ورشة لف وإصلاح الآلات أحادية الوجه والوقاية

لف العضو الدائر للمحرك العام (انطباقي- تموجي)

الجدارة: استخدام ورشة اللف في إعادة لف العضو الدائر للمحرك العام (لف انطباقي- تموجي)

الأهداف:

عند إكمال هذا الباب يكون لدى المتدرب القدرة على:

- معرفة مكونات العضو الدائر الملفوف.
- معرفة نوع اللف انطباقي- تموجي.
- أخذ البيانات الداخلية، مع إجراء العمليات الحسابية ورسم الرسم الانفرادي للملفات.
- تجهيز العضو الدائر للف مع لف العضو الدائر يدوياً ثم تلحيم أطراف الملفات على عضو التوحيد. ثم صنفرة قطاعات عضو التوحيد من اللحام
- إعادة لف العضو الدائر للمحرك العام.
- تجميع المحرك ثم إجراء الاختبارات اللازمة مع أخذ القراءات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٢٠ ساعة.

الوسائل المساعدة:

- ورشة اللف
- محرك عام ذو عضو دائر ملفوف
- جهاز عرض (داتا شو).
- سبورة
- كراسة رسم (مربعات خمسة مليمترات في خمسة مليمترات).
- قلم.

متطلبات الجدارة:

- اجتياز ورشة ميكانيكا كهرباء.

لف العضو الدائر للمحرك العام (انطباقي- تموجي)

الفصل الأول

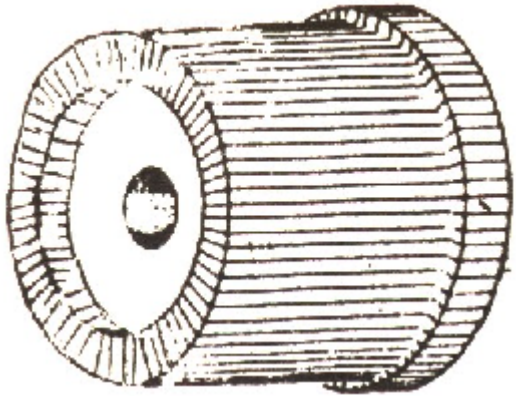
طرق لف العضو الدائر للمحرك العام (انطباقي- تموجي)

مقدمة :

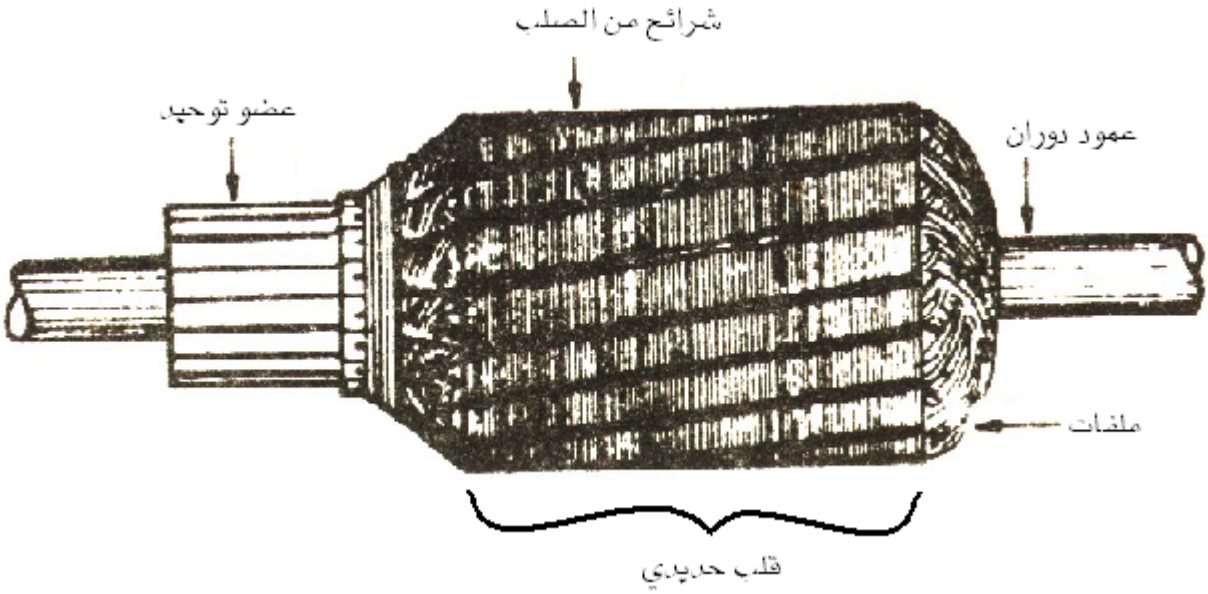
تم دراسة المحركات الحثية أحادية الوجه ذات العضو الدائر ذو القفص السنجابي في الوحدة الأولى. وكما هو معلوم فإن بعض أنواع المحركات يكون فيها العضو الدائر ملفوفاً، بحيث يوضع بدل القضبان (البارات) في العضو الدائر ذي القفص السنجابي ملفات تقوم مقام هذه البارات وتسمى هذه المحركات في هذه الحالة بالمحركات ذات العضو الدائر الملفوف، (المحرك العام)

مكونات العضو الدائر الملفوف.

إن العضو الدائر الملفوف مشابه تماماً للعضو الدائر ذي القفص السنجابي. حيث إنه يتكون من رقائق من الصلب المعزول عن بعضها البعض بالورنيش لتكبير مقاومتها من أجل تقليل التيارات الإعصارية (الدوامة)، مضغوطة مع بعضها البعض مثبتة على عمود الدوران، مضافاً إليه عضو التوحيد. وهو عبارة عن مجموعة من الشرائح النحاسية تسمى قضبان الموحد يوجد على طرفها فتحة لتثبيت أطراف الموصلات. وتجمع هذه الشرائح على شكل أسطوانة كاملة تسمى عضو التوحيد. ويفصل بين كل شريحتين طبقة من الفيبر العازل (الميكا). ثم يثبت عضو التوحيد على عمود الدوران ويكون معزولاً بطبقة من الميكا. والشكل (١- ٣) يبين عضو التوحيد بشكل كامل. والشكل (٢- ٣) يبين العضو الدائر الملفوف بشكل كامل.



