مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (19) العدد (5) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (19) No (5) 1997

الدراسة التحليلية للعلاقة بين تحريضية ملفات المحركات الردّية المقادة والتيار المار في هذه الملفات

الدكتور زيد بدر*

(قبل للنشر في 1997/7/9)

☐ ملخص ☐

إن الهدف من البحث هو دراسة تغيّر تحريضية ملفات طور واحد من أطوار محرك ردّي مقود بمبدلة إلكترونية ذي بنية خاصة تختلف جذرياً عن بنية المحركات الكهربائية التقليدية مع تغير زاوية دوران الدوار (α). إن هذه الزاوية تتحدد بالوضع المتبادل للأسنان الشديدة البروز للثابت والدوّار. إن المحرك المدروس يملك $\frac{Z_1}{2}$ طور، حيث Z_1 عدد أسنان الثابت.

بالإضافة إلى ذلك تم تحديد قيم التيار الموافقة لتغير هذه التحريضية عند كل زاوية دوران. وبناءً على ذلك تم تحديد الزاوية المثلى لإعطاء التغذية للطور المغذى، ثم تحديد الزاوية المثلى لقطع هذه التغذية عن الطور المغذى، حيث عند هذه الزاوية يجب أن تكون قيمة التيار أعظم ما يمكن، وذلك ليتحقق أعظم عزم ممكن، الذي بدوره يستطيع المحافظة على سرعة الدوران إلى اللحظة التالية لتغذية الطور المجاور، وبذلك نضمن عدم تشكيل عزوم معاكسة، و بالتالي عدم فقد بالطاقة.

* مدرس في قسم ؟؟؟؟ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (19) العدد (5) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (19) No (5) 1997

THE ANALYTIC STUDY OF THE RELATION BETWEEN THE VARIATION OF ONE PHASE INDUCTION-COILS OF REACTIVE MOTOR LED BY AN ELECTRIC VARIATOR

Dr: Zaid BADR*

(Accepted 9/7/1997)

❐ ABSTRACT ❐

The aim of this work is to study the variation of one phase induction – coils of a reactive motor led by an electric variator. The characteristic of this motor is complicated different from that of the classical electric motors. And varies with the revaluation of the rotating angle (α). This angle could determined by the variable position of the long teeth of the fixed and rotating parts of this motor, which has a $\frac{Z_1}{2}$ phase, where Z_1 is the number of the fixed teeth.

Also, we have determined the current – values that correspond to that induction case at each rotating angle. This led to the optimum – angle – determination for the cut – off this phase – feeding, at this angle, the value of that current should be maximum to verify maximum momentum to keep the rotating velocity to the next stage of the phase – rotating. This will help us to avoid an inure momentum. And avoiding to loss in the energy.

*Teacher at Electrical Power Department at Mechanical and Electrical Engineering Faculty –Tishreen-University–Lattakia-Syria

1- المقدمة:

في غمرة التطور السريع لتصميم وتصنيع الآلات الكهربائية، تطلب إدخال مكنف لأنواع مختلفة من الآلات الكهربائية الخاصة. أهم نوع من هذه الآلات تلك التي تعمل وفق أنظمة التحكم الترددي المغذاة من مبدلات ترددية، والتي تدخل في تركيبها الأساسي عناصر أنصاف النواقل، الشكل رقم (1)، حيث في الآونة الأخيرة طرأ تطور كبير على هذه العناصر الإلكترونية. هذه الآلات هي محركات رتيّة متوافقة ذات بنية خاصة تختلف جذرياً عن بنية المحركات التقليدية، الشكل رقم (2).

من الشكل رقم (2) يتضح أن كلاً من الثابت والدوّار يملك أقطاباً (أسناناً) شديدة البروز، والفرق بين عدديهما صغير، وعادة يبلغ (2)، حيث هذا الرقم الأمثل لتحقيق قوى الشد المماسية اللازمة على أوجه أقطاب (أسنان) الدوّار، و المتشكلة بفعل الفيض المغناطيسي للثابت عند اعتبار التغذية المتتالية للأطوار، وبهذا الشكل يكون توضع أسنان الدوّار بالنسبة لأسنان الثابت أفضل ما يمكن لتحقيق الغاية السابقة.

