الفهـــــرس

الموضوع	رقم الصفحة
الآية	I
الإهداء	II
الشكر والعرفان	III
الفهرس	III
المقدمة	1
الفصـــــــل الأول	
آلات التيار المستمر	3
مكونات آلات التيار المستمرو الاجزاء الاساسيه لها	4
نظام المجال	4
عضو الإنتاج	7
المبدل (عضو التوحيد)	9
الفرش	11
كراسي التحميل	12
العمود	12
مبدأ عمل ماكينات التيار المستمر	13
لفات عضو الإنتاج	15
أنواع لفات عضو الإنتاج	15
الدائرة المغناطيسية	22
الفصل الثانى	
انواع محركات التيار المستمر	28
محركات المغناطيس الدائم	28
محركات التيار المستمر منفصلة الإثارة	28
محركات التيار المستمر لف توالي	29
محركات التيار المستمر لف توازي	30
محركات التيار المستمر لف مركب	31
عملية التبديل	33
فترة التبديل	38
المعادلة الأساسية للتبديل	42
التبديل الخطي المثالي	42
التبديل اللاخطي	45
تيار الانقطاع وظهور الشرارة	47

تحسين عملية التبديل	51
اتجاه الدوران	52
عزم عضو الإنتاج	53
عزم عمود الإدارة	53
العزم والسرعة لمحركات التيار المستمر	54
سوق المحرك المستمر	56
مضخات الدفع – السحب	57
ضبط درجة التركيب	59
تحديد الامبير / لفات مجال التوالي	60
مقاومة الحمل الحرجة	61
تحديد السرعة لتخفيض ق.د.ك المتولدة	61
تحديد السرعة الحرجة	62
الفصل الثالث	
خصائص مولدات التيار المستمر	65
خصائص الدائرة المفتوحة أو المغناطيسية	65
الخصائص الإجمالية أو الداخلية	65
الخصائص الخارجية	65
خصائص المولدات المنفصلة الإثارة	65
خصائص مولدات التيار المستمر الملفوفة توالي	66
خصائص مولدات التيار المستمر الملفوفة توازي	67
الخصائص الخارجية لمولدات التيار المستمر	68
التحكم في جهد الطرف لمولدات التيار المستمر لف توازي .	70
خصائص مولدات التيار المستمر لف مركب	71
خصائص مولدات التيار المستمر لف مركب تراكمي	71
خصائص مولدات التيار المستمر لف مركب فرقي	72
الفصل الرابع	
الخصائص التشغيلية لمحركات التيار المستمر	75
خاصية السرعة – التيار (توالي)	75
خاصية السرعة – التيار (توازي)	77
خاصية السرعة – التيار (مركب)	78
خاصية السرعة – التيار (مركب فرقي)	79
خاصية السرعة العزم	79
خاصية السرعة العزم (توالي)	79

خاصية السرعة العزم (توازي)	80
التحكم في السرعة لمحركات التوازي	80
طرق التحكم في المجال	80
التحكم بريوستات المجال	80
التحكم بالممانعة	83
التحكم بجهد المجال	84
التحكم بعضو الإنتاج	84
التحكم بمقاومة عضو الإنتاج	84
التحكم في عضو الإنتاج المتوازي	86
التحكم في جهد الإنتاج	87
التحكم في سرعة محركات التيار المستمر باستخدام ينبوع ذي ضغط متغير	89
الفصل الخامس	
تطبيقات مولدات التيار مستمر	96
مولدات التيار المستمر منفصلة الإثارة	96
مولدات التيار المستمر لف توالي	96
مولدات التيار المستمر لف توازي	97
مولدات التيار المستمر لف مركب تراكمي	97
مولدات التيار المستمر لف مركب فرقي	97
تطبيقات محركات التيار المستمر	98
محركات التيار المستمر في الإنسان الآلي	99
تحميل محركات التيار المستمر	99
الفصل السادس	
المواصفات الميكانيكية والكهربائية للماكينة التى تم تناولها والعملى والتجارب التى يمكن اجراءها على الماكينة.	102
المراجع	108
الخاتمة	109

المقدمة :-

أن الآلات تصنف إلى آلات تيار مستمر ومتردد على حسب التيار الذي تعمل به .

المحرك الكهربائي هو آلة تحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية بينما المولد هو تلك الآلة التي تحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية وبالنسبة للمبادئ الاساسية فالمحركات dc تكون مع المولدات dc والتي لها نفس نوع الإثارة أي أن الآلة التي تعمل كمحرك سوف تعمل كمولد .

الفرق الوحيد يقع مع ذلك في شكل التركيب والتي هي بسبب حقيقة أن هيكل المولد يمكن كقاعدة أن يكون مفتوح ولكن بالنسبة للمحرك أن يكون مقفول كليا أو جزئيا ، وذلك أن المولد يوضع عادة في أماكن مناسبة والحماية الميكانيكية للملفات وعضو الانتاج يمكن أن تخفض للنهاية الصغرى . اذاً ليس هنالك أي خطورة في أن يكون هيكل المولد مفتوحا حتى تسهل عمليات التبريد ، الفحص والاصلاح , ومن الناحية الأخرى فالمحركات عليها أن تعمل في ظروف رطوبة وبلل وقنارة وغازات وابخرة كيمائية وتعرض للتدمير الميكانيكي . ولذلك الحماية يجب أن تكون كافية وتضع هياكل المحركات محمية ضد اللهب مقفلة جزئيا أو كليا حسب مطلب الخدمة . الحاجة الى القدرة المحركة دعت الى تطوير الأنواع المختلفة من المحركات الكهربية . حيث كانت تيار مستمر . فان المحركات الأولى كانت أنواع dc ومع تطور أنظمة

القدرة فان رواج المحركات dc تدهور أساسا بسبب تكلفتها العالية وحاجتها للكثير من الصيانة الدورية والمركزة . ومع ذلك فانها لن تختفي أبدا ، لان المحركات dc كانت أصلا الاكثر مناسبة للتحكم في السرعة الواسع المدى الكفء والناعم والعكس السريع والجزئ لانها كانت النوع الوحيد الذي يمكن إستخدامه لاجهزة الحركة الأتوماتيكية وتطبيقات الطائرات . ومن المنافع الكهربية تقل الطاقة على ac حيث يستخدم عادة مجموعة محرك . مولد (مولد dcيدار بمحرك ac) لامداد القدرة لمحرك dc.

آلات التيار المستمر Dc machines

هي آلات كهربائية دوارة يعتمد عملها على ظاهر ة الحث الكهرومغاطيسي فتحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية ذات التيار المستمر فتسمى مولدات التيار المستمر او تحول الطاقة الكهربائية ذات التيار المستمر الى طاقة حركية فتسمى محركات التيار المستمر . تتكون آلات التيار المستمر من جزئين رئيسيين يفصل بينهما فجوة هوائية

الأول :ثابت ويسمى عضو الإثارة ويتكون من أقطاب تقوم الملفات الموضوعة عليها بتكوين المجال المغناطيسي المطلوب ويستغنى أحيانا عن الملفات باستخدام اقطاب من مغناطيس دائم .

الثاني : متحرك ويسمى بقطب الانتاج او المنتج ARMATURE والذي تتحول فيه الطاقة من شكل لآخر وتنقسم مكائن التيار المستمر حسب شكل وطريقة الإثارة فيها الى نوعين رئيسيين الأول يسمى بمكائن الإثارة المستقل حيث يتطلب لتغذية ملفات الإثارة وتكوين المجال المغناطيسي المطلوب وجود مصدر مستقل لجهد التيار المستمر والثاني يسمى بمكائن الإثارة الذاتية حيث يقوم ذاتيا بتكوين الفيض المغناطيسي المطلوب للإثارة .

وينقسم النوع الأخير الى المكائن التالية :-

أ. مكائن الإثارة المتوالية :- وفيها تربط ملفات الإثارة والمنتج على التوالي معا

ب. مكائن الإثارة المتوازية :-وفيها تربط ملفات الإثارة والمنتج على التوازي معا

ج. مكائن الإثارة المختلطة وفيها يربط قسم من ملفات الإثارة على التوالي مع ملف المنتج والآخر على التوازي معا مما يعطي ربط مختلط للملفات .

تقوم مكائن التيار المستمر بوظائف متعددة أخرى عدا توليد الجهد المستمر او الحركة الدوارة حيث تعمل كمضخات للقدرة أو محولات للتيار او مولدات للسرعة او حتى أحيانا كمحولات.

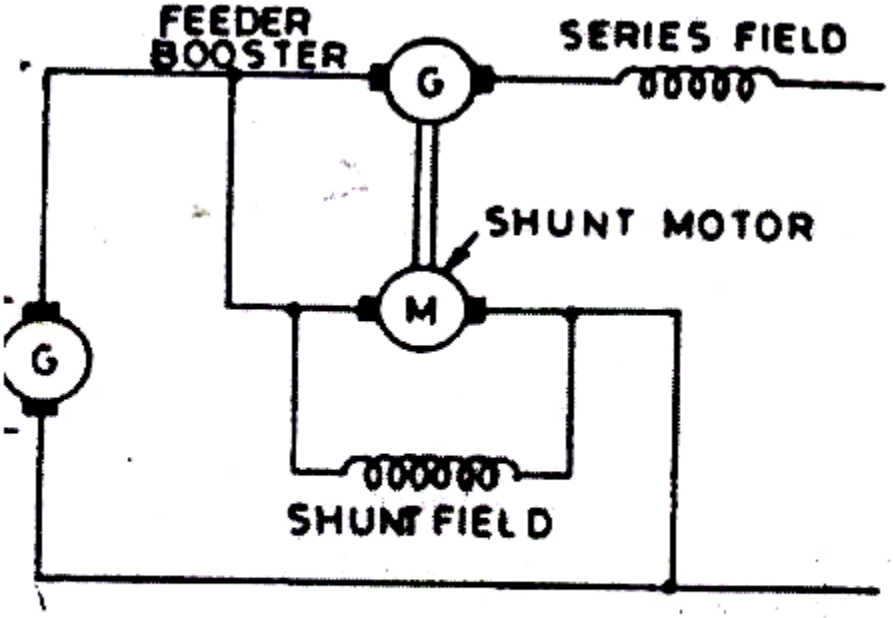
تطبيقات مولدات Application of DC

اختيار مولد dc لخدمة معينة يتوقف على خصائص أدائه وهي معطاة أسفل :

1. مولدات dc منفصلة الإثارة:- هذه المولدات تتطلب مصدر منفصل للإمداد وهي بذلك عادة أكثر تكلفة من المثارة ذاتيا وعلى هذا الأثاث فهي تستخدم بصفة عامة حيث تكون المولدات المثارة ذاتيا غير مرضية نسبيا وهي تستخدم في أنظمة وارد ليونارد للتحكم في السرعة لان المثارة ذاتيا ستكون غير مستقرة عند الجهود المنخفضة حيث المنفصلة الإثارة تعطي تجاوب أسرع وأدق للتغيرات في مقاومة دائرة المجال وبالتالي تستخدم حيث يكون مطلوب تجاوب سريع ومحدد للتحكم .

2. مولدات dc لف توالي :- هذه المولدات لها تطبيقات قليلة فهذه لا يمكن أن يستخدم للإمداد بالقوة بسبب خصائص الجهد المرتفعة ويمكن استخدامها كمصدر لتيار ثابت باستخدام جزء الهبوط لخصائص التيار – الجهد وأفضل تطبيق لها لامداد تيار المجال للفرامل المجددة في القاطرات dc وتستخدم أيضا في إضاءة القوس وأيضا تستخدم كمعززات توالي والمعزز هو مولد dc لف توالي والذي يدخل في دائرة لإضافة جهد معين لكي يعوض الهبوط الحاد في المغذي يستخدم كذلك في ماكينات لحام dc .

المولدات لف توالي تربط بمحرك dc توازي كما موضح في الشكل (4.44)



عند

يض

Series Booster

معزز توالى

Fig 4.44

المضبوط لهبوط الجهد في المعدى فان الجهد الداخل للدائره يجب ايضا أن يناسب مع تيار الحمل .

معزز التوالي هو لذلك مولد توالي dc ذو تيار عالي وجهد منخفض يعمل على الجزء الخطي من خصائص الجهد – التيار خاصة . مقاومة متغير تعرف باسم (المفرع) تتصل على التوازي مع لفات المجال حتى يمكن ضبط جهد الخرج للمعزز لكي يوائم هبوط الجهد في الخط .