شكل (١- ٣) يبين عضو التوحيد بشكل كامل



شكل (١- ٣) يبين شكل العضو الدائر الملفوف

الفرش الكربونية :

وظيفتها نقل التيارات إلى عضو التوحيد. وهي مصنوعة من الكربون. وهي ذات حجم أكبر من قطعة عضو التوحيد بمرة ونصف. ويجب أن تتحمل الاحتكاك وشدة التيار الذي يمر بها. ولذلك يجب أن تتوفر فيها الشروط التالية:

١- أن تكون مثبتة جيداً وحرة الحركة في مجراها.

٢- أن يسمح بوضع الفرش في أثناء دوران عضو الدوران.

٣- أن تضغط على الموحد بقوة تتراوح ما بين (١٠٠ إلى ٢٠٠ غرام لكل سنتمتر مربع).

٤- أن لا يزيد بعد الفرش عن عضو التوحيد أكثر من ٣مم و إلا سوف تهتز أثناء دوران العضو الدائر.

ملاحظة: قد يحدث شرار بين عضو التوحيد وبين الفرش، ويعود السبب إلى

- تآكل مكان الفرش.
- عدم كفاية ضغط النابض على الفرش بشكل كاف.
- عدم تلامس الفرش مع سطح عضو التوحيد بشكل جيد.
- نتيجة لخشونة سطح الموحد.
- ارتفاع قطع العازل بين قطع عضو التوحيد.
- نتيجة لتراكم أوساخ على عضو التوحيد.

أنواع وطرق لف العضو الدائر الملفوف.

العضو الدائر الملفوف يحتوي على ملفات موصلة لهذه الملفات إلى عضو التوحيد. فهناك طريقتان لوضع الملفات داخل المجاري وتسمى بأنواع اللف.

حيث يقسم لف العضو الدائر إلى قسمين أساسيين:

١- اللف الانطباقي.

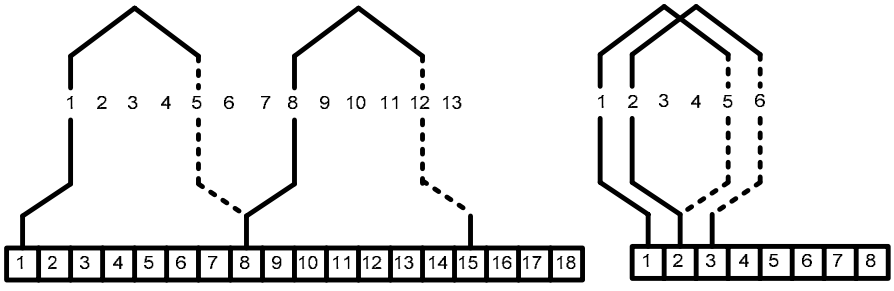
٢- اللف التموجي.

وكل نوع من هذه الأنواع يقسم إلى قسمين.

١- بسيط وهو يعني وجود ضلع (ملف) واحد بالمجرى.

٢- ومضاعف وهو يعني وجود ضلعين (ملف) بالمجرى.

والفرق بين اللف الانطباقي والتموجي ينحصر في طريقة توصيل أطراف الملفات إلى قطع عضو التوحيد. فعند وصل نهاية الملف مع بداية الملف الواقع إلى جانبه نحصل على اللف الانطباقي. وعند وصل الملفات التي تبعد عن بعضها البعض بمقدار خطوة قطبية كاملة نحصل على اللف التموجي. حيث إنه في اللف الانطباقي يتجه طرفا الملف الواحد أحدهما نحو الآخر. بينما في اللف التموجي يتباعد طرفا الملف عن بعضهما. كما في الشكل (٣- ٣) يبين شكل اللف الانطباقي والتموجي.

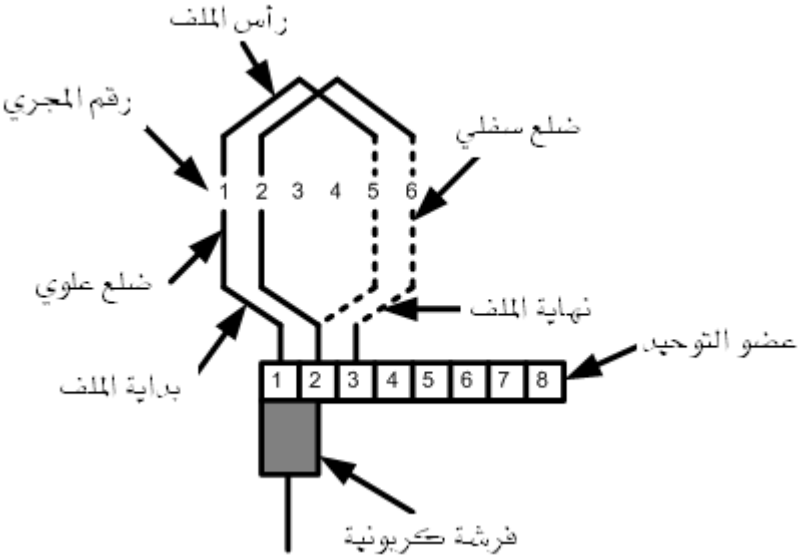


لف تموجي لف انطباقي

شكل (٣- ٣) يبين شكل اللف الانطباقي والتموجي

تعريفات أساسية لتنفيذ اللف:

١- تعريف الملف: هو سلك من الألمنيوم أو من النحاس غالباً ملفوف لفة واحدة أو عدة لفات متتابعة. وله طرفان بداية ونهاية توصلان إلى عضو التوحيد. ولهذا الملف جانبان، وفي مخطط اللف الانفرادي يرسم الضلع العلوي بخط متصل والضلع السفلي بخط منقط. كما في الشكل (٤- ٣) يبين ضلعي الملف مع أطراف البداية والنهاية.