إن اختيار Z_1,Z_2 (عدد أسنان الثابت والدوّار على التوالي) له قيمة تصميمية كبيرة في تحديد المجال التصميمي لمجموع زوايا المنطقة العاملة $\alpha_p = \frac{4\pi}{Z_1 Z_2}$ والموافقة لإعطاء وقطع التغذية عن طور واحد، في هذا السياق يمكن القول إن القيمة العملية لاختيار Z_1,Z_2 لهذه المحركات يشبه تقريباً القيمة العملية لاختيار Z_1,Z_2 في المحركات الخطوية والتي تلعب دوراً كبيراً في تحديد مطال الخطوة.

كل طور من أطوار المحرك المدروس عبارة عن وشائع ملفوفة على سنّين متقابلين من أسنان الثابت، في حين الدوّار لا يملك أية ملفات. يتبين من الشكل رقم (2) أن وشائع أطوار المحركات المدروسة تتغذى بتوتر مستمر غير جيبي، حيث تغذية أطوار المحرك المدروس تتم بالتتالي بواساطة المبدلة الإلكترونية كل على حدة، فعند تغذية طور واحد يجب أن يقطع الدوّار زاوية المنطقة العاملة التصميمية (α_p)[1،5].

يقصد بتغذية طور واحد إعطاء التغذية (تطبيق التوتر المقود) ثم قطع هذه التغذية عنه، عند ذلك يدور الدوّار بالزاوية السابقة الذكر. وهكذا تتكرر آلية تغذية الأطوار الأخرى المجاورة لينجز الدوّار حركته المستمرة الدورانية.

يبين الشكل رقم (3) منحنيات الجهد والتيار عند التغذية المتتالية لمختلف الأطوار. تعاقب الأطوار على الشكل السابق يبدأ من الطور (A) حتى الطور (D)، ثم يعود من جديد إلى الطور (A). نلاحظ من منحنيات التيار لمختلف الأطوار المتبادل للحقول المغناطيسية للأطوار المختلفة بعضها على بعض، حيث لا يمكن إهمال هذا التأثير عند الدراسة وفق

الموديل اللاخطي للحقل المغناطيسي الكلي للآلة المدروسة. بينما يمكن إهمال هذا التأثير عند الدراسة وفق الموديل الخطي للحقل المغناطيسي الكلي للمحرك.

تُدرس عادة نظرية وخواص الآلات الكهربائية ذات البنية الاعتيادية، بما فيها الرتيبة على افتراض أن جميع القيم الكهربائية والمغناطيسية جيبية[2،4]. أما في المحركات الرتيبة المقودة، فإن هذه الفرضية بعيدة عن الواقع. إن الميزة الأساسية لهذه المحركات هي أن الثوابت التحريضية للملفات تعتبر تابعاً متغيراً بتغير مواضع الثابت والدوار المسننين بالنسبة لبعضهما البعض[5].

2- الموديل الكهرومغناطيسي لهذه المحركات:

بسبب أن وشائع أطوار المحركات المدروسة تُلف بشكل متمركز على أسنان بارزة، وتتغذى بتوتر غير جيبي، يمكننا عندئذٍ تمثيل كل طور بدارة مغناطيسية، الشكل رقم (4) والمسماة بالحلقة المغناطيسية هذه الحلقة عبارة عن قلب كهرومغناطيسي ثابت تُلف عليه وشيعة وقلب كهرومغناطيسي آخر متحرك، تفصل بين هذين القلبين ثغرة هوائية، وشيعة هذه الدارة تتغذّى من المنبع المستمر U(t)[1،5].

عند تغذية الوشيعة بالتوتر المستمر U(t)، فإن خطوط الحقل المغناطيسي المتشكل في الدارة تحاول إغلاق مسارها بالحديد الكهرومغناطيسية للجزء الثابت والمتحرك من خلال الثغرة الهوائية، عند ذلك تظهر قوى مغناطيسية محمولة على مسارات هذه الخطوط تؤثر على الجزء المتحرك لينجذب نحو الجزء الثابت. عند قطع التغذية عن لفات الوشيعة للحلقة المغناطيسية تتلاشى بسرعة القوى المحركة المغناطيسية في الدارة، والجزء المتحرك يعود إلى وضعه السابق قبل التغذية.