3. مولدات dc للتوازي :- هذه المولدات مع منظمات المجال تستخدم للإضاءة وأغراض الإمداد بالقدرة وهذه تستخدم أيضا لشحن البطاريات لانها تستطيع إعطاء جهد خرج ثابت .

4. مولدات dc لف مركب تراكمية :– مولدات dc المركب تزايدي تستخدم بصفة عامة لإضاءة وخدمات القدرة لان المركب تزايدي يعوض هبوط الجهد في خطوط التوزيع وهكذا يبقى الجهد عند أطراف المستهلك أكثر واقل ثباتا .

5. مولدات dc لف مركب فرقي: وهي مولدات ذات تيار ثابت ووجدت تطبيقات مفيدة كمولدات اللحام بالقوس حيث يكون المولد عمليا في دائرة قصر كل الوقت الذي يلمس فيه الالكترود سطح المعدن المراد لحامه .

تطبيقات محركات dc:-

تشمل الآتي :

1. المحركات dc منفصلة الإثارة : تستخدم لآلات الورق در قلة الصلب ...الخ.
2. المحركات dc توالي : للإدارة التي تتطلب عزم بداية كبير جدا وحيث ضبط تغيير السرعة مطلوب للروافع ، الأوناش ، عربات الترولي ، القاطرات الكهربية الأحمال يجب أن تكون مرتبطة وليست سيور لتجنب السرعة الزائد فأقل حمل يجب ألا يقل عن 15–20% من عوم الحمل الكامل .
3. محركات dc توازي سرعة ثابتة : أساسا لتطبيقات السرعة الثابتة التي تتطلب عزم بداية متوسط يمكن استخدامه للسرعة المغايرة للضبط ولمدى ليس أكبر من 1:2 للمخارط – الطلمبات الطاردة المركزية – الطلمبات الترددية – المراوح – آلات تصنيع الأخشاب – آلات الطباعة – آلات الغزل والنسيج الخ.

محركات dc توازي سرعة قابلة للضبط نفس الكلام بعالية للتطبيقات التي تتطلب تحكم سرعة قابل للضبط إما عزم ثابت أو خرج ثابت .

4. محركات dc لف مركب تراكمي : للإدارة التي تتطلب عزم بداية مرتفع بسرعة ثابتة معتدلة فقط الأحمال النبضية مع فصل الحداقة ، ويستخدم مع المصاعد ماكينات صناعة الثلج – ضاغطات الهواء – آلات الطباعة الروافع ..الخ

5. محركات dc لف مر كب فرقي مع مجال توالي ضعيف نسبيا لاعمال التجارب والأبحاث .

الدائرة المغنطيسية :-

قد يكون المسلك المغناطيسي مستمرا دون احتوائه على فجوة كما هي الحال في جميع المكائن الكهربائية الدوارة كما تعترض مسار خطوط القوة في المسلك المغناطيسي أجزاء مختلفة او في المادة المصنعة منها كل ذلك يؤدي الى اختلاف شدة المجال المغناطيسي من جزء الى آخر من أجزاء الدائرة وبالتالي الى ضرورة حسابتها لكل جزء بشكل منفصل إذا كانت الدائرة المغناطيسية متوالية فان القوة الدافعة الكهربائية المغناطيسية الكلية فيها تساوي

$$F_t = H_1L_1 + H_2L_2 + + H_nL_n$$
$$= \sum H_rL_r = \Phi \sum L/ \mu_rA_r$$
$$= \Phi \sum s_r = \Phi\, s_t$$

حيث أن r تمثل الجزء المعين

μr تمثل نفازية هذا الجزء

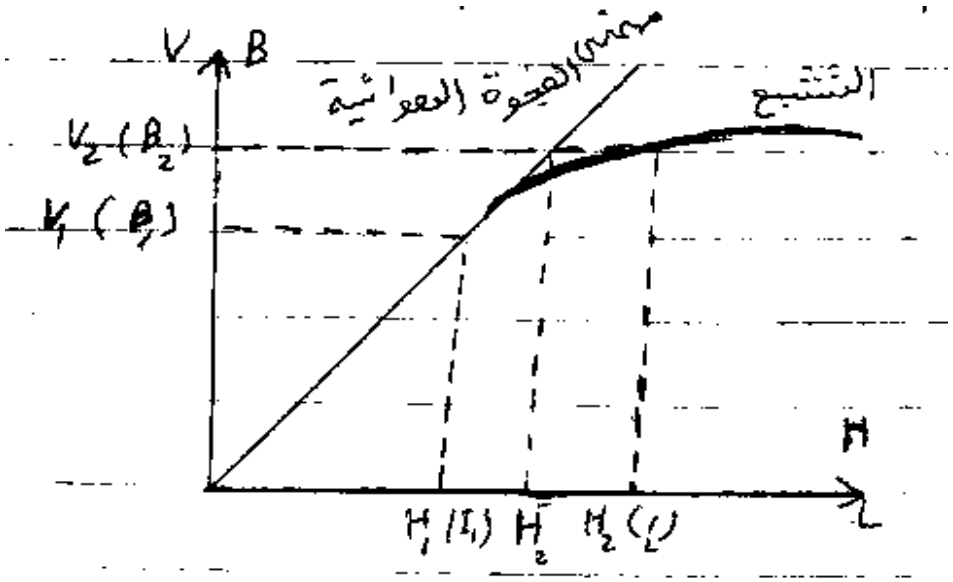
إذا احتوت الدائرة المغناطيسية على فجوة هوائية فان المعاوقة الكلية لها تساوي مجموع معاوقة الفجوة الهوائية ومعاوقة الأجزاء الحديدية

$S_t = S_i + S_g$

إذن القوة الدافعة المغناطيسية الكلية الضرورية لامرار فيض معين خلال الدائرة المغناطيسية تساوي : $F_e = F_i + F_g = H_iL_i+H_gL_g$

ويكون مقدار شدة المجال في الفجوة الهوائية نسبة الى ذلك في الأجزاء الحديدية كبيرا جدا بحيث يمكن إهمال تأثير الأخير خصوصا عندما تكون كثافة الفيض واطئه .

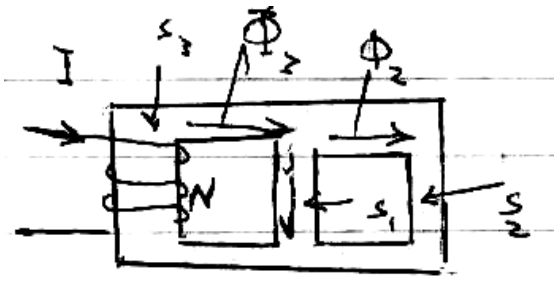
يبين الشكل أدناه منحى التمغنط أو الخصائص المغناطيسية للدائرة المعينة :



حيث نجد في الشكل أعلاه مثلا عند كثافة الفيض B_1 إن شدة المجال H1 تكون للفجوة الهوائية فقط ولا توجد أي مساهمة من الحديد فيها بينما عند كثافة الفيض B2 نلاحظ أن المنحنى لا يبقي خطا مستقيما بسبب إشباع الدائرة وان شدة المجال H2 تتكون من مساهمة الفجوة الهوائية (OH2) ومن مساهمة الحديد (H2H2)

إن لمنحنى التمغنط أهمية كبيرة في دراسة خصائص المكائن الكهربائية وتزود مصانع إنتاج هذه المكائن منتوجاتها بالمنحنيات المناسبة التي يمكن على أساسها معرفة طبيعة العلاقات المغناطيسية وتحديد ظروف عمل هذه المكائن ويمكن الحصول على هذا المنحنى تقريبا في المختبر بتسليط الجهد V على ملفات الدائرة ورصد التيار I المار فيه فعند الجهود الواطئة تكون العلاقة بين المقدارين الكهربائيين V ، I (أو المغناطيسيين B و H) خطيه مما يدل على عدم تتبع الدائرة مغناطيسيا ولا ينصح بعمل الماكينة في هذه المنطقة (OV) لان ذلك يعني عدم استقلال الماكينة الكهربائية بالشكل الكفء الذي يسمح به حجم ونوعية السلك المغناطيسي المستخدم عند زيادة مقدار الجهد على V1 نلاحظ أن سرعة زيادة مقدار التيار تقل ويبتعد المنحنى عن العلاقة الخطية السابقة مما يدل على إشباع الدائرة المغنطيسية مقارنة مع الحالة السابقة ويفضل دائما أن تصمم المكائن الكهربائية وان تعمل في ظروف مغناطيسية مشابهة لهذه الحالة (مثلا بين B2 – B1) فهي تعطي كفاءة أعلى واستثمار أفضل للدائرة المغناطيسية . إذا استمرت زيادة الجهد على V2 فان إشباع الدائرة المغناطيسية يزداد ويبدأ المنحنى المغناطيسي بالتسطح بحيث إن زيادة قليلة بالجهد (أو كثافة الفيض) تتطلب تيار أو (شدة المجال) عالي جدا ولا يسمح بعمل المكائن ضمن هذه المنطقة لزيادة مفاقيد الدائرة وهبوط كفاءتها وظهور المؤثرات السلبية الأخرى المرافقة لظاهرة الإشباع كتوافقيات الإشباع مثلا , عند تطور الدائرة المغناطيسية واحتوائها على فروع متوازية نلجأ ثانية الى استخدام قوانين كر تشوف التي تتطبق على الدائرة الكهربائية .

القانون الأول : الذي ينص على أن المجموع الجبري الكلي للفيض المغناطيسي في عقدة يساوي صفر والمجموع الكلي للفيض المغناطيسي الداخل الى عقدة يساوي المجموع الكلي للفيض الخارج منها



وعند إعطاء إشارة موجبة للفيض الداخل وسالبة للفيض الخارج القانون يكون كما يلي :

$$\Phi_3-\Phi_1-\Phi_2=0$$

$$\Phi_3=\Phi_1+\Phi_2$$

القانون الثاني :- الذي ينص على أن المجموع الجبري للقوة الدافعة المغناطيسية في حلقة مغلقة في حلقات الدائرة المغناطيسية تساوي المجموع الجبري لحاصل ضرب الفيض في المعاوقة في كل جزء من هذه الحلقة أي :

$$F_t = IN = \Phi_3 s_3 + \Phi_1 s_1$$

$$= \Phi_3 s_3 + \Phi_2 s_2$$

لذلك فان:

$$\Phi_1 \underline{s_1} - \Phi_2 s_2 = 0$$

وعند اختلاف مقاومة الفروع فان العلاقة بين الفيض المار فيها تساوي :

$$\delta_2$$

$$\Phi_1=\Phi_3\delta_2+\delta_1$$

$$\delta_1$$

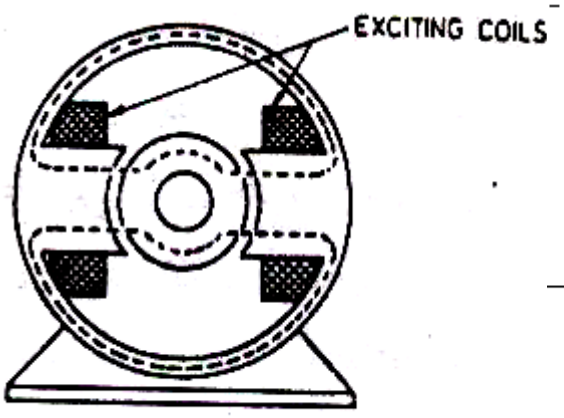
$$\Phi_2=\Phi_3\delta_1+\delta_2$$

والمعاوقة الكلية للدائرة تساوي:

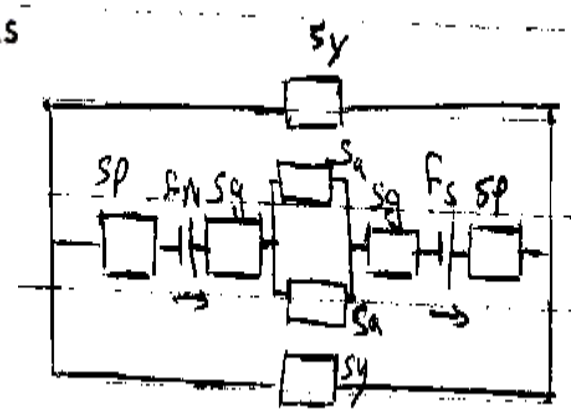
$$\delta_1\delta_2$$

$$\delta_t=\delta_3+\delta_1+\delta_2$$

عند دراسة الدائرة المغناطيسية للمكائن الكهربائية يفضل استخدام الدائرة المكافئة لها حيث تحول ماكينة التيار المستمر ثنائية الأقطاب الى دائرة مكافئة يسهل بواسطتها استخراج المجاهيل المطلوبة والشكل أدناه يوضح ذلك



2-Pole DC Machine



نلاحظ أن مسار خطوط القوة يمر في مسلك مغناطيسي محدد . إن القطب الشمالي هو عبارة عن كهرومغناطيسي يكون القوة الدافعة المغناطيسيةFN ويوجد قطب جنوبي أيضا يكون القوة الدافعة المغناطيسية FS وتؤثر كلا القوتين الدافعتين المغناطيسيتين في نفس الاتجاه كما مبين أعلاه .