شكل (٤- ٣) يبين ضلعي الملف وأطراف الملف

٢- ضلع الملف: بحسب التعريف السابق للملف، يعرف ضلع الملف بأنه جانب ملف مكون من لفة واحدة أو عدد من اللفات.

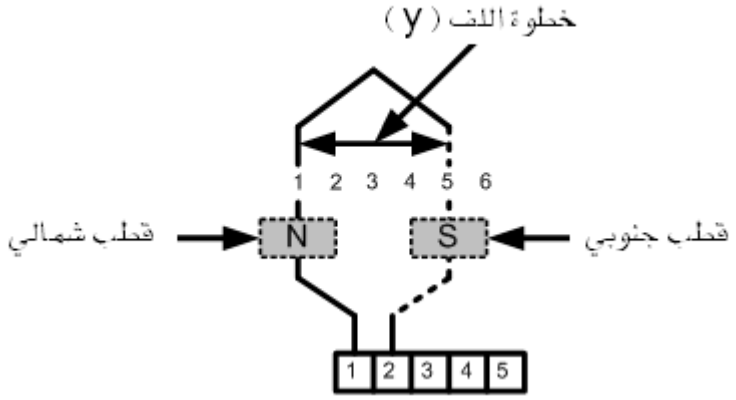
٣- عدد الطبقات بالمجرى: يمكن لف العضو الدائر طبقة واحدة بالمجرى أو طبقتين في المجرى. وتسمى بالطبقة السفلية والطبقة العلوية.

٤- عدد الأضلاع في المجرى: في الآلات الملفوفة طبقتان بالمجرى ويكون عدد الأضلاع الكلية عدداً زوجياً. حيث يمكن أن يكون في المجرى الواحد ضلعان أو أربعة أو ستة أضلاع.

٥- عدد الأضلاع في المجرى لكل طبقة: يمكن أن يوجد في المجرى لكل طبقة (١ أو ٢ أو ٣ أو... أضلاع) ويرمز لعدد الأضلاع في كل طبقة بالرمز (u).

٦- العلاقة بين عدد القطع النحاسية لعضو التوحيد وعدد الملفات: يتم وصل الملفات مع بعضها البعض بالتوالي عن طريق القطع النحاسية لعضو التوحيد. وذلك بأن نصل طرف كل ملفين (بواسطة اللحام) على قطعة نحاسية. إذ يلزم لوصل أطراف الملفات كلها عدد من القطع النحاسية يساوي نصف عدد أطراف الملفات. أي يساوي عدد الملفات الكلية.

٧- وضع ضلعي الملف ضمن المجال المغناطيسي للأقطاب: إذا كان الضلع الأول لملف واقع تحت قطب شمالي فإنه يجب أن يكون الضلع الآخر للملف واقع تحت قطب جنوبي مجاور، حتى تكون جهة التيار المار في كل ضلع معاكساً لجهة التيار في الضلع الآخر. ولكن بالنسبة إلى دارة الملف نفسه فالجهة واحدة. (معنى ذلك حتى تضاف التيارات المتولدة في ضلعي الملف بعضها إلى بعض). وعلى ذلك فإن خطوة اللف ورمزها (y1) يجب أن تكون مساوية للخطوة القطبية والتي رمزها (yp) أو قريبة منها قدر الإمكان وذلك لكي يتولد في ضلعي الملف أكبر قوة محركة كهربائية ممكنة. والشكل (٥- ٣) يبين ملفاً واقعاً تحت قطبين متجاورين.



شكل (٥- ٣) يبين ملفاً واقعاً تحت قطبين متجاورين

٨- الخطوة القطبية للآلة: تعرف الخطوة القطبية للآلة بأنها تساوي البعد بين محوري قطبين مغناطيسيين متجاورين. ويرمز لها بالرمز (Yp) ونقيسها عملياً بالدرجات أو الراديان أو بعدد المجاري أو بعدد الأضلاع العلوية لملفات العضو الدائر.

وعلى ذلك فإنه:

- إذا قدرنا الخطوة القطبية بالدرجات فإنها تساوي عدد أقطاب الثابت (2P). أي تساوي ($Yp = 360/2P = 180/P$)
- إذا قدرنا الخطوة القطبية بالراديان. أي تساوي ($Yp=2\pi/2p = \pi/p$)
- إذا قدرنا الخطوة القطبية بعدد المجاري. أي تساوي ($Yp = N/2p$) حيث (N) عدد المجاري.

- إذا قدرنا الخطوة القطبية بعدد الأضلاع العلوية للملفات.

أي تساوي($Yp = Nu / 2p = k/2p$). حيث إن (Nu) عدد الأضلاع العلوية لملفات العضو الدائر. و (K) عدد القطع النحاسية لعضو التوحيد.

مثال:

محرك كهربائي عدد أقطابه ($2p = 6$) وعدد المجاري في العضو الدائر ($N = 30$) وعدد أضلاع الملفات في المجرى لكل طبقة ($u = 2$).

المطلوب: حساب الخطوة القطبية لهذا المحرك.

الحل:

١- الخطوة القطبية مقدرة بالدرجة:

$$Yp = 360 / 6 = 60$$

٢- الخطوة القطبية مقدرة بالراديان:

$$Yp = 2\pi / 2p = \pi / p = 180 / 3 = 60$$

٣- الخطوة القطبية مقدرة بعدد المجاري:

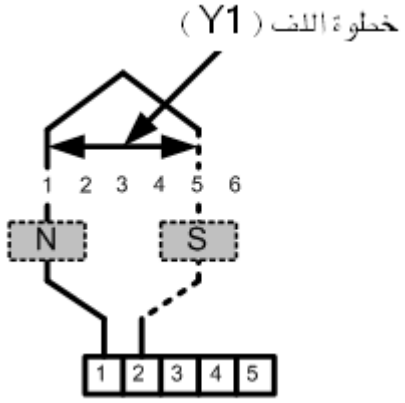
$$Yp = N / 2p = 30 / 6 = 5$$

٤- الخطوة القطبية مقدرة بعدد الأضلاع العلوية للملفات:

$$Yp = Nu / 2p = 30*2 / 6 = 10$$

تعريف خطوة اللف:

