بسم الله الرحمن الرحيم

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

هيئة التعليم التقني

كلية الشيخ عبد الله البدرى التقنية

قسم الهندسة الكهربائية

(شبكات وتوصيلات)

مشروع تخرج لنيل درجة الدبلوم التقني

بعنوان:

تأهيل آلة التيار المستمر 2.238 kw-(220-230)

كنواة لعمل آلات التيار المستمر

إعداد الطلاب:

1. هيثم حسب الرسول الماحي .
2. عهدي مختار محمد حمد .
3. سعد الدين عمر خليل .
4. سيف الدين أحمد عبد الرحمن .

أشراف الأستاذ: صلاح الدين قاسم

بسم الله الرحمن الرحيم

الاستهلال

قال تعالى:

(رب اشرح لي صدري ويسر لي امري واحلل عقدة من لساني يفقهوا قولي)

صدق الله العظيم

الإهـــداء

اهدي بحثي هذا إلي امى الغالية وأبى العزيز واخوتى جميعاً وكل زملائي واهلى واساتذتى الكرام على رأسهم استاذى الذي يشرف على هذا البحث وكل من لة حق على ومن وقف بجانبي ويسر لي كل عسير حتى تمكنت من اكمالة بهذه الكيفية وكل الاصدقاءة والي من أحب إلي من نفسي

الشكر والعرفان

أتقدم بالشكر إلي كل من أسهم فى تعليمي والدتي ووالدي وكل من له الحق على فى بث روح العلم والمعرفة وتدعيم امكانياتى العلمية وترسيخ حب العلم والتفوق وتثبيت المورثات الأدبية والأصلية فعندما يتوارث الناس روائع الأشياء تكون الخصال بمعاني الاصالة وأدب التهذيب الشديد على امتداد الأجيال والشكر أجزلة إلي رموز العلم التي طالما حاولنا نوفيها حقها ولو بقدر ضئيل عجزنا نطقاً وعجز آرائنا حرفا لايسعنى إلي إن أقول لهم لكم الشكر كل الشكر معلمين واساتذتى والإباء الأجلاء وعلى الخصوص الأستاذ القدير/صلاح الدين قاسم الذي أشرف على بحثنا حتي ظهر على هذه الصورة المبسطة وأسأل الله إن يجعل ذلك فى ميزان حسناتهم جميعاً ويجزيهم خير الجزاء والحمد لله الذي وفقنا لذلك حمداً لا يثنى ثناء علية

الباحثون

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 IV	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.

الفصـــل الأول

آلات التيار المستمر

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 .

الثـاني : 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 مبدلات للتيار او مولدات للسرعة او حتى أحيانا كمحولات.

الأجزاء الأساسية للآلة DC :-

تتكون الآلة DC من أربعة أجزاء رئيسية :-

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

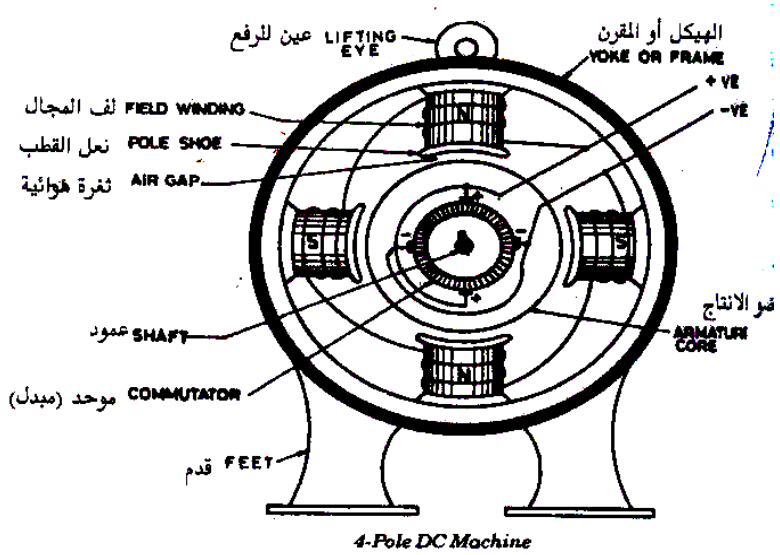


Fig (1-4)

{1}نظام المجال :-

الهدف من نظام المجال هو خلق مجال مغناطيسي يدور فيه عضو 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 Pole 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

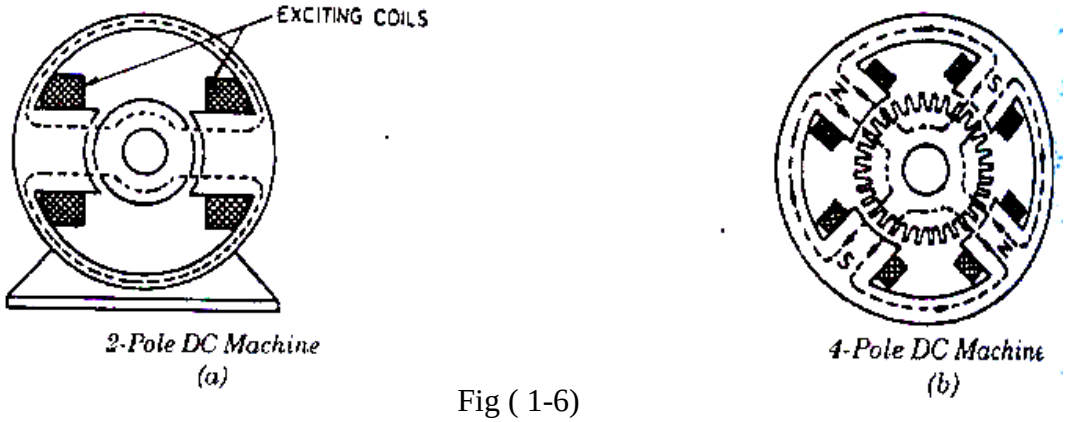


Fig (1-6)

نظام مغناطيسي كامل لآلة DC

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 .

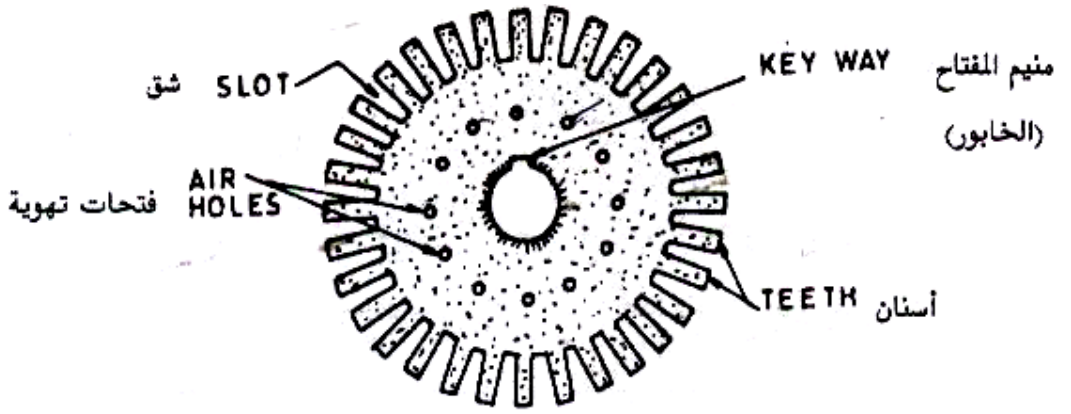
طول الثقرة الهوائية حوالي 1ملم ÷ 6ملم .

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 (1-8)

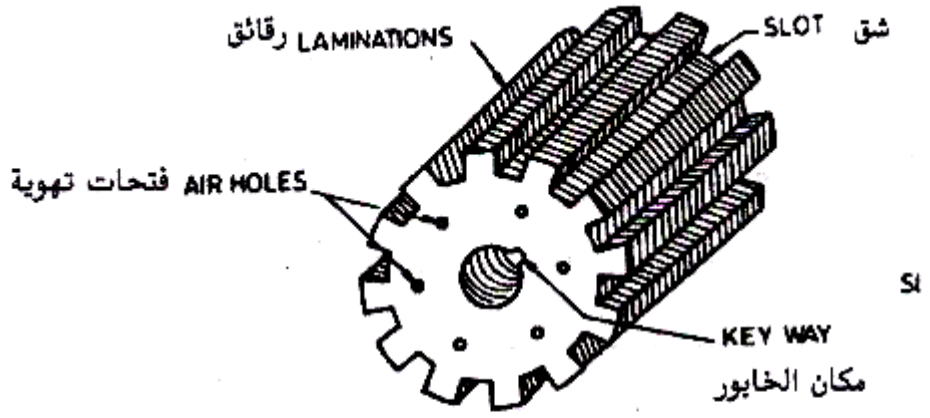
رقيقة عضو الإنتاج

تتكون الشقوق من النوع المفتوح عادة وتوضع موازيين لمحورعضو الانتاج ، 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 (1-9)

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 الإنتاج .

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

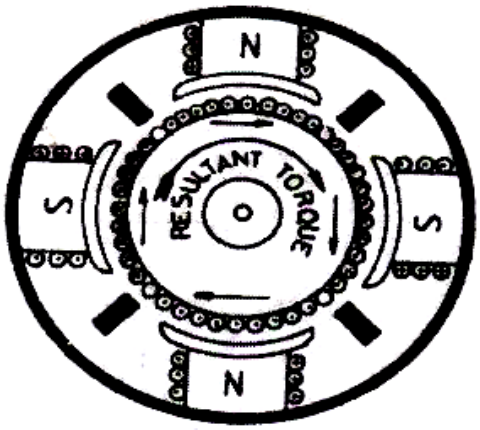


Fig (1-13)

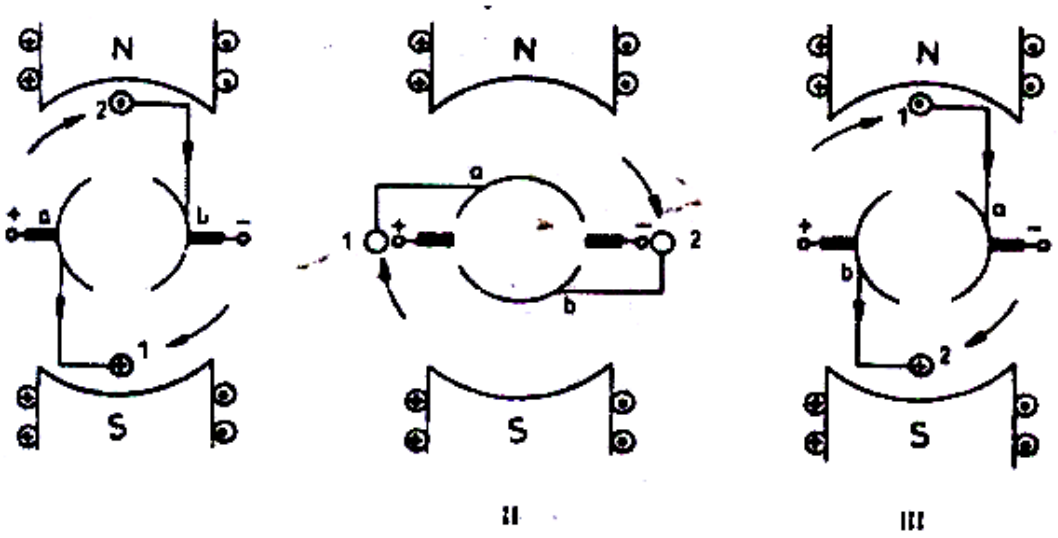
أيضا اتجاه التيار في الموصلات المنفردة تنعكس بمجرد مرورهم من تأثير أحد الأقطاب لتأثير القطب التالي . في الشكل أعلاه محرك u قطب dc حيث عندما تتصل دائرة المجال وعضو الانتاج عبر مصدر رنين dc يفترض أن التيار في موصلات عضو الانتاج يكون للخارج تحت القطب N والى الداخل تحت القطب S وبتطبيق قاعدة فلمنج لليد اليسرى 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 (1-14)

التوحيد (التبديل) في محرك DC

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 .

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

بتوصـيلات أماميـة وخلفيـة أو نهايـات ملـف طريقـة اللـف الـدائري تحقـق ميـزتين 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 والموجي 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 .

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

$$F_t = H_1L_1 + H_2L_2 + + H_nL_n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}1)$$

$$= \sum H_rL_r = \Phi \sum L/ \mu_rA_r \ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}2)$$

$$= \Phi \sum s_r = \Phi\, s_t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}3)$$

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 :

$F_e = F_i + F_g = H_iL_i + H_gL_g$ ..... (1-4)

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 :

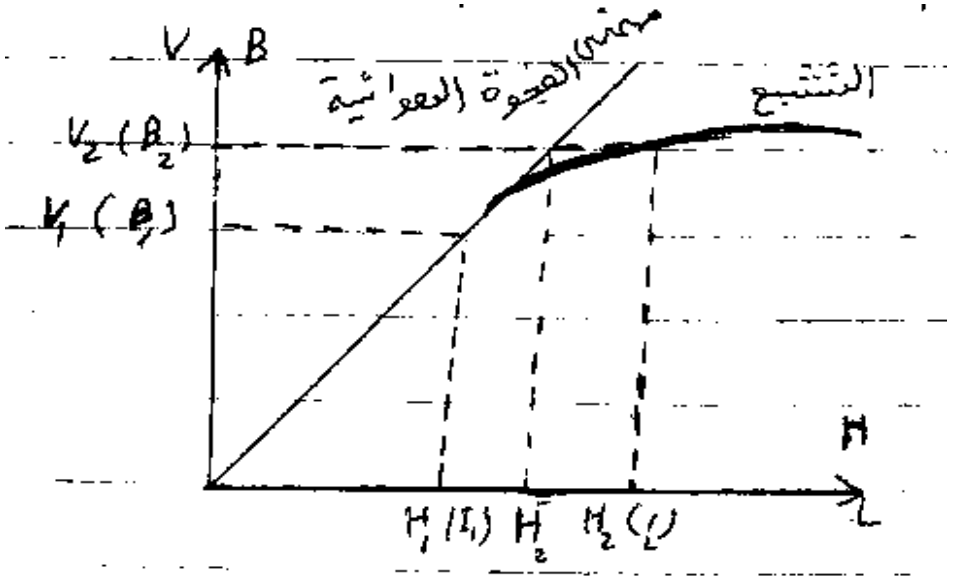


Fig (1-22)

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

الكهربـائيين V ، I (أو المغناطيسـيين B و H) خطيـه ممـا يـدل علـى عـدم تتبـع 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 المغناطيسية 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

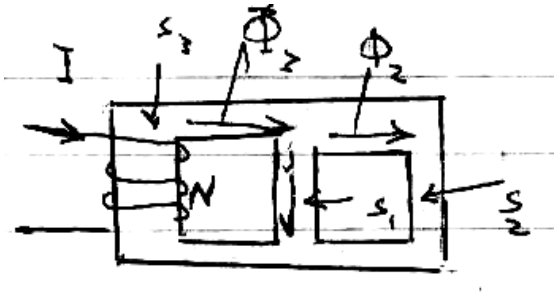


Fig (1-23)

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

$$\Phi_3-\Phi_1-\Phi_2=0 \ldots\ldots\ldots (1\text{-}5)$$

$\Phi_3=\Phi_1+\Phi_2$ …….. (1-6)

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 :

$F_t = IN = \Phi_3 s_3 + \Phi_1 s_1$…….. (1-7)

$= \Phi_3 s_3 + \Phi_2 s_2$…….. (1-8)

لذلك فان:

$\Phi_1 s_1 - \Phi_2 s_2 = 0$…….. (1-9)

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

δ_2…….. (1-10)

$\Phi_1=\Phi_3\delta_2+\delta_1$…….. (1-11)

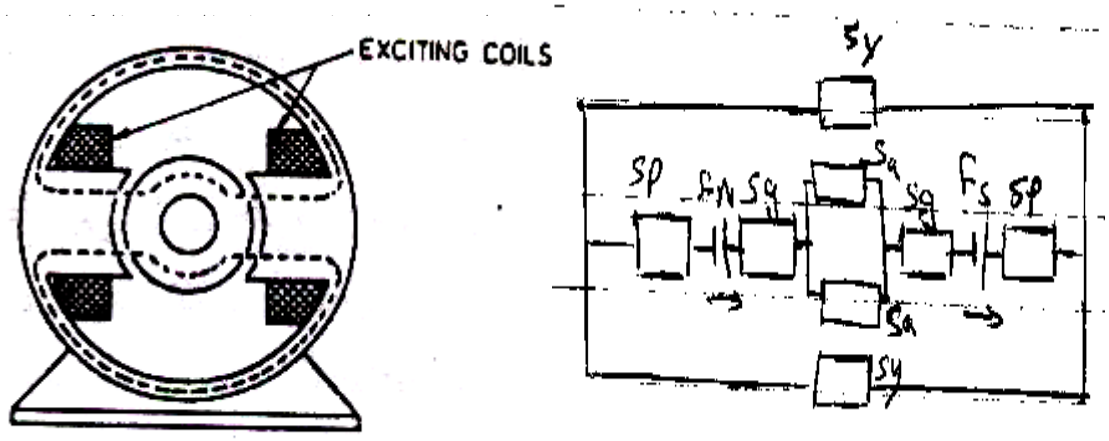
δ_1 …….. (1-12)

$\Phi_2=\Phi_3\delta_1+\delta_2$…….. (1-13)

والمعاوقة الكلية للدائرة تساوي:

$\delta_1\delta_2$…….. (1-14)

$\delta_t=\delta_3+\delta_1+\delta_2$…….. (1-15)



2-Pole DC Machine Fig (1-24)

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

$$F_t = FN + F_s = IN + IN = 2IN \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}16)$$

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 المغناطيسة الكلية .

$$\Phi t = \Phi m + \Phi_\iota \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}17)$$

كما هو موضح في الشكل أدناه

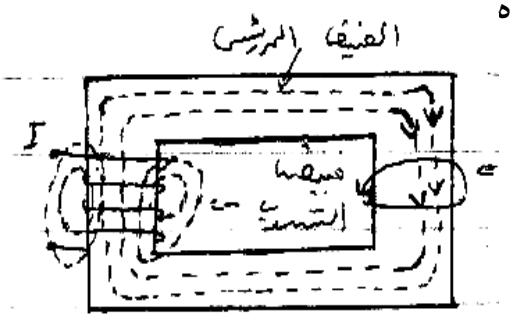


Fig (1-25)

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 .

الفصـــل الثاني

أنواع محركات التيار المستمر

انواع المحركات Types of Dc Motor DC :

يمكن تقسيم المحركات dc الى :-

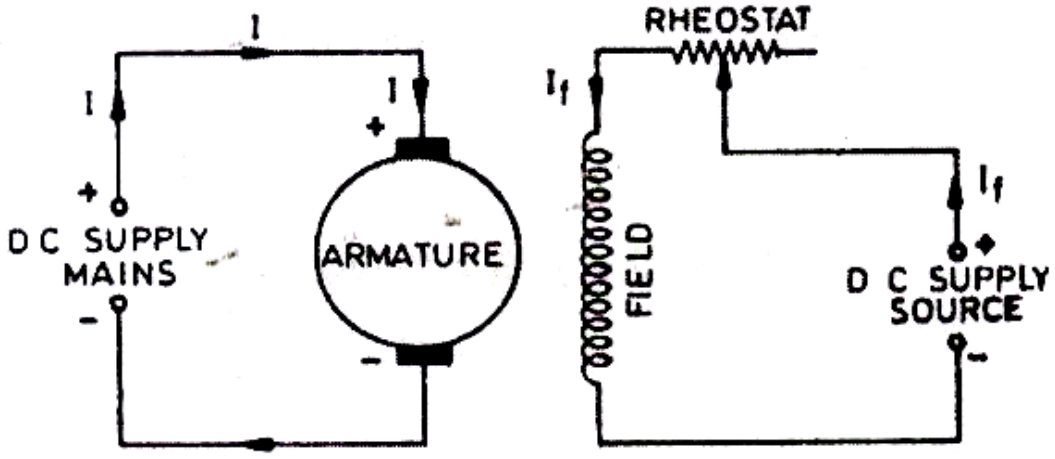
1. المغنطيس الدائم .
2. المنفصلة الإثارة .
3. لف توالي .
4. لف توازي .
5. لف مركب .

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 (2-28)

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

$=VI-I^2R_a$ …….. (2-1)

$=I(V-IR_a)$ …….. (2-2)

$=E_bI$ …….. (2-3)

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

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

$=VI-I^2(R_a+RS_e)$ ……. (2-4)

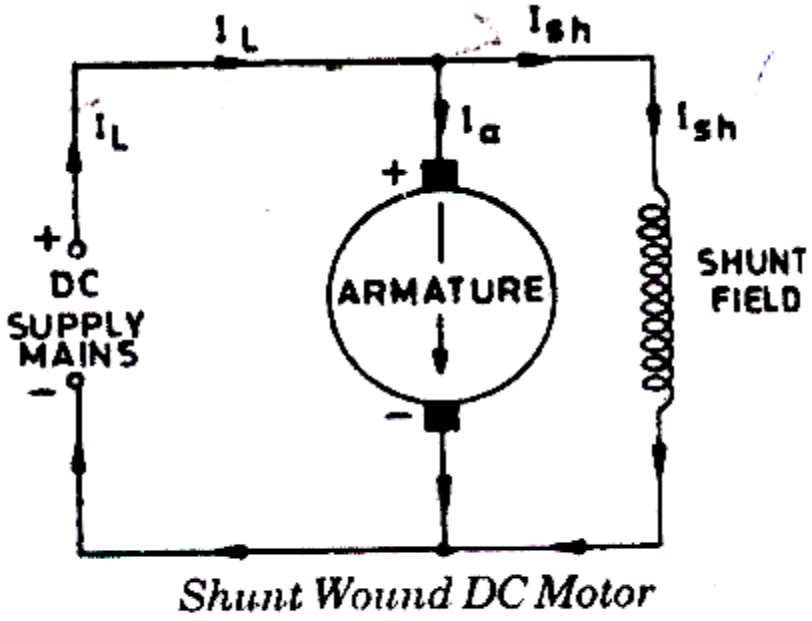
$=I\,[V-I(R_a+RS_e)]$ ……. (2-5)

$=E_bI$……. (2-6)

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 (2-30)

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

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

القدرة الميكانيكية المتولدة .

$=VI_ι - VI_{sh} - I^2_aR_a$ …….. (2-7)

$=V(I_ι - I_{sh}) - I^2_aR_a$…….. (2-8)

$=VI_a - I^2_aR_a$…….. (2-9)

$=I_a(V - I_aR_a)$ …….. (2-10)

$=E_bI_a$…….. (2-11)

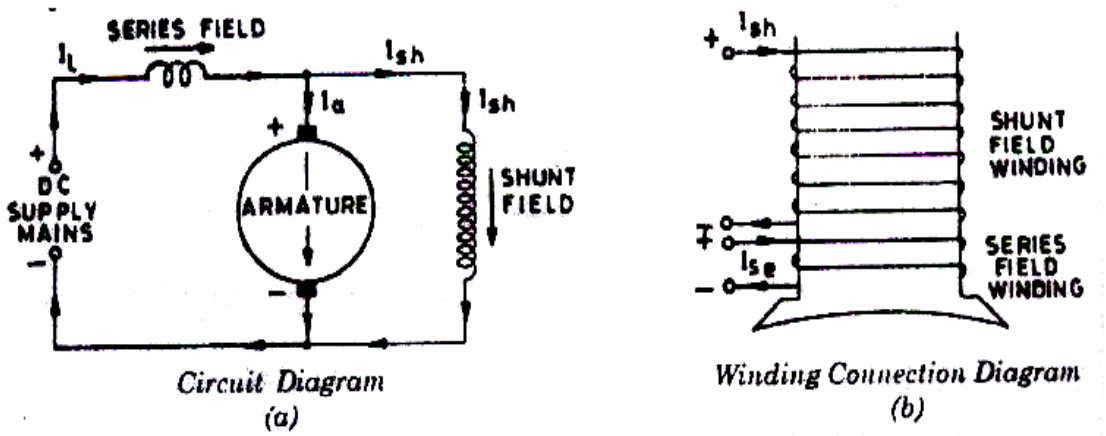
محرك اللف المركب Compound wound Dc Motor:

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 .