إن خطوط القوة الخارجة من القطب الشمالي تعبر الفجوة الهوائية أولا ثم تدخل للعضو الدوار وبسبب وجود المحور الدوار في وسط هذا العضو فان خطوط القوة تنقسم الى مسارين ثم تلتقي ثانية وتعبر الفجوة الهوائية الى القطب الجنوبي عندما تصل الخطوط الى الهيكل الخارجي فانها تنقسم الى مسارين ثم تعود وتلتقي ثانية عند القطب الشمالي لذلك فان الخطوط المغناطيسية تواجه في طريقها معاوقات مختلفة هي معاوقة القطب Sp ومعاوقة الفجوة الهوائية Sg ومعاوقة العضو الدوار Sa ومعاوقة الفك Sy من جمع المعاوقتين المتوازيتين Sa و Sy يمكن تحويل الدائرة المكافئة في الشكل أعلاه الى دائرة متوالية بسيطة فيها قوة دافعة مغناطيسية تساوي

$$F_t = FN + F_s = IN + IN = 2IN$$

ومعاوقة مغناطيسية كلية تساوي :

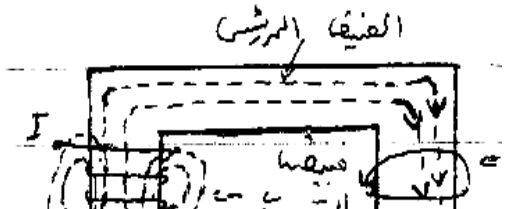
$$\delta_t = 2\delta_p + \delta_g + \tfrac{1}{2}(S_a + S_y)$$

إذن الفيض المغناطيسي الكلي يساوي ببساطة حاصل قسمة هذين المقدارين.

على الرغم من أن خطوط القوة المغناطيسية لهذا الفيض الكلي يجب أن تمر جميعا من خلال الجسم المعدني إلا أننا نعرف بأن قسما يتسرب وينغلق من خلال الهواء دون أن نساهم في عملية نقل الطاقة من جزء الى آخر في الدائرة المغناطيسية لذا فان هذه الخطوط تكون جزء من فيض تسربي Φ_ι يكون مع الفيض الدافع المار في الجسم المعدني ، الفيض المغناطيسي الكلي الذي تكون القوة الدافعة المغناطيسية الكلية

$$\Phi t = \Phi m + \Phi_\iota$$

كما هو موضح في الشكل أدناه



إن نسبة الفيض الكلي الى الفيض الرئيسي الدافع تكون أكبر من 1 دائما تسمى بمعامل التسرب حيث $K\iota = \Phi t \div \Phi m = 1+(\Phi\iota) \div \Phi m$

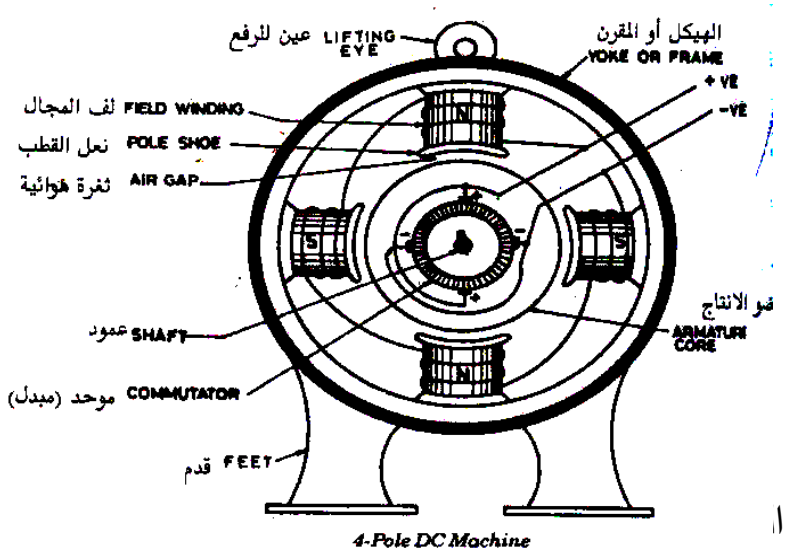
ففي الدوائر المغناطيسية التي تحتوي على فجوة هوائية ظاهرة أخرى هي أن كثافة الفيض في الفجوة الهوائية تكون أقل من تلك في الجسم المعدني الذي يحيط بالفجوة وتسمى هذه الظاهرة بالتعربية Fringing تبرز هذه الظاهرة بوضوح عندما يكون طول الفجوة كبيرا وفعلا عندما يكون طول الفجوة الهوائية صغيرا تعتبر دائما إن مساحة مقطع الفجوة والحديد الذي يحيطها هي واحد وبالتالي فان كثافة الفيض فيها متساوية بالمقدار ومع زيادة طول الفجوة تزداد المساحة الفعالة لها وتقل كثافة الفيض فيها .

إن كلا الظاهرتين التعربية والتسربية تؤثران سلبيا على كفاءة واستثمار المكائن الكهربائية والدوائر المغناطيسية لذا يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند تصميم الأجهزة والمكائن الدوائر المغناطيسية الأخرى .

الأجزاء الأساسية للآلة DC :-

تتكون الآلة DC من أربعة أجزاء رئيسية :-

1. مغناطيس المجال .
2. العضو الدوار .
3. المبدل (عضو التوحيد)
4. الفرش .



4-Pole DC Machine

Fig. 2-6

آلة DC أربعة أقطاب

{1}نظام ا

الهدف من ـو الانتاج .

المغناطيسيات الكهربية مفضلة بالمقارنة مع المغناطيسيات الدائمة بسبب التأثير المغناطيسي الأكبر وشدة تنظيم مجاله والتي يمكن أن تحقق التحكم في تيار المغنطة .

ومغناطيس المجال يتكون من أربعة أجزاء هي :-

1. المقرن أو الهيكل: YOK or Frame.
2. قلوب القطب Po;e Cores.
3. نعل القطب Pole shoes.
4. ملفات المغنطة .

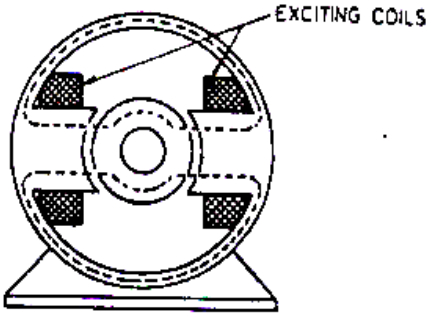
المقرن الاسطواني يستخدم عادة ويعمل كهيكل للآلة ويحمل الفيض المغناطيسي الناتج من الأقطاب وحيث أن المجال ثابت فليس هناك حاجة لاستخدام مقرن ذو رقائق للآلة العادية . في الآلات الصغيرة تستخدم مقرنات من حديد الزهر بسبب رخصه ولكن مقرن الآلة الكبيرة يصنع من الصلب بسبب نفازيته العالية في حالة الآلات الصغيرة يؤخذ الرخص كإعتبار رئيسي وليس الوزن ولكن في الآلات الكبيرة يكون للوزن اعتبار رئيسي حيث أن نفازية الصلب تعادل مرتين قدر نفازية الحديد الزهر لذلك فان وزن الصلب المطلوب سوف يكون نصف وزن الحديد الزهر إذا استخدمت نفس الممانعة المغناطيسية وعملية التصنيع تتكون من طي كتلة مسطحة سميكة من الصلب حول درفيل اسطواني ثم لحامه من أسفل عين الرفع والاقدام

وصندوق النهايات تلحم للهيكل بعد ذلك . هذا المقرن يمتلك قوة ميكانيكية كافية وله نفازية عالية . مع الآلات الصغيرة يمكن أن يكون المقرن قطعة واحدة ولكن الآلات الكبيرة من العادي استخدام مقرن مشقوق ويركب النصفان بمسامير وصواميل رابطة وهذا يؤدي الى سهولة في التداول ومناسب للتجميع والفك .

قلب القطب يكون عادة ذو قطاع دائري ويستخدم لحمل ملفات السلك المعزول حامل تيار الإثارة قلوب القطب ليست على هيئة رقائق و تتكون من ألواح من الصلب سمك 1مم ومعزولة عن بعضها البعض .

تتكون اقطاب المجال عادة من رقائق (ألواح رقيقة من الصلب) وتركب بمسامير للهيكل أو المقرن والذي يركب عليه أيضا كراسي التحميل وممسكات الفرش وفي الالات الصغيرة تصب الأقطاب كجزء من المقرن من الحديد للزهر نظرا لتكلفتها البسيطة ولتقليل عمليات التصنيع اللازمة للأجزاء المنفصلة 0 في بعض الالات يصنع المقرن وقلوب القطب بالصب منفردا ويركب نعل القطب ذو الرقائق لقلوب القطب . نعل القطب يكون دائما على هيئت رقائق لتجنب التسخين وفقد التيارات الدوامية التي يسببها تغير توزيع الفيض على وجهة القطب بسبب حركة شقوق وأسنان عضو الانتاج .

الهدف من ملفات المجال هي أن تعطي تحت الشروط المختلفة للتشغيل عدد لفات الإثارة المطلوبة لإعطاء الفيض اللازم خلال عضو الانتاج ليستحث فرق الجهد المطلوب . الفيض المغناطيسي الناتج من ق.د.ك المتولدة من ملفات المجال تسري خلال قطع القطب ، الثقرة الهوائية ، قلب عضو الانتاج والمقرن او الهيكل. في الشكل أدناه الخطوط المنقوطة تبين مسار الفيض خلال دورة مغناطيسية كاملة ونرى إن الفيض ينقسم الى مسارين من كل قطب خلا المقرن



2-Pole DC Machine
(a)

4-Pole DC Machine
(b)

Fig. 2-8

توجد عدة تكوينات مجال متبناة حسب نوع الإثارة 0 في مجال التوازي تستخدم لفات كثيرة من سلك رفيع ومجال التوالي . تستخدم لفات قليلة ذات مساحات مقطع كبيرة في المجال المركب تستخدم كلا من لفات التوازي والتوالي . ملفات التوازي تلف عادة بأسلاك مغطاة بالقطن مزدوجة . تغمس ملفات المجال بعد اللف المطلوب في ورنيش عازل وتحمص في فرن لتعطي صلابة ، قوة ميكانيكية وخواص عزل جيدة للفات عند تصميم المولد يكون عدد الأقطاب المطلوبة لتكوين المجال تتوقف على سرعة عضو الانتاج والخرج المصمم عنده الآله 0 إذا تم المحافظة على سرعة الانتاج ثابتة فان عدد الأقطاب يحدد المعدل الذي عنده تقطع الملفات المنفصلة الفيض المغناطيسي 0 إذن خرج الجهد يزداد بزيادة عدد الأقطاب عند سرعة عضو إنتاج ثابته .