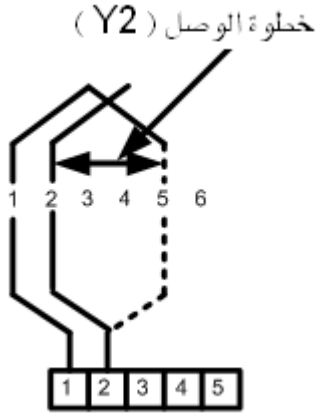
يرمز لها بالرمز (Y1) وهي عبارة عن عرض الملف وتسمى بالخطوة الأولى. وتقدر بعدد الأضلاع العلوية التي نمر عليها عندما نتقدم على العضو الدائر لننتقل من الضلع العلوي للملف إلى الضلع السفلي لنفس الملف. أي بتعبير آخر هي عدد الأضلاع العلوية الواقعة بين ضلعين الأول الضلع العلوي للملف والثاني الضلع السفلي للملف نفسه. كما في الشكل (٦- ٣) يبين خطوة اللف. ومن الشكل (٦- ٣) نجد أن خطوة اللف تساوي (١، ٥) أي (٥ مجاري).



شكل (٦- ٣) يبين خطوة اللف

خطوة الوصل :

يرمز لها بالرمز (Y2) وتسمى بالخطوة الثانية. وتقدر بعدد الأضلاع العلوية التي تمر عليها عندما تتراجع على العضو الدائر لتنتقل من الضلع السفلي إلى الضلع العلوي لملف آخر. والشكل (٧- ٣) يبين شكل خطوة الوصل. ومن الشكل (٧- ٣) نجد أن خطوة الوصل تساوي (٥ ، ٢) أي (٤ مجارٍ).



شكل (٧- ٣) يبين خطوة الوصل

الخطوة الكلية :

يرمز لها بالرمز (Y) وهي الخطوة المحصلة. ففي اللف الانطباقي تحسب من العلاقة التالية: ($Y = Y1 - Y2$).

خطوة الموحد :

يرمز لها بالرمز (Y_K) وتقدر بعدد قطع الموحد بين موضعي اللحام لطرفي ملف واحد. وهي تساوي الخطوة الكلية بشكل دائم. أي ($Y = Y_K$).

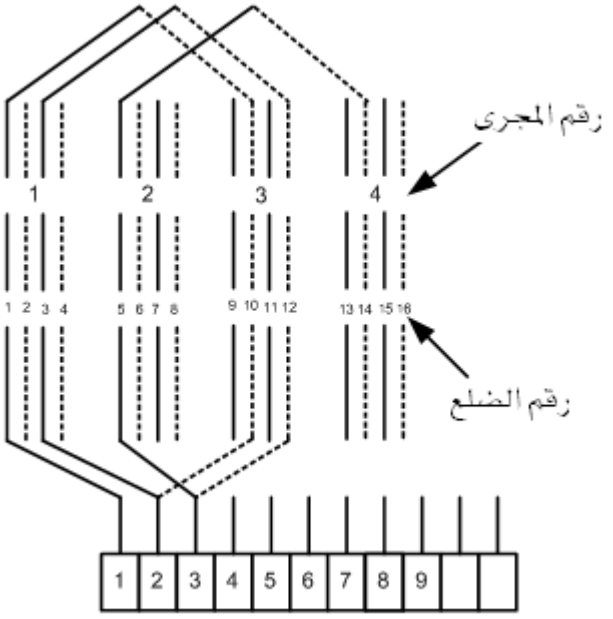
خطوة المجرى:

ويرمز لها بالرمز (Y_N) وهي الخطوة العملية أو تسمى خطوة اللف. مقدرة بعدد المجاري.

($Y_N = N / 2p$) أي أن خطوة المجرى تساوي عدد المجاري مقسومة على عدد الأقطاب.

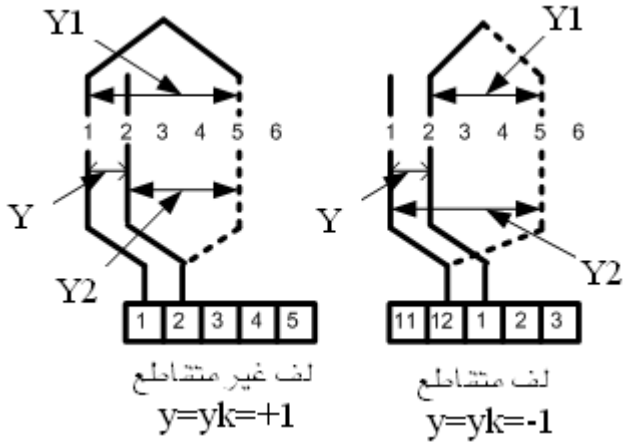
أو تساوي عدد الأضلاع العلوية الواقعة بين ضلعي ملف مقسومة على عدد الأضلاع في المجرى لكل طبقة.

أي ($Y_N = Y1 / u$) حيث إن (u) تساوي عدد الأضلاع لكل طبقة. حيث إن الشكل (٨- ٣) يبين رقم المجرى ورقم الضلع.



شكل (٨- ٣) يبين رقم المجرى ورقم الضلع

اللف غير المتقاطع والمتقاطع: يمكن أن يكون لخطوة الموحد في اللف الانطباقي البسيط أحد قيمتي ($Y_K = +1 , -1$) فإذا استعملت القيمة الأكبر ($Y_K = +1$) فإن اللف يكون غير متقاطع. وإذا استعملت القيمة الأصغر ($Y_K = -1$) يكون اللف متقاطعاً. كما في الشكل (٩- ٣) يبين اللف المتقاطع وغير المتقاطع.