Circuit Diagram (a)

Winding Connection Diagram (b)

Cummulative Compound Wound DC Motor

Fig (2-32-1)

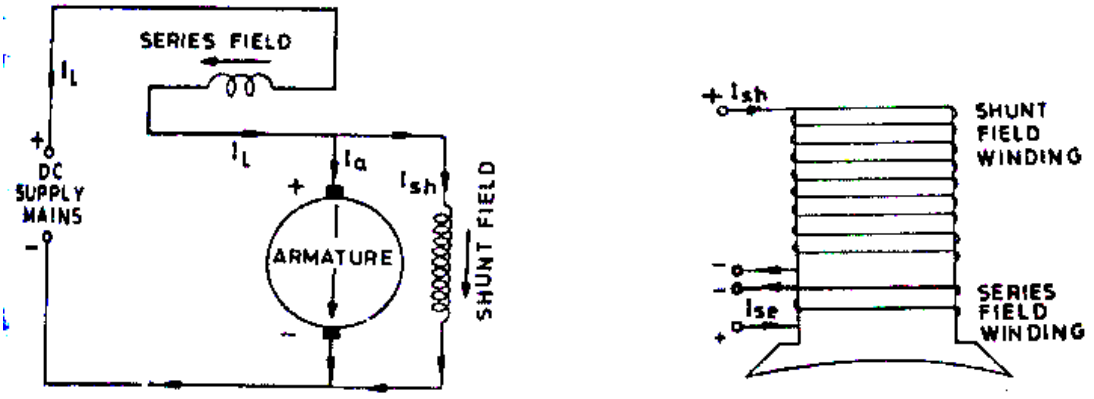
محرك DC لف مركب تراكمي (تزايدي)

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 .



Differential Compound Wound Motor

Fig (2-32-2)

محرك DC لف مركب فرقي

إن عملية التبديل لمكائن التيار المستمر تشتمل على مجموعة الظواهر المرافقة لتبدل إشارة تيار الحزمة عند مرورها لخط المحايد الهندسي وتقصيرها بواسطة الفرشة أي عند انتقال الحزمة من الدائرة المتوازية المعينة إلى دائرة متوازية أخرى مجاورة لها .

الشكل أدناه يبين جزء من ملف وعلاقته بالأقطاب الفرش :

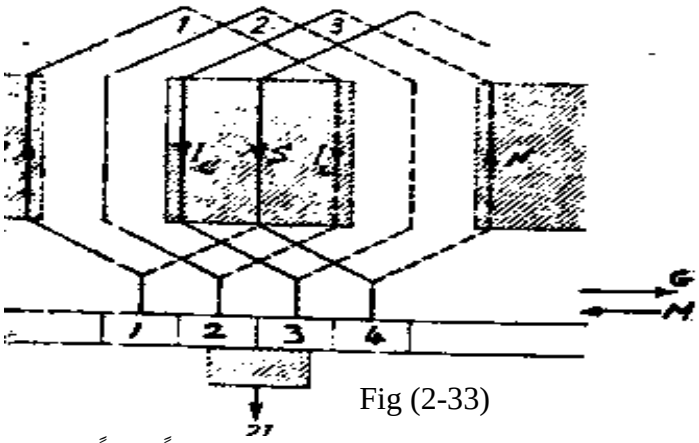


Fig (2-33)

وفي هذا الشكل يرتبط المنتج والمبدل ميكانيكياً معاً ويدوران سوياً بنفس السرعة بينما تكون الأقطاب والفرش ثابتة في الفضاء لا تتحرك مرة أخرى، نفرض أن اتجاه دوران المولد يكون مطابقاً مع حركة عقارب الساعة ودوران المحرك عكس ذلك ، عند ربط الملف إلى دائرة خارجية ونتيجة لحث القوة الدافعة الكهربية في حزمة فإن تيار سيمر في جوانب هذه الحزمة يعتمد اتجاهها على موقع الحزمة نسبة إلى الأقطاب نلاحظ أن تيار الحزمة الأولي الواقعة تحت تأثير القطب الشمالي يكون موجباً بينما تيار الحزمة الثابتة المتطابقة مع خط المحايد الهندسي يساوي صفر وتيار الحزمة التالية الواقعة تحت تأثير القطب الجنوبي يكون سالباً وهكذا بالنسبة لباقي الحزم يتبدل عند حركة المنتج وانتقال حزم ملفه من تأثير قطب معين إلى تاثير قطب آخر فان اتجاه التيار المار فى هذه الحزم المنتقله يتبدل باستمرار مثلاً من الموجب إلى السالب أو بالعكس وفعلاً لو تحرك المنتج مسافة خطوة مجرى واحد نحو اليمين فإن الحزمة الأولى تأخذ موقع الحزمة الثانية وهذه تأخذ موقع الحزمه الثالثة وهكذا فيصبح تيار الحزمة الأولى صفراً لتطابقها مع خط المحايد الهندسي بينما تيار الحزمة الثانية الذي كان يساوي صفراً سابقاً يصبح اتجاهه سالبا لوقوع هذه الحزمه تحت تأثير القطب الجنوبى وهكذا ، وعند حركة المنتج مسافة خطوة مجرى أخرى فان الحزمه الأولى تصبح تحت تاثير القطب الجنوبى ويصبح التيار المار فيها سالبا ممايعنى أن الحزمه الأولى كانت تنتمى غلى دائرة متوازيه معينه تقع تحت تاثير القطب الشمالى وأن التيار الذى يمر فيها يكون موجبا ويساوى $(+i_c)$كقيمه آنيه فى هذه الحاله يساوى تيار الحزمه الاولى موجب $(+i_c)$

ايضا لانها جزء من هذه الدئره المتوازيه عند تحريك المنتج مسافه مجرى واحده وتطابق الحزمه الاولى مع خط المحايد فان هذه الحزمه لاتنتمى فى هذه الحاله الى اى دائره متوازيه وتكون مقصوره بواسطة الفرشه ولذلك فإن التيار الذى يمر فيها يساوى صفر عند حركة المنتج مسافة خطوة مجرى اخرى فان الحزمه الاولى تنتقل الى الدائره المجاوره والتى تقع تحت تاثير القطب الجنوبى ، تيار الدائره المتوازيه الجديده يساوى $(-i_c)$ هو نفسه الذى يمر فى الحزمه الاولى التى تنتمى الى هذه الدائره ، وعمليه تغير اتجاه التيار فى هذه الحاله يطلق عليها تسميه التبديل ان فقدان الدائره المتوازيه المعينه الى احدى حزمها تصحبه اكتساب حزمه جديده من الدئره المجاوره لهذا فان عدد الحزم الكلى لكل دائره متوازيه يبقى ثابتا دائما كذلك يبقى مقدار التيار المار فى الدائره المتوازيه ثاتا دائما ويساوى (i_c) ،عمليه التبديل اذا هى عباره عن الانتقال المستمر لانتماء الحزم من دائره متوازيه معينه الى دائره متوازيه اخرى والتناوب المستمر فى تبدل اتجاه التيار من الموجب الى السالب او العكس ان الحزمه التى تمر تحت الفرشاه ويتقير فيها اتجاه التيار تسمى حزمه التبديل والفتره الزمنيه التى يستغرقها التيار فى تبديل اتجاهه تسمى فتره التبديل ويرمز لها بالرمز Tc وتبلغ هذه الفتره فى المكائن الحديثه حوالى ملى ثانيه ممايعنى ان سرعه تبديل اتجاه التيار تكون فائقه جدا،عند دراسه عمليه التبديل يفضل دائما استحدام القيمه الانيه لجميع المقادير الكهربائيه لهذا فان تيار حزمه التبديل يرمز له ب i ويتغير مقداره $(+i_c)$ عند الزمن t = 0 الى $(-i_c)$ عند الزمن t =Tc كما فى الشكل ادناه:

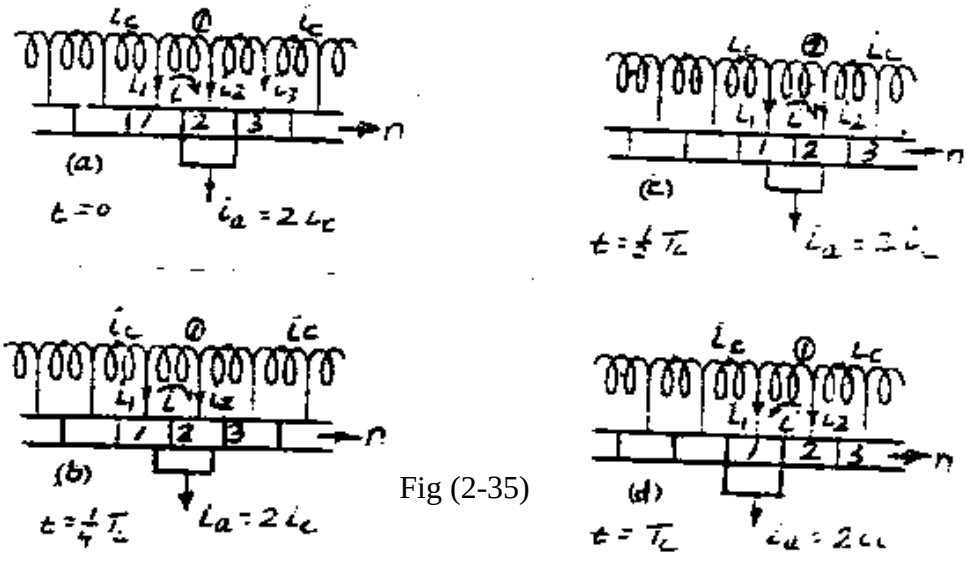


Fig (2-35)

حيث نستبدل في هذا الشكل تمثيل المنتج الأسطواني بمنتج حلقي للوضوح فقط . حيث نلاحظ أن الجانب العلوي للحزمة الأولى يربط إلى الصفيحة الأولى أما الجانب الآخر لهذه الحزمة يربط مع الجانب العلوي للحزمة الثانية ونقطه اتصالهما تربط الى الصفيحة الثانية وهكذا بالنسبة لباقي الحزم . إن التيار المار في الحزمة الأولى هو نفسه تيار الدائرة المتوازية أي I_c . أما التيار المار من نقطة توصيل الجانب العلوي لهذه الحزمة أي فيساوي i_1 ويعتمد مقداره واتجاهه على موقع الحزمة نسبة إلى الفرشاة وإلى أي فرع متوازي تنتمي لبحث كيفية تبدل التيار I في حزمة التبديل . ففي الشكل أعلاه أن حركة المنتج نسبة إلى الفرش الثابتة في الفضاء تكون نحو اليمين في حالة المولد ونحو اليسار في حالة المحرك كما فرض سابقاً ، لهذا تكون الحركة النسبية بينهما في نفس الاتجاه ، لو فرض أن المنتج ثابت لا يتحرك وأن الفرش هي التي تتحرك نحو اليسار في حالة المولد ونحو اليمين في حالة المحرك، ولدراسة عملية التبديل نستخدم هذا التصور كي نبقي رسم الملف والصفائح كما هي وتحرك الفرش فقط للسهولة ، قبل بدء عملية التبديل أي عندما يكون الزمن الجاري والمحسوب من بداية عملية التبديل صفراً (t = 0) فإن الحزمة الأولى تنتمي إلى الدائرة المتوازية اليسرى بالنسبة للشكل ويمر التيار I_c كما في الشكل أعلاه ولذلك فإن تيار هذه الحزمة I يكون يكون مساويا ومتطابقا بالاتجاه مع تيار هذه الدائره المتوازيه. يمكن ان نلاحظ هنا ان اتجاه التيار i يكون باتجاه عقارب الساعة وعلاقته مع باقي التيارات تحدد حسب قانون كرتشوف الأول كما يلي :

$$i = +i_c$$

$$i_1 = ic - i = 0 \ldots\ldots\ldots \text{(2-12)}$$

$$i_2 = i_c + i = 2i_c \ldots\ldots\ldots \text{(2-13)}$$

$$i_a = i_1 + i_2 = 2i_c \ldots\ldots\ldots \text{(2-14)}$$

حيث ان ia هو التيار الكلى المار فى الفرشاه الواحده ويساوى تيار المنتج فى المكائن ثنائية القطب او المكائن زات الملفات الموجيه البسيطه . لقد فرض ان عرض الفرشاه يساوى عرض صفيحه واحده ، وفى الحاله عند الزمن t=0 تكون الفرشاه متطابقه كليا مع الصفيحه الثانيه ولذلك فان كل تيار الفرشاه يمر من خلال

هذه الصفيحه . عند حركة المنتج ، واول اتصال للفرشاه مع الصفيحه الاولى تبدا فترة التبديل بالنسبه للحزمه الاولى التى تسمى بحزمة التبديل فى هذه الحاله . فتتغير قيمة تيار حزمة التبديل عما كانت عليه سابقا فتتغير ايضا قيمة التيارين (i_1, i_2) المارين من خلال الصفيحتين الاولى والثانيه كما مبين فى الشكل اعلاه للزمن(t=Tc/u) من بداية فترة التبديل حيث تصبح العلاقه بين التيارين كما يلى:

$i = + 3/4 i_c$ …….. (2-15)

$i_1 = i_c - i = 1/4\ i_c$…….. (2-16)

$i_2 = i_c + i = 7/4\ i_c$…….. (2-17)

$i_a = i_1 + i_2 = 2i_c$…….. (2-18)

مع استمرار حركة المنتج يستمر التغير فى قيمة التيارين (i_1, i_2) ويعاد توزيع مقدار مساهمته فى تكوين تيار الفرشاه ia مع استمرار هذه الحركه كذلك تتغير مساحة التماس بين الفرشاه والصفيحه المعينه التى يمر من خلالها التيار المعين (i_2 او i_1) مثلا فتزداد مساحة التماس للصفيحه الاولى وتقل للصفيحه الثانيه ، وتتساوى المساحتان عند مرور نصف فترة التبديل اى عند الزمن t=1/2 Tc من بعد بداية فترة التبديل حيث تتطابق حزمة التبديل فى هذه الحاله مع خط المحايد الهندسى فيصبح مقدار التيار المار فيها صفرا (i=0) وتقصر الفرشاه جانبيها تماما وتكون العلاقه بين التيارين كما يلى:

$i=0$…….. (2-19)

$i_1=i_2=ic$ …….. (2-20)

$ia=i_1+i_2=2ic$ …….. (2-21)

عند حركة المنتج بعد هذه الحالة تزداد مساحة تماس الصفيحة الأولى مع الفرشاه وتقل مساحة تماس الصفيحة الثانية مما يعني أن مقدار التيار i_1 يبدأ بالزيادة المستمرة مقارنة مع مقدار التيار I_2 الذي يبدأ بالنقصان المستمر . وتستمر هذه الحالة إلى أن تخرج الصفيحة الثانية كلياً من تحت الفرشاه فتنتهي عند ذلك فترة التبديل ($T = T_c$) ويصبح تماس الفرشاه مع الصفيحة الأولى فقط وتكون العلاقة بين التيارات كما يلي :

$i = /-i_c /$ …….. (2-22)

$i_1 = i_c + i = 2i_c$…….. (2-23)

$i_2 = i_c - i = 0$…….. (2-24)

$i_a = i_1 + i_2 = 2i_c$…….. (2-25)

بعد مرور الزمن $t = 1/2T_c$ يتغير اتجاه التيار i الذي كان يدور قبل هذه اللحظة باتجاه عقارب الساعة فيصبح الآن باتجاه معاكس لعقارب الساعة أي أنه يتطابق في اتجاهه مع التيار المار في الدائرة المتوازية اليمنى التي انتقلت إليها حزمة التبديل .

عند انتهاء عملية التبديل في الحزمة الأولى تتهيأ الحزمة الثانية آنياً لعملية تبديل التيار فيها ويعتمد الزمن الجاري من نهاية عملية تبديل إلى إلى بداية أخرى على سمك العوازل بين صفائح المبدل فيكون هذا الزمن صفراً عند إهمال تأثير سمك العوازل .

الجدول أدناه يبين المراحل التي يتغير فيها التيار في أي حزمة أخرى ولنفرض الحزمة n :

i_a	i_{n+1}	i_n	i	اللحظة الزمنية / التيارات
$i_{n+1} = 2i_c$	$2i_c$	0	$+i_c$	$t=0$
$i_n + i_{n+1} = 2i_c$	$7/4i_c$	$1/4i_c$	$3/4i_c$	$t=1/4T_c$
$i_n + i_{n+1} = 2i_c$	i_n	i_{n+1}	0	$t=1/2T_c$
$i_n + i_{n+1} = 2i_c$	$1/4i_c$	$7/4i_c$	$1/4i_c$	$t=3/4T_c$
$i_n=2i_c$	0	$2i_c$	$/-i_c/$	$t=T_c$

فترة التبديل :

يمكن التعبير عن معدل تغير التيار أثناء التبديل كما يلي :

$$\frac{di}{dt} v = \frac{2ic}{Tc} A/\cos \text{…….. (2-26)}$$

حيث تساوي فترة التبديل T_c الداخلة في هذا التعبير نسبة المسافة التي تقطعها الفرشاه أثناء فترة التبديل إلى السرعة المحيطة بالمبدل أي :

حيث أن :

$$Tc = \frac{L}{Vc} \quad \text{…….. (2-27)}$$

L : الطول بالأمتار الذي تقطعه الفرشاه على سطح المبدل .

V_c : السرعة المحيطة Peripheral Velocity للمبدل والتي تساوي

$$Vc = \frac{TTDcn}{60}[m/\sec] \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}28)$$

حيث أن D_c : القطر الخارجي للمبدل بالأمتار .

لحساب الطول L نأخذ حالة عامة يزيد فيها عرض الفرشاه T_b على عرض الصفيحة t_c وأن مجموعة الحزم تتكون من أكثر من حزمة واحدة مثلاً $n_c=3$.

كما نفرض أن سمك العازل بين الصفائح تأثير على هذا الطول ويساوي هنا t_m بما أن مجموعة الحزم تقع

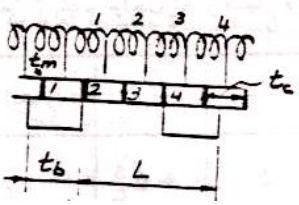


Fig (2-38)

في مجرى واحد فإن الحزم التي تتكون منها تشغل نفس المعين وأن التيار أثناء عملية التبديل يتبدل اتجاهه في جميع حزم المجموعة ولما كانت الحزم المختلفة في المجموعة الواحدة تربط إلى صفائح مبدل مختلفة فإن

على الفرشاة أثناء عملية التبديل أن تمر على صفائح يساوي عددها عدد الحزم في المجموعة الواحدة أي n_c لكي تكتمل عملية التبديل وتبدأ فترة التبديل حسب الشكل أعلاه عند اتصال الفرشاة مع الصفيحة الثالثة وتنتهي عند تركها كلياً للصفيحة الثانية لذلك فان الطول الكلي الذي تسيره الفرشاة يساوي :

$$L = 2t_c + t_b + t_m \ldots\ldots\ldots (2\text{-}29)$$

$$L = (3\text{-}1)t_c + (3\text{-}2)t_m + t_b \ldots\ldots\ldots (2\text{-}30)$$

وأن الرقم الأول في الأقواس يدل على عدد الحزم في المجموعة الواحدة n_c ولذلك عند التعبير عن طول المسافة التي تقطعها الفرشاه أثناء فترة التبديل لأي حالة آخري تكتب المعادلة العامة التالية :

$$L = tb + (nc - 2)\, tm + (nc - 1)\, tc \ldots\ldots\ldots (2\text{-}31)$$

إذا كان الملف يتكون من m من الملفات البسيطة التي تكون مجاميع الحزم فيها أحادية الحزم (nc=1) فالمعادلة تصبح :

$$L = t_b + (m\text{-}2)tm + (m\text{-}1)tc \ldots\ldots\ldots (2\text{-}31)$$

لتسهيل بحث عملية التبديل نفرض أن الملف يكون بسيطا (m=1) و فيه حزمة واحدة لكل طبقة في المجري (nc=1) و أن عرض العازل الفاصل بين الصفائح

يكون متناهي في الصغر و قابل للإهمال (tm=0) و إن عرض الفرشاة يساوي عرض المبدل (tb = tc) عند ذلك تصبح المعادلة كما يلي

$$L = T_C = \Pi D_C / C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}32)$$

و عند التعويض عن المسافة L في المعادلة # بما يساويها في المعادلة D و عن السرعة بما يساويها من المعادلة H يصبح التعبير عن فترة التبديل كما يلي :

$$Tc = \frac{L}{Vc} = \frac{\pi Dc / c}{\pi Dcn / 60} = \frac{60}{nc}\sec \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}33)$$

إن سطح التماس بين الفرشاة و صفائح المبدل Ab يتوزع بين صفيحتين متجاورتين بشكل يعتمد علي الزمن الجاري منذ لحظة بداية عملية التبديل t حيث يساوي سطح التماس مع الصفيحة الثانية A_2 وتعتمد مقاومة التماس Contact Resistance علي سطح التماس فكلما يزداد سطح التماس تقل مقاومته و بالعكس لذلك فإن مقاومة التماس الكلية Rb تتوزع بين الصفيحتين المتجاورتين حيث تساوي مقاومة التماس للصفيحة الأولي R1 و للصفيحة الثانية R_2 حيث نلاحظ:

$$Ab = A_1 + A_2 \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}34)$$

$$Rb = R_1 + R_2 \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}35)$$

و مع زيادة الزمن الجاري T عند حركة المنتج يعاد توزيع المساحة Ab و المقاومة Rb بحيث تكون هذه المقادير كما يلي :

أ/ عند بداية عملية التبديل عندما t = 0 :

$$A1 = 0, A2 = Ab, R = \infty, R2 = Rb \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}36)$$

ب/ عند أي لحظة زمنية مثلاً $0 < t < tc$ و كون المقاومة تتناسب عكسياً مع مساحة سطح التماس فإن:

$$\frac{A1}{t} = \frac{A2}{Tc - t} = \frac{Ab}{Tc} \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}37)$$

$$\therefore A1 = Ab\frac{t}{Tc} \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}38)$$

$$A2 = Ab - A1 = Ab\frac{Tc - t}{Tc} = Ab(1 - \frac{t}{Tc}) \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}39)$$

$$R1A1 = R2A2 = RbAb \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}40)$$

$$\therefore R1 = Rb\frac{Ab}{R1} = Rb\frac{Tc}{t} \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}41)$$

$$R2 = Rb\frac{Ab}{R2} = Rb\frac{Tc}{Tc - t} \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}42)$$

إن المقاومتين (R_1 , R_2) تعتبران دالتين مركبتين يتغيران مع كثافة التيار J إستمرارية عمل الماكنة ، زيادة درجة حرارة المبدل ومع تغير مساحة سطح التماس ، و للسهولة نفرض أن مقاومة التماس هي دالة المساحة لسطح التماس ولا علاقة لها مع كثافة التيار في هذه الحالة نحن نستبدل العلاقة الحقيقة بين هبوط الجهد علي مقاومة التماس و كثافة التيار والتي تكون علي شكل منحني بعلاقة تقريبية علي شكل خط مستقيم كما مبين في الشكل أدناه :

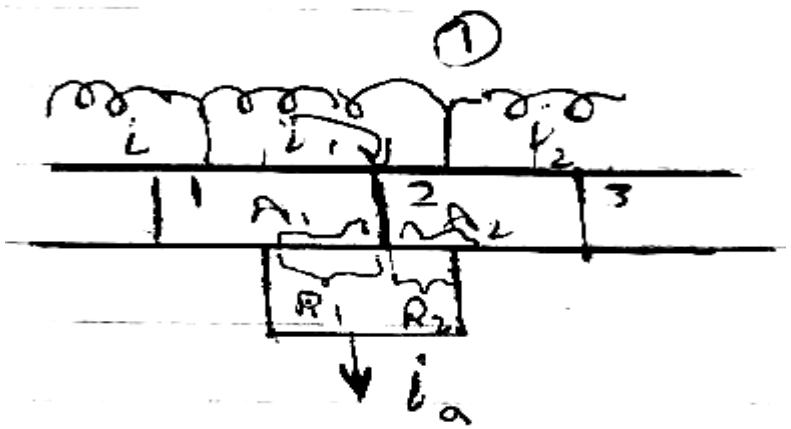


Fig (2-40)

حيث يعبر عن هبوط الجهد كما يبي .

$$\Delta rb = K \cdot d \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}43)$$

بهذه الطريقة نجعل نسبة مقاومتي الصفيحتين مساوية إلي مقلوب نسبة مساحتي التماس فيهما أي:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{A_1}{A_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}44)$$

$$\frac{R2}{R1} = \frac{Ab.t/Tc}{Ab(Tc-t)/Tc} = \frac{t}{Tc-t} \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}45)$$

المعادلة الأساسية للتبديل :

تستحث في حزمة التبدل (المقصرة) أثناء فترة التبديل قوة دافعة كهربائية كلية تكون السبب في مرور تيار معين في هذه الحزمة في الوقت الذي يجب أن يكون فيه هذا التيار بقيمة مهملة تقترب من الصفر ، و تتكون هذه القوة الدافعة الكهربائية من مكونين متميزين هما :

1/ قوة دافعة كهربائية تنحث في حزمة التبديل نتيجة للحث الذاتي والمتبادل تسمي بالقوة الدافعة الكهربائية المفاعلة Reactane EMF و السبب في هذه التسمية هو لأنها تعاكس حسب قانون لينز تغير التيار I في حزمة التبديل و تبطي من سرعة تبدل اتجاهه و تساوي:

$$er = - Lc \frac{di}{dt} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}46)$$

حيث أن Lc ≡ المحاثة الكلية لحزمة التبديل .