في أي مولد تنتج أقطاب المجال عادة في أزواج حيث أن الزوج ضروري لإنتاج مجموعة من الأقطاب المغناطيسية . بكثرة عدد الأقطاب فان تشوهات شكل المجال لن تكون مفرطة ولكن مع زيادة عدد الأقطاب :

1. تردد الفيض المضاد يزداد ونتيجة لذلك يزداد فقد الحديد .
2. يزداد عمل الشحنة الكهربائية .
3. قابلية حدوث وميض بسبب أزرع الفرش يزداد الحد الأعلى لعدد الأقطاب يفرض بالتردد والتي تكون في حدود 20÷30HZ للآلات الكبيرة ولا تتعدى الـ50 HZ في الآلات الصغيرة . النهاية السفلى تكون بسبب التيار لكل زراع فرشه، والذي يجب ألا يتعدى 400 A والا سيكون مطلوب مبدل (عضو توحيد) طويل عن الحد

{2} عضو الانتاج : Armature

هو الجزء الدوار لأي آلة dc ويبنى على شكل أسطواني والغرض منه هو أن يقوم بتدوير الوصلات في مجال مغناطيسي منتظم يتكون من ملفات من أسلاك معزولة

ملفوفة حول حديد ومنظمة يجعل القوة الدافعة الكهربية تستحث في هذه الأسلاك عندما يدور عضو الانتاج في مجال مغناطيسي بالإضافة فان أهم وظيفة له هو إعطاء مسار اقل ممانعة للفيض المغناطيسي ويصنع قلب عضو الانتاج من رقائق من صلب سليكوني عالي النفاذية مفصولة عن بعضها بورق أورنيش كعازل .

توجد ثقرة هوائية صغيرة بين قطع القطب وعضو الانتاج حتى لا يكون هناك احتكاك في الآلة 0 ومع هذا فانه يتم المحافظة على هذه الثقرة اصغر ما يمكن حيث كلما زادت الثقرة زادت ق0 د0 ك المطلوبة لخلق الفيض المطلوب .

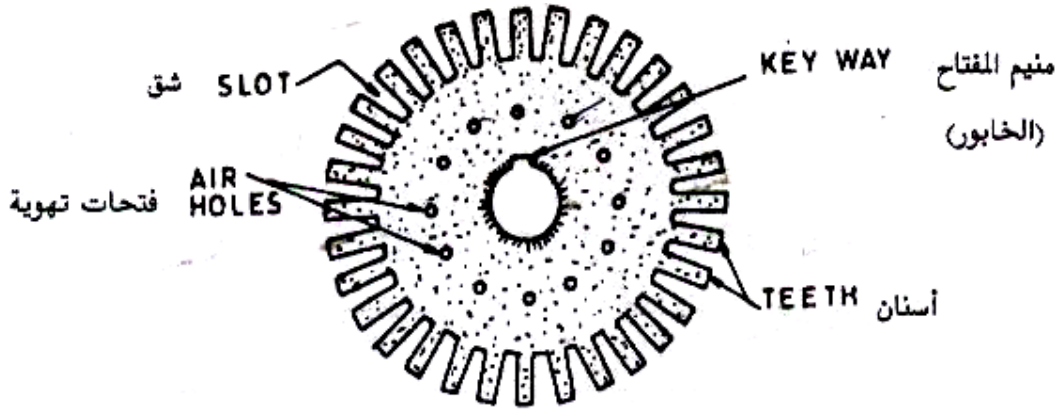
طول الثقرة الهوائية حوالي 1ملم ÷ 6ملم .

استخدام الصلب عالي الرتبة مهم للأسباب الآتية :-

1. للمحافظة على الفقد في التخلف المغناطيسي المنخفض والذي يحدث بسبب التغيير الدوري في التمغنط الحادث بدوران القلب في المجال المغناطيسي .

2. لتخفيض التيارات الداومية في القلب والتي تستحث بدوران القلب في المجال المغناطيسي . وباستخدام رقائق الصلب فان مسار التيارات الدوامية يقطع الى عدة وحدات والرقائق يجب أن تكون في اتجاه عمودي على مسارات التيارات الدوامية وموازية للفيض . كل رقيقة يكون سمكها (0.3÷0.6)مم.

شق الرقيقة يمكن أن يشكل على قلب محيط بقلب الرقيقة الدائري إما بواسطة آلة لتشكيل المعادن أو بالثقب ويوضع طريق المفتاح على القطر الداخلي وذلك كما هو مبين في الشكل التالي .



Armature Lamination

Fig. 2-10

رقيقة عضو الإنتاج

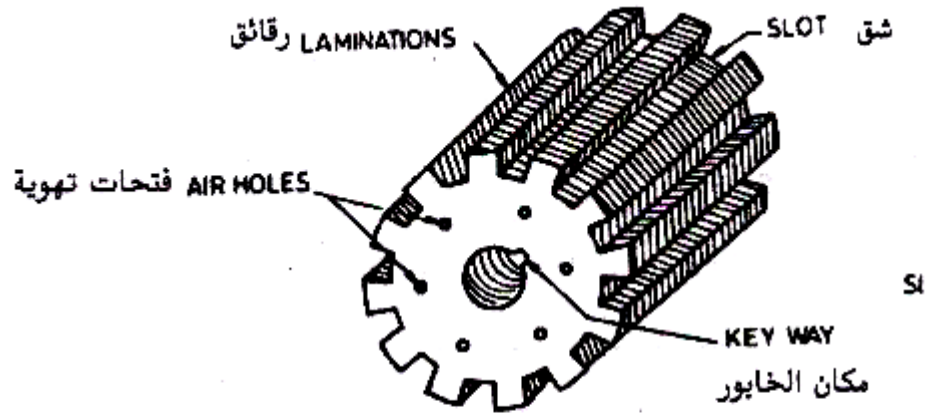
تتكون الشقوق من النوع المفتوح عادة وتوضع موازيين لمحورعضوالانتاج ، عرض وعمق الشقوق يتم الحصول عليه ليتوافق مع الموصلات والعزل .

تصنع رقائق القلب حتى قطر 0.5متر بصفة عامة على هيئة قطعه واحدة ويتم تركيبها مباشرة على العمود وتكون مثقوبة بفتحات قرب العمود لتعطي منافذ تهوية طوليه ويسحب الهواء خلال هذه المنافذ بالفعل المروحي لعضو الانتاج منتجا تهوية كفء وللآلات الأكبر التي لها عضو إنتاج أكبر في القطر نرى أنه لن يكون اقتصاديا أن تكون الرقيقة قطعة واحدة ، فالقلب الأكبر قطرا يبنى من رقائق شد فيه (أربعة أو ستة حتى 8 قطع) والتي تربط بوصلة معشقة ، تنظم الوصلات بين القطع لكي تحفظ استمرارية الدائرة المغناطيسية0 فتحات التهوية العمودية خلال القلب تتكون بواسطة مفرغات توضع على فترات من (
50÷100) مم عرض فتحات التهوية تتراوح بين (5÷10) مم .

عضو الانتاج مزود عند كل نهاية بإطار معدني يسمى enedbells (أجراس الطرف)

وأجراس الطرف تحوي كراسي التحميل التي يدور فيها عضو الانتاج ويترك جرس طرف واحد مفتوحا أو يصنع بغطاء يمكن نزعه بالكشف عن الفرش .

جرس الطرف المفتوح يساعد أيضا في التبريد الطبيعي للآلة في بعض الآلات يركب حامل الفرش على جرس الطرف.



Assembled View of Armature Laminations

Fig. 2-12

منظر مجمع لرقائق عضو الإنتاج

3. المبدل (عضو التوحيد) Commutator:

هو شكل من أشكال المفاتيح الدوارة موضوع بين عضو الانتاج والدائرة الخارجية ومنظم بحيث يعكس التوصيلات في الدائرة الخارجية في لحظة كل عكس في تيار ملفات.

عضو الانتاج :

فهو جزء هام جدا لأي آلة dc ويخدم الأغراض الآتية :

1. يقوم بالاتصال الكهربي بين ملفات عضو الانتاج الدوار والدائرة الخارجية الثابتة .
2. بدوران عضو الانتاج يقوم بعكس الاتصالات الكهربية بين الدائرة الخارجية وكل ملف لعضو الانتاج بالدور ويجمع جهود ملف عضو الانتاج معا وينتج جهد خرج مستمر .
3. يحافظ أيضا على القوة الدافعة المغناطيسية لعضو الانتاج او العضو الدوار ثابته في الفراغ .

والمبدل تركيبه أساسا اسطواني مبنية من شد فات على شكل وتر من نحاس مسحوب على التوصيلية . هذه الشد فات معزولة عن بعضها بطبقات رقيقة من المايكا (عادة سمك(0.5÷1))مم والمايكا مفضلة ولكن لا يمكن استخدامها للمبدلات الكبيرة بسبب صعوبة الحصول على ألواح كبيره مما يجعل تكاليف الشد فات الكبيرة من المايكا متعذر.

وتستخدم المايكا غالبا من المبدلات الصغيرة وتمسك الشد فات معا بواسطة حلقتين على شكل v تناسب شكل الـv المقطع إليه الشد فات في هذه الأيام يقطع عازل المايكا بين الأجزاء على عمق حوالي 1.5مم .

النحاس معزول عن حلقات v بواسطة المايكا المصبوبة بعناية للشكل المضبوط والمطلوب تلحم نهايات الملفات مباشرة لأجزاء المبدل إذا كان قطر عضو الانتاج

والمبدل متقاربان والا ستلحم مع قطعة مرتفعة (risers) من النحاس وتوجد مسافات بين هذه القطع لكي تسحب الهواء عبر المبدل وتحافظ عليه باردا .
والمبدل مركب على عمود عضو الانتاج والمحيط الخارجي له تم تشغيله ليعطي سطح ناعم حتى يمكن للفرش الكربونية أن تكون ملامسة باستمرار عند دوران عضو الانتاج والمبدل0 ويجب أن توجهه عناية كبيرة عند تصنيع المبدل لأن أي لامركزية بسيطة سوف تسبب عدم ثبات الفرش مما يؤدي الى حدوث شراره.

4. الفرش : Brusnes :

وظيفة الفرش هي جمع التيار من المبدل وإمداده لدائرة الحمل الخارجية (عضو الانتاج للآلة موصل لدائرة الحمل الخارجية عبر المبدل والفرش) . والفرش مستطيلة الشكل وتجلس على المبدل وتصنع الفرش من مجموعة متنوعة من التكوينات ودرجات من الصلابة لتناسب مطالب التوحيد ويمكن تقسيمها مبدئيا الى كربون ، كربون جرافيت، جرافيت ، جرافيت معدني ونحاس. تتراوح قيمة كثافة التيار المسموح بها عند تلامس الفرش من 5 أمبير /سم2 في حالة الكربون والى 23أمبير /سم2 في حالة النحاس .

وتستخدم فرش النحاس فقط للآلات المصممة لتيارات كبيرة عند جهود منخفضة ونظرا لأنها تقطع المبدل بسرعة فيجب تزييتها بعناية عالية وعلى الأحوال فان التآكل فيها يكون سريعا . الفرش الكربونية الجرافيتية والجرافيتية تكون لها تزييت ذاتي ولذا تستخدم على نطاق واسع ويوجد تآكل في المبدل حتى مع أطرى أنواع الفرش0 وإذا لم يتم تآكل المايكا الموجودة بين شد فات المبدل بنفس معدل تآكل الشد فات فان المايكا العالية سوف تجعل تلامس الفرش مع الشد فات رديئا وينتج عن ذلك شرارة تؤدي الى توحيد المبدل ولمنع ذلك يتم باستمرار قطع المايكا لتكون عند مستوى منخفض عن سطح المبدل باستخدام قلم مخرطة ضيق .

آجلا وعاجلا سيتآكل المبدل ويجب إعادة إصلاحه على مخرطة ولكن الآلات ذات الأقطاب البينية المزودة بفرش طريه ومايكا منخفضة عن سطح المبدل سوف تعمل لفترات طويلة دون الحاجة لأي صيانة للمبدل ولا يتم تزييت سطح المبدل ذو المايكا المنخفضة عن سطحه لأن مادة التزييت سوف تجمع تراب الكربون او الجرافيت من

الفرش وتتركه على الشقوق الموجودة فوق المايكا وهكذا تتسبب في تسرب مسار التيار من شدفة الى شدفة والذي يمكن أن يتطور إلى دائرة قصر أو وميض عابر على المبدل لكل الفرش الحديثة ما عدا النحاس يحتوي على جرافيت يكفي للتزييت .
والفرش تكون مثبته على ماسك الفرش Bursh- hoiders (عادة على شكل صندوق) والذي يركب على جويط ماسك الفرش او الأقواس . وتركب جوايط ماسك الفرش على المقرن (الإطار) أو على ذراع هزاز وذراع الفرش الهزاز يمكن أن يدار لتغيير موضع الفرش بالنسبة لأقطاب الآلة . جوايط ماسك الفرش معزولة عن مقرن الفرش بجلبة عازلة وقرص . مقرن الفرش ، ماسك الفرش والفرش تكون جهاز الفرش .
معظم المحركات لها فرش عمودية أي أن محورها عمودي على المبدل وهذا يسمح بالتشغيل في كلا الاتجاهين وحتى في الآلات الغير عكسية تكون الفرش عادة عمودية ومع ذلك ففي بعض الآلات توضع الفرش في وضع مائل لتجنب الاهتزازات التي يمكن أن تنتج من شرارة الفرش .
وتمسك الفرش تحت ضغط على المبدل بتأثير مزدوج من ماسك الفرش والزمبركات التي يمكن ضبط شدتها ومن المهم أن يكون الضغط المطلوب التأثير به على الفرش (1.5÷2.5)نيوتن/سم2 للتأكد من التوحيد الكافي . الضغط الزائد يسبب تسخين المبدل والفرش بسبب الاحتكاك في حين أن الضغط المنخفض يمكن أن يسبب شرارة بسبب التلامس الغير تام بين الفرش والمبدل .