شكل (٩- ٣) يبين اللف المتقاطع وغير المتقاطع

فاللف غير المتقاطع عندما لا تتقاطع بداية الملف الواحد مع نهايته عند توصيلها على عضو التوحيد. واللف المتقاطع يكون عندما تتقاطع بداية الملف الواحد مع نهايته عند التوصيل على عضو التوحيد.

ملاحظة: عند تغير التوصيل من متقاطع إلى غير متقاطع فإنه سوف ينعكس اتجاه التيار في الملفات وبالتالي سوف يدور العضو الدائر في الاتجاه المعاكس.

وكذلك هناك اللف القصري وله ثلاث حالات:

١- اللف القصري القطري: وهو اللف الذي تتساوى فيه خطوة اللف مع الخطوة القطبية.

$$Y1 = Yp$$

٢- اللف القصري بخطوة قصيرة: وهو اللف الذي تكون فيه خطوة اللف أصغر من الخطوة القطبية.

$$Y1 < Yp$$

٣- اللف القصري بخطوة طويلة: وهو اللف الذي تكون فيه خطوة اللف أكبر من الخطوة القطبية.

$$Y1 > Yp$$

ملخص خطوات الحساب في اللف الانطباقي البسيط والمضاعف.

الرموز المستعملة:

$2P$ = عدد أقطاب الثابت

N = عدد مجاري العضو الدائر

U = عدد أضلاع الملفات في المجرى لكل طبقة

W_S = عدد لفات كل ملف

K = عدد قطع الموحد

M = عدد حلقات التيار المغلقة (مرتبة اللف)

$Y1$ = خطوة اللف (عرض الملف أو الخطوة الأولى)

$Y2$ = خطوة الوصل (الخطوة الثانية)

Y = الخطوة الكلية أو (خطوة الموحد Y_k)

Y_N = خطوة المجرى

Y_p = الخطوة القطبية

$2a$ = عدد دوائر التوازي

T = مرتبة الإغلاق

خطوات الحساب:

يجب أن يكون معلوماً للقائم على عملية إعادة اللف البيانات التالية:

$M, W_S, U, N, 2P$

١- عدد قطع الموحد = عدد الملفات

$K = N * U$

٢- الخطوة الكلية = خطوة الموحد

$Y = Y_k = \pm m$

في حالة (+) يكون اللف غير متقاطع.

في حالة (-) يكون اللف متقاطع.

٣- خطوة الملف: يجب أن تكون خطوة اللف عدداً صحيحاً، ومساوياً للخطوة القطبية للآلة أو قريباً منها.

فإذا كانت ($Y1 \cong K / 2p$) يكون اللف قطرياً (أي لفاً كاملاً).

وإذا كانت (Y1 < K / 2p) يكون اللف قصرياً بخطوة ملف قصيرة.

وإذا كانت (Y1 > K / 2p) يكون اللف قصرياً بخطوة ملف طويلة.

فإذا كانت نتيجة الكسر (K / 2p) عدداً غير صحيح (أي عدداً كسرياً) يجبر الكسر على الغالب إلى العدد الصحيح الأصغر. أي نختار اللف القصري بخطوة ملف قصيرة.

٤- خطوة الوصل: وهي (Y = Y1 ± Y2)

في حالة اختيار (Y = Y1 + Y2) يكون اللف تموجياً. وفي حالة اختيار (Y = Y1 - Y2) يكون اللف انطباقاً.

٥- خطوة المجرى:

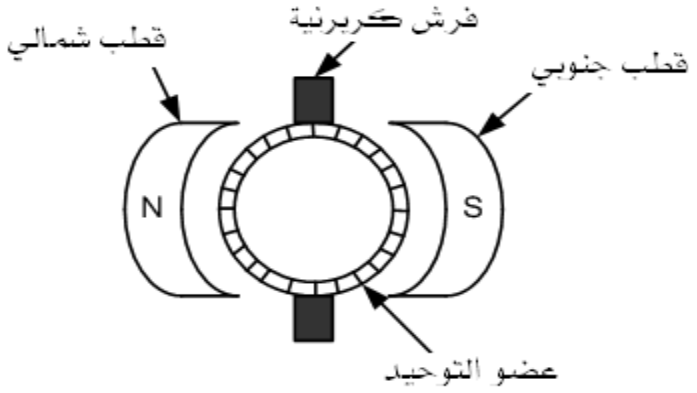
Yn = Y1 / u

إذا كانت (Y1 / u) عدداً غير صحيح يكون اللف متدرجاً.

إذا كانت (Y1 / u) عدداً صحيحاً يكون اللف غير متدرج.

بشرط يجب أن تكون (Yn) تقريباً تساوي الخطوة القطبية للآلة (N / 2p).

٦- عدد وموضع الفرش الكربونية: في اللف الانطباقي يجب أن يكون عدد الفرش الكربونية مساوياً لعدد الأقطاب. ويجب أن توضع الفرش الكربونية على عضو التوحيد بحيث تكون أضلاع الملفات مقصورة وواقعة في منطقة الحياد بين قطبين، وليس تحت القطب. والشكل (١٠- ٣) يبين وضع الفرش الكربونية على عضو التوحيد وبين الأقطاب.



شكل ١٠- ٣) يبين وضع الفرش الكربونية على عضو التوحيد

٧- عدد دوائر التوازي:

في اللف الانطباقي البسيط عدد دوائر التوازي تساوي عدد الأقطاب (2a = 2p).

في اللف الانطباقي المزدوج عدد دوائر التوازي تساوي ضعف عدد الأقطاب ((2p) 2= 2a).

٨- مرتبة الإغلاق: يجب أن تكون (t) قي القاسم المشترك الأكبر بين (K و m).

فإذا كانت (t = 1) يكون اللف أحادي الإغلاق.

وإذا كانت (t = 2) يكون اللف ثنائي الإغلاق.

٩- تحديد تناظر أو عدم تناظر اللف: يكون اللف الانطباقي متناظراً عندما يكون ناتج النسب (P / a و N / a و K / a) أعداداً صحيحة. وإضافة إلى ذلك يجب أن تكون النسبة (N / 2a) عدداً صحيحاً لكي تكون دارات التوازي المختلفة والمتشكلة على العضو الدائر متشابهة تماما.