2/ قوة دافعة كهربائية تنحث في حزمة التبديل نتيجة للفيض المغناطيسي الخارجي (للأقطاب والمنتج) و دوران هذه الحزمة ضمنه تسمي بالقوة الدافعة الكهربائية للتبديل Reactane EMF و تساوي :

$$ec = \pm 2BgLaVaNc \ldots\ldots\ldots (2\text{-}47)$$

حيث أن Bg ≡ كثافة الفيض المغناطيسي في الفجوة الهوائية قرب المنطقة التي تتحرك فيها حزمة التبديل و إن إشارة هذه القوة الدافعة الكهربائية يمكن أن تكون موجبة أو سالبة .

عند تطبيق قانون كيرشوف الثاني للجهد أي أن :

$\sum E = \sum IR$ علي دائرة

حزمة التبديل و التي يمر فيها التيار I و مقاومتها الأومية تساوي Rc فتكتب المعادلة كالتالي :

$$e_{r\pm} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}48) \qquad ec = I_1R_1 - I_2R_2 - IR_C$$

و تصميم الملفات في أغلب الأحيان من حزم أحادية اللفة (Nc=1) لهذا فإن مقاومة الحزمة Rc تكون ضئيلة ، يمكن إهمال هبوط الجهد عليها فنتحصل علي:

$$er \pm ec = i_1R_1 - i_2R_2 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}49)$$

و تسمي هذه المعادلة بالمعادلة الأساسية للتبديل و التي هي عبارة عن معادلة تفاضلية لاخطية بمكونات متغيرة و نلاحظ أن التيارين i_1 و i_2 يساويان :

$$i_1 = ic - i \ldots\ldots\ldots (2\text{-}50)$$
$$i_2 = ic + i \ldots\ldots\ldots (2\text{-}51)$$

و من تعويض التعبير عنهما في المعادلة (2-49) نحصل علي التعبير العام لتيار حزمة التبديل كما يلي :

$$i = ic\frac{R1-R2}{R1+R2}+\frac{er \pm ec}{R1+R2} \text{ ..... (2-52)}$$

و عند التعويض عن مقاومتي التماس في هذه المعادلة باستخدام نسبتهما في المعادلة السابقة نحصل علي التعبير النهائي عن هذا التيار كما يلي :

التبديل الخطي المثالي :

تضم مكائن التيار المستمر و تحسب دوائرها بصورة تجعل من القوة الدافعة الكهربائية المفاعلة مساوية بالمقدار ومعاكسة بالإتجاه للقوة الدافعة الكهربائية للتبديل ، أي أن القوة الدافعة الكهربائية لحزمة التبديل تكون صفراً دائماً .

$e = er + ec = 0$ ..... (2-53)

مما يجعل الجزء الثاني في الطرف الأيمن من المعادلة (2-52) صفراً و تصبح هذه المعادلة :

$$i = ic\left(1 - \frac{2t}{tc}\right) \text{ ..... (2-54).}$$

و يتغير تيار حزمة التبديل حسب هذه المعادلة خطياً ، و لذلك فإن عملية التبديل في هذه الحالة تسمي خطية Linear Commutation

كما مبين في الشكل أدناه :

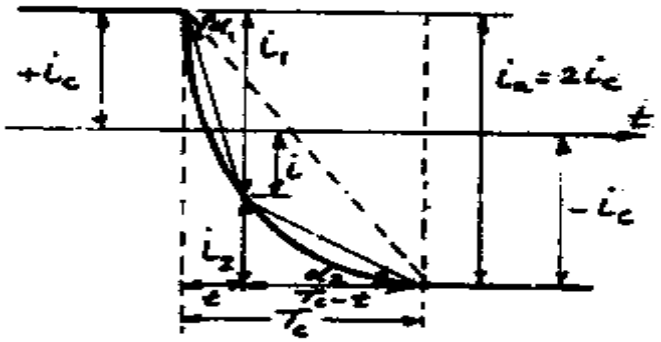


Fig (2-43)

و يسمي هذا التبديل مثالياً لأن ت

بذلك يمر التيار من خلال الفرشا

في البند السابق و المبين في الشكل السابق كان لحالة تبديل خطية و مثالية ، أن التعبير عن التيار الذي من خلال الصفيحة الأولي يكون :

$$i_1 = ic - i - ic = ic\left(1 - \frac{2t}{Tc}\right) \text{ ..... (2-55)}$$

$$= 2ic\,\frac{t}{} = ia\,\frac{t}{} \text{ ..... (2-56)}$$

$Tc \qquad Tc$

أي أن تساوي صفر عند بداية التبديل (t = 0) و تساوي تيار الدائرة المتوازية عند منتصف فترة التبديل (t = 0.5 tc) و تساوي الفرشاة عند إنتهاء فترة التبديل (t = tc) و عند التعبير عن التيار الذي يمر من خلال الصفيحة الثانية يكون :

$$i_2 = ic + i = ic+ic\ (1 - \frac{2t}{Tc} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}57))$$

$$= 2ic\ (1 - \frac{t}{tc}) = ia\ (1 - \frac{t}{Tc} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}58))$$

أي أن قيمته تساوي تيار الفرشاة عندد بداية فترة التبديل (t = 0) وتساوي تيار الدائرة المتوازيه عند منتصف فترة التبديل وتساوي صفر عند إنتهاء فترة التبديل ، وتكون كثافة التيار في هذا النوع من التبديل منتظمة وثابتة ومتساوية عند مساحتي التماس لهذا لايمكن أن نلاحظ في هذه الحالة ظهور أية شرارة عند الطرف التابع للفرشاة ونعبر عن كثافة التيار بالنسبة للصفيحة الأولي كما يلي :

$$j_1 = \frac{i_1}{A_1} = \frac{iat/Tc}{Ab.t/Tc} = \frac{ia}{Ab} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}59)$$

و بالنسبة للصفيحة الثانية كما يلي:

$$J2 = \frac{i2}{A2} = \frac{ia(1-t/Tc)}{Ab(1-t/Tc)} = \frac{ia}{Ab} \quad \ldots\ldots\ldots (2\text{-}60)$$

مما يعني أن كثافة التيار في مساحة التماس تكون متساوية و ثابتة أي:

$$j = j_1 = j_2 = \frac{i_1}{A_1} = \frac{i_2}{A_2} = \frac{ia}{Ab} = const \ldots\ldots\ldots (2\text{-}61)$$

يمكن الوصول إلي نفس النتيجة عند النظر إلي مثلثي الشكل (2-43) الأول و الذي i_1 فيه الزاوية $\alpha 1$ والثاني الذي فيه الزاوية $\alpha 2$ وحيث نلاحظ أن:

او $\tan \alpha 1 = \frac{i1}{t} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}62)$

$l_1 = t \tan \alpha_1 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}63)$

$$d_1 = \frac{i_1}{A_1} = \frac{t}{Abt/Tc} \tan \alpha_1 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}64)$$

$$\frac{Tc}{Ab} \tan \alpha_1 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}65)$$

<u>كذلك من المثلث الآخر نلاحظ أن:</u>

$$\tan \alpha_2 = \frac{i_2}{Tc - t} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}66)$$

أو

$$i_2 (Tc - t) \tan \alpha_2 \text{ ..... (2-67)}$$

إذن

$$j_2 = i_2 = \frac{Tc - t}{A_2} \quad \frac{\tan \alpha_2}{Ab\,(1 - t/tc)} \text{ ..... (2-68)}$$

$$\frac{Tc - t}{Ab\,(tc - t)\,tc} \tan \alpha_2 = \frac{tc}{Ab} \tan \alpha_2 \text{ ..... (2-69)}$$

و من المثلث الكبير a b c نلاحظ أيضاً أن :

$$Tan \alpha_1 = \tan \alpha_2 = \frac{ia}{tc} \text{ ..... (2-70)}$$

إذن من تفويض المعادلة (2-70) في المعادلتين

نجد أن

$$J = j_1 = j_2 \frac{ia}{Ab} = const \text{..... (2-71)}$$

تجدر الإشارة هنا الى أن عدم انتظام كثافة التيار المار من خلال مساحة التماس لا يؤثر كثيراً علي ظهور الشرارة الكهربائية ، إلا أن انتظام توزيع التيار علي مساحتي التماس يؤدي إلي التقليل من مقاومة التماس و يقلل من الزيادة المحلية في درجة الحرارة ، حيث يعتبر ذلك من الجوانب الإيجابية في مكائن التيار المستمر .

<u>التبديل اللاخطي :</u>

عند عدم مساواة القوة الدافعة الكهربائيةالمحتثه في حزمة التبديل إلي صفر فإن تيار إضافي عدا (i) سيمر في حزمة التبديل يمكن تحديد مقداره حسب قانون أوم كما يلي :

$$E = \frac{er + ec}{R \quad R_1 +} \text{ ..... (2-72)}$$

من المعروف أن القوة الدافعة الكهربائية المفاعلة تنحث ذاتياً لتعاكس تبدل مقدار و اتجاه التيار ، وبالتالي عرقلة تغير المجال المغناطيسي الذي يكونه هذا التيار حول حزمة التبديل ، ولذلك فأنها تكون دائماً بإشارة معاكسة لإشارة التيار وتعمل علي إبطاء عملية التبديل ، أما القوة الدافعة الكهربائية المحتثة نتيجة للمجال المغناطيسي

الخارجي (c_2) فإن تأثيرها قد يتطابق أو يتعاكس مع تأثير er علي عملية التبديل ، لهذا فعندما يكون المجموع الكلي للقوة الدافعة الكهربائية موجباً (أي) فإن إشارة التيار الإضافي iad تكون موجبة كما مبين في الشكل أدناه :

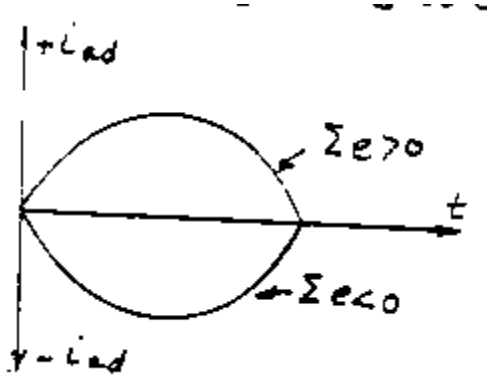


Fig (2-46-1)

أما عندما تكون سالبة وعند أخذ ذلك بنظر الإعتبار يصبح التعبير العام عن تيار التبديل كما يلي :

$$i = i_c \left(1 - \frac{2t}{tc} \right) \pm i_{ad} \text{ ..... (2-73)}$$

و تعني الإشارة الموجبة في هذه المعادلة أن التيار الإضافي يضاف التيار الخطى الأصلي فتكون بذلك محصلة التيار لا خطية و بين الشكل أدناه ذلك :

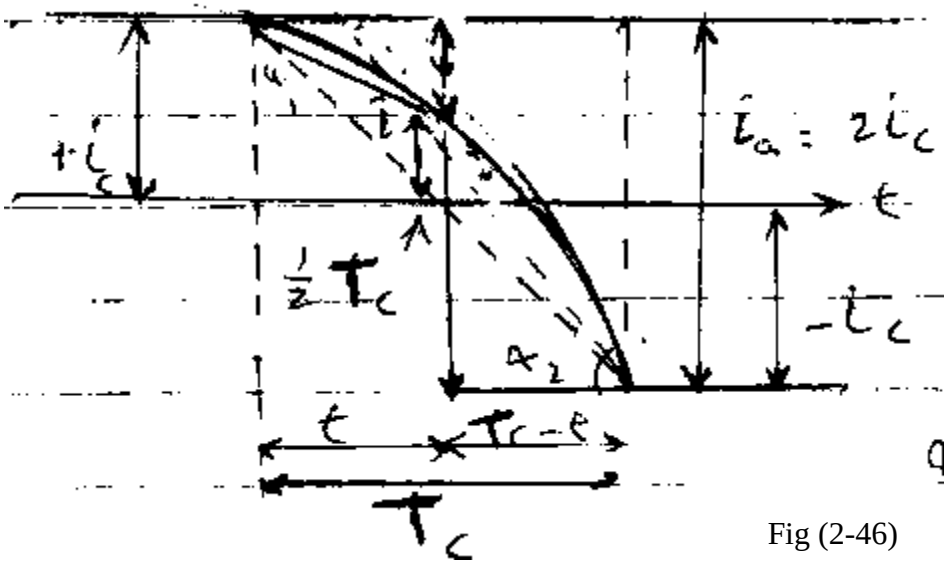


Fig (2-46)

و يسمى التبديل اللاخطي هنا بالتبدل المتباطي أو المتأخر Retarded Commutation

لأن تيار التبديل يصل إلي قيمة الصفر بفترة زمنية تزيد عما في حالة التبديل الخطي ($t > \frac{1}{2} Tc$ عند $i=0$)

و من الملاحظ في هذا الشكل أن عملية التبديل لمقدار وإشارة التيار تكون بطيئة عند بداية فترة التبديل و سريعة قرب نهايتها و تتوزع كثافة التيار بين الطرفين المتقدم و التابع للفرشاة كما يلي :

$$j_1 = \frac{i_1}{A_1} = \frac{t}{Abt/Tc} \quad tan\,\alpha_1 \quad \frac{tc}{Ab} \quad tan\,\alpha_1 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}74)$$

$$J_2 = \frac{i2}{A2} = \frac{Tc}{Ab} \tan \alpha_2 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}75)$$

و تكون الزاويتين α_1 و α_2 مختلفتين بالمقدار بحيث أن $\alpha_2 > \alpha_1$ لذا فإن $J_2 > J_1$.

Li الإشارة السالبة في (2-73) المعادلة فتعني أن التيار الإضافي يعاكس التيار الأصلي الخطي فيطرح منه ، فتكون بذلك محصلة التيار لاخطية أيضا كما مبين أدناه .و يسمي التبديل اللاخطي هنا بالتبديل التعجيلي أو المتقدم Advarked Commutation لأن تيار التبديل يصل إلي قيمة الصفر بفترة زمنية تقل عما في حالة التبديل وواطئة نهايتها لهذا أن التيار i_2 قرب نهاية فترة التبديل قليلاً جداً يمكن إعتباره في الإعتبارات العملية .

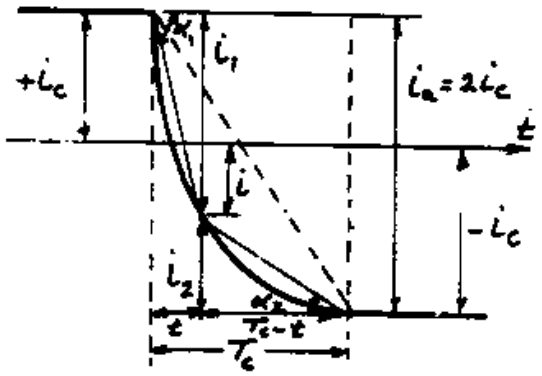


Fig (2-47)

تيار الإنقطاع و ظهور الشرارة :

عند إعتبار القوة الدافعة الكهربائية الكلية تساوي صفر في حزمة التبديل فإن هبوط الجهد علي مقاومتي التماس يساوي صفراً أيضا ، والتبديل يكون منطقي ومثالي لأن تيار حزمة التبديل يساوي صفر عند منتصف فترة التبديل و يصل إلي القيمة

القصوي المتوقعة (ic) عند إنتهاء عملية التبديل إلا أنه قد تتكون في الحالات الواقعية الأسباب التي لا تجعل من القوة الدافعة الكهربائية المفاعلة أو الكلية ($\sum e$) مقدار يساوي صفر بل قد يزيد أو يقل عنه ، من تنسيب الفرق بين القوتين الدافعتين الكهربائيتين er و ec إلي مقدار القوة الدافعة الكهربائية المفاعلة نحصل علي معامل يمثل درجة واقعية الحالة تحت البحث ومقدار أبتعادها عن الحالة التالية أي :

$$= \frac{er - ec}{er} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}76) \pm \wp$$

و يكون مقدار هذا المعامل صفر في التبديل المثالي و إشارته موجبة في التبديل المتأخر و سالبة في التبديل المتقدم إذن يمكن التعبير عن القوة الدافعة الكهربائية للتبديل كما يلي :

$$ec = er(1 \pm \wp) \ldots\ldots\ldots (2\text{-}77)$$

حيث تدل الإشارة السالبة إلي التبديل المتأخر و الإشارة الموجبة علي التبديل المتقدم .

أن التعبير عن تيار التبديل أثناء التبديل الخطي يكون

$$ec = er(1 \pm \wp) \ldots\ldots\ldots (2\text{-}78)$$

$$i = ic(1 - \frac{2t}{Tc}) \ldots\ldots\ldots (2\text{-}79)$$

$$= ic - (2ic/Tc)t \ldots\ldots\ldots (2\text{-}80)$$

$$= ic - (\frac{ia}{Tc})t \ldots\ldots\ldots (2\text{-}81)$$

في حالة التبديل المثالي ($\wp = 0$) فإن القوتين الدافعتين الكهربائيتين في المعادلة F تتساويان () و يمكن التعبير عن القوة الدافعة الكهربائية للتبديل حسب المعادلتين :

$$er = -Lc\frac{di}{dt} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}82)$$

$$(\frac{di}{dt})er = \frac{2iC}{Tc} A/\sec \ldots\ldots\ldots (2\text{-}83)$$

و التعبير يكون كما يلي :

$$ec = er = Lc\frac{ia}{Tc} \ldots\ldots\ldots (2\text{-}84)$$

و للتعبير عن معدل تغير تيار الفرشاة في فترة التبديل كما يلي

$$\frac{ia}{Tc} = \frac{ec}{Lc} \text{ ..... (2-85)}$$

و المعادلة تصبح

$$i = ic - \frac{ec}{Lc}.t \Rightarrow = ic - \frac{er(1 \pm \wp)}{Lc}.t \text{ .....(2-86)}$$

$$= ic - \frac{2ic(1 \pm \wp)}{Tc}.t \text{ .....(2-87)}$$

$$= ic(1 - \frac{2(1 \pm \wp)}{Tc}.t) \text{ .....(2-88)}$$

في التبديل المثالي الخطي أو اللاخطي و عند إنتهاء فترة التبديل أي عند الزمن الجاري T = TC يجب أن يبلغ تيار التبديل المقدار /ic/ دائماً إلا أنه من النظر إلي المعادلة (2-88) و في حالة التبديل المتأخر الذي تكون فيه الإشارة للعامل ($\wp$) سالبة نلاحظ أن تيار التبديل لا يبلغ المقدار المطلوب حيث أنه يساوي :

هذا يعني أن تيار حزمة التبديل في لحظة إنتهاء فترة التبديل لا يصل إلي مقدار تيار الدائرة المتوازية التي إنتقلت إليها الحزمة و إنما إلي مقدار يقل عنه بما يلي :

$$id = 2ic \wp 2ic \frac{er - ec}{er} \text{ ..... (2-89)}$$

حيث يسمي هذا التيار بتيار الإنقطاع Interupting Cwrrent أو عدم الإستمرارية Dis Continuty كما مبين بالمنحني (1) في الشكل أدناه (التبديل الخطي) أو (التبديل اللاخطي) .

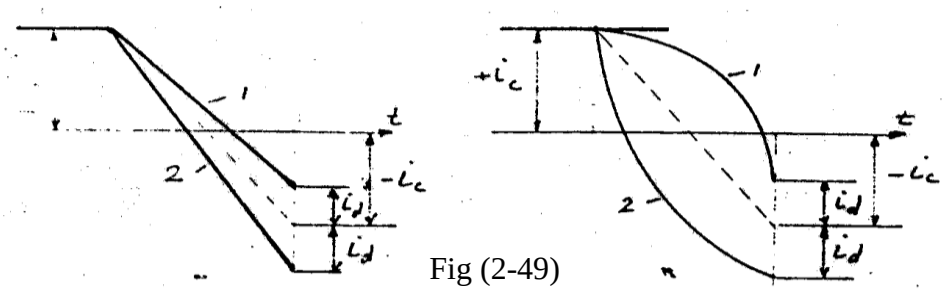


Fig (2-49)

عندما يكون التبديل متقدم أي عندما تكون الإشارة للمعامل ($\wp$) في المعادلة (2-88) موجبة فإن تيار التبديل عند إنتهاء فترة التبديل يزيد علي المقدار المطلوب و يساوي

أي أن تيار حزمة التبديل لا يصل إلي مقدار تيار الدائرة المتوازية التي انتقلت إليها الحزمة و حسب. وإنما يزيد عليه بمقدار id الذي يسمي هنا أيضا بتيار الإنقطاع كما مبين بالشكل أعلاه للتبديل الخطي أو الشكل للتبديل اللاخطي .

في كلا الحالتين عندما يكون التبديل خطياً أو لاخطي متقدم أو متأخر يؤدي ظهور تيار الإنقطاع إلي تكوين الشرارة الكهربائية التي قد تتحول إلي قوس ناري يدور حول المبدل لتوضيح تأثير تيار الإنقطاع علي ظهور الشرارة الكهربائية نأخذ المثال العملي المبين في الشكل أدناه :

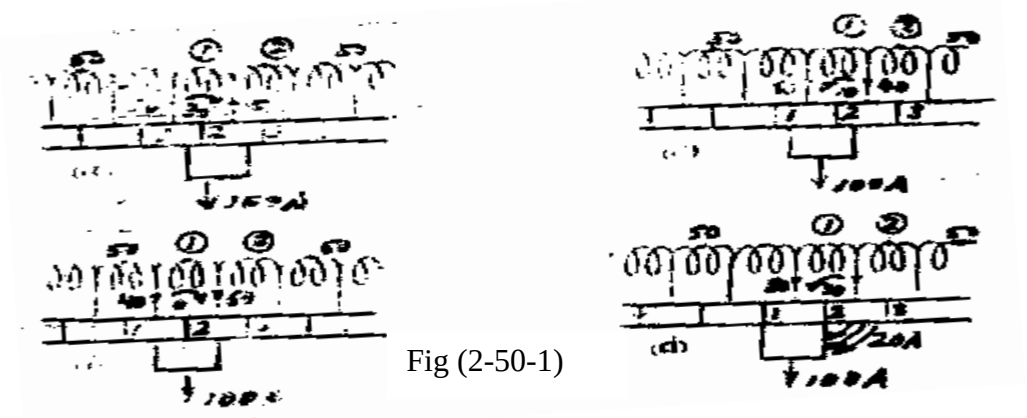


Fig (2-50-1)

و نبحث عليه الخطوات المتميزة لعملية التبديل فعملية التبديل التي تتم في الحزمة الأولي التي يرتبط جانباها مع الصفيحتين الأولي و الثانية نفرض أن كل من الدائرتين المتوازيتين تجهز الفرشاة بتيار مقداره 50 A أي أن تيار الفرشاة يساوي 100A دائماً نفرض أيضا أن الفرق في القوي الدافعة الكهربائية المحثة في حزمة التبديل يدفع هذه الحزمة تياراً لقطاع مقداره (20A−) للمرور فيها و يؤدي تيار الإنقطاع هذا إلي عدم بلوغ تيار التبديل لمقدار تيار الفرع و عند تحريك المنتج نحو اليمين تتكون في حزمة التبديل الحالات المتميزة التالية :

(أ) بعد مرور ربع فترة التبديل ($t=1/4T_c$) فإن التيارات تتوزع كما يلي :

$$i1 = 1/4(ia - id) = 20A \ldots\ldots\ldots\ldots (2-90)$$

$$i2 = ia - i1 = 100 - 20 = 80A \ldots\ldots\ldots\ldots (2-91$$

$$i = ic - i1 = 50 - 20 = 30A \ldots\ldots\ldots\ldots (2-92)$$

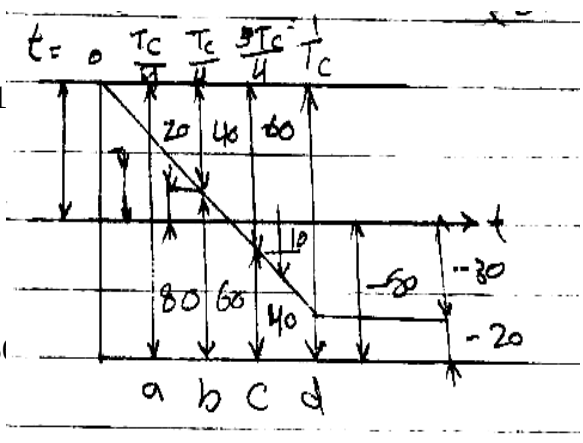


Fig (2-50-2)

و تكون كثافة التيار عند نواحي التماس للصفيحتين مع الفرشاة أي A_1 و A_2 عند انتهاء السطح الكلي لتماس يساوي واحدة كما يلي :

$$J1 = \frac{i1}{A1} = \frac{20/1}{4} = 80 \ldots\ldots\ldots (2-93)$$

$$j2 = \frac{i2}{A2} = \frac{80}{3/4} = 186 \ldots\ldots\ldots (2-94)$$

(ب) بعد مرور نصف فترة التبديل أي : ($t=1/2Tc$) .