5. كراسي التحميل Bearings

مع الآلات الصغيرة يمكن استخدام كراسي تحميل البلي عند كلا الطرفين وللآلات الأكبر تستخدم كراسي تحميل اسطوانية عند الطرف القائد ، يمكن استخدام كراسي تحميل بلي عند الطرف الغير قائد أي طرف المبدل . كراسي التحميل الدفعية تستخدم حيث يتوقع قوى دفع طرفية زائدة .
كراسي التحميل باستخدام جلبة وحلقة تزييت تستخدم للمحركات عندما يكون مطلوب تشغيل صامت المحرك .

6. العمود Shaft

العمود مصنوع من الصلب ذات أعلى إجهاد كسر ويستخدم العمود لنقل القدرة الميكانيكية من أو الى الآلة . والأجزاء الدوارة مثل قلب عضو الانتاج ، المبدل ، مروحة التبريد ... الخ كلها مثبتة على العمود .

مبدأ العمل :-

القاعدة التي يعمل عليها المحركdc بسيطة جدا إذا وضع موصل يحمل تيار في مجال مغناطيسي فان قوة ميكانيكية تؤثر على الموصل ويمكن تحديد اتجاه هذه القوة بقاعدة فلمنج لليد اليسرى وحينئذ يتحرك الموصل في اتجاه القوة . ومقدار القوة المؤثرة على الموصل تعطى من المعادلة

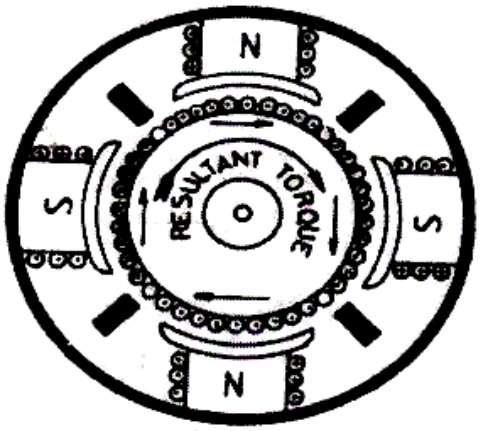
$$F = BLc\delta c$$

حيث أن B تمثل شدة المجال بالتسلل (وبر/م2)

Lc تمثل طول الموصل بالمتر

δc يمثل التيار المار بالموصل بالأمبير

عندما يوصل المحرك الى مصدر رئيسي dc يمر تيار مستمر خلال الفرش والمبدل في ملفات عضو الانتاج وبينما هو يمر بين المبدل يتحول الى Ac لكي تحمل مجموعة الموصلات تحت أقطاب المجال المتعاقبة تيارات في الاتجاه العكسي كما هو موضح في الشكل أدناه



Fig, 6-1

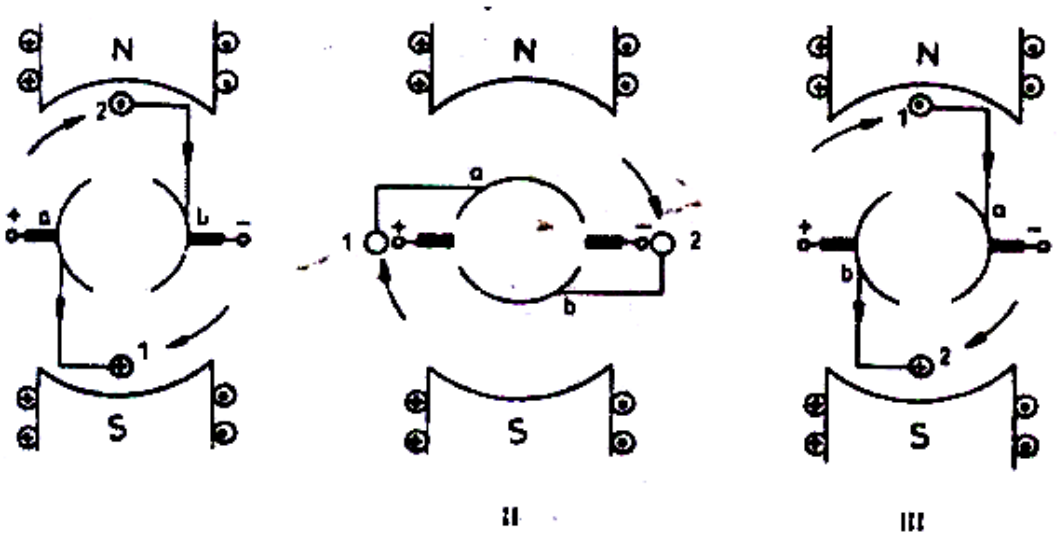
أيضا اتجاه التيار في مرورهم من تأثير أحد الأقطاب لتأثير القطب التالي . في الشكل اعلاه محرك u قطب dc حيث عندما

تتصل دائرة المجال وعضو الانتاج عبر مصدر رنين dc يفترض أن التيار في موصلات عضو الانتاج يكون للخارج تحت القطب N والى الداخل تحت القطب S وبتطبيق قاعدة فلمنج لليد اليسرى يمكن تحديد اتجاه القوى على كل موصل ومن الملاحظ ان كل موصل يؤثر عليه قوة تحاول تدوير عضو الانتاج في اتجاه دوران عقارب الساعة هذه القوة مجمعة تنتج عزم اداره .

فعل المبدل (عضو التوحيد) في محرك DC :

في حالة المحرك DC من الضروري أن ينعكس تيار ملفات عضو الإنتاج حيث أن ملف خاص يقادر أحد الأقطاب (لنفرض القطب الشمالي) عابرا خط التعادل ويأتي تحت تأثير القطب التالي ذات القطبية المضادة (ولنفترض انه القطب) الجنوبي وتشغيل المبدل الذي قدم الغرض السابق .

افترض ملف لفه مفرده ، أطرفة ملحومة بشد فات المبدل b، a وكل يحمل فرشة الجانب الموجب الموجب من خط الا مداد موصل للفرشة اليسرى والجانب السالب للفرشة اليمنى في الوضع I يصل تيار الخط عند شدفة المبدل a من الضلع المعني من الملف مبتعدا من القاري وعندئذ خلال الضلع العلوي للملف في اتجاه القاري (كما هو مبين بالنقطة في الدائرة) واصلا بشدفة المبدل b ويسري من أخرى إلى الخط خلال الفرشاة سوف يميل الملف للدوران في اتجاه عقارب الساعة حسب قاعدة فلمنج لليد اليسرى



Commutation in a DC Motor

Fig, 6-2

التوحيد (التبديل) في محرك DC

في الوضع II يكون الملف على خط التعادل المغناطيسي لا يوجد تلامس بين شد فات المبدل والفرش ولا يوجد سريان للتيار خلال الملف ويعبر الملف خط التعادل للقصور الذاتي وفي حالة الملف متعدد اللفات فان بقية الملفات للملف سوف تحدد العزم اللازم .

في الوضع III يتم تغيير الأقطاب لضلعي الملف 1–2 ويعكس التيار خلالهم شد فات المبدل مع ذلك يمكن أيضا التلامس مع الفرش وهكذا سوف يستمر الملف في الدوران في نفس الاتجاه كما سبق أي في اتجاه دوران عقارب الساعة .

مقارنة فعل المحرك والمولد :-

مما سبق ان المحرك DC والمولد DC هما نفس الآلة على الأقل نظريا الآلة التي تعمل كمولد تدار بقوة إدارة خارجية والخرج DC يحصل عليه منها بينما الآلة التي تعمل كمحرك تمد بتيار كهربائي وينتج دوران ميكانيكي وإذا خفض تدريجيا إثارة آلة (تعمل كولد DC توازي) تشغيل توازي مع خط DC حتى تكون ق.د.ك المنتجة بواسطتها أقل من جهد الخط فان الآلة تبدأ في سحب التيار من الخط وتعمل كمحرك .

انواع المحركات Types of Dc Motor DC :

يمكن تقسيم المحركات dc الى :-

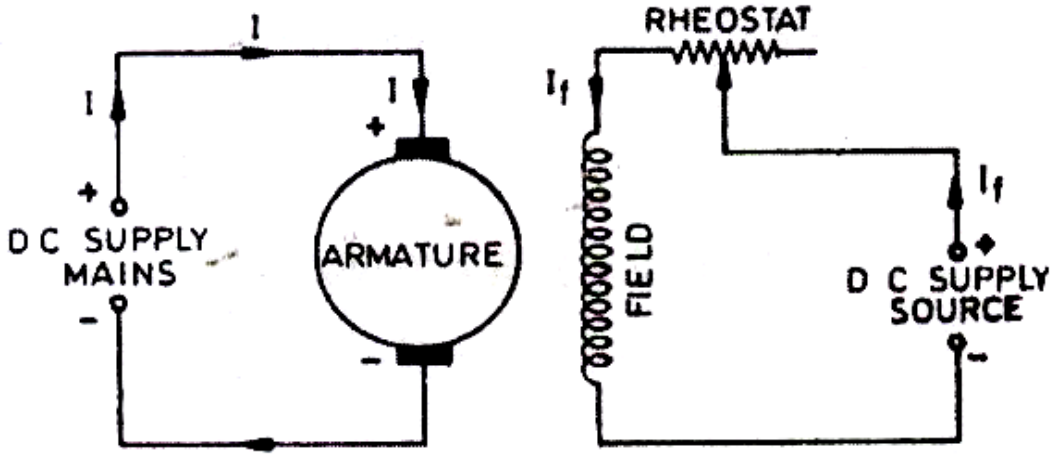
1. المغنطيس الدائم .
2. المنفصلة الإثارة .
3. لف توالي .
4. لف توازي .
5. لف مركب .

1/ محركات المغناطيس الدائم Permanent magnet Motor:

يتكون من عضو إنتاج واحد أو أكثر من المغناطيسيات الدائمة تحيط بعضو الانتاج ملفات المجال مطلوبة عادة ومع ذلك بعض هذه المحركات لها ملفات ملفوفة على الأقطاب وإذا وجد فيكون الغرض منها فقط هو إعادة شحن المغناطيسيات في حالة فقدهم لقوتهم .

2/ محركات dc منفصلة الإثارة Sepastely Excited Dc Motor:

هذه المحركات لها ملفات مجال متماثلة للآلة لف توازي ولكن ملفات عضو الانتاج والمجال تغذى من مصادر إمداد مختلفة كما هو موضح في الشكل أدناه ويمكن أن يكون لها مقننات جهد مختلفة .



Separately Excited DC Motor

Fig, 6-6

محرك DC منفصل الإثارة

وفي المحرك المنفصل الإثارة Iι = تيار الخط = Ia تيار عضو الانتاج .

Eb = V-Ira ق.د.ك المضادة المتولدة .

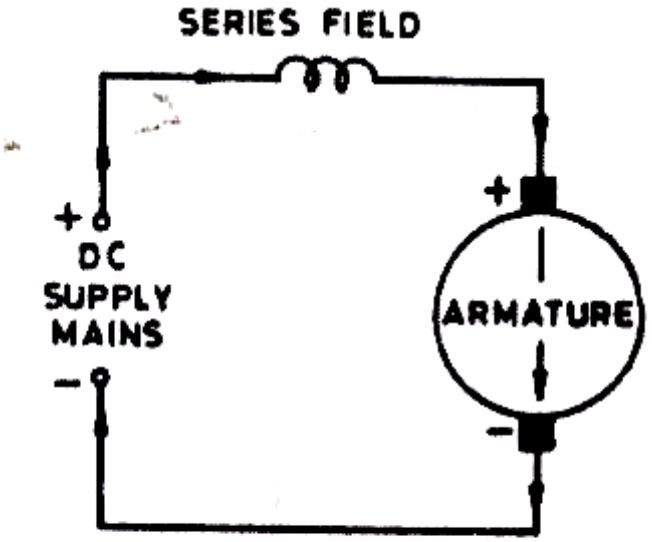
V= جهد المصدر . p = VI القدرة المسحوبة من المصدر الرئيسي .