ملاحظة: بالرغم من تناظر اللف فقد يحدث أحياناً عدم تناظر كهربائي نتيجة لعدم تساوي قيم المقاومات في مواضع لحام الأسلاك على عضو التوحيد. أو نتيجة لعدم دقة الصنع قد يحدث أن تتولد مجالات مغناطيسية تحت الأقطاب غير المتساوية تماماً بسبب اختلاف في الثغرة الهوائية، مما يجعل الجهد المتولد في دوائر التوازي مختلفاً وغير متساوٍ. ومن جراء ذلك تحدث تيارات داخلية غير متساوية يؤدي مرورها في الفرش الكربونية إلى زيادة تحميل الفرش الكربونية وبالتالي يؤدي إلى تلفها واحتراقها بسرعة.

الفصل الثاني

تمارين على اللف الانطباقي واللف التموجي

تمارين اللف الانطباقي

التمرين الأول:

المطلوب: حساب خطوات اللف ورسم المخطط الانفرادي بشكل انطباقي بسيط غير متقاطع. إذا كان: عدد أقطاب الثابت (2P = 4) وعدد المجاري (N = 20) وعدد أضلاع الملفات لكل طبقة (u =1).

الحل:

١- عدد قطع عضو التوحيد = $K = N*u = 20*1 = 20$

٢- الخطوة الكلية أو خطوة الموحد= $Y = +1$

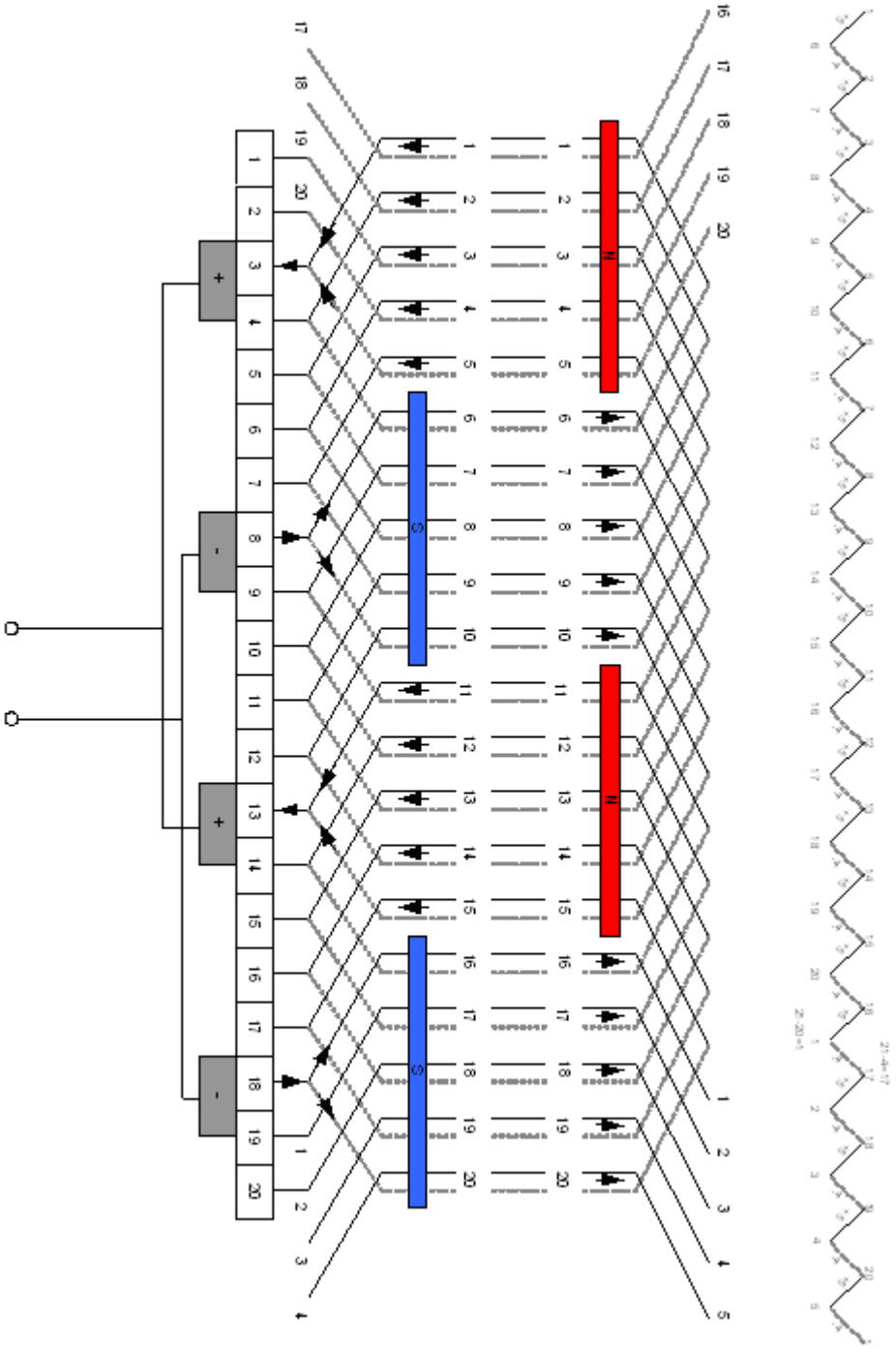
٣- خطوة اللف.= $Y1 = K/2p = 20/4 = 5$

٤- خطوة الوصل= $Y = Y1 - Y2 \Rightarrow \quad Y2 = Y-Y1 = 5-1 = 4$

٥- عدد دوائر التوازي = $2a = 2\,p = 4$

٦- للتأكد من اللف هل هو متدرج أم غير متدرج ؟ $Y_N = N / 2P = ٢0 / 4 = 5$ $Y_N = Y1 / u = 5 / 1 = 5$

الشكل (١١- ٣) يبين الرسم الانفرادي موضحاً عليه عدد المجاري، والملفات، وعدد قطع عضو التوحيد، وعدد الأقطاب، واتجاه التيارات داخل الملفات.