فإن التيارات تتوزع كما يلي :

$$i1 = 40A, i2 = 80A, i = 10A \ldots\ldots\ldots (2\text{-}95)$$

و كثافة التيار عند السطح التماس بالوحدات تساوي $J_1=80, j_2=120$

(ج) بعد مرور ثلاثة أرباع فترة التبديل أي $t=3/4Tc$ فإن التيارات تتوزع كما يلي :

$$(i1 = 60A, i2 = 40A, i = -10A \ldots\ldots\ldots (2\text{-}96)$$

و كثافة التيار عند سطحي التماس بالوحدات تساوي

$$j1 = 80, \ j2 = 160 \ldots\ldots\ldots (2\text{-}97)$$

مع الملاحظ أن تيار حزمة التبديل قد تغيرت أشارته إلي السالب

(د) عند إنتهاء فترة التبديل (T = TC) فإن التيارات تتوزع كما يلي :

$$i1 = 80, i2 = 0, i = -30A \ldots\ldots\ldots (2\text{-}98)$$

في هذه الحالة تكون عملية التبديل قد تمت بإنتقال الحزمة الأولي كلياً إلي الدائرة المتوازية اليمني ، إن تيار الفرشاة 100A و مساهمة الدائرة المتوازية اليسري 50A أما مساهمة الدائرة المتوازية اليمني من خلال حزمة التبديل فهى 30A فقط و ذلك بوجود تيار معاكس في هذه الحزمة مقداره 20A و نظر لعدم وجود إتصال كهربائي مباشر بين الصفيحة الثانية و الفرشاة لكي تستطيع الدائرة المتوازية اليمني دفع تيار الفرشاة إلي 100A فإن الدائرة ستضطر إلي ضخ تيار مقداره 20A إلي الفرشاة من خلال الهواء ينتج عن مروره في هذا الطريق تكوين الشرارة الكهربائية إذن تتكون عند التبديل المتأخر الخطي أو اللاخطي و عند وجود تيار إنقطاع سالب شرارة كهربائية

مضره يجب معالجتها و التخلص منها و يسمي التبديل في هذه الحالة بالتبديل الناقص Under Comn أما عن التبديل المتقدم الخطي أو اللاخطي و عند وجود تيار إنقطاع موجب فإن تيار التبديل يصل مع إنتهاء فترة التبديل إلي مقدار يزيد علي تيار الدائرة المتوازية فتتكون شرارة ينبغي التخلص منها و يسمي التبديل في هذه الحالة بالتبديل الفائض Over Comn .

تحسين عملية التبديل :

من الممكن تماماً إستبعاد جميع الأسباب الميكانيكية التي تؤدي إلي ظهور الشرارة الكهربائية و يتطلب ذلك أبداء الإهتمام و العناية الكافيتين في إنتاج ، تصنيع ، تشغيل و إدارة المكائن الكهربائية لذلك سنعتبر الماكينة مثالية من الناحية الميكانيكية .

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 .

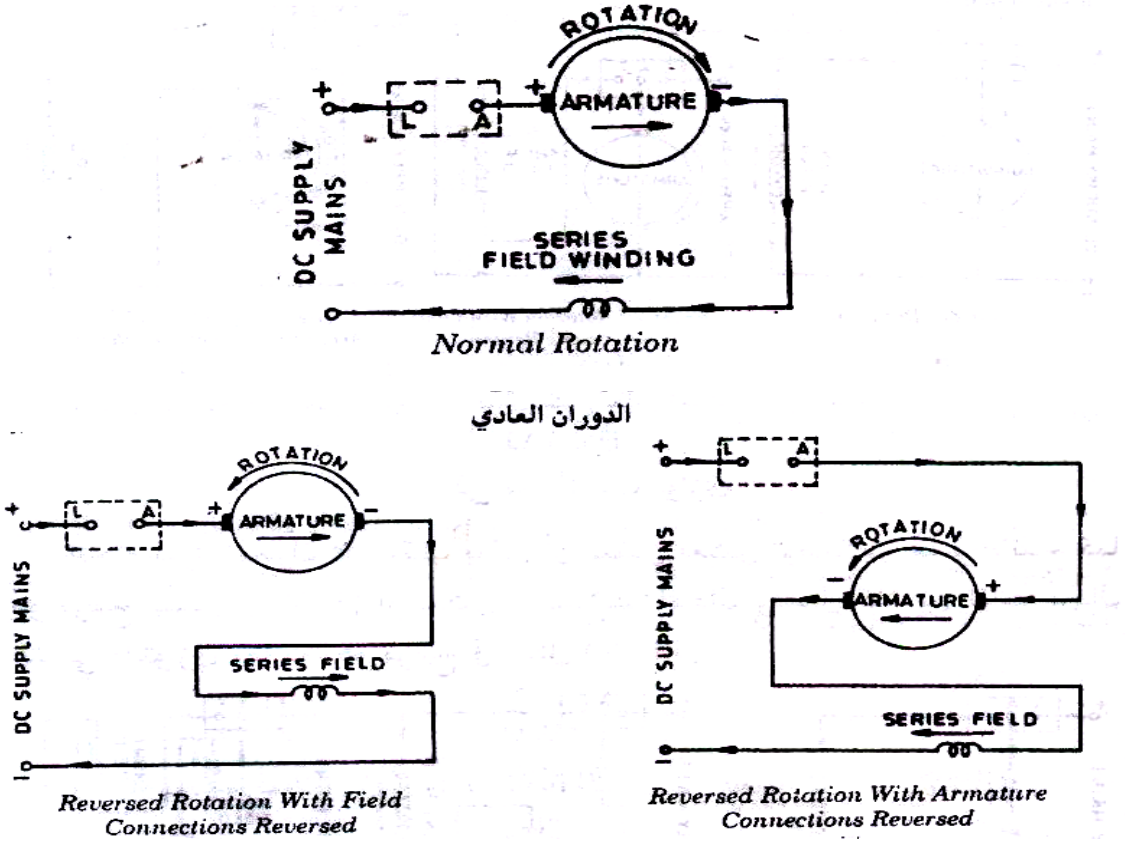


Fig (2-52)

عزم عضو الانتاج Armature Torgue:

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

(i) Te.w=Tex2ΠnWAtt= الشغل المبذول في الثانية = القدرة المنتجة .

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

$Te \times 2\Pi_n = E_b I_a$

$$Te = \frac{EbIa}{2\Pi n} = \frac{0,15EbIa}{n} \quad N.m \ldots\ldots\ldots (2\text{-}99)$$

$$Te = \frac{EbIa60}{2\Pi N} = \frac{0,55EbIa}{N} \quad N.m \ldots\ldots\ldots (2\text{-}100)$$

حيث N هي السرعة بالـ rpm

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

نحصل على $Te = \frac{9,55\Phi ZPIa}{A}$ 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 هوTa بالنيوتن متر Tfهو العزم المفقود في فقد الحديد والاحتكاك و Tsh هو عزم عمود الإدارة (أو العزم المقيد) إذن

$$Ta = \frac{E_b I_a 60}{2\Pi N} = \frac{9{,}55 E_b I_a}{N} \quad N.m \ldots\ldots\ldots (2\text{-}101)$$

$$Tf = \frac{\text{فقد الحديد والاحتكاك بالواط}}{2\Pi N/60}$$

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

عزم عمود الإدارة $T_{sh}=T_a-Tf$

$$[N.M] \qquad \frac{E_b I_a - \text{فقد الحديد والاحتكاك}}{2\Pi N/60}$$

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

$$N_2 = \frac{N_1V-I_{a2}RM}{V-I_{a1}RM} \times \frac{\Phi_1}{\Phi_2}$$

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

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 $\frac{0,05}{200-30\times0,2}\times\frac{0,2\times25-200}{0,06}=1200$ لفه /دقيقة 1005

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

سوق المحرك المستمر : D.C Motor Driver

يولد محرك التيار المستمر عزماً يتناسب طردياً مع تيار المنتج . من المستحسن سوق المحرك بواسطة مصدر تيار مستمر يمكن التحكم بتياره كما أنه من الضروري سوق المحرك بكلا الاتجاهين ، أي أنه يستوجب على مصدر التيار المستمر تزويد تيارات موجبة وسالبة . إن من أبسط الوسائل لتحقيق ذلك هو ما يدعى بمضخم الدفع – السحب ذي التيار المستمر D.C Puch – Pull Amplifier .

مضخمات الدفع – السحب : Push – Pull Amplifier

يقوم مضخم الدفع – السحب المبين في الشكل بتجهيز فولتية خرج وبتيارات عالية كاستجابة لإشارة فولتية في الدخل . تعتبر الدائرة المبينة دائرة قياسية تستخدم في المضخات المؤازرة ويمكن الحصول عليها بخارياً .

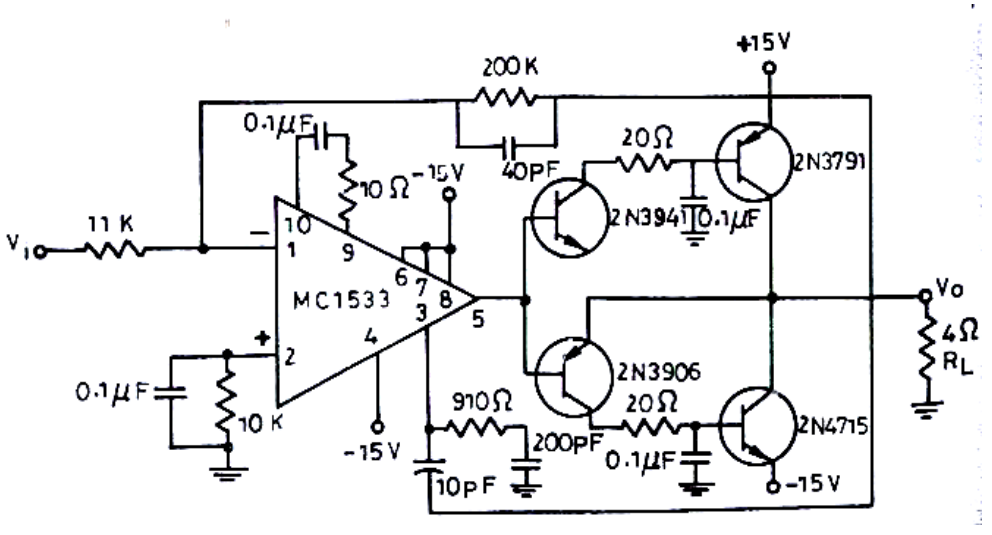


Fig (2-57)

بما أن عزم تدوير محركات التيار المستمر يتناسب مع التيار وبما أننا نرغب في الدافع بالسيطرة على عزم التدوير لذا فمن المستحسن أن نحصل على مضخم يتناسب تيار خرجه (وليس الفولتية) طردياً مع الفولتية في دخله بما أن محرك التيار المستمر عند دورانه يعمل كمولد" إذ أنه يولد قوة دافعة كهربائية معاكسة تتناسب مع سرعته " لذا فإن التيار المار خلال ملف المنتج لا يرتبط مباشرة مع الفولتية المسلطة . إن ذلك يعني أن السيطرة على الفولتية ، كما هو الحال في مضخم الدفع – السحب لا يسيطر على عزم التدوير مباشرة .

إن إضافة مقاومة للتحسس Sense Resister ومضخم عملياتي لدائرة الدفع – سحب يسمح بالحصول على تيار خرج كاستجابة لفولتية الدخل وعن طريق الإضافة البسيطة هذه كما في الشكل يصبح من الممكن السيطرة مباشرة على عزم التدوير . في هذه الدائرة يقاس تيار المحرك بواسطة مقاومة صغيرة نسبة إلى مقاومة المحرك وتغذي الإشارة الناتجة عكسياً إلى المضخم العملياتي وبالتالي يمكن الحصول على زيادة طردية في التيار الخارج من المضخم .

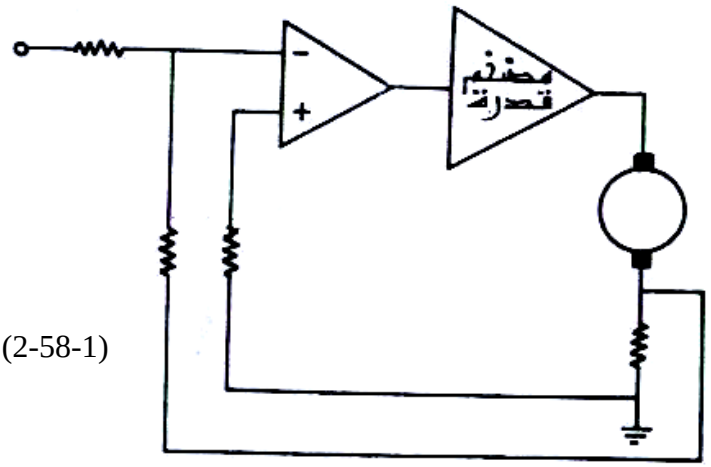


Fig (2-58-1)

ومما سبق وملاحظة أن السيطرة التي تتطلب تياراً عالياً وسرعة عالية في آن واحد ستحمل مضخم القدرة متطلبات قاسية وإذا تمعنا الدائرة المكافئة لمحرك التيار المستمر المبينة أدناه :

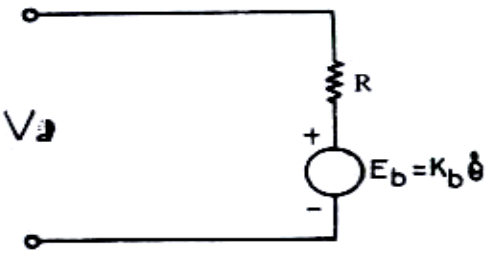


Fig (2-58-2)

عندما يدور المحرك بسرعة عالية تتولد قوة دافعة كهربائية E_b تعاكس فولتية المصدر V_d . لذا فمن أجل المحافظة على تيار ثابت لا بد أن تزداد قيمة V_d وهو ما تقوم به دائرة مضخم القدرة يبين أن قيمة محددة V_d بقيمة قدرة المصدر والتي سرعان ما يصلها المحرك عند بلوغه السرعة العالية بحيث لا تستطيع V_d التغلب على E_b والإبقاء على سريان التيار خلال مقاومة المنتج فإن التيار سيهبط وستفقد السيطرة على التيار وبالتالي على عزم التدوير .

ومما يجب ملاحظته أيضاً عند تصميم دائرة تسوق محركاً ما أن القيم المرتفعة لتيار المنتج ستؤدي إلى إزالة تمغنط المغناطيس الدائم المستخدمة في مغانيط المجال وهذا يعني ضرورة السيطرة على التيار .

ضبط درجة التركيب ◌ Adjustment of compounding

المولدات dc المركبة القياسية أي تلك التي تصنع في أعداد كبيرة تكون عادة مزودة بلفات مجال توالي كافية للعمل كمركبة تزايديه والمولد المركب تزايدي يمكن تعديله ليعطي خصائص مماثلة للمركب مسطح أو المركب منخفض و لإنجاز ذلك يصبح من الضروري تخفيض جهد الطرف للمولد المركب تزايدي حيث أن رفع جهد الطرف هو نتيجة مباشرة للأمبير – لفات لمجال التوالي و لذلك فإن تخفيض الأمبير لفات لمجال التوالي أصبح ملحاً لتخفيض جهد الطرف علي الحمل. ليس في الإمكان تخفيض عدد اللفات في مجال التوالي لذا فالإمكانية الوحيد هي بواسطة تخفيض

التيار المار خلال لفات مجال التوالي و أبسط طريقة لتخفيض تيار مجال التوالي هي بتوصيل مقاومة صغيرة علي التوازي عبر ملفات مجال التوالي كما هو مبين في الشكل التالي :

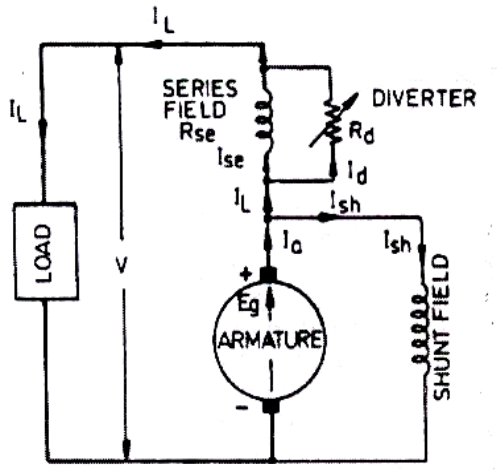


Fig (2-59)

مثل هذه (مقاومة التوازي الفقيرة) تسمي مفرع Diverter لأنها تفرع جزء من تيار الحمل و هكذا يصبح مجال التوالي أقل تأثير في خلق الفيض لتغير الجهد المستحث لمدي محدد بتيار التفرع وبضبط مقاومة المفرع والتيار المار خلال لفات مجال التوالي ونتيجة لذلك فإن درجة رفع جهد الطرف يمكن التحكم فيها وعندما تكون مقاومة المفرع كبيرة جداً ، فإن تيار المفرع Id سوف يكون صغير و تصبح خصائص المولد مركب تزايدي ومن الناحية الآخري ، إذا كانت مقاومة المفرع تقترب من تلك الخاصة بدائرة القصر ، فإن كل تيار الحمل سيتفرع و تكون الخواص الخارجية مماثلة لمولد التوازي .

و حيث أن مقاومة مجال التوالي Rse ومقاومة المفرع Rd علي التوازي فإن تيار الخط الكلي سوف ينقسم و علي ذلك فإن Ise ، Id علي علاقة ببعض هما بالنسبة العكسية لمقاومتهم و يعطي تيار مجال التوالي بالعلاقة .

$$Ise = Ic\frac{Rd}{Rd + Rse} \quad \text{.....(2-102)}$$

<u>تحديد الأمبير / لفات لمجال التوالي :</u>

أنه عمل بسيط أن تحدد الأمبير لفات لمجال التوالي و المطلوب لإعطاء أي درجة من التركيب ودرجة التركيب المطلوبة سوف تعتمد طبعاً علي جهد الطرف المطلوب

لقيمة معينة من تيار الحمل ، عادة يكون تيار الحمل الكامل ، خطوات الحصول علي لفات أمبير لمجال التوالي و هي كالتالي :

يشغل المولد كمولد توازي مع أجهزة قياس (أميترات وفولتميترت) في المجال و دوائر ألحمل لكي نقيس تيار المجال ، تيار الحمل،جهد الطرف.يضبط ريوستات المجال لإعطاء جهد اللاحمل المطلوب ثم يؤشر علي المولد بالحمل و يضبط حتي يبين الأميتر الموصل في دائرة الحمل القيمة المقننة . ولكن يكون جهد الطرف للمولد مع ذلك ليس هو بالقيمة المطلوبة و لكنه أقل كثيراً و نبدأ في زيادة تيار مجال التوازي بتخفيض مقاومة ريوستات المجال و ضبطها للرفع جهد الطرف للقيمة المطلوبة .

و بسبب الزيادة في جهد الطرف يزداد تيار الحمل و لذلك أصبح من الضروري زيادة مقاومة الحمل للحصول علي القيمة المقننة لتيار الحمل و أصبح المولد الآن يمد التيار المقنن عند جهد الطرف المطلوب و لكي نحصل علي هذا الجهد الطرفي كان من الضروري زيادة الأمبير – لفات للمجال لقيمة أكبر التي يتم الحصول عليها عادة كمولد توازي هذه الزيادة في عدد الأمبير– لفات يجب أن تزود بمجال التوالي ، لذلك عندما يعمل المولد كمولد مركب تراكمي فإن الزيادة في الأمبير– لفات يؤسس أوتوماتكياً بمجال التوالي .

نفترض أن dI_{sh}هو مقدار الزيادة في تيار مجال التوازي المطلوب الحفاظ علي جهد الطرف كالقيمة المطلوبة عند الحمل الكامل من اللاحمل Nsh هي العدد الكلي للفات لكل قطب علي لفات مجال التوازي Nse هي عدد اللفات / قطب علي لفات مجال التوالي Ise هو التيار المار خلال لفات مجال التواليI_{sh} d N_{sh}= الأمبير لفات الإضافية التي يجب أن تزود بمجال التوالي .

$$orNseIse=Nsh(I_{sh2}-I_{sh1}) \text{ .....(2-103)}$$

من المعادلة السابقة نحصل علي تيار مجال التوالي المطلوب يمكن أن يكون المفرع ضرورياً لإعطاء القيمة الصحيحة لتيار مجال التوالي .

مقاومة الحمل الحرجة :

إذا رسم خط من نقطة 0 مماس لمنحني الخصائص الداخلية فإن ميل هذا الخط سوف يعطي قيمة النهاية الصغري لمقاومة الحمل الخارجي التي عندها سوف يثار المولد علي الحمل ، و هذه المقاومة تعرف بـ " مقاومة الحمل الحرج " إذا كانت مقاومة دائرة الحمل الخارجي أقل من هذه القيمة فإن المولد سوف يفشل في بناء جهده .

تحديد السرعة لتخفيض ق.د.ك المتولدة :

مع الإحتفاظ بمقاومة مجال التوازي بدون تغيير :

في الشكل أدناه :

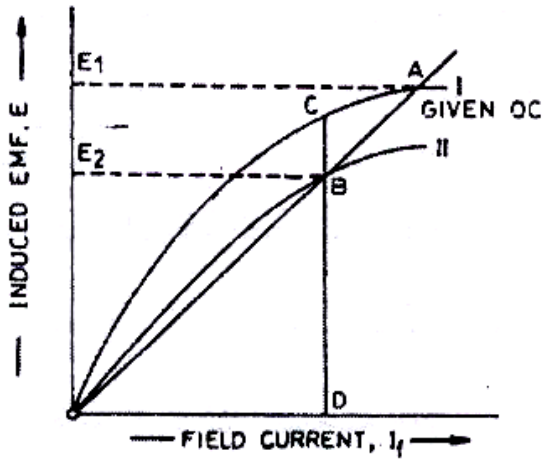


Fig (2-61)

المنحني I هو 0CC عند السرعة لاً لمقاومة مجال التوازي النقطة A هي نقطة تقاطع الخط OA و OCC المعطي الإحداث الصادي لنقطة A يمثل ق.د.ك المستحثة E_1 .

نفترض أن المنحني هو OCC المرسوم عند سرعة N_2 لذلك سيكون الإحداثي الصادي لنقطةB نقطة تقاطع خط مقاومة مجال التوازي OA و الـ OCC الجديد و هي تمثل ق.د.ك المستحثة E_2 .

و الآن إذا رسمنا خطاً رأسياً من نقطة B و ليكنCBD يقطع OCC المعطي عند النقطة C عندئذ ستكون السرعة الجديدة

إذن لتحديد السرعة لتخفيض ق.د.ك المستحثة مع الاحتفاظ بمقاومة مجال التوازي ثابتة .

تحديد السرعة الحرجة :

السرعة الحرجة لمولد لف توازي هي تلك السرعة التي عندها مقاومة مجال التوازي المعطاة سوف تمثل مقاومة المجال الحرجة .

في الشكل أدناه

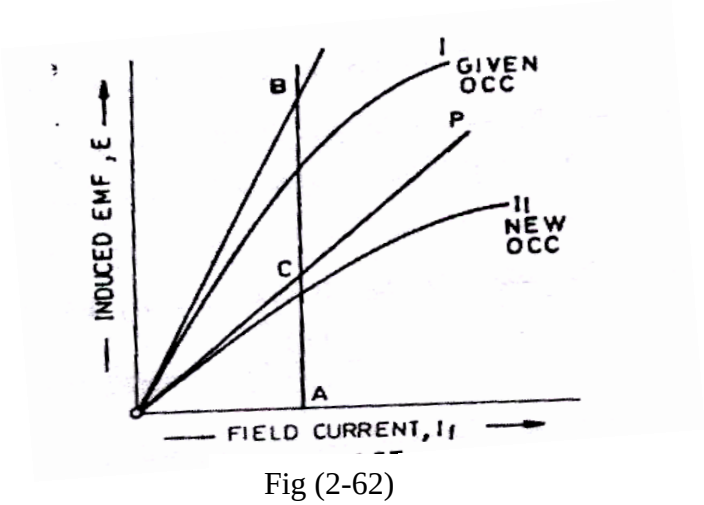


Fig (2-62)

منحني I هو OCC عند السرعة المعطي N ، OB هو خط المماس لـ OCC و الخط OP هو الخط المرسوم ليمثل مقاومة مجال التوازي المعطاة .

أفترض أن المنحني II هو OCC المرسوم عند السرعة الحرجة NE المطلوب تحديدها من التعريف للسرعة الحرجة فإن الخط OP سيكون مماساً لـ OCC الجديد .

إذا رسم خط رأسي AB يقطع الخط OP عند C عندئذ

$$\frac{Ac}{AB} = \frac{Nc}{n} \quad \text{.....(2-104)}$$

$$or Nc = \frac{Ac}{AB} N$$

الفصـــل الثالث

الخصـائص التشـغيلية لمولـدات التيـار المسـتمر Characteristics of Dc Generator

هي المنحنيات أو الرسومات التي تعطي العلاقة بين الكميات المختلفة مثل الإثارة (أو تيار المجال) ق . د . ك المتولدة جهد الطرف و تيار الحمل ..... الخ .