يعتبر المحرك المدروس مجموعة من هذه الحلقات المغناطيسية، حيث الدوّار في المحرك يوافق الجسم المتحرك في الحلقة المغناطيسية، أما الجزء الثابت في المحرك فيوافق الجزء الثابت في الحلقة. عند تغذية كل طور في المحرك، تنشأ قوى محركة مغناطيسية تؤثر على الدوّار فتجبره على الدوران باتجاه تقليل المقاومة المغناطيسية بين أسنان الثابت والدوّار، بينما عند قطع التغذية عن الطور المغذّى، فإن قوى الشد المغناطيسية تتناقص بسرعة كبيرة بسبب تغير قطبية التوتر المقاد في المبدلة الإلكترونية، الشكل رقم (2). وهكذا فإن آلية تغذية الأطوار تتكرر بعملية إعطاء وقطع التوتر المقاد.

3- تصميم موضوع البحث:

تلعب المقاومة المغناطيسية للثغرة الهوائية بين أسنان الثابت والدوار في المحركات المدروسة، وبين الجزء الثابت والجزء المتحرك في الموديل الكهرومغناطيسي لهذه المحركات دوراً كبيراً في تحديد قيمة التيار المار في ملفات الأطوار أو في لفّات وشيعة الحلقة الكهرومغناطيسية المذكورة. فكلما كبرت المقاومة المغناطيسية، كلما توجّب زيادة التيار في الملفات، حيث هذا التيار بشكل القوى المغناطيسية اللازمة للتغلب على المقاومة المغناطيسية الموجودة[2،3].

تتناسب محارضة الملفات في الدارة المغناطيسية عكساً مع المقاومة المغناطيسية لهذه الدارة، مما سبق نستنتج أن قيمة التيار في الملفات تتعلق بقيمة محارضة ملفات الدارة المغناطيسية، وكذلك بالتوتر $U(t)$. لذلك يمكن القول أن شكل منحني التيار في ملفات المحرك المدروس أو في لفات وشيعة الحلقة المغناطيسية يتعلق بالعوامل التالية:

آ- تغير الناقلية المغناطيسية للثغرة الهوائية عند دوران الدوّار بالنسبة للمحرك، أو عند تحرك القلب المتحرك بالنسبة للحلقة المغناطيسية.

ب- شكل وقيمة التوتر المطبق على الملفات.

من المهم جداً الآن التوصل إلى شكل منحني التيار المار في الملفات بدلالة تغير محارضة هذه الملفات عند دوران الدوار. وهذا يرشدنا إلى حل مسألة تصميمية مهمة جداً لهذه الأنواع من الآلات المتمثلة في معرفة زوايا المنطقة العاملة (α_p) ضمن مجال زوايا تغير منحني محارضة كل طور، وتصميم زوايا إعطاء وقطع التغذية عن الطور المغذّى، أي معرفة التوضع النسبي للدوّار مع الثابت عند كل تغذية ليتم تأمين دوران مستقر بدون حدوث عزوم معاكسة وفقدان في الطاقة.

4- دراسة أثر محارضة ملفات الثابت على قيمة التيار المار في هذه الملفات:

من مميزات المحركات الردّية المقادة بأن محارضة الملفات لا يمكن اعتبارها ثابتة، كما هو الحال عند دراسة مختلف الآلات الكهربائية التقليدية. إن تغير محارضة الملفات يعتبر تابعاً لتغير زاوية دوران الدوّار (α)، حيث المقاومة المغناطيسية للدارة المغناطيسية للطور الواحد تتناسب عكساً مع محارضة ملفات هذا الطور تبعاً لتوضع الأقطاب البارزة للثابت والدوّار بعضها بالنسبة لبعض عند كل زاوية دوران (α).

عندما نتكلم عن تغير توضع الأسنان بعضها بالنسبة لبعض عند الدوران، يعني أننا نتكلم عن تغير محارضة الملفات تبعاً لتغير زاوية الدوران (α).

يمكننا، حسب فوريير، كتابة علاقة رياضية تعبّر عن المحارضة المتغيرة L(α) لطور واحد في هذه المحركات كما يلي:[1،3،5]

$$L(\alpha) = L_0 + L_1 \cos\alpha \quad (1)$$

حيث: L_0- قيمة المحارضة الوسطية، L_1- القيمة العظمى للمدروج الأول للمحارضة المتغيرة.