القدرة المفقودة بعضو الانتاج – قدرة الدخل لعضو الانتاج = Pm القدرة الميكانيكية المتولدة

$$=VI-I^2R_a$$
$$=I(V-IR_a)$$
$$=E_bI$$

محرك dc لف توالي Sesies wound Motor:

ملفات المجال تتكون من لفات قليلة من السلك سميك ، ومتصلة في توالي مع عضو الانتاج كما هو موضح في الشكل أدناه



Series Wound DC Motor

Fig, 6-7

محرك DC لف توالي

ومساحة مقطعه المستخدم لملفات المجال يجب ان يكون أكبر بحيث يحمل تيار عضو الانتاج ولكن بسبب التيار العالي فان عدد اللفات في السلك فيهم في غير حاجة لان يكون كبيرا.

في محرك dc توالي :-

Ise = تيار مجال التوالي = Ia تيار عضو الانتاج

فرضا I = تيار الخط Iι

Eb=V−I(Ra+RSe) ق.د.ك المضادة المتولدة

VI= القدرة المستمدة من الإمداد الرئيسي

(الفقد في عضو الانتاج والمجال) − (القدرة الداخلة) = Pm القدرة الميكانيكية المتولدة

$=VI-I^2(R_a+RS_e)$

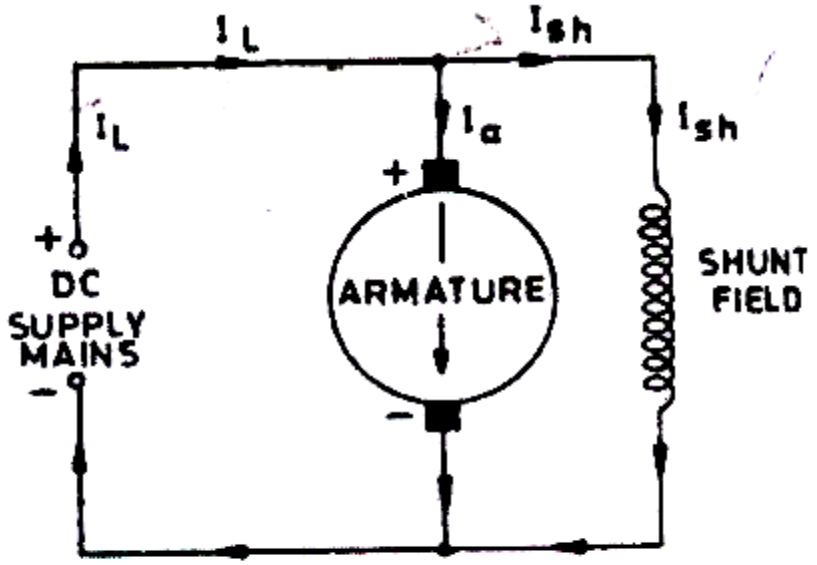
$=I\,[V-I(R_a+RS_e)]$

$=E_bI$

محرك dc لف توازي Shant wound dc Motor:

هذه المحركات سميت كذلك لانها يتم تشغيلها بملفات مجال موصلة توازي مع عضو الانتاج ولفات المجال تتكون من عدد كبير من اللفات من سلك رفيع ليعطى مقاومة أكبر .

تيار المجال أصغر كثيرا من تيار عضو الانتاج أحيانا يصل الى 5%



Shunt Wound DC Motor

Fig, 6-8

محرك DC لف توازي

مخطط التوصيلات موضح في الشكل أعلاه اختبار الموصل للمحرك ينقسم الى مسارين :

واحد خلال ملفات المجال والثاني خلال عضو الانتاج أي أن

$I_t=I_a+I_{sh}$ تيار الخط الداخل

حيث Ia = تيار عضو الانتاج ، Ish = تيار مجال التوازي و يعطى من العلاقة :

$Ish=V/Rsh$

حيث V = جهد الإمداد ، Rsh = مقاومة مجال التوازي

$E_b=V-I_aR_a$ ق.د.ك المضادة

$P=Vi_ı$ القدرة المستمدة من الإمداد الرئيسي (الفقد في عضو الانتاج ومجال التوازي – (القدرة الداخلة)) = P_m

القدرة الميكانيكية المتولدة .

$$=VI_ı-VI_{sh}-I^2_aR_a$$
$$=V(I_ı-I_{sh})-I^2_aR_a$$
$$=VI_a-I^2_aR_a$$
$$=I_a(V-I_aR_a)$$
$$=E_bI_a$$

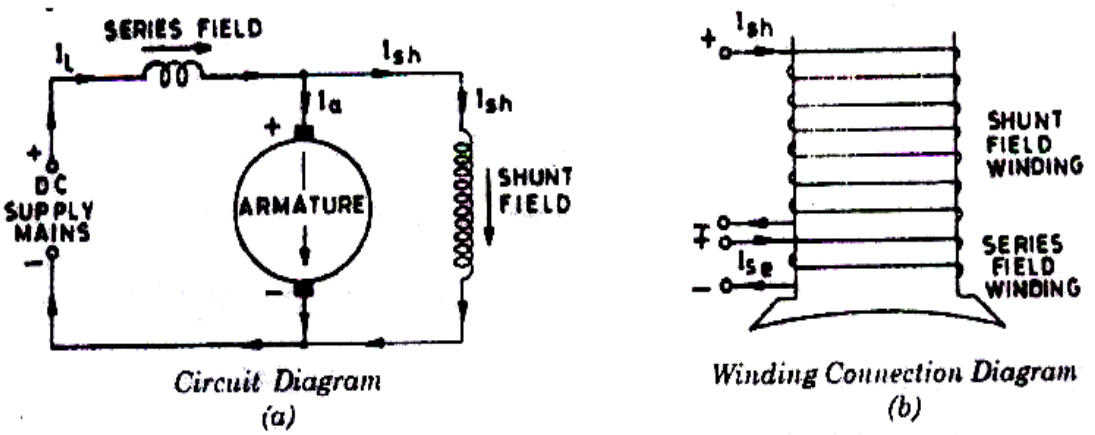
محرك اللف المركب Compound wound Dc Motor:

المحرك المركب dc له كل من ملفات مجال التوازي والتوالي .

مجال التوازي هو في العادة أقوى في الاثنتين (أي له أمبير – لفات أكثر) ومحركات ا للف المركب هي من نوعين لف مركب تراكمي ولف مركب فرقي

محرك اللف المركب التراكمي Cumulatiue Compound Wound:

وفيه تكون لفات المجال موصلة بتلك الطريقة بحيث يكون اتجاه تدفق التيار واحد في كلا من الملفات المجالين كما موضح في الشكل أدناه والمحرك من هذا النوع يكون الفيض الناتج عن لفات مجال التوالي يقوي المجال الناشيء عن لفات مجال التوازي



Cummulative Compound Wound DC Motor

Fig, 6-9

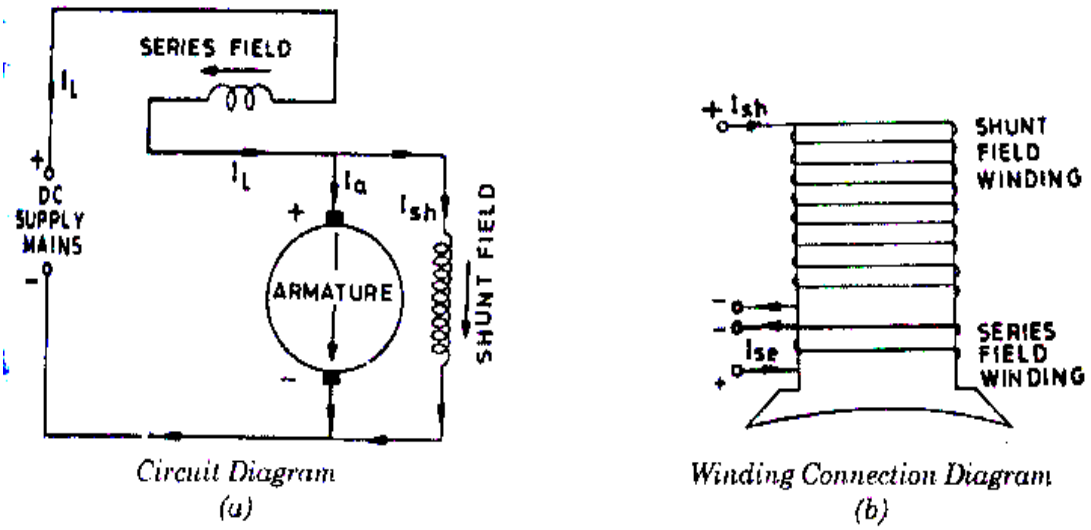
محرك DC لف مركب تراكمي (تزايدي)

محرك اللف المركب الفرقي Differntial Compound Wound:

وفيه تكون لفات المجال موصلة بتلك الطريقة بحيث يكون اتجاه تتدفق التيار يعاكس كل منهما الآخر في كلا من لفات المجالين كما هو موضح بالشكل أدناه في هذا النوع من المحركات يكون الفيض الناتج عن لفات مجال التوالي يضعف من المجال الناشيء عن لفات مجال التوازي .

المحركات dc لف مركب مثل المولدات dc لف مركب ممكن أن يكون إما توازي طويل أو توازي قصير في توصيل التوازي الطويل يكون مجال التوالي وعضو الانتاج موصلين في التوالي مع بعضهم وفي توازي مع مجال التوازي .

وفي التوازي القصير يكون عضو الانتاج ومجال التوازي في توازي مع بعضهم البعض والزوج في التوالي مع مجال التوالي . التغيير من توازي طويل الى قصير أو العكس له تأثير طفيف على أداء المحرك .



Circuit Diagram *(a)*

Winding Connection Diagram *(b)*

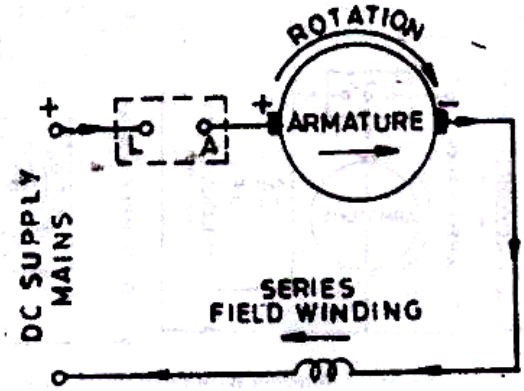
Differential Compound Wound Motor

Fig, 6-10

محرك DC لف مركب فرقي

اتجاه الدوران Direction of Rotation:

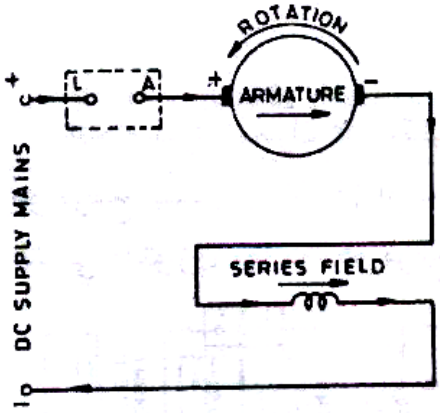
إذا عكس تيار عضو الانتاج يعكس أطراف عضو الإنتاج وترك قطبية المجال كما هي فان العزم سوف يتولد في عكس اتجاه عقارب الساعة بالمثل إذا عكست قطبية المجال وترك تيار عضو الانتاج كما هو فان العزم سوف يتولد في اتجاه عكس عقارب الساعة



Normal Rotation

Fig, 6-11(a)

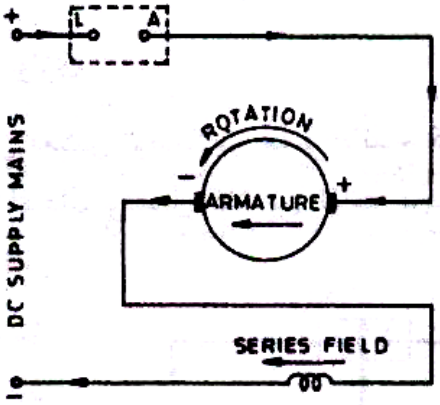
الدوران العادي



Reversed Rotation With Field Connections Reversed

Fig, 6-11(b)

دوران عكسي بعكس توصيلات المجال



Reversed Rotation With Armature Connections Reversed

Fig, 6-11(c)

دوران عكسي بعكس التوصيلات عضو الإنتاج

عزم عضو الانتاج Armature Torgue:

نفترض أن Te هو العزم الكهرومغناطيسي المتولد بالنيوتن متر بمحرك يدور بسرعة n rps.