يوجد ثلاث خواص كبيرة الأهمية للمولد dc و التي تدرس بصفة عامة .

1/ خصائص الدائرة المفتوحة أو المغناطيسية :

و هذه الخواص تعرف أيضا بخصائص تشبع اللاحمل و هي تعطي العلاقة بين ق. د . ك المتولدة في عضو الإنتاج علي اللاحمل E_0 و تيار المجال I_F عند سرعة معطاة شكل هذا المنحني للخصائص هو عملياً واحد لكل أنواع المولدات سواء كانوا إثارة ذاتية أو منفصلة الإثارة .

2/ الخصائص الإجمالية أو الداخلية :

و هي المنحنيات التي تعطي العلاقة بين ق . د . ك المتولدة فعلياً في عضو الإنتاج E (وهي أقل من E_0 بسبب تأثير إزالة المغنطة لرد فعل عضو الإنتاج) و تيار عضو الإنتاج هذا المنحني لذلك يقع أسفل منحني خصائص الدائرة المفتوحة

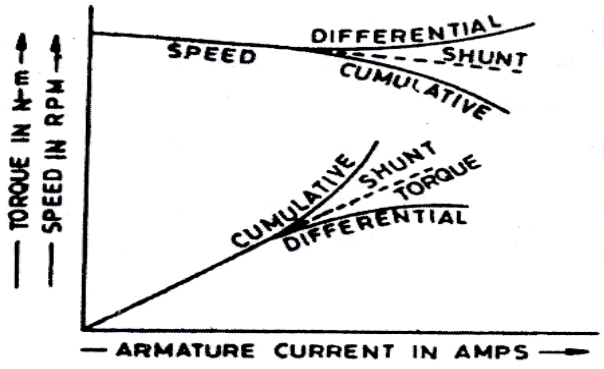
3/ الخصائص الخارجية :

هذا المنحني يعطي العلاقة بين جهد الطرف V و تيار الحمل I تحت الشروط المعطاة للسرعة و الإثارة ، جهد الإثارة V دائماً أقل من E و هذا المنحني لذلك يقع أسفل الخصائص الداخلية ، هذه الخاصية ذو أهمية كبيرة لحساب مدي مناسبة المولد لخدمات خاصة .

خصائص المولدات المنفصلة الإثارة :

في المولدات dc المنفصلة الإثارة تمد ملفات المجال بالطاقة من مصدر منفصل (مستقل) .

و حيث أن تيار الإثارة مستغل عن الحمل أو تيار عضو الإنتاج لذا إذا رسم المنحني بين الفيض / قطب و تيار الحمل مع الحفاظ علي تيار المجال ثابت وإهمال رد فعل عضو الإنتاج نحصل علي خط مستقيم يوازي محور السينات كما هو مبين بالمنحني(1) في شكل أدناه و لكن بسبب رد فعل عضو الإنتاج ، فإن منحني الفيض الفعلي يكون ساقطاً لأسفل كما هو ممثل في المنحني 11 في شكل أدناه .



Characterstics of Compound Wound Motors

Fig (3-66)

المنحني الثاني أيضا يعطي بمقياس رسم آخر ق . د . ك المتولدة في عضو الإنتاج، و لذلك يمثل المنحني الثاني الخصائص الداخلية أو الإجمالية للمولد dc المنفصل الإثارة والجهد الطرفي علي الحمل يساوي ق . د . ك المتولدة ناقص هبوط الجهد في عضو الإنتاج أي أن $V = E - I_a R_a$

لذلك إذا كان الخط OA يمثل مقاومة عضو الإنتاج قد رسم و تم طرح إحداثيات من المنحي II نحصل علي المنحني III يعطي العلاقة بين جهد الطرف و تيار الحمل ، و يعرف باسم الخصائص الخارجية ، من المنحني III من الواضح أنه مع

الزيادة في تيار الحمل يقل جهد الطرف قليلاً و هذا الانخفاض يمكن بسهولة معادلته بزيادة تيار المجال قليلاً ، لذلك يمكن الحصول علي جهد طرفي ثابت .

المولد dc المنفصل الإثارة له ميزة علي المولدات المثارة ذاتياً و هي أنها تعمل في شروط مستقرة مع أي مجال ، و هكذا يمكن الحصول علي مدي واسع لجهد الخرج العيب الرئيسي للمولدات المنفصلة الإثارة يقع في عدم مناسبة ونفقة التزود بمصدر إثارة منفصل لهذا السبب فإن استخدام هذا النوع من المولدات محدودة جداً علي معامل الاختبارات و التجارب حيث تحتاج مثل هذه المصادر و يكون مرغوب في التنوع الواسع في جهد الخرج .

خصائص المولدات DC الملفوفة توالي :

في المولد dc الملفوف توالي ، فإن لفات عضو الإنتاج و لفات المجال دائرة الحمل الخارجي تكون كلها موصلة في توالي مع بعضها و لذلك يمر تيار خلال كل دائرة .

الخصائص المغناطيسية :

إذا رسم منحني بين الفيض / قطب و تيار المجال نحصل علي الخواص المغناطيسية كما هي ممثلة بالمنحني I في شكل أدناه هذا المنحني يبدأ من النقطة F مرتفعة قليلاً عن محور المجال بسبب المغناطيسية المتبقية .

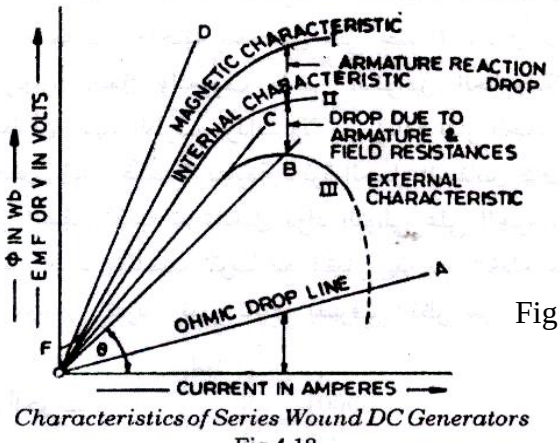


Fig (3-67)

Characteristics of Series Wound DC Generators

الخصائص الداخلية :

إذا لم يكون موجود تأثير إزالة مغنطة لرد فعل عضو الإنتاج سيعطي هذا المنحني الفيض الكلي و عندما تعطي الآلة تيار لدائرة الحمل الخارجية و لكن بسبب رد فعل

عضو الإنتاج يقع المنحني الفعلي شئ ما أسفل هذا المنحني كما هو ممثل بالمنحني II .

و حيث أن ق . د . ك المتولدة في عضو الإنتاج تتناسب طردياً مع الفيض الفعلى عند سرعة ثابتة لذلك فهذا المنحني يعطي أيضا ق . د . ك متولدة في عضو الإنتاج و لكن بمقياس رسم آخر هذا المنحني هو الخواص الداخلية أو الإجمالية لأنه يعطي أيضا العلاقة بين ق . د. ك المتولدة E_g و تيار عضو الإنتاج I_a حيث $I_F = I_a$.

خصائص المولدات DC الملفوف توازي :

بناء الجهد لمولد توازي عند اللاحمل :

المنحني المرسوم بين ق.د.ك المتولدة و تيار مجال التوازي سيكون مماثل لذلك الموضح في الشكل أدناه يثير نفسه بسبب المغناطيسية المتبقية و يطور الجهد كما سيجئ وضعه بأسفل .

الخط OP يمثل مقاومة مجال التوازي ، عندما يبدأ المولد ق.د.ك صغيرة (ممثلة بـ OA في الشكل) تستحث بسبب المغناطيسية المتبقية هذه ق.د.ك المستحثة تسبب سريان تيار Oa في دائرة المجال و يتم الحصول عليها برسم خط أفقي من نقطة A يقابل خط مقاومة المجال عند a وعندئذ من نقطهa يرسم خط عمودى يقابل محور التيار عندa وعندما يكون تيار المجال هو oa تكون ق.د.ك المستحثة oa و التي تنتج تيار مجال ob والتي بالتالي تنتج جهد عالي bb و هكذا نلاحظ أن التأثير تراكمي و قيمة ق.د.ك المستحثة و تيار المجال يتزايد حتي تحصل إلي النقطة D و هي نقطة تقاطع علي خط مقاومة مجال التوازي والخصائص المغناطيسية المتحصل عليها في الشكل أدناه الزيادات اللحظية في ق.د.ك المستحثة و تيار المجال المبنية و لكن في الواقع فإن البعض يزداد تدريجياً OB هي قيمة النهاية العظمي ق.د.ك التي يمكن ان تتولد و المولد لا يستطيع أن يولد أكثر من هذا الجهد .

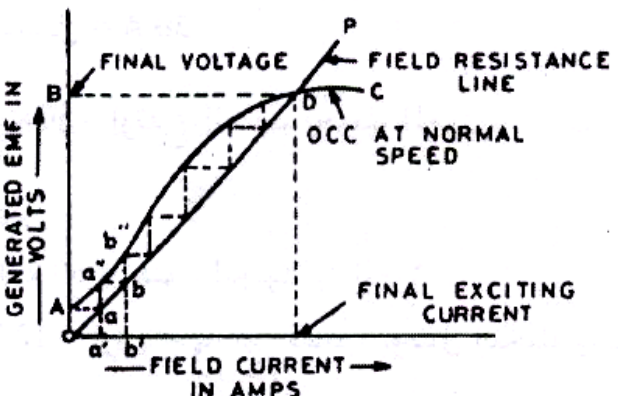
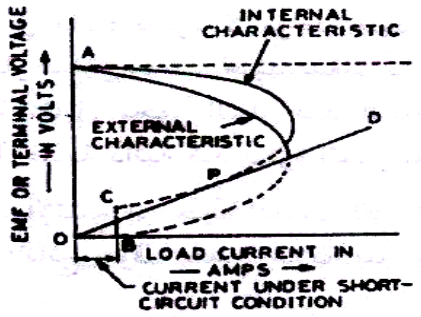


Fig (3-68)

الخصائص الخارجية لمولدات DC :

منها خصائص الحمل : Load characteristic

لقد لاحظنا عند اللاحمل ، لمولدات التوازي يعتمد علي مقاومة مجال التوازي ونفترض أنه يمثل بـ OA في الشكل التالي :



Load Characteristic of Shunt Generator

Fig (3-69)

و حيث أن المولد محمل و بتخفيض مقاومة دائرة الحمل الخارجية فإن جهد الطرف يسقط و هذا بسبب الثلاثة أسباب الآتية :

1. هبوط الجهد عبر ملفات ، عضو الإنتاج و زيادة مقاومة التلامس للفرش بزيادة تيار عضو الإنتاج .
2. بزيادة الحمل يزداد التيار في موصلات عضو الإنتاج و لذلك يزداد تأثير رد فعل عضو الإنتاج ، و لذلك يضعف المجال و بسبب ضعف المجال تخفض ق.د.ك المستحثة و لذلك يسقط جهد الطرف .
3. انخفاض جهد الطرف كنتيجة للعاملين الأوليين يتسبب في خفض تيار المجال وهذا بدوره يتسبب في هبوط ق.د.ك و جهد الطرف أيضاً .

و هكذا فالتأثيرات التراكمية و جهد الطرف ينخفض إلي مدي كبير جداً في البداية تأثير النقص في المقاومة يكون غالبا علي تأثير انخفاض جهد الطرف و لكن عندما يصل تيار الحمل إلي قيمة معينة فإن تأثير إزالة المغنطة لرد فعل عضو الإنتاج و هبوط الجهد في عضو الإنتاج يصبح مهم لدرجة أن أي انخفاض أكثر في مقاومة الحمل يسبب انخفاض في التيار أكثر زيادة و لذلك تدور الخصائص للتخلف .

عندما تكون الأطراف في دائرة قصر لا يوجد جهد طرفى و تكون لفات التوازي غير فعالة و لكن يتكون تيار صغير بسبب جهد صغير مستحث بالمغناطيسية المتبقية .

هذه الخصائص الخارجية تقابل محور التيار عند النقطة D و لذلك فإن مولدات التوازي تكون لها حماية ذاتية ضد دائرة القصر المفاجئة .

إذا أضيف هبوط عضو الإنتاج إلي جهد الطرف لكل نقطة و تم توقيعه مقابل تيار عضو الإنتاج فإن المنحني الناتج سوف يعطي علاقة بين ق.د.ك المستحثة وتيار عضو الإنتاج .

عند وقت دائرة القصر يكون جهد الطرف صفر و ق.د.ك المتولدة و التي بموجب المغناطيسية (المتبقية هي BC و تيار دائرة القصر هو OB ق.د.ك الفعلية المتولدة BC صغيرة جداً لأن المغناطيسية المتبقية سوف تكون غالباً متعادلة تماماً برد فعل عضو الإنتاج و أحياناً يمكن أن تعكس .

و لهذا السبب فإن مولدات التوازي غالباً تفشل في البناء بعد أن يتم غلقها خلال نوع من دوائر القصر الشديد .

التحكم في جهد الطرف للمولدات Dc توازي :

مثاليا يجب أن يحافظ المولد DC توازي علي جهد ثابت عبر أطرافه بصرف النظر عن مقدار الحمل الممد به حتي لا يتأثر أي إجهاد موصل به إضافة أو إزالة جهاز آخر موصل لخط الإمداد من هذا المولد .

و من غير المرغوب فيه تنظيم جهد خرج المولد بتغيير السرعة و من المعتاد تغيير الفيض المغناطيسي لهذا الغرض ويمكن انجازها فى أسلوب بسيط جدا بإدخال مقاومه قابلة للضبط في توالي مع دائرة إثارة المجال الرئيسية أي دائرة مجال التوازي. قيمة المقاومة القابلة للضبط هو تقريباً مساوي لمقاومة ملفات المجال لكي

نحصل علي مدي واسع للتحكم في تيار المجال و لذلك يعطى مدي واسع للتحكم في ق.د.ك المستحثة هذه المقاومة المقابلة للضبط تسمي " منظم مجال التوازي " و لجعلها مناسبة للتشغيل يتم التحكم في منظم مجال التوازي من المولد و توضع في مكان سهل الوصول إليه. أبسط أنواع المنظمات يتكون من سلك حلزوني مركب علي هيكل معدني و هي معلقة رأسياً لتسمح لهم بإشعاع الحرارة المتولدة بسبب مرور التيار فيهم .

في تركيب المولدات الكبيرة يمكن أن تكون عملية منظم التوازي أوتوماتيكية ولكن في بعض الحالات الآخري فإن تغيير المقاومة ينفذ بتحريك يد علي مجموعة من الأزرار حتي نجد القيمة الصحيحة للمقاومة و هذا سوف يبين بواسطة فولتميتر موصل عبر أطراف المولد . وكلما زادت المقاومة الإضافية في دائرة مجال التوازي انخفضت الإثارة ، و لذلك ينخفض الجهد المستحث و العكس صحيح .

خصائص المولدات DC لف مركب :

و هي تقسم إلي قسمين لف مركب تراكمي و لف مركب فرقي

خصائص المولد لف مركب تراكمي :

الأنواع المختلفة من الأجهزة و التي في الأساس تستهلك الطاقة الكهربية ، تصمم غالباً للعمل علي جهد ثابت و بالتالي فإن استخدام مولد توازي DC و بسبب خصائصه في هبوط الجهد فإنه مقيد الاستخدام و هو يستخدم لإمداد القدرة للأجهزة المحدد موقعها في القرب المباشر من المولد و لا يمكن استخدام المولدات DC توازي لإمداد القدرة للأحمال المتحكم فيها عن بعد لأنه في هذه الحالة يوجد أيضا هبوط في الجهد فى الخط بالإضافة لهبوط في جهد الأطراف للمولد نفسه وكلما زاد الحمل زاد هبوط الجهد في الخط و التأثير المركب للإنخفاض في جهد أطراف المولد و هبوط الخط يجعل المولد توازي غير مرضي تماماً لنقل القدرة عبر مسافات طويلة .

المولد DC لف مركب تراكمي ، و الذي له ملفات إضافية (لها عدد قليل من اللفات ذات سلك سميك و تسمي لفات مجال التوالي) موصلة علي التوالي أما

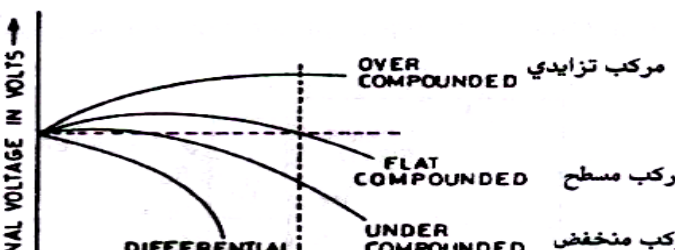
مع الخط أو مع عضو الإنتاج هي الحل للمشكلة الموجودة بعالية والخاصة بإمداد القدرة للأحمال البعيدة عن جهد ثابت .

التوصيلات في حالة المولدات المركبة توازي قصير يوصل مجال التوازي مباشرة عبر أطراف عضو الإنتاج و يسري تيار الحمل خلال مجال التوالي أي تيار مجال التوالي يساوي تيار الحمل بينما في المولدات المركبة توازي طويل يمر تيار عضو الإنتاج خلال مجال التوالي أي أن تيار مجال التوالي يساوي تيار عضو الإنتاج التيار في لفات مجال التوالي ينتج فيض بالإضافة لذلك المنتج بلفات مجال التوازي ليعوض هبوط جهد الطرف بسبب رد فعل عضو الإنتاج و هبوط دائرة عضو الإنتاج تيار مجال التوالي في التوازي الطويل أكبر من ذلك الذي في التوازي القصير بمقدار تيار مجال التوازي حيث أن الزيادة في الأمبير– لفات لمجال التوالي صغيرة بالمقارنة (تيار مجال التوازي صغيراً جداً بالمقارنة بتيار عضو الإنتاج) خلف تأثير صغير علي الجهد المتولد ، و لذلك الخصائص متماثلة في كلا الحالتين .

و المولدات لف مركب تتراكمي تجمع خصائص مولدات التوازي و التوالي عند اللاحمل فإن لفات مجال التوازي تعطي لكل فيض المجال حيث لا يوجد تيار في لفات مجال التوالي و بزيادة الحمل علي المولد يضيف مجال التوالي كمية متزايدة من فيض المجال لتلك الخاصة بمجال التوازي .

إذا كانت إثارة التوالي بحيث يكون جهد الطرف للمولد علي الحمل الكامل هو نفسه اللاحمل ، يقال للمحول ، مركب مسطح أو مستوي و إذ أصبحت إثارة التوالي أكثر وضوح من تلك الخاصة بمجال التوازي سيرتفع الجهد الطرفى بزيادة الحمل و يسمي المولد " مركب تزايدي " بالمثل تلعب إثارة مجال التوازي الدور البارز و يكون جهد الطرف للحمل الكامل أقل من حمل الطرف للاحمل و يسمي المولد " مركب منخفض " Under Compounded

الخصائص الخارجية للمولدات المركبة التزايدية ، المنخفضة و المسطحة موضحة في الشكل أدناه :



خصائص المولد مركب فرقي :

إذا وصل مجال التوالى لمود dc مركب (ممكن أن يكون إما قصير التوازي أو طويل التوازي) بحيث يكون الفيض الناتج بمجال التوالي يعني الناتج من مجال التوازي في مثل هذه المولدات فإن الجهد المستحث علي اللاحمل سوف يكون هو نفسه مثل مولد التوازي لأن مجال التوازي لن يخلق أي فيض وعندما يحمل المولد يسري تيار الحمل أو تيار عضو الإنتاج خلال مجال التوالي خالقاً فيض مغناطيسي يضاد الفيض الناشئ عن مجال التوازي و هذا يؤدي إلي خفض ق.د.ك المستحثة و لذلك في جهد الطرف في هذه المولدات ليهبط جهد الطرف بسرعة جداً بزيادة تيار الحمل و لذلك نلاحظ أن دائرة القصر لا تستطيع أن تسبب أي تدمير لها .

الفصـــل الرابع

الخصائص التشغيلية لمحركات التيار المستمر

الخصائص التشغيلية لمحركات DC :

أولاً: خاصية السرعة- التيار

1/ خاصية السرعة – التيار لمحركات DC توالي :

في حالة محرك DC توالي ، ق . د . ك بسبب ملفات الإثارة تزداد في تناسب طردي مع تيار الخط أو عضو الإنتاج ، لذلك (مهملين لتأثيرات رد فعل عضو الإنتاج) فقيمة الفيض تتغير مع تيار الحمل حسب منحني التمغنط العادي ، و بسبب رد فعل عضو الإنتاج فالمنحني الفعلي الممثل للفيض المفيد يهبط تحت منحني تمغنط الدائرة المفتوحة كما في الشكل الأسفل و مع تيارات أكبر تصبح الدائرة المغناطيسية مشبعة و يميل الفيض للإقتراب من قيمة ثابتة .

من معادلة السرعة ، من الواضح أن السرعة تتناسب مع ق . د . ك المضادة تتناسب عكسياً مع الفيض قطب فزيادة تيار عضو الإنتاج يزداد هبوط الجهد في دائرة الإنتاج و مجال التوالي (Ra +Rse) و لذلك تنخفض ق . د . ك المضادة Eb كما هو مبين في الشكل ، و مع ذلك و تحت الشروط العادية فإن هبوط (Ra +Rse) يكون صغيراً و يمكن إهماله و هكذا إذا أستمر الجهد المؤثر ثابت ، فإن السرعة N تتناسب عكسياً مع الفيض و إذا رسم منحني بين السرعة و تيار الدخل (الخط) I سيكون علي هيئة قطع زائد قبل التشبع المغناطيسي و بعد نقطة التشبع يكون منحني التمغنط خط مستقيم ، في هذه المنطقة فإن السرعة تنخفض علي نحو مفاجئ مع زيادة تيارالدخل ، و بعد التشبع المغناطيسي فإن الفيض يميل

إلـي أن يصـبح ثابـت و تصـبح خصـائص السرعة ، التيـار خـط مستقيم و تـنخفض السرعة قليلاً بسبب هبوط الجهد في عضو الإنتاج و مجال التوالي كما هو مبين في الشكل وتصبح السرعة صفر عندما يصبح تيار الدخل هو تيار دائرة القصر العادية للمحـــرك أي مســـاوي للجهـــد المـــؤثر مقســـوماً علـــي مقاومـــة المحـــرك (Ra+Rse) و عادة هذا التيار يساوي عدة مرات قيمة تيار الحمل الكامل .

من منحني خاصية التيار– السرعة من الواضح أن المحرك التوالي هو محرك متغير السرعة أي ان السرعة تتغير بتغير تيـار الخـط و بتخفيض الحمل فـي محـرك dc توالي ، تزيد السرعة و ممكن أن تصبح مرتفعة إلي حد خطر عند الأحمال الصغيرة جدا وحيث انه عند اللاحمل تكون السرعة مرتفعه الى حد خطر فإن الآلة يمكن أن تدمر بسبب القوي الطاردة المركزية التي تنشأ في الأجزاء الدوارة و هذا هو السبب في أن المحركات التوالي لا تبدأ

<u>أبدأ عند الحمل :</u>

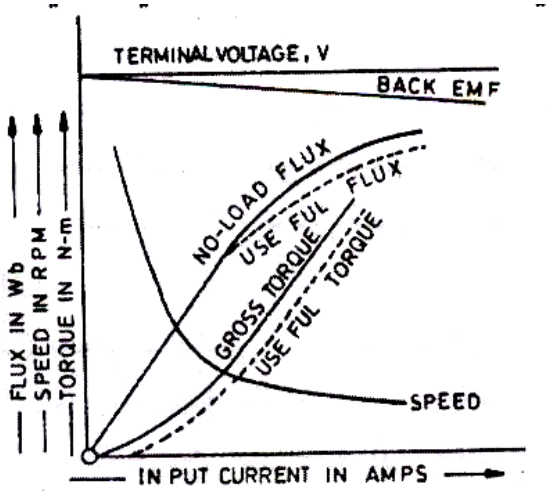


Fig (4-76)

عنـدما يتصـل المحـرك عبـر مصـدر رئيسـي بـدون حمـل ، فإنـه يسـحب تيـار مـن المصـدر الرئيسـي و يسـري خـلال مجـال التـوالي و عضـو الإنتـاج و تميـل السـرعة للزيادة حتي أن ق . د . ك المضادة ممكن أن تقترب من الجهد المؤثر في المقدار و زيادة ق . د . ك المضادة تضعف من تيار عضو الإنتاج و بالتالي تيار المجال وهذا يتسبب مرة آخري في زيـادة فـي السرعة و قوة دافعـة كهربيـة المضـادة وهكـذا

يستمر المجال في الضعف و تستمر السرعة في الزيادة حتي يتدمر عضو الإنتاج لكي يبدأ محرك dc توالي يوضع أولاً حمل ميكانيكي ثم يبدأ المحرك و حيث عند اللاحمل يحدث لمحرك التوالي سرعة عالية و خطيرة و التي تسبب قوة طرد مركزية ثقيلة ينتج عنها تدمير الآلة ، و لذلك محركات التوالي غير مناسبة للخدمات التالية :

1/ حيث يمكن أن يزول الحمل كلياً

2/ عند الإدارة بإستخدام السيور حيث أن قطع السير يتسبب في أن يدور المحرك عند اللاحمل .