يمكن إيجاد منحني المحارضة المتغيرة L(α)، الشكل رقم (6) من خلال جملة المنحنيات $\psi = f(i)$، الشكل رقم (5) المأخوذة تجريبياً لنوع من المحركات PLD132 ذو استطاعة 7.5 كيلووات عند تغذية طور واحد وفقاً لزوايا دوران مختلفة. هذه المنحنيات أخذت في الصين الشعبية، عند سرعة دوران 1500د/د، وذلك بعد تطبيق العلاقة:

$$L(\alpha) = \frac{\psi(\alpha)}{i}$$

يجب الإشارة هنا إلى أن الزاوية (α) هي عبارة عن زاوية هندسية تتغير ضمن المجال $\left[0 + \frac{\pi}{Z_2}\right]$.

تيار الحالة العابرة المار في طور واحد هو عبارة عن حل المعادلة لتوترات الحالة العابرة لطور واحد، والتي تكتب بالشكل التالي:

$$U = Ri + L(\alpha)\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}$$

أو بالشكل التالي:

$$U = Ri + \omega(\alpha)\frac{di}{d\alpha} + i\omega\frac{d(\alpha)}{d\alpha} \quad (2)$$

حيث $\omega = \alpha t$- التردد الزاوي للدوّار، U- التوتر المطبق على ملفات الطور الواحد، i- التيار المار في طور واحد، R- المقاومة الفعالة لطور واحد.

$$\frac{di}{d\alpha} + i\frac{R - \omega L_1 \sin(\alpha)}{\omega\left(L_0 + L_1 \cos(\alpha)\right)} = \frac{U}{\omega\left(L_0 + L_1 \cos(\alpha)\right)} \quad (3)$$

تكتب المعادلة (3) بالشكل التالي:

$$i + ip(\alpha) = Q(\alpha) \quad (4)$$

إن المعادلة (4) معادلة تفاضلية خطية من الدرجة الأولى يمكن حلّها إذا أمكن إيجاد تكامل الحدود Q(α),P(α)، لكن اتضح أن هذه الحدود لا يمكن إيجاد تكاملها في المراجع الرياضية، لذلك تم اللجوء إلى طرق بسيطة للتعبير بشكل رياضي آخر عن منحني المحارضة، حيث تم تقسيم المنحني L(α) الموافق للتيار I = 5A إلى خمسة مستقيمات، تكتب معادلة كل منهم بالشكل التالي:

$$L(\alpha) = B_0 + B_1\alpha \quad (5)$$

حيث: B_0- القيمة الابتدائية للمستقيم، B_1- ميل المستقيم.

بعد تعويض (5) في (2) نحصل على معادلة للمعادلة (3)، وحلها يشبه تماماً حل المعادلة التفاضلية الخطية من الدرجة الأولى حسب المعادلة (4). وبذلك يمكن إيجاد معادلة التيار المار في الملفات بدلالة (B_1,B_0) لكل جزء من الأجزاء الخمسة لتابع التحريضية $L(\alpha)$، إن هذه المعادلة تبدو على الشكل التالي:

$$i = \frac{U}{R+\omega B_1} + \frac{C}{\left(\omega B_0 + \omega B_1\right)^{\frac{(R+\omega B_1)}{\omega B_1}}} \quad (6)$$

حيث: C- ثابت يتعلق بالشروط الابتدائية للحالة العابرة.

التوتر (U) في الحد الأول من المعادلة (6) يكون بإشارة موجبة أثناء إعطاء التغذية للطور، ويكون بإشارة سالبة أثناء قطع التغذية عن الطور المذكور حسب مبدأ عمل هذه الآلات، حيث تنعكس قطبية التوتر المقاد في المبدلة الإلكترونية. أثناء تطبيق المعادلة (6) فإن البارامترات $(B_0),(B_1)$ يجب أن تتغير عند الانتقال من مستقيم إلى آخر على المنحني $L(\alpha)$. تم إيجاد تيارات الحالة العابرة عند زوايا دوران مفترضة للدوار $\alpha = 0,1.5^{\circ},2^{\circ},3^{\circ},5^{\circ}$. أي أن محاور أقطاب الدوّار والثابت تبتعد بعضها عن بعض بالمسافات الزاوية التالية:
$(30^{\circ},28.5^{\circ},28^{\circ},27^{\circ},25^{\circ})$

بهدف إيجاد قيمة التيار الأعظمي الذي يحقق العزم الأعظمي خلال المجال $\left[0+\frac{\pi}{Z_2}\right]$، تم إيجاد تيار الطور بواسطة المعادلة (6) على امتداد زوايا المجال المذكور، وذلك عندما يكون التوتر (U) بإشارة موجبة، وهذا يوافق إعطاء التغذية للطور المغذّى. لقد تبين أن محني التيار في المجال المذكور يتنامى بسرعة كبيرة عند التحريضية الصغرى للملفات إلى أعظم ما يمكن، ثم يتناقص بشكل أسي تقريباً إلى قيمة معينة في نهاية المجال.