(i) الشغل المبذول في الثانية = القدرة المنتجة = $Te.w=Tex2\Pi nWAtt$.

(ii) $EtIaWatts$= المكافئ الكهربائي للقدرة الميكانيكية المتولدة بواسطة عضو الانتاج بمقارنة التعبيرين (i) ، (ii) نحصل على

$$Te\times 2\Pi_n=E_bI_a$$

$$Te = \frac{EbIa}{2\Pi n} = \frac{0,15EbIa}{n} \quad N.m \qquad (6,25)$$

$$Te = \frac{EbIa60}{2\Pi N} = \frac{0,55EbIa}{N} \quad N.m \qquad (6,26)$$

حيث N هي السرعة بالـ rpm

وبالتعويض عن Eb في التعبير $= \frac{\Phi zN}{60} \times \frac{P}{A}$ (6.2

نحصل على (6,27) $Te = \frac{9,55\Phi ZPIa}{A}$ N.m

Eb = ق.د.ك المستحثة في عضو الانتاج بفعل المولد

Ia = تيار عضو الانتاج ، Ra = مقاومة عضو الانتاج ، Φ = الفيض

عزم عمود الإدارة Shaft torgue:-

عزم عضو الانتاج هو العزم الإجمالي والمتولد بواسطة عضو الانتاج كل هذا العزم غير متاح على البكر ه حيث أن هناك نسبة من العزم المتولد بعضو الانتاج تفقد للتغلب على فقد الحديد والاحتكاك العزم الصافي أي العزم الإجمالي ناقص العزم المفقود في فقد الحديد والاحتكاك يعرف بعزم عمود الإدارة . إذا فرضنا ان العزم المتولد بعضو الانتاج هو Ta بالنيوتن متر Tf هو العزم المفقود في فقد الحديد والاحتكاك و Tsh هو عزم عمود الإدارة (أو العزم المقيد) إذن

$$Ta = \frac{E_bI_a60}{2\Pi N} = \frac{9,55E_bI_a}{N} \quad N.m$$

فقد الحديد والاحتكاك بالواط = Tf

$2\Pi N/60$

فقد الحديد والاحتكاك بالواط $= \frac{9.55}{N}$

عزم عمود الإدارة $T_{sh}=T_a-Tf$

$$\frac{E_bI_a - \text{فقد الحديد والاحتكاك}}{2\Pi N/60} \quad [N.M]$$

أيضا

$$Tsh = \frac{\text{الخرج بالواط}}{2\Pi N/60} = \frac{\text{الخرج بالواط} \times 9{,}55}{N}$$

العزم والسرعة لمحرك Torque and speed of Dc motor: DC

$$N\alpha \frac{E_b}{\Phi} \quad , \quad T\alpha\Phi I_a$$

العلاقة السابقة توضح أن الزيادة في الفيض ستسبب زيادة في العزم ونقص في السرعة ولكنها لا يمكن ان تكون كذلك لأن العزم هو سبب الدوران والزيادة في العزم يجب ان تسبب زيادة في السرعة وليس نقص . عدم التوافق بين العلاقتين يمكن ان يوفق كالآتي :-

نفرض أن المحرك يدور عند السرعة المستقرة و ضعفت شدة المجال والتي هي ممكنه بإدخال مقاومة إضافية في دائرة المجال في حالة المحرك dc توازي المتصل عبر مصدر جهد ثابت . التأثير الفوري هو أنه بسبب التخفيض اللحظي في ق.د.ك المضادة ، يزداد التيار المار خلال دائرة عضو الانتاج خارج كل التناسب ، للانخفاض في الفيض وكنتيجة بالرغم من ضعف المجال ، فإن العزم يزداد مؤقتا على نحو كبيرو سوف يتعدى كثيرا القيمة المناظرة للحمل ، العزم الزائد يسبب عجلة في الموتور وتزداد ق.د.ك المضادة والمحرك سوف يحصل على السرعة المستقرة مرة أخرى عندما تصل ق.د.ك المضادة إلى تلك القيمة التي ينتجها التيار المار في عضو الانتاج مع ضعف خفيف في الفيض فقط مجرد عزم يكفي لإدارة الحمل أعتبر كمثال محرك 200V يسحب تيار عضو إنتاج 30A والفيض 0.05Wb والسرعة 120 rpm ومقاومة عضو الانتاج 0.2Ω

Eb=200-−30×0,2=194V ق.د.ك المضادة والآن إذا انخفض الفيض الى 0,04 فان ق.د.ك المضادة سوف تخفض لحظيا الى

$$194 \times \frac{0{,}04}{0{,}05}$$

أي الى 155,2V السرعة تبقى كما هي بسبب القصور الذاتي لعضو الانتاج الثقيل ويرتفع التيار المار خلال عضو الانتاج حتى يصل الى

$$224A=\frac{200-−155{,}2}{0{,}2}$$

فإذا أهمل تأثير المحاثة فان العزم المتولد قبل ضعف المجال يكون ، لذلك تعدى كثيرا مؤقتا (حيث العزم يتناسب مع حاصل ضرب الفيض في تيار عضو الانتاج).

وازداد بنسبة : $\frac{224}{30} \times \frac{0,04}{0,05}$ أي 6 الى 1

والعزم المضاف يعجل المحرك بسرعة وإذا كانت الزيادة في السرعة ليس لها تأثير على القيمة الإجمالية لعزم الحمل الذي يجب أن يولد فان السرعة سوف تزداد حتى يهبط تيار عضو الانتاج الى قيمة Ia2 بحيث

$$I_{a2} \times 0,04 = 30 \times 0,05$$

أي أن :

$$I_{a2} = 37,5A$$

القيمة النهائية للسرعة حينئذ تصبح

$$N_2 = \frac{N_1 V - I_{a2} RM}{V - I_{a1} RM} \times \frac{\Phi_1}{\Phi_2}$$

$$= \frac{1200 \times 200 - 37,5 \times 0,2}{200 - 30 \times 0,2} \times \frac{0,05}{0,04} = 1488,4 rPm$$

ولتجنب الاندفاع الغير ملائم للتيار يجب تخفيض قوة المجال ببطء والطريقة التي يبطء بها المحرك عند تقوية المجال لها نفس الأهمية فعندما يقوى المجال يكون التأثير الفوري هو زيادة ق.د.ك المضادة وزيادة صغيرة في الفيض سوف تكون كافية لزيادة ق.د.ك المضادة أكثر من جهد المصدر وكنتيجة لم تنخفض قيمة تيار عضو الانتاج فقط ولكنها سوف تسبب عكس اتجاه تدفقه ، وسوف تعمل الآلة مؤقتا كمولد وتغذي الطاقة بنظام الإمداد هذه الطاقة تكون متاحة على نفقة طاقة الحركة المختلطة بالآلة وحملها مع نتيجة ان التخفيض السريع في السرعة يأخذ مكانه .

تخفيض السرعة سوف يتوقف عندما تهبط ق.د.ك المضادة الى قيمة بحيث أن المحرك يأخذ تيار كافي لنتج العزم المطلوب في الحمل وهكذا فان تقوية المجال تخفض سرعة المحرك بشكل من (الكبح بإعادة التوليد) أو (الكبح بالتوليد المعاكس) افترض تأثير الزيادة الفجائية هي زيادة الفيض من 0.05 إلى 0.06 وبر في المثال الذي تم مناقشته ق.د.ك المضادة ترتفع في الحال الى

$$194 \times \frac{0,05}{0,04}$$

أي 232,8V والتيار المسحوب من المصدر يصبح

$$-164A=\frac{200-232,8}{0,2}$$

أي ان الآلة تعمل كمولد وتغذي التيار للمصدر الرئيسي وبفرض أن العزم يبقى ثابتا فان القيمة النهائية لتيار عضو الانتاج سوف تصبح :

$$5A=30\times\frac{0,05}{0,06}$$

وتصير السرعة $\frac{0,05}{0,06} \times \frac{200-25\times0,2}{200-30\times0,2}$ 1005=1200 لفه /دقيقة

يتضح ان العزم المتولد في المحرك بلا شك دالة في الفيض وتيار عضو الانتاج المستقل عن السرعة والسرعة تتوقف على العزم.

لفات عضو الانتاج Armature windings:

لفات عضو الانتاج هي تر تيب للموصلات

لإنتاج ق.د.ك المطلوبة بالحركة بالنسبة في مجال مغناطيس متعدد القطبية وتوزع الموصلات او مجموعة الموصلات بطرق مختلفة في الشقوق الموجودة على محيط عضو الانتاج ويمكن توصيل الموصلات على التوالي والتوازي معتمدة على مقننات تيار وجهد الآلة .

أنواع لفات عضو الانتاج Types of armature windings:-

لفات عضو الانتاج تكون دائما من النوع الغير بارز القطب وعادة تكون موزعة تماثليا في شقوق حول المحيط الكامل لعضو الانتاج وتقسم لفات عضو الانتاج حسب درجة القرب الناتجة باللف الى نوعين هما :

أ. لفات الملف المفتوح .

ب. لفات الملف المغلق .

لفات المفتوح هي تلك اللفات التي لا تقفل على نفسها أي أنها لن تتكون اللفة القريبة حتى يتم بعض التوصيل الخارجي للمصدر او للحمل ولا تستخدم لفات الملف المفتوح في الآلات dc ولكن عادة تستخدم في الآلات Ac .

لفات الملف الغلق هي تلك اللفات التي تغلق على نفسها في تلك اللفات إذا بدأ شخص بتتبعها فانه سيعود الى نقطة البداية دون المرور على أي توصيل خارجي . تستخدم الآلات dc لفات الملف المغلق لكي تستعدل في توحيد الملفات ومع ذلك فان لفات الملف المغلق يمكن استخدامها في الآلات Ac ولكن عادة تستخدم لفات الملف المفتوح . ويوجد نمطين من لفات عضو الانتاج المغلق او المستمر :

أ. لف حلقي Ringwinding.

ب. لف دائري Drum winding.

أ/ اللف الحلقيRingwinding :-

هذا النوع من لف عضو الانتاج هو شكل قديم من أشكال لف عضو الانتاج والذي تم استبداله باللف الدائري ومع ذلك فان مبادئ الطريقتين أساسا واحدة ولف اللفة يكون أوضح إذا مثل بمخطط أكثر من وضوح اللف الدائري إذن فطريقة لف الحلقة تستخدم هنا للتوضيح فقط .

مميزات اللف الحلقي :

1. لا يوجد تقاطع للموصلات في اللف مما يجعله أبسط لتوضيح مبادئ عمل عضو الانتاج .

2. التأثيرات الكهربية والمغناطيسية في عضو الانتاج متماثلة نوعيا مع تلك الخاصة بالنوع الحديث في اللف الدائري 03نفس اللف يمكن ان يستخدم 2،4،6 او 8اقطاب نظريا

0وعمليا فان تحديد الجهد يمنع استخدام نفس اللفات مع عدد مختلف من الأقطاب .

العيوب :-

1. حيث أن نصف كل ملف يقع داخل قلب عضو الانتاج لذلك يكون نصف الملف فقط هو المتشابك مع فيض القلب ويعمل ذلك الجزء من الموصلات الموجود بالداخل كتوصيل للموصلات الخارجية ولذلك توجد خسارة في النحاس .

2. عند كل لفة يجب المرور خلال مركز القلب ولذلك هناك صعوبة في اللف وتتطلب عمالة ولذلك فهي مكلفة .

3. الصيانة والاصلاح مكلفة كثيرا .

4. عزل اللفات صعب أيضا .

5. لنفس فيض القطب وسرعة عضو الانتاج تكون ق.د.ك المستحثة في لفات الحلقة نصف تلك المستحثة في اللف الدائري التي لها نفس عدد الملفات .
6. يتطلب التركيب ثقره هوائية كبيره لذلك فالمطلوب إثارة مجال أقوى لإنتاج الفيض المطلوب .