و محركات dc توالي تكون مناسبة لإدارة التروس ، حيث أن التروس تعطي بعض الحمل بسبب مقاومة إحتكاك أسنان التروس في حالة رفع الحمل المفاجئ

و يمكن إستخدام محركات التوالي الصغيرة جداً مع السيور ، حيث في حالة قطع السير فإن مقاومة الإحتكاك الكبيرة نسبياً سوف تمثل حمل محسوس عليه .

الحد الأدني للحمل علي المحرك dc توالي يجب أن يكون كبير كبراً كافياً (ليس أقل من 15% الحمل الكامل) حتي يحفظ سرعة المحرك في داخل الحدود في حالة أن تصبح السرعة خطيرة الإرتفاع يجب فصل المحرك عن المصدر الرئيسي .

2/ خاصية السرعة – التيار لمحركات Dc توازي :

إذا حفظ الجهد المؤثر v ثابتاً فإن تيار المجال سيبقي ثابت حينئذ سيكون للفيض قيمة عظمي عند اللاحمل ولكنه سينخفض قليلاً بسبب رد فعل عضو الإنتاج بمجرد زيادة الحمل و لكن لغالبية الأغراض سنعتبر الفيض ثابت ، مهملين تأثير رد فعل عضو الإنتاج ،من معادلة السرعة نجد أن السرعة N تتناسب طردي مع ق.د.ك المضادة Eb أو (v-IaRa) و تتناسب عكسياً مع الفيض Φحيث أن الفيض يعتبر ثابت كما ذكر بعالية ، لذلك بزيادة تيار عضو الإنتاج فان السرعة تهبط قليلا بسبب زيادة هبوط الجهد في عضو الإنتاج و حيث أن هبوط الجهد في عضو الإنتاج عند الحمل الكامل صغيراً جداً بالمقارنة بالجهد المؤثر لذلك فإن هبوط السرعة من اللاحمل للحمل الكامل صغيراً جداً بالمقارنة بالجهد المؤثر لذلك فإن هبوط السرعة من اللاحمل للحمل الكامل صغير جداً ، وإذا اعتبرنا تأثير إزالة

المغنطة لرد فعل عضو الإنتاج فإن هبوط السرعة بسبب هبوط الجهد في عضو الإنتاج يتم تعويضه إلي حد ما بسبب النقص في الفيض مع زيادة تيار عضو الإنتاج و تصبح خواص السرعة– تيار عضو الإنتاج أقل انحداراً كما في الشكل :

و هكذا فإن الهبوط في السرعة من اللاحمل للحمل الكامل صغيراً جداً و لكل الأغراض العملية يؤخذ المحرك dc توازي كمحرك ثابت السرعة و نظراً لوجود تغيير طفيف في السرعة لمحرك التوازي من اللاحمل للحمل الكامل و هذا التغير الطفيف في السرعة يمكن أن يهئ بإدخال مقاومة في مجال التوازي و هكذا يخفض الفيض و لذلك تستخدم المحركات توازي للأحمال التي يتم التخلص منها إجمالاً و فجأة بدون حدوث سرعة زائدة عن الحد و كون محركات التوازي ذات سرعة ثابتة فهذا يجعلها الأكثر مناسبة لإدارة آلات الخراطة و الثقب و الأحزمة الناقلة و المراوح و لكل الأغراض حيث يكون مطلوب سرعة ثابتة و هي ليست مناسبة للإستخدام مع الحدافات أو مع الأحمال المتقلبة أو لعمليات التوازي بسبب سرعتها الثابتة و هي مفيدة أيضا حيث يكون مطلوب درجة من التحكم في السرعة .

3/ خاصية السرعة – التيار لمحركات DC لف مركب :

أ/الخصائص التشغيلية للمحركات DC لف مركب تراكمي السرعة – التيار:

الخصائص التشغيلية للمحرك لف مركب تراكمي هي تجميع للخصائص التوالي والتوازي و تقع بين تلك الخاصة بمحركات التوالي و التوازي .

بمجرد زيادة الحمل ويزداد الفيض بسبب لفات مجال التوالي و يسبب عزم أكبر من الذي سيكون من لفات مجال التوازي بمفرده لآلة معطاة و لتيار معطي ، الزيادة في الفيض بسبب لفات مجال التوالي بالنظر للزيادة في الحمل تسبب هبوط السرعة بأسرع مما سيكون في حالة محرك التوازي .

في كثير من الحالات يكفي فقط مجال التوازي أن يشترك لضمان سرعة لاحمل آمنة و في تلك الحالة يسمي المحرك (محرك توالي مثبت) و تصمم محركات اللف

المركب عادة لكي يكون هناك هبوط في السرعة حوالي 20% بين اللاحمل و الحمل الكامل .

و تستخدم المركبات لف مركب التراكمية لإدارة الآلات التي تتعرض لتحميل مفاجئ لأحمال ثقيلة مثل التي تحدث في المصاعد وآلات الكشط و القص .

محركات اللف المركب التراكمي ليست عملية في التطبيقات التي تتطلب ضبط سرعة لتحكم المجال ، مع مجال التوالي الضعيف التوازي الضعيف يصبح مجال التوالي هو المسيطر حينئذ يكون التغيير في الحمل يمكن أن ينتج عنه سرعات غير مستقرة .

ب/ خصائص السرعة – التيار لمحرك DC لف مركب فرقي :

في المحرك لف مركب فرقي ، حيث أن مجال التوالي يضاد مجال التوازي فإن الفيض المحصل ينخفض بزيادة الحمل ، و هكذا تدور الآلة عند سرعات أعلي مما لو كانت محرك توازي .

المحركات المصممة خصيصاً مع رد فعل عضو إنتاج ضعيف فجوة هوائية كبيرة و تشبع مغناطيسي صغير قد استخدمت لأعمال السرعة الثانية .

الترتيبات الفرقيه للفات تعتبر عيباً في الحمل الزائد الثقيل جداً حيث يمكن أن يضعف المجال كثيراً جداً و يمكن أن يميل المحرك للتسارع آخذا تيار كبيراً جداً و في البداية أيضا ، فإذا تحركت يد البادئ بسرعة كبيرة حتي تسمح للتيار في عضو الإنتاج و مجال التوالي ليرتفع أسرع من ذلك الذي في مجال التوازي فإن ملفات مجال التوالي سوف تزداد طاقة عن التوازي و يبدأ المحرك في الإتجاه المعاكس هذه المشكلة يمكن تجنبها بالإحتفاظ بمجال التوالي في دائرة قصر أثناء البدء .

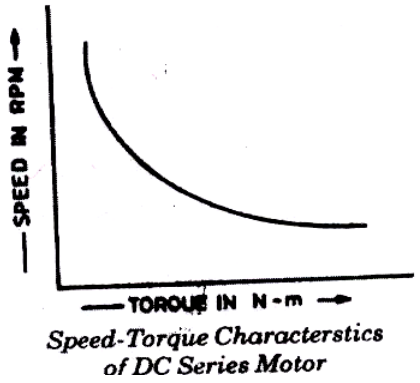
مع المحرك المطلوب لعمل السرعة الثابتة مع ذلك فإن لفات مجال التوالي تكون عادة ضعيفة لدرجة أن لا تحدث هذه المشاكل .

ثانياً : خاصية السرعة – العزم :

1/ : خاصية السرعة – العزم لمحركات DC توالي :

خاصية السرعة العزم تعرف أيضا بالخاصية الميكانيكية و عند القيم الصغيرة للحمل يكون هناك هبوط حاد في السرعة مع الزيادة في العزم و لكن عند الأحمال المرتفعة تهبط السرعة خطياً و لكن ببطء مع الزيادة في العزم .

إذن المحركات توالي هي الأكثر مناسبة للخدمة حيث يكون المحرك مرتبط مباشرة بالحمل مثل المراوح ... الخ .



Speed-Torque Characterstics of DC Series Motor

Fig (4-80)

2/ خاصية السرعة – العزم لمحرك DC توازي :

هذا النوع من المحركات يستخدم في التطبيقات التي تتطلب عزم بداية متوسط مثل الطلمبات الطاردة المركزية ، المراوح آلات عمل الأخشاب ، آلات الغزل و النسيج ، آلات الطباعة ... الخ .

محركات التوازي dc يجب أن لا تبدأ أبداً علي أحمال ثقيلة لأن هذه الأحمال تحتاج تيارات بدء ثقيلة .

التحكم في السرعة لمحركات التوازي D.C :

طرق التحكم في المجال : Field Control Mothods

يمكن الحصول على التحكم بالطرق الآتية :

1/ التحكم بريوستات المجال ويشمل تغيير الفيض بواسطة ريوستات مجال .

2/ التحكم بالممانعة وتشمل تغيير الممانعة للدائرة المغناطيسية للمحرك .

3/ التحكم في جهد المجال وتشمل تغيير الجهد المؤثر على دائرة المجال مع الحفاظ على الجهد المؤثر على أطراف عضو الإنتاج ثابت .

(1) التحكم بريوستات المجال : Field Rheostat

في هذه الطريقة تغيير السرعة يحقق بواسطة مقاومة متغيرة داخلة في توالي مع مجال التوازي ، كما موضح في الشكل أدناه :

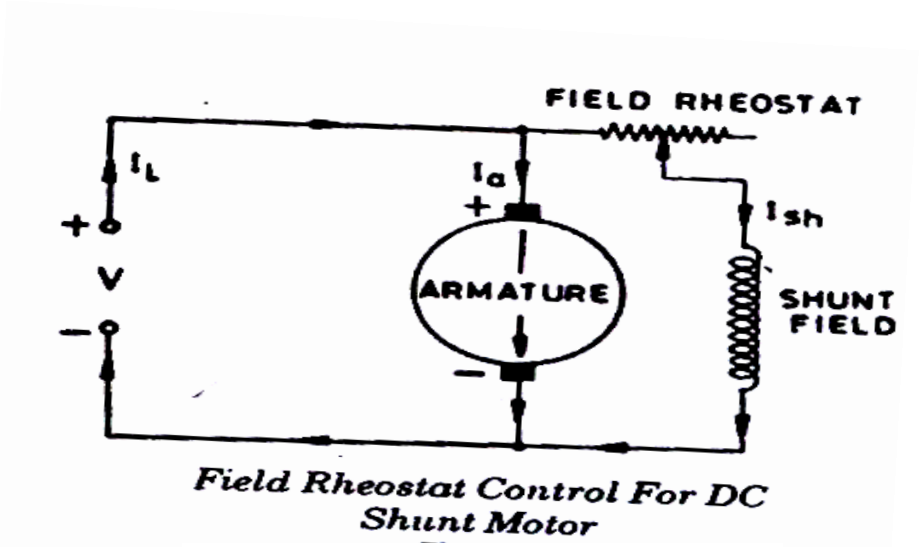


Fig (4-80)

أي زيادة في مقاومة التحكم ينخفض تيار المجال مع التخفيض الناتج من الفيض وزيادة في السرعة . هذه الطريقة للتحكم في السرعة بسيطة جداً مناسبة وأكثر اقتصاداً وتستخدم بكثرة في الإدارة الكهربية الحديثة حيث أن مقاومة التحكم يجب أن تحمل تيار صغير ، لذلك تصنع من مقاومة من النوع المنزلق السلك ليعطي تغيير سرعة مستمر عبر المدى . القدرة المفقودة في مقاومة التحكم صغيرة جداً حيث تيار المجال يكون صغير جداً . هذه الطريقة للتحكم في السرعة مستقلة عن الحمل على المحرك وتسمح بالتحكم عن بعد في السرعة .

القيمة المطلوبة لمقاومة التحكم ، لإعطاء الزيادة المطلوبة في السرعة ، يمكن أن تحدد من خصائص التمغنط للآلة . أفترض أن القيمة الابتدائية لـ ق . د . ك المضادة الفيض والسرعة هي E_{bc} ، Φ_1 ، N_I على الترتيب عند السرعة الجديدة N_2 .

وحيث :

$$N \propto \frac{E_b}{\emptyset_2} \ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}1)$$

ولذلك :

$$\frac{N_2}{} = \frac{E_{b2}}{} \times \frac{\emptyset_1}{} \ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}2)$$

$$\frac{N_1}{E_{b1}} \quad \frac{}{\Phi_2}$$

$$\frac{}{\Phi_2} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}} \times \frac{N_1}{N_2} \times \frac{}{\Phi_1} \quad \ldots\ldots\ldots (4\text{-}3)$$

E_{b1} ، E_{b2} يمكن حسابهما من قيمة جهد الإمداد ، مقاومة عضو الإنتاج ، تيارات عضو الإنتاج I_{a1} ، I_{a2} على الترتيب ولذلك فإن الفيض Φ_2 يمكن إيجاده من العلاقة السابقة ومن منحنى التمغنط للآلة فإن قيمة تيار المجال المقابل للقيمة Φ_2 يمكن الحصول عليه من قيمة تيار المجال وبالتالي يمكن إيجاد مقاومة التحكم . وحيث أنه في هذه الطريقة للتحكم في السرعة يمكن فقط تخفيض الفيض (وليس زيادته) لذلك فإن السرعة فوق العادة فقط هي التي يمكن الحصول عليها .

القيود والعيوب الأخرى لهذه الطريقة للتحكم في السرعة هي :

1/ السرعات الزاحفة لا يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة .

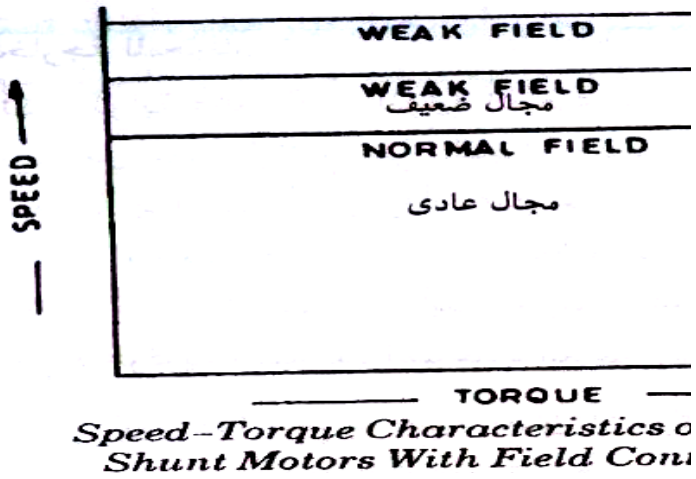
2/ السرعات العالية جداً " القمم " يحصل عليها فقط عند العزم المنخفض بسبب المجال الضعيف جداً الضعيف جداً ، ولذلك فالميزة لا يمكن أخذها من السرعات العالية لزيادة القدرة الخارجية للمحرك .

3/ السرعة تكون نهاية عظمى عند النهاية الصغرى والتي تحكم بتأثير إزالة المغنطة برد فعل عضو الإنتاج على المجال بحيث عند السرعات العالية يكون المجال ضعيف جداً ويتسبب في تسخين زائد بعضو الإنتاج خفض توحيد وعدم استقرار ، وفي السرعة العالية مقيد أيضاً بسبب الاعتبارات الميكانيكية حيث أن القوة الطاردة المركزية تنشأ عند السرعات العالية .

في الآلات التي ليس بها أقطاب بينية يمكن أن ترفع السرعات بهذه الطريقة بنسبة 1:2 وللتغلب على صعوبات التوحيد تستخدم الأقطاب البينية ، وفي الآلات ذات الأقطاب البينية تكون النسبة بين النهاية العظمى إلى الصغرى للسرعات هي 1:6 .

ولتجنب عدم الاستقرار الناشئ من التأثير القوي نسبياً لرد فعل عضو الإنتاج على السرعات العالية ، فإن المحركات D.C توازي تتزود غالباً بلفات مجال توالي ضعيفة نسبياً ، وموصلة بحيث تساعد مجال التوازي . حينئذٍ لن ينشأ خطر من الأحمال الثقيلة المؤقتة حيث يقوي التيار الثقيل خلال لفات مجال التوالي ويحاول خفض السرعة .

خصائص السرعة للعزم الممكن الحصول عليها مع هذه الطريقة موضحة في الشكل أدناه :



Speed–Torque Characteristics o
Shunt Motors With Field Con

Fig (4-83)

خصائص السرعة – العزم لمحركات التوازي D.C مع تحكم مجال مقاومة المجال المتغيرة يمكن أن تكون ريوستات مجال بسيط أو يمكن أن تكون مشتركة مع ريوستات بدئي .

هذه الطريقة للتحكم في السرعة تستخدم أيضاً للمحركات المركبة DC بالرغم من أنه لأي تحديد للسرعة ، يوجد بعض التغيير في السرعة مع الحمل ، مقارنة بمحرك التوازي Dc حيث السرعة تتأثر قليلاً مع الحمل .

(2) التحكم بالممانعة : Reactance Control

هذه الطريقة تتطلب أن يزود المحرك بسمات ميكانيكية خاصة يمكن لممانعة الدائرة الكهربية أن تتغير والسمات الخاصة للمحرك لتحكم الممانعة

تجعل المحرك أكثر تكلفة وحيث يمكن الحصول على نفس النتائج العامة بطريقة أكثر بساطة بواسطة ريوستات المجال فإن نوع الممانعة المتغيرة للمحرك نادراً ما تستخدم .

(3) التحكم بجهد المجال : Field Voltage Control

هذه الطريقة تتطلب مصدر جهد متغير لتيار المجال والذي هو منفصل عن المصدر الرئيسي للقدرة المتصل بعضو الإنتاج . هذا المصدر المتغير يمكن الحصول عليه بواسطة مولد تحكم أو مقوم إلكتروني قابل للضبط .

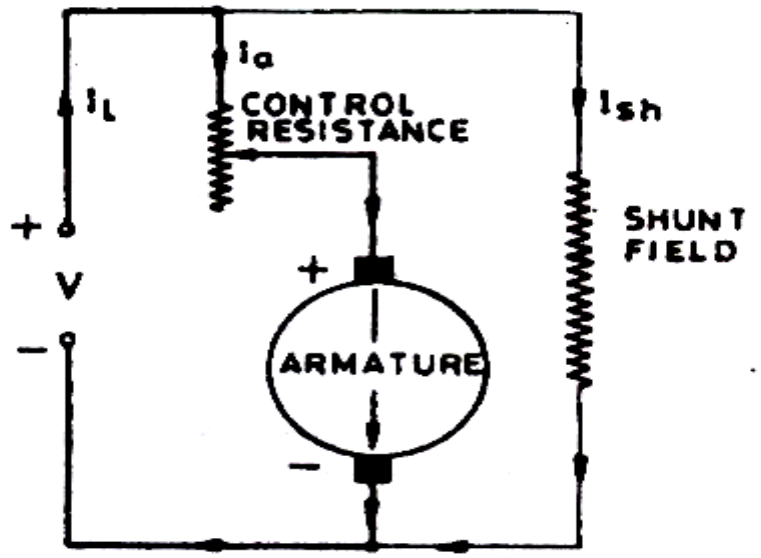
(4) التحكم بعضو الإنتاج :Armature Control Method s

تغيير السرعة لمحركات التوازي بالتحكم بعضو الإنتاج تتطلب أن يتغير الجهد المؤثر على أطراف عضو الإنتاج بدون تغيير تيار المجال. التغير في الجهد للمصدر المشترك يحدث تأثيراً قوياً على كل من عضو الإنتاج والمجال وسوف يكون له تأثير صغير على سرعة محرك التوازي ، إذا لم يتغير الجهد بتلك الكمية الكبيرة التي تجعل الأداء العام للمحرك يكون غير مرضي .

ضبط سرعة محركات التوازي Dc بالتحكم في عضو الإنتاج يمكن الحصول عليها بإحدى الطرق التالية :

1. التحكم بمقاومة عضو الإنتاج : Armature Resistance Control

هذه الطريقة تتكون ببساطة من مقاومة متغيرة موصلة في توالي مع عضو الإنتاج كما مبين في الشكل أدناه :



Armature-Resistance Control Method For DC Shunt motor

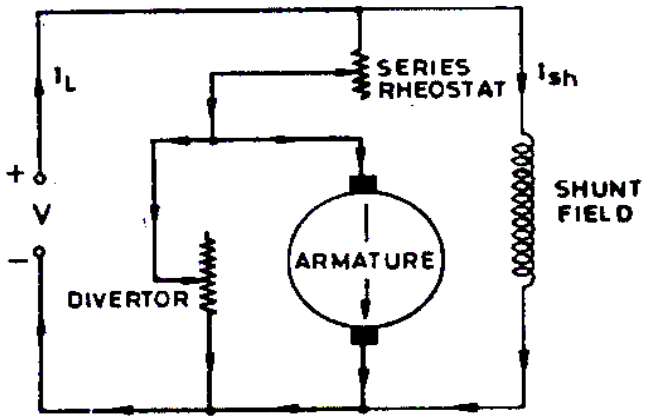
Fig (4-85)

طرق التحكم بمقاومة عضو الإنتاج لمحرك توازي Dc ويمكن تخفيض السرعة عند الحمل الكامل لأي قيمة مطلوبة معتمدين على كمية المقاومة وبهذه الطريقة فإن الجهد عبر عضو الإنتاج يهبط بمجرد مرور التيار خلال مقاومة التوالي والجهد الباقي المؤثر على عضو الإنتاج يكون أقل من جهد الخط وهكذا تنخفض السرعة في تناسب طردي لهبوط الجهد هذا عند أطرف عضو الإنتاج وسيستمر تيار المجال بدون تأثير حيث أن مجال التوازي موصل مباشرة عبر المصدر الرئيسي ولحمل ثابت العزم فإن تيار عضو الإنتاج يبقى كما هو وأيضاً داخل المحرك يبقى كما هو وأيضا داخل المحرك يبقي كما هو ولكن الخرج ينخفض في تناسب مع السرعة في حالة المراوح والطلمبات الطاردة المركزية حيث ينخفض عزم الحمل بهبوط السرعة ، تكون المفقودات منخفضة نسبياً وبسبب تكاليفها الابتدائية المنخفضة والبساطة تصبح هذه الطريقة الأكثر مناسبة واقتصاداً للتباطؤ في وقت قصير . يمكن الحصول على مدى واسع من السرعة (تحت السرعة العادية) بهذه الطريقة وفي نفس الوقت سوف يولد المحرك أي عزم مطلوب خلال مدى تشغيله حيث أن العزم يتوقف فقط على

تيار عضو الإنتاج ، وبقاء الفيض بدون تغيير. الميزة الرئيسية لهذه الطريقة أن السرعات تحت سرعة القاعدة ذات عدد اللفات / دقيقة المنخفضة جداً متاحة بكل سهولة .

2. التحكم في عضو الإنتاج المتوازي : Shunted Armature Control

بالرغم من سهولة طريقة التحكم في مقاومة عضو الإنتاج وإمكانية تنفيذها بسهولة ولكن في هذه الطريقة للتحكم في السرعة تتغير السرعة مع كل تغيير في الحمل لأن تغيير السرعة يعتمد ليس فقط على مقاومة التحكم ولكن أيضاً على تيار الحمل . هذا الاعتماد المزدوج يجعل من المستحيل الاحتفاظ بالسرعة عملياً ثابتة عند الأحمال السريعة التغيير . ويمكننا الحصول على تشغيل أكثر ثباتاً باستخدام محول اتجاه عبر عضو الإنتاج بالإضافة لمقاومة التوالي ، كما هو موضح في الشكل أدناه :



Shunted Armature Control For DC Shunt Motor

Fig (4-86)

التحكم في عضو الإنتاج المتوازي لمحرك توازى DC :

في هذه الطريقة للتحكم في السرعة فأن سرعة اللاحمل المثالية للمحرك ستكون أقل من تلك التي يتم الحصول عليها مع التحكم بمقاومة التوالي التقليدية وهذا يرجع إلى حقيقة أنه حتى إذا لم يكن هناك تيار في عضو الإنتاج للمحرك

سوف يكون أقل من جهد الإمدادV ، بينما في حالة التحكم بمقاومة التوالي التقليدية هذا الجهد هو V.

3. التحكم في جهد عضو الإنتاج : Armature Voltage Control

هذه الطريقة للتحكم في السرعة تتطلب مصدر متغير للجهد منفصل عن المصدر الذي يمد تيار المجال هذه الطريقة تتجنب عيوب انخفاض تنظيم السرعة والكفاءة المنخفضة والتي تخص طريقة التحكم بمقاومة عضو الإنتاج ولكنها أكثر تكلفه في التكاليف الابتدائية ويتم الحصول على الجهد المضبوط لعضو الإنتاج من مولد ذات جهد قابل للضبط أو من مقوم إلكتروني قابل للضبط وهذه الطريقة تعطي مدى بسرعة كبيرة مع أي عدد مرغوب من نقاط السرعة . وهو أساساً مدى سرعة كبيرة مع أي عدد مرغوب من نقاط السرعة . وهو أساساً نظام عزم ثابت لأن الخرج المسلم ينخفض بانخفاض الجهد المؤثر وانخفاض مقابل في السرعة .