من المنحنيات السابقة يتضح أن العزم الأعظمي الذي يتحقق عند أعظم تيار يوافق زوايا انزياح مطابقة لثلث مجال الزوايا المذكورة للمحركات المدروسة عند كافة حالات التغذية السابقة، والمبينة على الشكل (6).

إن قطع التغذية عن الطور المغذّى يجب أن يتحقق عند لحظة العزم الأعظمي، لأن العزم الأعظمي في لحظة قطع التغذية يستطيع أن يؤمن دوران الدوّار نفسها بالسرعة السابقة للدوران إلى اللحظة التالية لتغذية الطور المجاور، وبالتالي يمكن استنتاج الزاوية المثلى لقطع التغذية عن الطور المغذّى والمتمثلة بالزاوية التي توافق ثلث مجال زوايا تغير منحني التيار. عند قطع التغذية، التوتر في المعادلة (6) يصبح بإشارة سالبة[5،1]، ولذلك يهبط التيار

بسرعة كبيرة (الخط المنقط) من الشكل رقم (6). يمكننا من الشكل رقم (6) إيجاد زوايا المناطق العاملة لكل حالة تغذية من الحالات السابقة ($\alpha_0, \alpha_{15}, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_9$).

إن مجموع زوايا المنطقة العاملة (α_p) هي عبارة عن مجموع مجالين لزوايا دوران الدوّار أثناء تغذية طور واحد، وهما: مجال زوايا دوران الدوّار أثناء إعطاء التغذية والموافق للمنحني الصاعد للتيار والمرسوم بالخط المستمر، ومجال زوايا دوران الدوّار عند قطع التغذية والموافق للمنحني الهابط للتيار والمرسوم بالخط المنقط في الشكل رقم (6).

لكي نضمن عدم ظهور عزوم معاكسة، وبالتالي زيادة في فقد الطاقة، وظهور ضجيج مرافق للدوران، مما يؤثر سلباً على بارامترات خرج الآلة، يجب أن نحرص بأن يقطع الدوّار عند تغذية طور واحد زاوية المنطقة العاملة التصميمية $\left(\alpha_p = \frac{4\pi}{Z_1.Z_2}\right)$.

ضمن هذا الاعتبار وبعد معرفة الزاوية المثلى لقطع التغذية عن الطور المغذّى، يمكننا معرفة الزاوية المثلى لإعطاء التغذية للطور، لذلك نلجأ إلى مقارنة مختلف مجالات زوايا المناطق العاملة الموافقة لمنحنيات التيار، على الشكل (6) مع مجال زوايا المنطقة العاملة التصميمية. بالنتيجة تبين أن المجال α_2 والمجال α_3 هما الأقرب إلى مجال زوايا المنطقة العاملة التصميمية (α_p)، عندئذٍ يمكن تقدير الزاوية المثلى لإعطاء التغذية للطور، والتي تقع ضمن المجال (2.5÷2) للمحركات المدروسة، أي أن محاور أسنان الدوّار والثابت للطور المغذّى يجب أن تبتعد بعضها عن بعض في لحظة بداية التغذية بمسافات زاوية قدرها [$27.5^\circ \div 28^\circ$] أو $\left[(0.91 \div 0.93)\frac{\pi}{Z_2}\right]$.

5- ميزات ومجال استخدام المحركات المدروسة:

إن المحرك المدروس يملك ميزات جديدة بالاهتمام تجعله يدخل المزاحمة مع جميع الآلات الكهربائية، سواء كانت متواقتة أم غير متواقتة، ردّية أو خطوية، وحتى الآلات المتواقتة ذات المغانط الدائمة.

إن هذه المحركات تملك وفراً كبيراً في النحاس يعادل 70% بالمقارنة مع المحركات التقليدية، حيث الدوّار لا يتطلب أي ملف بالإضافة إلى أن ملف الثابت سهل التحضير، وهو عبارة عن وشائع غليظة المقطع ومتمركزة على أسنان الثابت، والتي تشغل حوالي 35% من محيط دائرة الثابت. وبالتالي تكون الضياعات النحاسية صغيرة نسبياً، مما يؤثر على ارتفاع المردود.

