W)}$$

٣- القدرة غير الفعالة (Q) .

$$Q = \sqrt{3} * VL * IL * \sin(\phi) \text{ (Var)}$$

- ملاحظة:-

- جهد الخط (Line Voltage) ، (VL) .
- تيار الخط (Line Current) ، (IL) .

• العلاقات بين الجهد والتيار حسب التوصيل :-

١- توصيل النجمة (Y) .

- جهد الطور :- $V_{ph} = \sqrt{3} * V_L$

- تيار الطور :- $I_{ph} = I_L$

٢- توصيل المثلثي (الدلتا) ، (Δ) .

- جهد الطور :- $V_{ph} = V_L$

- تيار الطور :- $I_{ph} = \sqrt{3} * I_L$

٣- نسبة التحويل :- (Turns Ratio) .

$$K = \frac{V_{ph1}}{V_{ph2}} = \frac{N1}{N2}$$

ملاحظة :-

- في حالة النجمة (Y) : العلاقة بين جهد الخطوط تعتمد على ($\sqrt{3}$) .
- في حالة المثلثي (دلتا) ، (Δ) : جهد الخطوط يساوي جهد الطور مباشرة .
- القدرة في المحول ثلاثي الأطوار دائماً أكبر بثلاثة أضعاف القدرة في محول أحادي الطور بنفس الجهد والتيار الطوري .

٤- الكفاءة (Efficiency) ، (ζ) .

$$\zeta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%$$