هذا النظام الخاص له مزايا أخرى والتي يمكن أن تستخدم لإعطاء خصائص بدء ممتازة وذلك بتصعيد جهد المولد بالتدريج من الصفر فيتم البدء وتصعيد سرعة المحرك تدريجياً بزيادة بطيئة نسبياً في الجهد وبسبب خصائص البدء الممتازة يستخدم هذا النظام على نطاق واسع للمصاعد عالية السرعة الحديثة ، بسبب جمع خصائص البدء الممتازة والمدى الواسع للسرعة المتاحة ، تستخدم دوماً في عكس تركيبات المقاشط هذه الطريقة لا تطبق لأي مدى كبير ، وذلك بسبب التكلفة الابتدائية العالية .

عيب أخير لهذا النظام هو أن السرعات تحت سرعة القاعدة فقط هي التي يمكن التحكم فيها حيث أن الجهد المؤثر على عضو الإنتاج يمكن أن ينخفض عن قيمته المقننة . وإذا تم تشغيل المحرك بفولت عبر أطراف عضو الإنتاج أعلى من القيمة المقننة لفترة زمنية طويلة فإن عند لفات عضو الإنتاج يمكننا أن تدخر .

التحكم في سرعة محركات التيار المستمر باستخدام ينبوع ذي ضغط متغير :

في طرق تنظيم سرعة المحركات عند استخدام مقاومة متغيرة تتغير قيمة تيار التنبيه في ملفات المجال يفضل وضع مقاومة على التوالي في دائرة المنتج لكي تمتص جزءاً كبيراً من القدرة المأخوذة من الينبوع مما يؤثر على معامل جودة المحرك إلى حد كبير مع مراعاة أن تقليل تيار التنبيه للحصول على سرعات عالية بضعف المجال المغناطيسي في المحرك بتقليل عدد خطوط ا لقوى O بذلك يتعذر الحصول على عزم دوران كبير من المحرك عند السرعات العالية ، بمعنى أن زيادة السرعة لا بد أن تكون مصحوبة بنقض في عزم الدوران الذي يعطيه المحرك على أي حال .

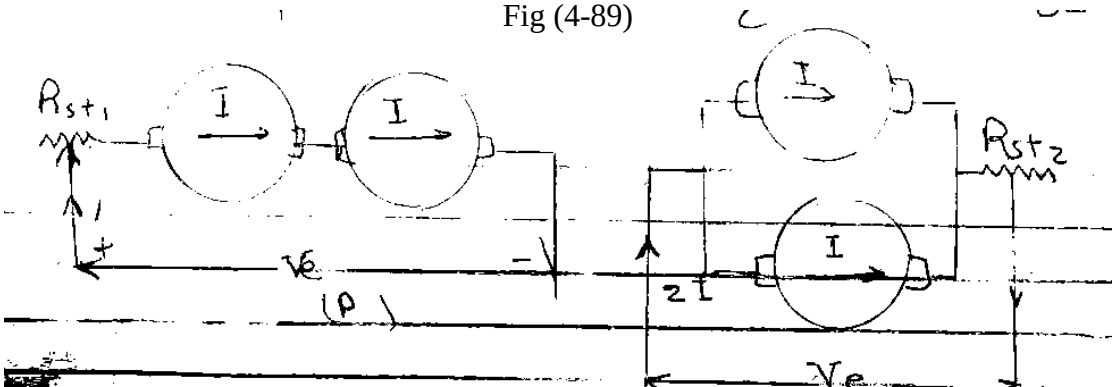
والطريقة المثلى لتلافي جميع هذه العيوب تكون في تغيير قيمة الضغط $\wp L$ نفسه أي باستخدام ينبوع متغير الضغط .

وفيما يلي أهم الطرق في تنظيم سرعة محركات التيار المستمر باستخدام ينبوع ذي ضغط متغير .

1. طرق التحكم بالتفصيل توالي ثم توازي :

تستخدم هذه الطريقة في الحالات التي يستخدم فيها أكثر من محرك واحد لإدارة حمل مشترك على نفس عمود الإدارة فتوصل المحركات على التوالي في البداية مع مقاومة البدء التي تقل قيمتها في هذه الحالة إلى حد كبير حينما يكون الضغط $\wp L$ موزعاً على المحركات بالتساوي (بفرض أن المحركات متماثلة وهو الغالب في هذه الأحوال) وعندما ترتفع سرعة دوران المحركات ، وتصل إلى حدها الذي يتوقف على نصيب كل محرك من الضغط الكلي للينبوع $\wp L$ توصل المحركات على التوازي مع مقاومة صغيرة على التوالي .

Fig (4-89)



سرعان ما تقصر لكي يستقر الوضع النهائي بتشغيل المحركات على التوازي .

ويبين الشكل أعلاه كيفية استخدام هذه الطريقة مع محركين فنجد أن المحركين موصلين على التوالي مع مقاومة بدء R_{sta1} في (أ) ثم نفس المحركين بعد توصيلهما على التوازي على الينبوع مع المقاومة R_{sta2} التي يصير قصرها بالتدريج حتى يصبح المحركان موصلان على التوازي وهو الوضع المعتاد لتشغيلها .

يبين الشكل أدناه كيفية تغيير قيمة القوة الدافعة الكهربية المضادة في حالة المحرك الواحد من الصفر عند بداية تشغيل المحرك حتى تصل إلى $\wp L$ على الخط المستقيم OMC عند نهاية فترة البدء بعد الزمن t_b وذلك على أساس أن السرعة تزداد بمعدل ثابت أي بعجلة منتظمة لأن متوسط قيمة التيار وبالتالي متوسط قيمة عزم الدوران يكون ثابتاً في خلال هذه الفترة عند أي لحظة t_L يمثل ML القوة الدافعة الكهربية المضادة في المحرك E يمثل MN هبوط الضغط على مقاومة البدء IR_{sta} .

حيث :

I هو متوسط القيمة بين حدي التيار I_2 , I_1 في خلال فترة البدء وهو يعتبر ثابتاً .

لذلك تكون مساحة المثلث OAC ممثلة للتكامل وهي عبارة عن قيمة الطاقة المبددة في المقاومة في خلال فترة البدء . $\longleftarrow I\int_{o}^{tb} IR.dt$

كما أن مساحة المثلث OBC تمثل قيمة التكامل وهي عبارة عن قيمة الطاقة التي يستفاد بها في المحرك في خلال نفس الفترة $\longleftarrow I\int_{o}^{tb} E.dt$

وتكون مساحة المستطيل OAC B التي تساوي مجموع مساحتي المثلثين ممثلة للطاقة التي تؤخذ من الينبوع في خلال نفس الفترة أيضاً أي قيمة الطاقة التي يستفاد بها في المحرك خلال فترة البدء هي نصف قيمة الطاقة الكلية المأخوذة من الينبوع أي :

$1/2\ V_L\ .\ I\ t_b$

ويكون معامل الجودة في هذه الحالة مساوياً للنصف الضغط

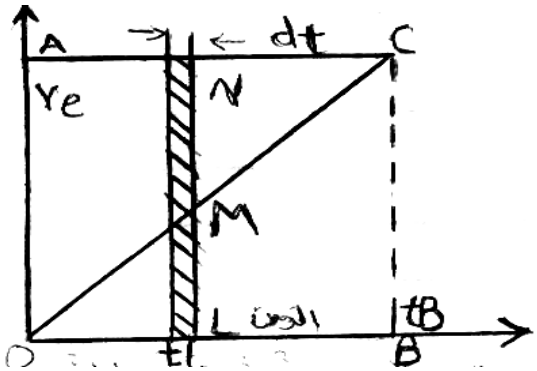


Fig (4-90)

ويبين الشكل أدناه كيف يتغير مجموع قيمتي القوة الدافعة الكهربية المضادة في المحركين الموصلين على التوالي على الخط المستقيم OC_1 من الصفر عند بداية التشغيل حتى يصل إلى V_L بعد الزمن t_s حيث يوزع هذا الضغط بالتساوي على المحركين بعد قصر المقاومة R_{st1} فيمثل SQ القوة الدافعة الكهربية في احدهما في ذلك الوقت ويمثل QC_1 القوة الدافعة الكهربائية في الآخر ($SQ : QC_1$) هذا على أساس أن السرعة تزداد بمعدل ثابت كما حدث سابقاً في خلال فترة توصيل المحركين على التوالي يمثل LM عند اللحظة t_L مجموع قيمتي القوة الدافعة الكهربية في المحركين بينما يمثل MN هبوط الضغط على مقاومة البدء R_{st1} ، بذلك فإن مساحة المثلث OAC_1 تمثل التكامل :

$$I\int_{0}^{ts} IRst$$

بينما تمثل مساحة المثلث OC_1S التكامل :

$$I\int_{0}^{ts} 2E.dt$$

في خلال فترة توصيل المحركين على التوازي من S إلى B وليس ضرورياً أن تكون t_s مساوية $1/2tb$.

تمثل SQ القوة الدافعة الكهربية في كل من المحركين بينما يمثل CQ هبوط الضغط على المقاومة R_{st2} لذلك فإنه في خلال الفترة من t_s إلى t_b تمثل مساحة المثلث QC_1C .

التكامل :

$$I\int_{ts}^{tb} IRst$$

بينما تمثل مساحة الشكل SQCB التكامل :

$$I\int_{ts}^{tb} E.dt$$

على هذا الأساس نجد أنه من القدرة الكلية الممثلة بمساحة المستطيل OACB المأخوذة من الينبوع يبدد الجزء الممثل بمجموع مساحتي المثلثين $QC_1C_1OAC_1$ في المقاومتين R_{st2} , R_{st1} بينما يستفاد بمساحة المثلث OC_1S ومساحة الشكل SQCB في المحركين معاً وبذلك يكون معامل الجودة مساوياً لـ :

$$N = \frac{\text{مساحة المثلث } OC_1S + \text{ضعف مساحة } SQ\ CB}{\text{ضعف مساحة } SC_1\ C_1B = \text{مساحة } OAC_1S}$$

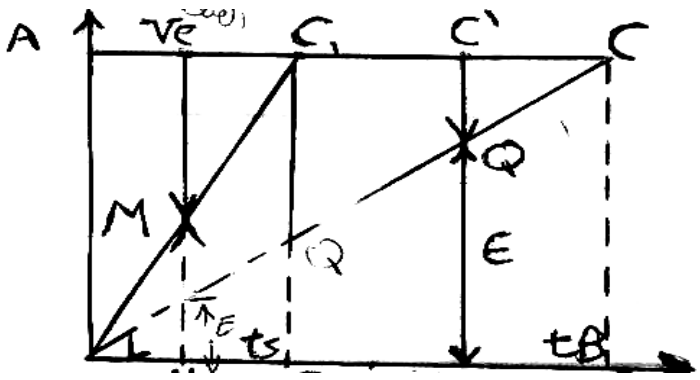


Fig (4-92-1)

2. طريقة وارد ليونارد : Ward Leonard Method

يستخدم مولد مخصوص في هذه الطريقة لتغذية المحرك ويكون تنبيه هذا المولد والمحرك معه في نفس الوقت من ينبوع كهربي خاص وبينما يمكن تغيير قيمة تيار التنبيه للمولد واتجاهه باستخدام مقسم الضغط Pot tentiometer regulator فإن تيار التنبيه في المحرك يظل ثابتاً في معظم الحالات (يمكن في بعض الحالات عمل تعديلات طفيفة في هذا التيار باستخدام منظم ا لضغط في دائرة ملفات المجال) بذلك يمكن تغيير قيمة سرعة المحرك بتغيير ضغط التغذية $\wp L$ (مع عدم المساس بقيمة O⁄ حتى لا يزيد التيار بدرجة خطيرة عند انخفاض الضغط) باستخدام مقسم الضغط المنظم .

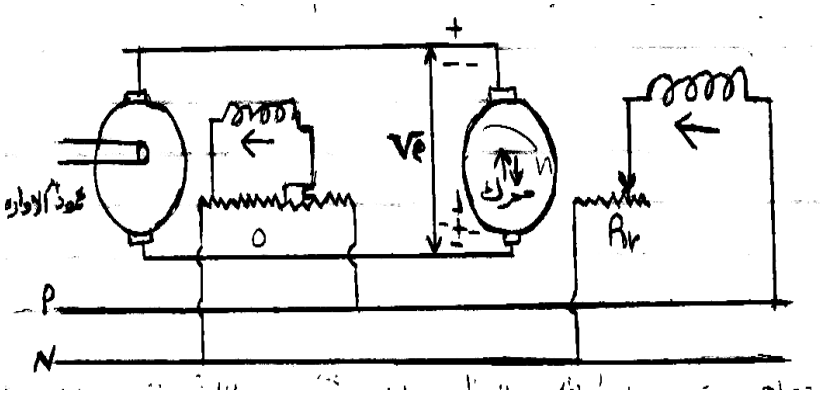


Fig (4-92-2)

عند استخدام هذه الطريقة يلاحظ أن تغذية ملفات تنبيه المولد تكون من نقطة متوسطة ثابتة

O على منظم الضغط ونقطة طرفية متحركة C . وعند انطباق النقطة C على النقطة O تكون قيمة $\wp L$ قريبة من الصفر وعند تحريك C في أحد الاتجاهين نحصل على السرعة في اتجاه معين وعند تحريكها في الاتجاه المضاد يدور المحرك في الاتجاه المعكوس لهذا الاتجاه .

يقوم بإدارة مجموعة مولد ليونارد محرك تيار متردد أو محرك تيار مستمر على حسب الأحوال ، وهو يظل دائراً طوال الوقت . ويكون تنظيم تشغيل محرك مجموعة ليونارد عن طريق التحكم في قيمة وقطبية الضغط V_L باستخدام مقسم الضغط . ففي فترات سكون المحرك أثناء تشغيله تكون C منطبقة على O بينما يكون تيار تنبيه المحرك ماراً في ملفات المجال بكامل قيمته استعداداً لتشغيل المحرك في أي وقت بتحريك النقطة C .

3-استخدام اضافه متغيرة الضغط:

يمكن تغيير الضغط علي المحرك باستخدام إضافة(booster)توصل علي التوالي بين المحرك والينبوع .

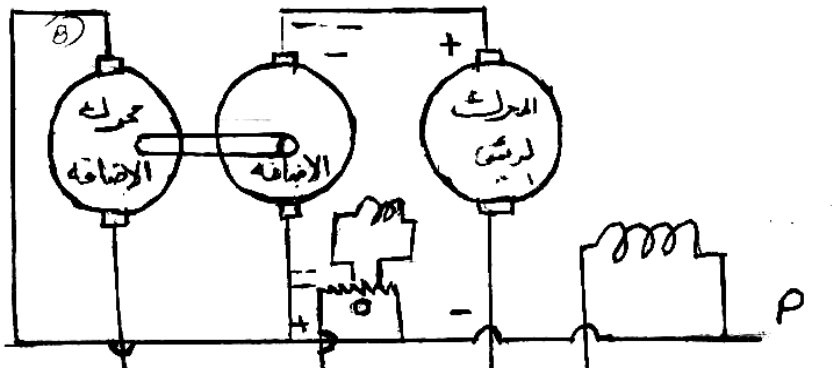


Fig (4-93)

وهنا يمكن تغيير ضغط الإضافة وقطبيتها باستخدام مقسم الضغط المنظم أيضاً وبذلك يمكن تغيير قيمة الضغط الذي يغذي المحرك من صفر إلى ضعف ضغط الينبوع ، إذا كان أكبر ضغط يمكن أن تعطيه الإضافة يساوي ضغط الينبوع ، ويلاحظ أن الإضافة تعمل كمولد خلال الفترة التي يكون ضغطها فيها مجموعاً على ضغط الينبوع أما خلال الفترة التي يكون فيها ضغط الإضافة ضد ضغط الينبوع فإنها تعمل كمحرك بحيث تدير محركها كمولد يعطي القدرة مرتجعة للينبوع أي عند بدء إدارة المحرك الرئيسي يكون وضع مقسم الضغط في الإضافة بحيث تعطي ضغط يساوي ضغط الينبوع في الاتجاه المضاد وهذا بمعنى أن الإضافة تستوعب ضغط الينبوع بأكمله على طرفيها وتعمل به

كمحرك بينما يكون الضغط على طرفي المحرك الرئيسي صفراً . كلما تحرك طرف مقسم الضغط نحو O يقل الضغط على طرفي الإضافة ويزداد على طرفي المحرك الرئيسي فتزداد سرعته بالتدريج في خلال هذه الفترة يعمل محرك الإضافة كمولد يعطي قدرة مرتجعة للينبوع وبعد أن تنطبق C على O ثم تتعداها إلى الناحية الأخرى تعمل الإضافة كمولد بحيث يضاف ضغطها إلى ضغط الينبوع لتغذية المحرك الرئيسي بضغط كبير .

تكون المفقودات التي تتكلفها في كل من طريقتي وارد ليونارد واستخدام الإضافة هي مفقودات الآلات الزائدة والحرارة المبددة في مقسم الضغط وهي صغيرة بالنسبة للمفقودات في حالة استخدام مقاومة على التوالي في دائرة المنتج .

الفصـــل الخامس

تطبيقات آلات التيار المستمر

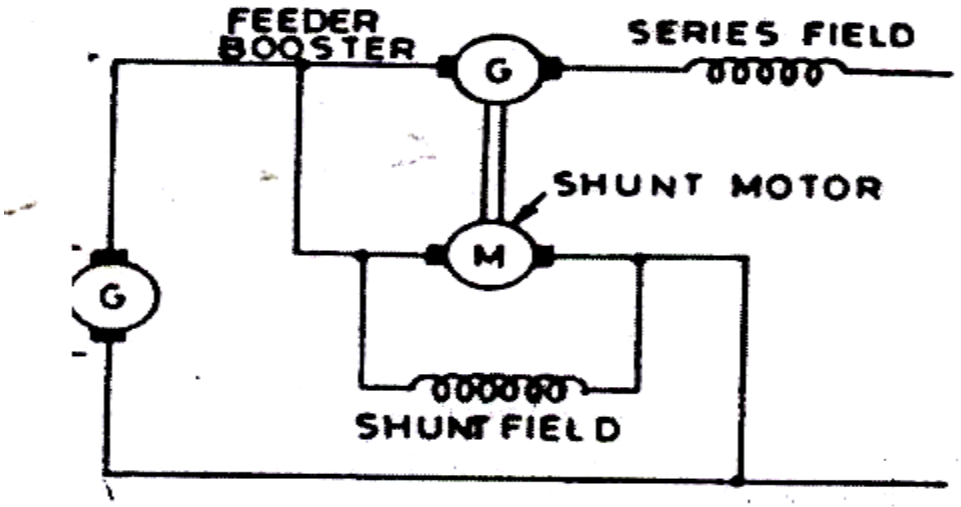
تطبيقات مولدات DC Application of

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 أدناه :



Series Booster

معزز توالى

Fig (5-96)

المحرك لف توازي يسحب تيار ثابت [illegible] ويدير المولد المربوط معه عند سرعة ثابتة وحيث أن هبوط الجهد في المغذى يتناسب مع الحمل لذلك وللتعويض

المضبوط لهبوط الجهد في المغذى فان الجهد الداخل للدائرة يجب أيضا أن يتناسب 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. المحركـات dc تـوالي : لـلإدارة التـي تتطلـب عزم بدايـة كبيـر جدا وحيث ضـبط تغييـر السـرعة مطلـوب للروافـع ، الأونـاش ، عربـات التروللـي ، القـاطرات الكهربيـة 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 ثابتـة : أساسا لتطبيقات السرعة الثابتة التـي تتطلـب عزم بدايـة متوسط يمكن استخدامه للسرعة المغايرة للضـبط ولمـدى لـيس أكبـر مـن 1:2 للمخارط – الطلمبات الطاردة المركزيـة – الطلمبات الترددية – المراوح – آلات تصنيع الأخشاب – آلات الطباعة – آلات الغزل والنسيج الخ.
محركات dc توازي سرعة قابلـة للضـبط نفس الكـلام بعاليـة للتطبيقـات التـي تتطلـب تحكم سرعة قابل للضبط إما عزم ثابت أو خرج ثابت .
4. محركات dc لف مركب تراكمي : لـلإدارة التـي تتطلـب عزم بداية مرتفع بسرعة ثابتـة معتدلـة فقـط الأحمـال النبضـية مـع فصـل الحداقـة ، ويسـتخدم مـع المصـاعد ماكينات صناعة الثلج – ضاغطات الهواء – آلات الطباعة الروافع ..الخ
5. محركات dc لف مر كب فرقي مع مجال توالي ضـعيف نسبيا لاعمال التجارب والأبحاث .

محركات التيار المستمر في الإنسان الآلي

تحميل محركات التيار المستمر :

إن الأحمال التي تعاني منها المحركات تتكون أساساً من الاحتكاك والقصور الذاتي وأحمال عزوم تدوير ثابتة أو متحركة .

ويعالج الاحتكاك والقصور الذاتي والتي يرمز لهما بـ F و J على التوالي .

تخضع المنظومات الفيزيائية الدوارة للعلاقة التالية :

$$T = J\theta + F\theta \quad _ (5\text{-}1)$$

حيث T يمثل عزوم التدوير المسلط و θ الموضع الزاوي مقاساً بالزوايا النقطرية (الزوايا نصف القطرية) θ. و radians هي السرعة الزاوية مقاسة بالزوايا النقطرية في الثانية و هي التعجيل الزاوي مقاساً بالزاوية النقطرية في الثانية تربيع في حالة انعدام الاحتكاك اللزج تؤول المعادلة الأخيرة إلى ما يلي :

$$T = J\theta \quad _ (5\text{-}2)$$

وهي مناظرة لمعادلة قانون نيوتن الحركي :

$$F = m\,a \quad _ (5\text{-}3)$$

تمتاز محركات التيار المستمر عموماً بسرعتها العالية وانخفاض عزومها . لذا تستخدم صناديق التروس للحصول على زيادة في العزم مقابل انخفاض في السرعة لو فرضنا أن N تمثل نسبة التروس فإن N تمثل عدد الأسنان في الترس الكبير مقسوماً على عددها في الترس الصغير .

$$T_e = NT \quad _ (5\text{-}4)$$

$$\theta_e = \frac{1}{N}\theta \quad _ (5\text{-}5)$$

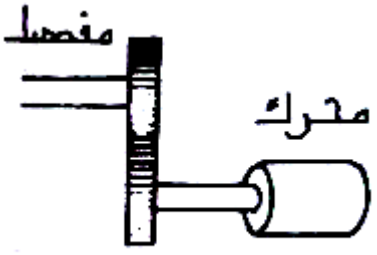
حيث T_m هو عزم المحرك و T_e هي العزم المسلط على الحمل أما θ_m فهي سرعة دوران المحرك و θ_e هي سرعة دوران الحمل . أما الحمل فيقسم على مربع نسبة التروس وينتج عن ذلك أن عزم القصور والاحتكاك المكافئين J_{eq} و F_{eq} المنسوبين إلى المحرك هما :

$$J_{eq} = J + \frac{1}{N} J_e \quad _ (5\text{-}6)$$

$$F_{eq} = J + \frac{N^2}{N^2} F_e \quad -(5\text{-}7)$$

حيث J_m و F_m هما عزم القصور والاحتكاك للمحرك نفسه و J_e و F_e هما عزم القصور والاحتكاك للحمل . ليس من الغريب استخدام نسب تروس N تساوي 100 : 1 وفي مثل هذه الحالة وحسب المعادلة(5-6) يقسم عزم قصور الحمل على 10^4 قبل أن يصل إلى جهة المحرك . لذا فقد يظهر من النظرة الأولى أن عزم القصور الذاتي لمنتج المحرك قد يكون صغيراً جداً مقارنة بعزم قصور الحمل غير أن وجود مجموعة التروس تجعل عكس ذلك هو الصحيح .

من الجدير بالملاحظة أن المعادلة (5–7) تفترض عدم وجود احتكاك في مجموعة التروس وهذا مخالف للواقع حيث أن الجزء الأعظم من الاحتكاك في منظومة الربوتيات (الإنسان الآلي) يقع في مجموعة التروس نفسها وهو أمر لا تأخذه المعادلة بعين الاعتبار . أضف إلى ذلك أن الاحتكاك في التروس يتغير كثيراً مع درجة حرارة زيت التزييت .



الفصـــل السادس

المواصفات الميكانيكية والكهربائية للماكينة التي تم تناولها والعملي والتجارب التي يمكن إجرائها على الماكينة

المواصفات الميكانيكية والكهربائية للماكينة التي تم تناولها والعملي والتجارب التي يمكن إجرائها على الماكينة :

أولاً : البيانات الكهربية :

1. عدد الأقطاب الرئيسية : 4 أقطاب .