ارتفاع المردود يأتي أيضاً من انخفاض الضياعات المغناطيسية الناتجة عن الإشعاع المغناطيسي وتيارات فوكو، حيث من خصائص هذا المحرك، إنه يعمل في مناطق عدم الإشباع المغناطيسي.

إن المحركات المدروسة لا تتطلب نظاماً للتبريد على الدوّار، بسبب ضعف الضياعات فيه، وعدم احتوائه على لفات نحاسية، بينما الثابت قد يتطلب إلى نظام تبريد بسيط الشكل عند الاستطاعات العالية. كل ذلك ينعكس على انخفاض حجم هذه المحركات. أضف إلى ذلك أن المبدلة الإلكترونية التي تغذّي المحرك بسيطة الصنع ومنخفضة التكاليف بسبب قلة العناصر الإلكترونية.

أما موثوقية هذا المحرك في العمل فتعليلها عدم احتواء هذا المحرك على أية نقاط تماس مع الدوّار لنقل التيار إليه لتهييجه، كما أن تركيز اللفات النحاسية على أقطاب بارزة للثابت لا تشغّل سوى 35% من محيط دائرة الثابت يقلل من إمكانية أعطال هذا المحرك، ولذلك يستخدم هذا المحرك في أصعب الظروف، وحتى في ظروف الحريق، كما أنه يستخدم لإدارة مختلف الآليات الميكانيكية، ويمكن استخدامه لإدارة الآليات المنزلية بشرط توفر التوتر المستمر الماقد من مبدلة إلكترونية أو من منبع مستقل.

إن مجموع سعر المبدلة مع المحرك لا يساوي سوى 60-80% من سعر المحركات الأخرى، التي تملك المؤشرات الطاقية نفسها، كالمردود والاستطاعة والحجم وذلك وفق معطيات الشركة البريطانية الصانعة (TASC).

6- نتائج البحث:

1- تعتبر تحريضية ملفات المحركات الردّية المقادة تابعاً متغيراً لتغير توضع أسنان الثابت بالنسبة لأسنان الدوّار، وهذا الوضع المتبادل يتمثل بزاوية دوران (α).

2- المحركات المدروسة تتبئ بآفاق مستقبلية كبيرة للاستخدام الطاقي نظراً لارتفاع مؤشراتها الطاقية، كالمردود والاستطاعة أو الحجم والموثوقية العالية في العمل.

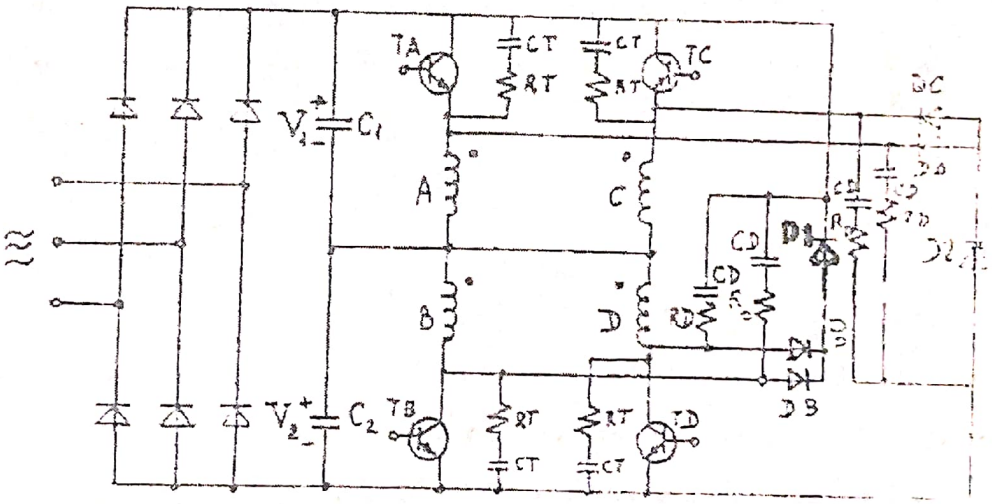
3- المحركات المدروسة تملك بنية خاصة تختلف جذرياً عن بنية المحركات التقليدية، مما يتطلب طرقاً خاصة لدراسة خواصها.