ب. اللف الدائري Drum winding:-

تم تلافي عيوب اللف الحلقي في اللف الدائري لعضو الانتاج في هذا النوع من اللف تثبت الموصلات في شقوق على سطح عضو الانتاج وتوصل مع بعضها الآخر بتوصيلات أمامية وخلفية أو نهايات ملف طريقة اللف الدائري تحقق ميزتين أساسيتين : 1/ كل نحاس عضو الانتاج ما عدا التوصيلات الطرفية مؤثره أي أنها تقطع الفيض ولذلك فهي فعالة لتوليد ق.د.ك . 2/ يمكن تشكيل وعزل الملفات قبل وضعها على عضو الانتاج ولذلك تنخفض التكاليف .

اللف الدائري يمكن أن يكون طبقة واحده او طبقتين من اللف الطبقة الواحدة يكون فيها موصل واحد او ضلع ملف واحد موضوع في كل شق لعضو الانتاج وهذا نادرا ما يستخدم لف الطبقتين ،و يكون فيه موصلين او ضلعي ملف موضوعة في كل شق لعضو الانتاج وتستخدم غالبا لأسباب اقتصادية ، لف الطبقتين يسمح باستخدام ملفات منفذه ومعزولة قبل وضعها على عضو الانتاج تلف الملفات عادة بواسطة آلة اللف لإعطائها الشكل وعدد اللفات المطلوب وتجمع معا عادة بشريط قطن . وتترك النهايات عادية حتى يمكن لحاملها فيما بعد لشد فات المبدل ثم تغمس الملفات بعد ذلك في بعض المركبات العازلة مثل الإسفلت وحالة درجات الحرارة العالية للتشغيل وتستخدم مواد أخرى مثل المايكا وشرائط الورق الغير زجاجي والسليكون .

قبل وضع الملفات في الشقوق تقطن الشقوق بالليزويد او البرسبان لضمان الحماية الميكانيكية للملفات وبعد إسقاط الملفات في الشقوق توضع أوتاد من الخشب أو الغير الصلب لمسكهم في المكان .

ولكي تكون ق.د.ك المستحثة في الملف نهاية عظمى هناك شرط هو ان يكون باع الملف مساويا لخطوط القلب ومع ذلك فان الباع يمكن ان يخفض الى (8/10) خطوه القلب بدون أي تخفيض خطير في ق.د.ك المستحثة وعندما يتم ذلك تسمى

اللفات (لف بخطوه كسريه) Fractional Pitch Winding . ميزة اللف بخطوط كسريه هو توفير لا يستهان به قد أثر على نحاس توصيلات النهاية وتحسن في التوحيد ، بسبب انخفاض الحث المتبادل بين الملفات عادة يكون ضلع من كل ملف يقع عند قمة الشق والآخر يقع عند قاع شق آخر على مسافة تقارب خطوة قطب واحد على امتداد عضو الانتاج . وهكذا ضلعين على الأقل من كل ملف يحتلان كل شق مثل هذه اللفات التي يكون فيها ضلعين من ملف يحتلان كل شق تستخدم في الغالب لكل الآلات ذات الحجم المتوسط0 في الديناموهات ذات المقننات الأكبر يكون من الضروري وضع عدة أضلاع ملفات في شق مفرد وتكون عادة أربعة أو ستة أو ثمانية أو أكثر من ثمانية أضلاع في شق واحد يستخدم نادر .

تنمر أضلاع الملف الموجودة في النصف العلوي للشق بأعداد فرديه 1 ، 3 ، 5 ، 7 بينما تلك الموجود في النصف السفلى تنمر بأعداد زوجيه ويجب أن نلاحظ أن ضلع الملف 2 يقع تحت ضلع الملف 1 ، 4 تحت 3 وهكذا . وضع عدة أضلاع في شق واحد يعطي عدد شقوق اقل من عدد الشد فات والتي لها المميزات الآتية :

1. كلما قل عدد الشقوق فان أسنان قلب عضو الانتاج تصبح ميكانيكيا أقوى ولذلك سيكون هناك تنمير اقل للرقائق والملفات .
2. بزيادة عدد شد فات المبدل فان الجهد بين الشد فات المجاورة لبعضها ينخفض وينخفض عدد لفات الملفات المتصلة بالشد فات المتجاورة والنتيجة هي شرر اقل عند المبدل بسبب تحسن التوحيد .
3. بغرض انه تم اختيار عدد اكبر من الشد فات حتى يحدث توحيد جيد ، فان اختيار قلب عضو إنتاج 1/2أو 1/3 أو 1/4 . حيث أن الشقوق الكثير ه تعني ان أعدادا اقل من الملفات ستتكون ، وهذا يخفض من تكاليف التصنيع .

اللف بطبقتين يسمح بسهولة تصنيع توصيلات النهاية حيث ان نهايات الملف يمكن ان تثني بعضها البعض بطريقة منتظمة وتمر من طبقة سفلية الى علوية بواسطة التواء في نهايات الملفات وبصفة عامة يوجد نوعين من لفات عضو الانتاج الدائري :

اللف التراكبي واللف الموجي ويتم التفرقة بينهم بعدة ولكن من وجهة نظر التركيب فهم يختلفان فقط في الطريقة التي تتصل بها نهايات الملف بشد فات المبدل في طريقة اللف التراكبي البسيط توصل نهايات الملف لشد فات المبدل المجاورة بينما نهايات ملفات اللف الموجي تتصل بشدفات المبدل عند نقاط منفصلة عن بعضها بحوالي ضعف المسافة بين قطبين متجاورين . ويوجد أيضا نوع ثالث من اللف الدائري يسمى لف رجل الضفدعة واللف يتكون من لف مركب ولف موجي موضوع على نفس عضو الانتاج . اللف الموجي موصل الى شد فات المبدل عند نقط متساوية الجهد لذلك فهذا الجزء من اللف يمكن استخدامه كمسوي للف التراكبي .

1. اللف التراكبي Lap winding:

في اللف التراكبي يوصل طرفي النهاية لملف واحد لشدفة المبدل ولطرف البداية للملف المجاورة الموجودة تحت نفس القطب وهكذا بالمثل تتصل كل الملفات . هذا الملف يعرف كلف تراكبي لأن أضلاع الملفات المتتالية تركب فوق بعضها واللف التراكبي يمكن ان يقسم أكثر إلى (لف مفرد السلك) Simplex أو (لف ثنائي أو ثلاثي السلك) Mutiplex في اللف المفرد السلك التراكبي يوجد عدد من المسارات المتوازية او الدوائر خلال اللف مثل عدد اقطاب المجال في الآلة .

اللفات الثنائية والثلاثية تستخدم على أعضاء الإنتاج المصممة لإمداد تيارات كبيرة عند جهد منخفض . الغرض الرئيسي من مثل هذه اللفات هو زيادة عدد المسارات المتوازية لمساعدة عضو الانتاج على حمل تيار إجهاد كبير وفي نفس الوقت تخفيض تيارات الموصل موجود لتحسين شروط التوحيد .

اللف الزوجي duplex:- يتكون من عدد (2) لف مفرد متماثل موجود في شقوق مترددة على عضو الانتاج ومتصلة بشدفات المبدل المتردد . كل لف يحمل نصف تيار عضو الانتاج . وبالمثل في اللف triplex له ثلاثة لفات مفردة متماثلة تحتل كل ثالث شق وموصلة كل ثالث شدفه بالمبدل إذن في اللف الموجي Duplex تراكبي عدد الدوائر المتوازية ضعف عدد الأقطاب وفي اللف الثلاثي Triplex التراكبي عدد الدوائر المتوازية ثلاثة أمثال عدد الأقطاب لهذا السبب يسمى أحيانا اللف التراكبي (اللف المتوازي أو المتعدد) multipleor parallel winding

وهو مناسب للآلات التي تعمل عند جهد منخفض نسبيا ولكن مع تيار خرج مرتفع

2. اللف الموجي wave winding:-

اللف الموجي يعرف أحيانا بـ (لف التوالي) في اللف التراكبي يتصل ضلع الملف تحت قطب واحد مباشرة ، بضلع الملف التي يحتل تغريبا المكان المقابل تحت القطب التالي بالتوصيل الخلفي وهذا الملف الثاني يتصل حينئذ خلفيا خلال شد فات المبدل لضلع الملف تحت القطب الأصلي لكنه مزاح بعدد 2 أو أكثر من أضلاع الملف من ضلع الملف الابتدائي ولكن في اللف الموجي فان ضلع الملف لا يتصل خلفيا ولكن تقدمي الى الأمام لصنع ملف آخر .

فالتوصيل يتقدم دائما في نفس الاتجاه حول عضو الانتاج بدلا من الحركة في اتجاهات متناوبة مثل تلك الخاصة باللف التراكبي . وحيث شكل اللف موجي فان اللف لذلك يسمى لف موجي . إذا كان بعد إتمام دوره لعضو الانتاج وقع في شق على يمين نقطة البداية يسمى (لف موجي تقدمي) Progressive وإذا وقع في شق على يمين نقطة البداية يسمى (لف موجي متخلف) Retrogressive الفرق الآخر في اللف التراكبي والموحي هو انه في اللف التراكبي عدد المسارات يساوي m مره عدد الأقطاب حيث m هي تعددية اللف ولكن عدد المسارات المتوازية في اللف الموجي هو ضعف تعددية اللف .

حقيقة ان اللف الموجي دائما له مساران متوازيان ، (m=1) يحتوي علي موصلان او أكثر أو أقل وموزعة توزيعا منتظما حول كامل سطح قلب عضو الانتاج ، تؤدي خدمة في تزويد الآلات الملفوفة بهذه الطريقة بمميزات معينة في المقام الأول ، لا تحتاج آلات اللف الموجي الا لمجموعتين من الفرش ، بينما عملية التشغيل المرضية لآلات اللف التراكبي المفرد السلك ، ممكن فقط إذا وجد كثير من مجموعات الفرش مثل كثرة الأقطاب وأكثر من ذلك ففي آلة اللف الموجي المجهزة بكثير من مجموعات الفرش مثل كثرة الأقطاب ، إذا وجد واحد أو أكثر من مجموعات الفرش حدث به تلامس رديء مع المبدل سيستمر الأداء المرضي ممكنا ، وهذا غير موجود في حالة آلات اللف التراكمي .

ميزة أخرى لآلات اللف الموجي هي أن عملية التوحيد تتم بدون شرارة أكثر من تلك الملفوفة تراكبي . السبب في ذلك يرجع الى أن كل مسارين متوازيين يحتويان على موصلات موزعة بالكامل حول كل المحيط بينما في أعضاء الإنتاج الملفوفة تراكبي ، كل المسارات المتوازية تحوي موصلات تقع تحت قطبين فقط . وإذا كان الفيض الناتج من كل الأقطاب ليس متماثل تماما ، فان الجهد المتولد في كلا من مساري عضو الانتاج الملفوف موجي ستظل متساوية تماما لأن المسارين قد تأثروا بالتماثل وهذا ليس حقيقيا في حالة عضو الانتاج الملفوف تراكبي ولذلك يحتاج توصيلات مسوى ليعطي توحيد بدون شرارة ، كما تم شرحه Artz-702 وحيث ان اللف الموجي يعطي دائما مساران متوازيات بصرف النظر عن عدد الأقطاب ، ولذلك لعدد معطى من الأقطاب وموصلات عضو الانتاج فهي تعطى ق.د.ك أكبر من اللف التراكبي لذا تستخدم لآلات الجهد العالي والتيار المنخفض للآلات حتى سعة 1.25kw وتيار عضو الانتاج الإجمالي ليس أكثر من 500A ، فان تيار لكل مسار لن يتعدى 250A . هذه القيمة تمثل نوع القيمة العليا العملية ، والتي فوقها تظهر صعوبات التوحيد . بالنسبة لمقننات التيار الإجمالي اكبر من 500A يصبح من الضروري استخدام لفات عضو إنتاج تعطي أكثر من مسارين متوازيين ، أي لفات ليست موجبة مفردة السلك .

اللفات التراكبية المفردة السلك التي تعطي كثير من المسارات المتوازية بكثرة عدد الأقطاب تستخدم في مثل هذه الحالات ولكن أحيانا لكي نحتفظ بميزة اللف الموجي على اللف التراكبي ونظل محتفظين بقيم التيار لكل مسار في حدود القيم العليا المحددة سابقا ويتم استخدام اللف الموجي المتعدد .