2. عدد الأقطاب البارزة : 4 أقطاب .
3. عدد الأقطاب المساعدة : 4 أقطاب .

الفولتية : 220 – 230v
عدد الفرش : 4 فرش مزدوجة .
عدد المجاري : 28 مجرى .
عدد الأسنان : 111 سن .

قراءات الأقطاب :
1. الأقطاب الرئيسية :
بقراءة الأولى : 320Ω
بقراءة الثانية : 319Ω
بقراءة الثالثة : 320Ω
المتوسط : 319.67Ω
2. الأقطاب البينية :
القراءة الأولى : 1Ω
القراءة الثانية : 2Ω
القراءة الثالثة : 1Ω
المتوسط : 1.33Ω
3. الأقطاب المساعدة :
القراءة الأولى : 1Ω
القراءة الثانية : 1Ω
القراءة الثالثة : 1Ω
المتوسط : 1Ω
3. قراءة أسنان الكموتيتر :

2Ω = 0-90
2Ω = 90-180

2Ω = 180-270

2Ω = المتوسط

ثانياً : البيانات الميكانيكية :

1. القطر الخارجي للماكينة : 36cm
2. القطر الداخلي للماكينة : 29cm
3. طول عمود الإدارة : 57cm
4. قطر عمود الإدارة : 2.8cm

التجارب التي تجرى على الآلة في حالة عملها كمولد :

1. في حالة الربط منفصل الإثارة :

التجارب :

الفيض / قطب – تيار الحمل " الخصائص الداخلية " .

العلاقة بين جهد الطرف وتيار الحمل " الخصائص الخارجية .

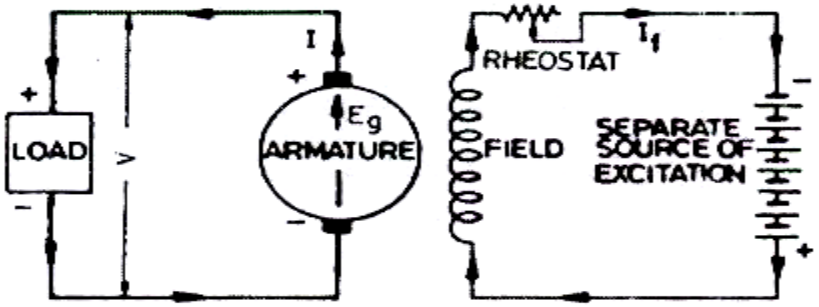


Fig (6-104-1)

2. في حالة المولدات الملفوفة توالي :

1/ الخصائص المغناطيسية .

2/ الخصائص الداخلية .

3/ الخصائص الخارجية أو خواص الحمل .

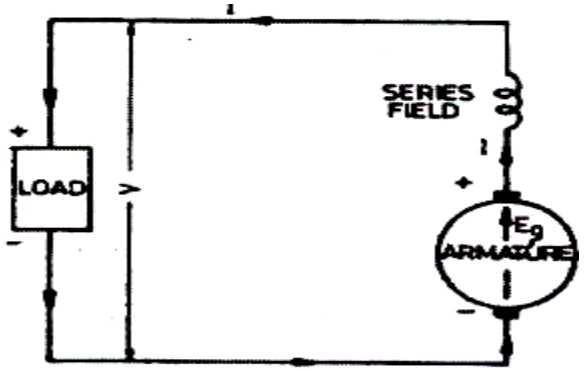


Fig (6-104-2)

3. في حالة المولدات الملفوفة توازي :

1/ بناء الجهد لمولد توازي عند اللاحمل .

2/ مقاومة المجال الحرجة .

3/ خصائص الحمل .

4/ مقاومة الحمل

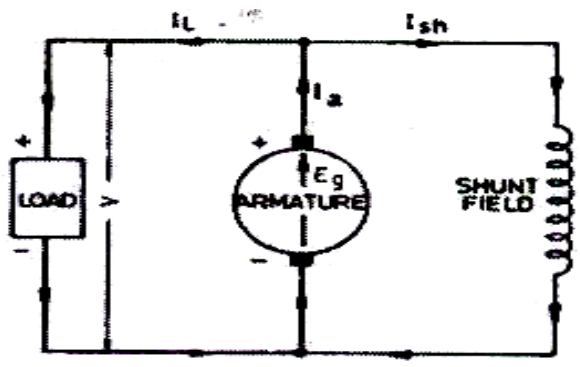


Fig (6-105-1)

(ب) التجارب التي تجرى على الآلة في حالة عملها كمحرك :

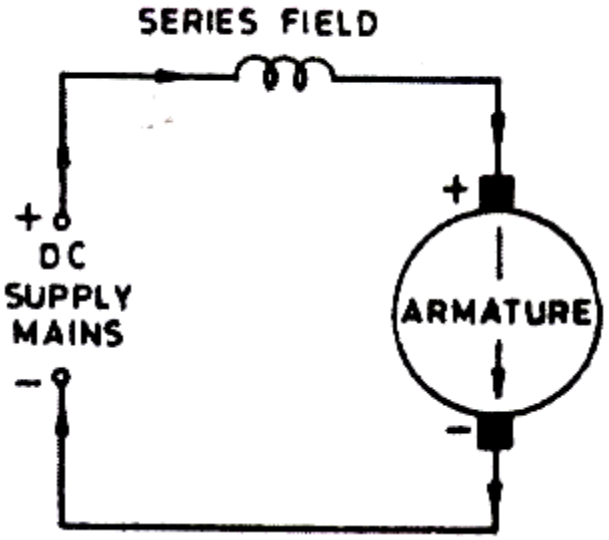
1. في حالة ربط المحرك ربط توالي :

التجارب التي تجرى عليه :

1/ خاصية السرعة – التيار .

2/ خاصية العزم – التيار .

3/ خاصية السرعة – العزم .



2. في حالة ربط المحرك ربط توازي :

التجارب التي تجرى عليه :

1/ خاصية السرعة – تيار عضو الإنتاج .

2/ خاصية العزم – تيار عضو الإنتاج .

3/ خاصية السرعة – العزم .

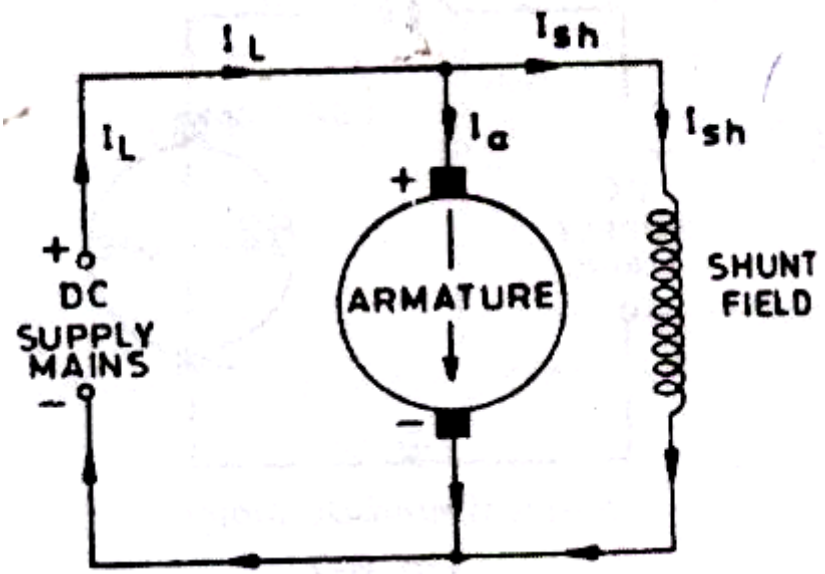


Fig (6-106-1)

3. في حالة ضبط المحرك منفصل الإثارة :

التجارب التي تجرى عليه :

1/ خاصية العزم – تيار عضو الإنتاج .

2/ خاصية السرعة – تيار عضو الإنتاج .

3/ خاصية السرعة – العزم .

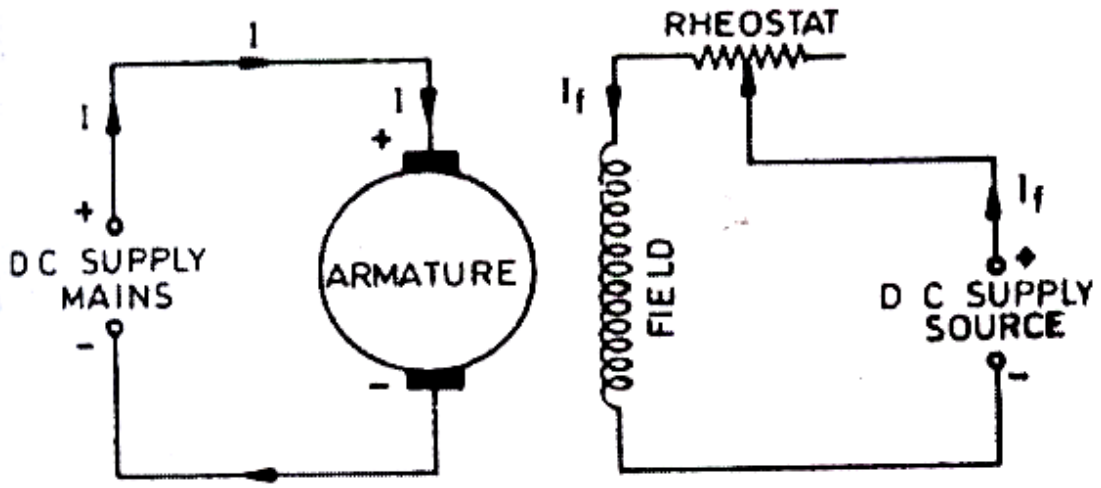


Fig (6-106-2)

4. في حالة ربط المحرك لف مركب تراكمي .

التجارب التي تجرى عليه :

هي تجميع لخصائص التوالي والتوازي وتقع بينها .

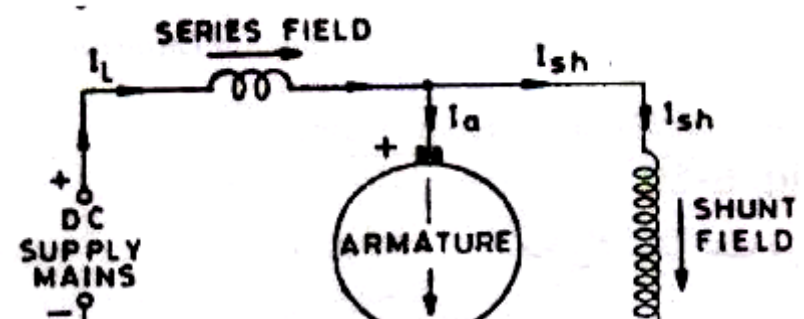
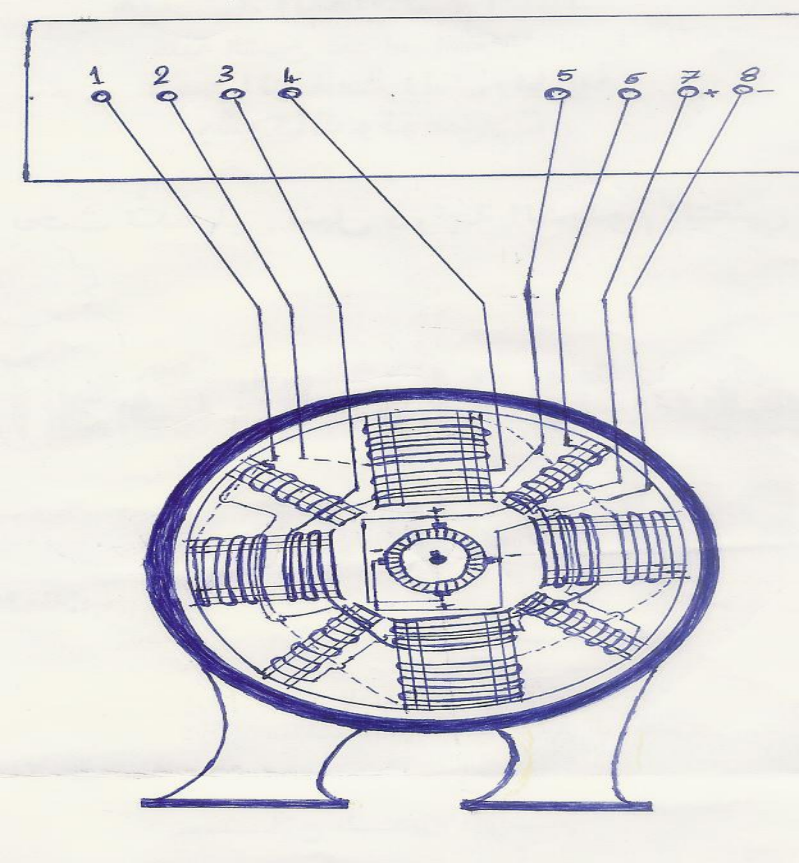


Fig (6-107)

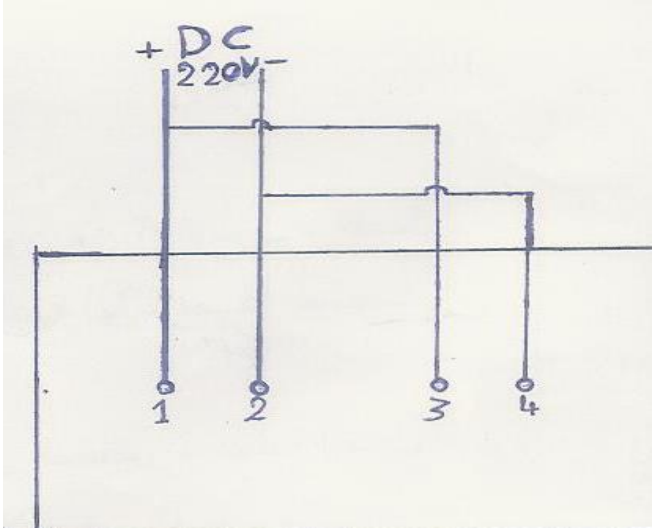


الشكل أعلاة يوضح بدايات ونهايات ملفات ومسارات المتوازية لمحرك التيار المستمر.

حيث ان:

1. بداية الملفات الرئيسية.
2. نهاية الملفات الرئيسية.
3. بداية الملفات المساعدة.
4. نهاية الملفات المساعدة.
5. بداية الملفات البينية.
6. نهاية الملفات البينية.
7. المسار المتوازي الموجب للفرش.
8. المسار المتوازي السالب للفرش.

توصيلة محرك التيار المستمر في حالة التوازي:



حيث ان:-

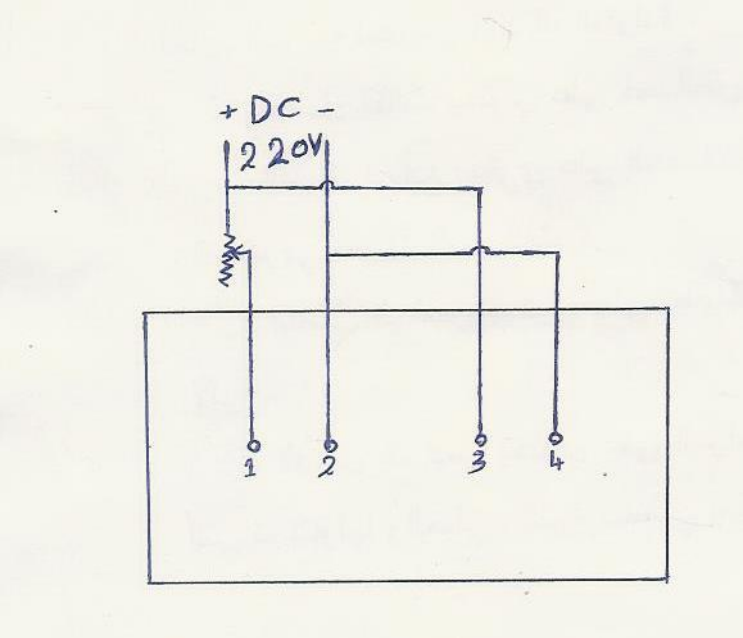
1. المسار المتوازي الموجب للفرش.
2. المسار المتوازي السالب للفرش.
3. بداية الملف الرئيسي.
4. نهاية الملف الرئيسي.

عندما يوصل محرك تيار مستمر توازى مباشرةً للمصدر الرئيسي فأن تيار عالي سوف يسري خلال موصلات عضو الانتاج وهذا يعرف بتيار البدء، والاندفاع العالى للتيار عند لحظة البدء يمكن يسبب:-

1. شرارة عالية عند المبدل.
2. تدمير للفات عضو الانتاج.
3. تدميلر الاجزاء الدوارة لمحرك والحمل بسبب تولد عزم بدء كبير وعجلة سريعة.
4. أنحدار كبير في جهد المصدر.

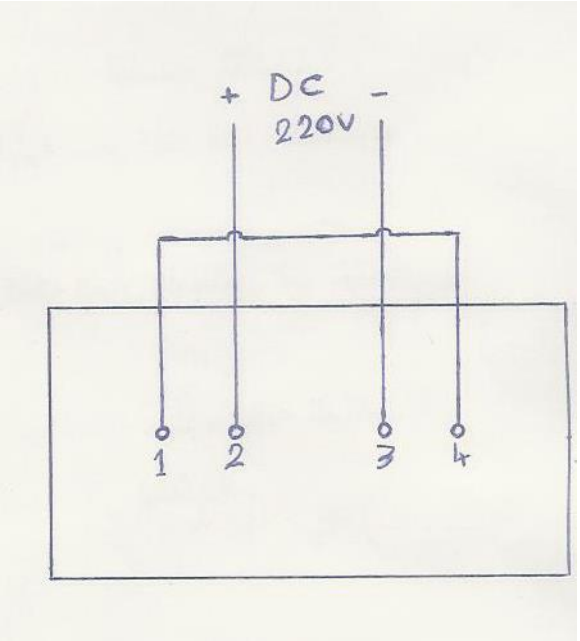
اذاً لحماية المحرك ضد سريان التيار الزائد اثناء فترة البدء من الضرورى توصيل مقاومة كبيرة على التوالي مع عضو الانتاج عند لحظة البدء وفصلها بالتدريج بمجرد حصول المحرك لسرعة

العادية،تكون المقاومة الإضافية تم فصلها تماماً من دائرة عضو الإنتاج.



الشكل أعلاة يوضح توصيلة محرك تيار مستمر توازي ومقاومة(ريوستاة) توالى مع عضو الإنتاج

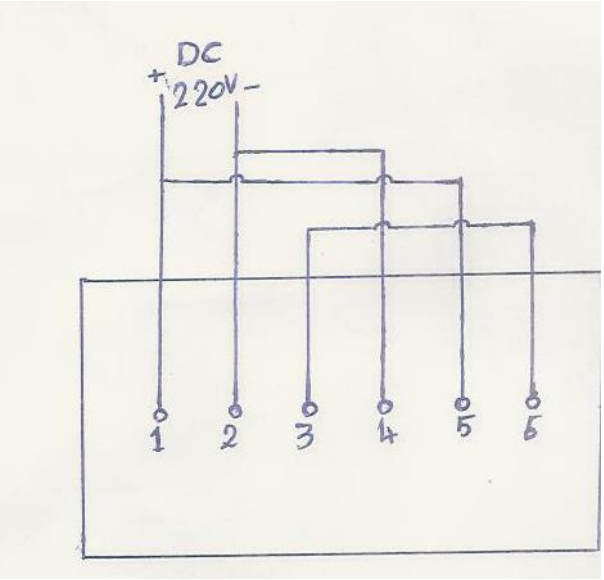
توصيلة محرك تيار مستمر توالي :



حيث ان:

1. نهاية ملف المساعد.
2. بداية الملف المساعد.
3. المسار المتوازى السالب للفرش.
4. المسار المتوازى الموجب للفرش.

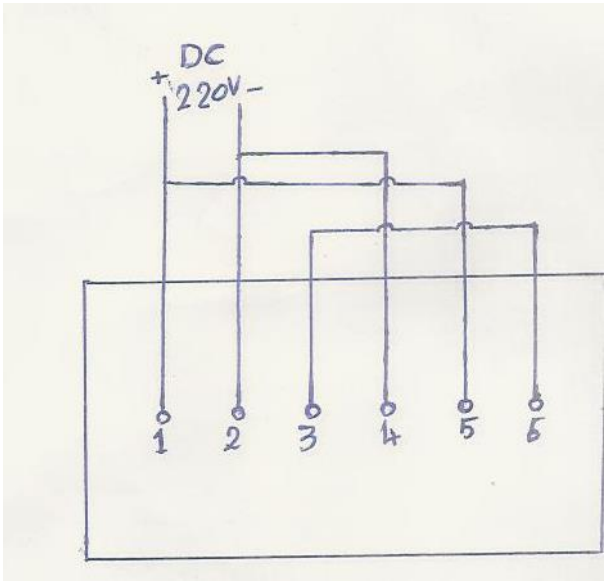
توصيلة محرك تيار مستمر مركب:



حيث إن :-

1. بداية ملف المساعد.
2. نهاية الملف المساعد.
3. المسار المتوازي الموجب للفرش.
4. المسار المتوازي السالب للفرش.
5. بداية الملف الرئيسي.
6. نهاية الملف الرئيسي.

توصيلة محرك تيار مستمر توازي(الملفات الرئيسية توالي مع البينية):



حيث إن:

1. المسار المتوازي الموجب للفرش.
2. المسار المتوازي السالب للفرش.
3. بداية الملف الرئيسي.
4. نهاية الملف الرئيسي.
5. بداية الملف البيني.
6. نهاية الملف البيني

التوصيات والمختترحات:

إن هذه الإله تعتبر من أول ماكينة تيار مستمر تفادياً للتكلفة التي تصدر من الكلية كل عام لتنفيذ بعض التجارب بكلية الهندسة بجامعة وأدى النيل بعطبرة وهذا الإنجاز يعتبر بعد التكملة للتجارب والمقترحات التي سوف تنفذ فيه معملاً كاملاً لإجراء جميع أو معظم أنواع التجارب المطلوبة من مادة آلات التيار المستمر.

تم قياس التيار البدء قبل التقويم بجهاز الاميتر لقياس التيار المتردد لعدم الحصول على جهاز لقياس التيار المستمر وكانت القراءات في حالة المحرك موصل توازى على نحو التالي :

القراءة الاولى 19 A

القراءة الثانية 21A

القراءة الثالثة 21A

التوسط 20.33 A

تيار التشغيل فى حالة اللاحمل :

القراءة الاولى 1 A

القراءة الثانية 1A

القراءة الثالثة 1.1A

التوسط 1.03 A

الخلاصــة:

يتناول هذا المشروع دراسة ماكينات التيار المستمر كمولدات ومحركات بدراسة نظرية لهذه الماكينات بأنواعها المختلفة كماكينات منفصلة الإثارة وذاتية الإثارة توالى أو توازى أو مركب المجال ودراسة خصائص هذه الماكينات كخصائص السرعة – الحمل في محركات التيار المستمر وخصائص العزم–الحمل وخصائص تيار الإثارة– السرعة للمحركات والخصائص الداخلية لمولدات التيار المستمر (خصائص منحنى التمفنط– تيار الإثارة– القوة الدافعة المولدة) والخصائص الخارجية لمولد التيار المستمر(خصائص الجهد–تيار الحمل) ويتناول تأهيل الماكينات الموجودة والتي تم الحصول عليها من هيئة السكك الحديدية السودانية.

المراجـــــع

1/ آلات التيار المستمر ، د. وحيد مصطفى أحمد .

2/ مكائن التيار المستمر ، د. فاروق خليل .

3/ محولات و آلات التيار المستمر ، د. محمد أحمد قمر .

4/ هندسة الربوتات ، د. صباح عبود أحمد البيرماني ، جنان فؤاد زيتون .

الخاتمـــــة :

موضوع البحث آلات التيار المستمر ، حيث يتكون من 6 فصول ، الفصل الأول يحتوي على آلات التيار المستمر والأجزاء الأساسية لها ، مبدأ عملها ، لفات عضو الإنتاج ، الدائرة المغناطيسية .

الفصل الثاني يحتوي على أنواع محركات التيار المستمر ، عملية التبديل ، إتجاه الدوران ، عزم عضو الإنتاج . عزم عضو الإدارة ، العزم والسرعة لمحركات التيار المستمر ، سوق المحرك ، مضخات الدفع – السحب ، ضبط درجة التركيب ، تحديد الأمبير – لفات مجال التوالي ، مقاومة الحمل الحرجة ، تحديد السرعة لخفيض ق.د.ك المتولدة .

الفصل الثالث يحتوي على خصائص مولدات التيار المستمر التشغيلية .

الفصل الرابع يحتوي على الخصائص التشغيلية لمحركات التيار المستمر والتحكم في سرعة المحركات .

الفصل الخامس يحتوي على تطبيقات محركات التيار المستمر في الإنسان الآلي .

الفصل السادس يحتوي على المواصفات الميكانيكية والكهربائية للماكينة التي تم تناولها والعملي والتجارب التي يمكن إجراءها على الماكينة .