4- يتنامى منحني التيار في هذه الملفات عند إعطاء التغذية بسرعة كبيرة عند التحريضية الصغرى للملفات ليبلغ أعظم ما يمكن عند الزاوية الموافقة لثلث مجال تغير تحريضية الملفات، بينما يتناقص بشكل سريع عند قطع التغذية نظراً لانعكاس إشارة التوتر المقاد (U)، الشكل رقم (6).

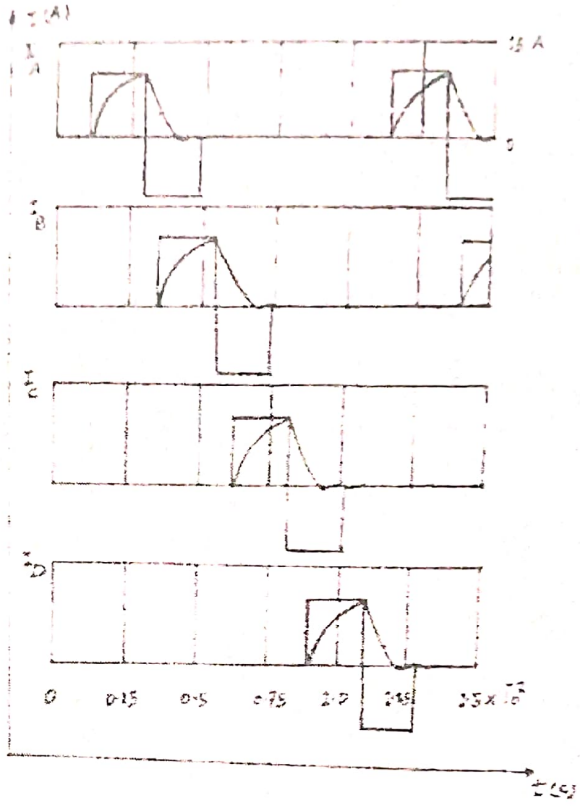
5- تعتبر الزاوية المثلى لقطع التغذية عن الطور المغذّي هي الزاوية نفسها المقابلة لثلث مجال زوايا تغير منحني تحريضية الملفات، نظراً لأنه عند هذه الزاوية يبلغ التيار أعلى قيمة ممكنة، وبالتالي يمكن الحصول على أعظم عزم ممكن، والذي بدوره يحافظ على سرعة الدوران إلى اللحظة التالية لتغذية الطور التالي (المجاور) رغم قطع التغذية عن الطور المغذّى.

6- مجموع زوايا الدوران الموافقة لإعطاء التغذية أكبر من مجموع زوايا الدوران الموافقة لقطع التغذية عن الطور المغذّى بمقدار الضعف على الأقل، حيث أن مجموع زوايا هذين المجالين يمثل مجموع زوايا المنطقة العاملة التصميمية، و البالغة: $\left(\frac{4\pi}{Z_1.Z_2}\right)$.

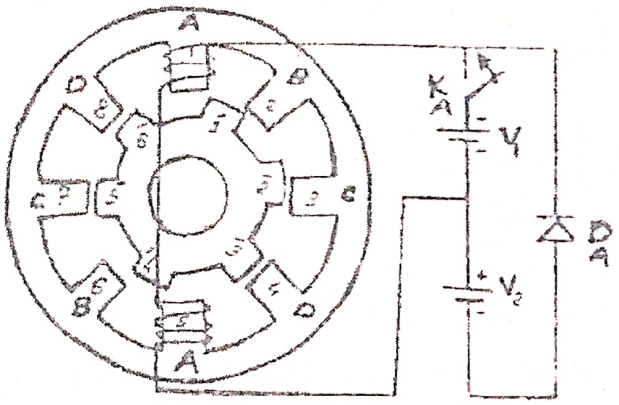
7- بعد اعتبار مفهوم زوايا المنطقة العاملة التصميمية (α_p) تم التوصل إلى تقدير الزاوية المثلى لإعطاء التغذية التي تؤمن الظروف المثلى لعمل هذه الآلات، حيث تم التوصل إلى أنه يجب أن تبتعد أسنان الثابت عن أسنان الدوّار عند اللحظة الأولى لتغذية طور واحد بزاوية قدرها $(0.91 \div 0.93)\frac{\pi}{Z_2}$.