شكل (١١- ٣) يبين الرسم الانفرادي

التمرين الثاني:

المطلوب: حساب خطوات اللف ورسم المخطط الانفرادي بشكل انطباقي مزدوج ثنائي الإغلاق. غير متقاطع. إذا كان: عدد أقطاب الثابت (2P = 4) وعدد المجاري (N = 18) وعدد أضلاع الملفات لكل طبقة (u =2). وعدد حلقات التيار المغلقة (m = +2).

الحل:

١- عدد قطع عضو التوحيد = $K = N*u = 18 * 2 = 36$

٢- الخطوة الكلية أو خطوة الموحد= $Y = Y_K = +2$

٣- خطوة اللف.= $Y1 = K/2p = 36 / 4 = 9 \quad (1 , 10)$

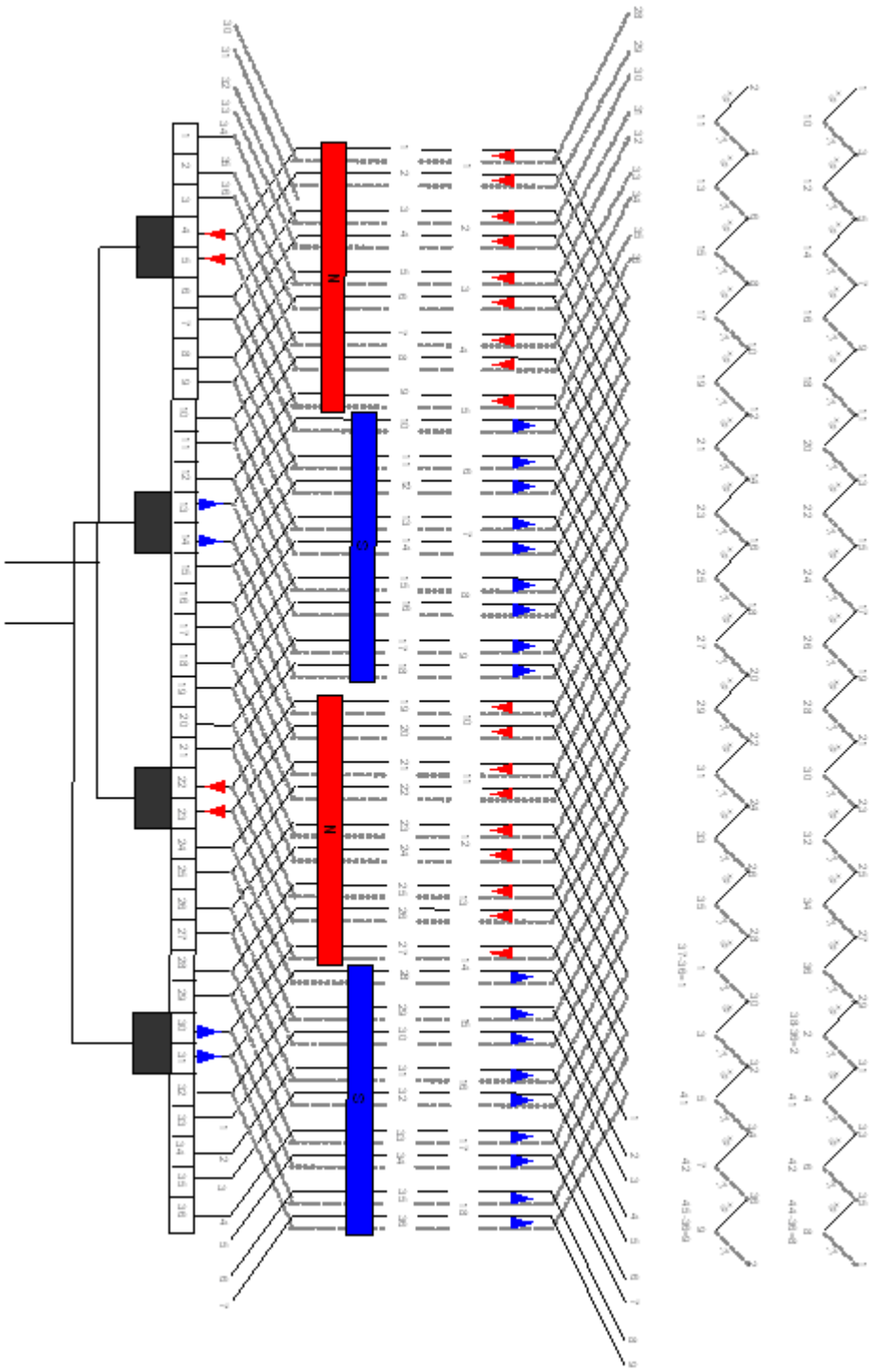
٤- خطوة الوصل= $Y = Y1 - Y2 \Rightarrow \quad Y2 = Y-Y1 = 9 - 2 = 7$

٥- عدد دوائر التوازي = $2a = 2 *2p = 2*4 = 8$

٦- للتأكد من اللف هل هو متدرج أم غير متدرج

$Y_N = N / 2P = 18 / 4 = 4.5$
$Y_N = Y1 / u = 9 / 2 = 4.5$

والشكل (١٢- ٣) يبين الرسم الانفرادي موضحاً عليه عدد المجاري، والملفات، وعدد قطع عضو التوحيد، وعدد الأقطاب، واتجاه التيارات داخل الملفات.



شكل (١٢- ٣) يبين الرسم الانفرادي

تمرين واجب:

المطلوب: حساب خطوات اللف ورسم المخطط الانفرادي بشكل انطباقي مزدوج ثنائي الإغلاق. غير متقاطع. إذا كان: عدد أقطاب الثابت (2P = 4) وعدد المجاري (N = 24) وعدد أضلاع الملفات لكل طبقة (u =2). وعدد حلقات التيار المغلقة (m = +2).