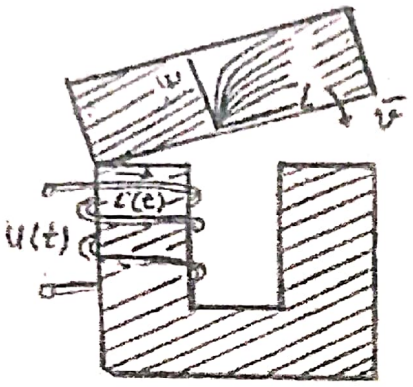
شكل (1): المبدلة الإلكترونية التي تغذّي أطوار المحرك



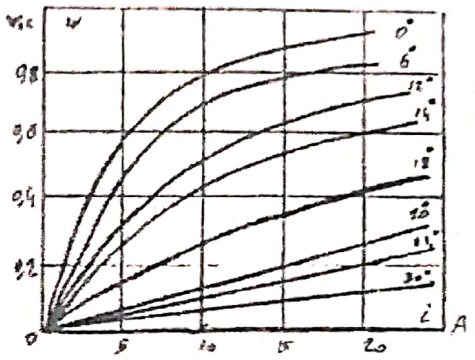
شكل (2): دارة تغذية طور واحد



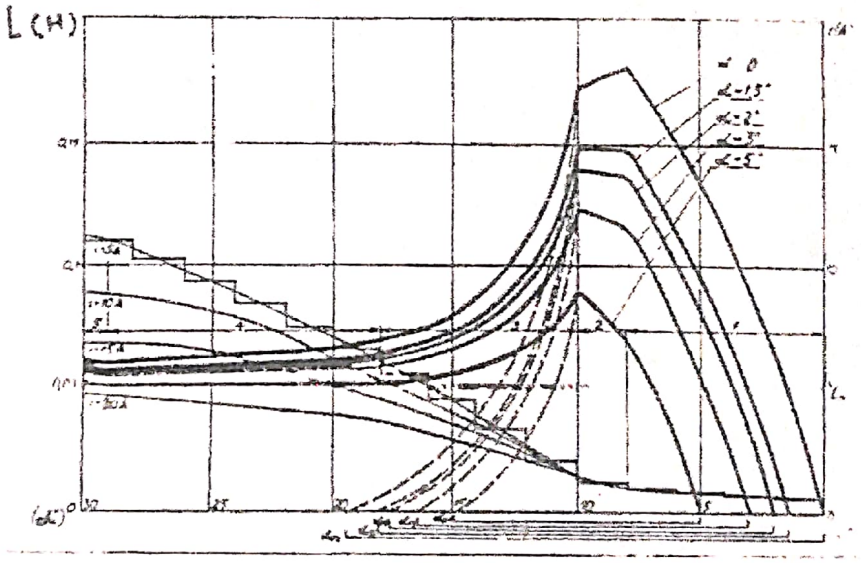
شكل (3): تيارات الأطوار الأربع للمحرك المدروس باستطاعة 7.5 KW وعند تحميل 25% وسرعة دوران 1000 RPM



الشكل (4)



الشكل (5)



شكل (6): تابع علاقة التيار المار في ملف الثابت مع زاوية دوران الدوّار (α)

ـــــ التيار المتناهي في الملفات عند تطبيق التوتر على الطور المغذّى عند مواضع مختلفة لأسنان الثابت بالنسبة لأسنان الدوّار.

--- التيار التناقص في الملفات عند إزالة التوتر عن الطور المغذّى.

α_{p0}، $\alpha_{p1.5}$، α_{p2}، α_{p3}، α_{p5}،- مجالات زوايا المناطق العاملة والموافقة لزوايا مختلفة لإعطاء التغذية للطور.

7- المراجع REFERENCES

[1]- إعداد طرق ونماذج حساب وتصميم المحركات الردّية الصمامية، كوزينتسوف ف.أ. روسيا – موسكو 1990.

[2]- الطريقة العامة لحساب الظواهر الكهرومغناطيسية في الآلات الكهربائية، يفانوف سمالنسكي أ.ب. موسكو 1986.

[3]- حساب التحريضية في الدارات الكهربائية، ب.ل. كالانتاروف، ل.أ. تشلين – موسكو 1986.

[4]- الآلات الكهربائية المتواقتة، د.زيد بدر – منشورات جامعة تشرين للعام الدراسي 1995-1996.

[5]- المحركات الردّية المقادة بالمبدلات الثايرستورية، د.زيد بدر – أسبوع العلم الرابع والثلاثون – دمشق 1994.