تمارين اللف التموجي:

تم شرح الفرق بين اللف التموجي و اللف الانطباقي في بداية الوحدة، حيث إنه لا يوجد اختلاف من ناحية التشغيل للمحرك العام إذا كان العضو الدائر ملفوفاً لفاً تموجياً أو انطباقياً. وإنما الفرق في طريقة اللف وطريقة تثبيت بداية ونهاية الملفات على عضو التوحيد.

التمرين الأول:

المطلوب: حساب خطوات اللف ورسم المخطط الانفرادي بشكل تموجي أحادي الإغلاق. إذا كان: عدد أقطاب الثابت ($2P = 6$) وعدد المجاري ($N = 31$) وعدد أضلاع الملفات لكل طبقة ($u = 1$)، مع تحديد الأقطاب، والفرش الكربونية.

الحل:

١- عدد قطع عضو التوحيد = $K = N*u = 31*1 = 31$

٢- الخطوة الكلية أو خطوة الموحد= $Y = Y_K = (K-m/p)=(31-1/3)=10$

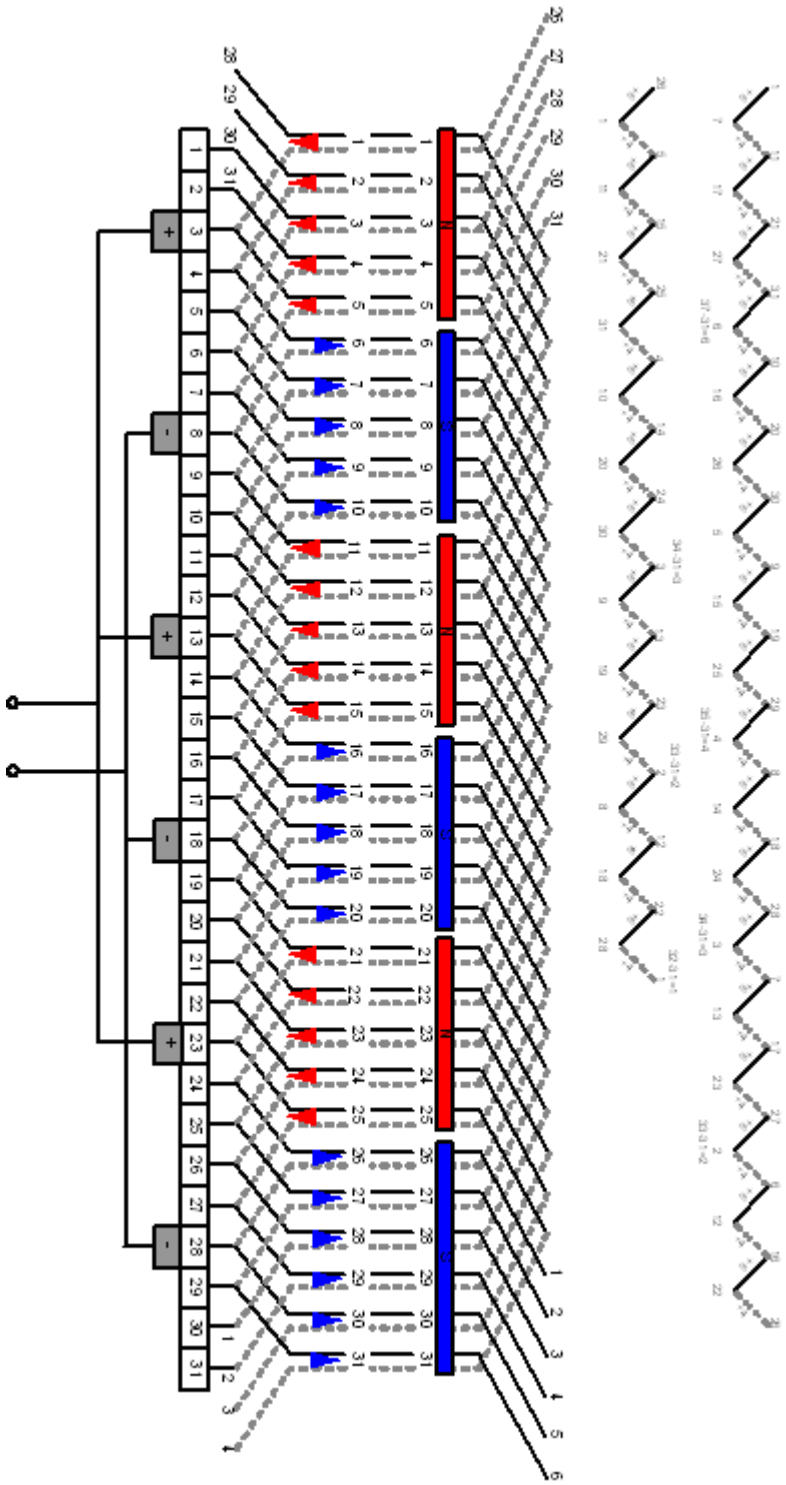
٣- خطوة اللف.= $Y1 = K/2p = 31/6=5.1=6 \quad (1, 7)$

٤- خطوة الوصل= $Y = Y1 - Y2 \Rightarrow \quad Y2 = Y-Y1 = 10 -6 = 4$

٥- عدد دوائر التوازي = $2a = 2*2p = 2*6 = 12$

٦- للتأكد من اللف هل هو متدرج $Y_N = N / 2P = 31/6 = 5.1$
$Y_N = Y1 / u = 5.1 / 1 = 5.1$

والشكل (١٣- ٣) يبين الرسم الانفرادي موضحاً عليه عدد المجاري، والملفات، وعدد قطع عضو التوحيد، وعدد الأقطاب، واتجاه التيارات داخل الملفات.



شكل (١٣- ٣) يبين الرسم الانفرادي

تمرين واجب:

المطلوب: حساب خطوات اللف ورسم المخطط الانفرادي بشكل تموجي مزدوج أحادي الإغلاق. إذا كان: عدد أقطاب الثابت (2P = 4) وعدد المجاري (N = 11) وعدد أضلاع الملفات لكل طبقة (u =2)، مع تحديد الأقطاب، والفرش الكربونية.