أثر سرعة الدوران وتيار التحميل في التبديل وظهور الشرر في محركات التيار المستمر المكروية

الدكتور المهندس سعيد وهبي[1]

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير سرعة الدوران وشدة تيار المتحـرض أو تيارالتحميـل لمحرك التيار المستمر المكروي في تيار التبديل فيه، ولاسيما في المرحلة الأخيرة منه التي يظهر خلالها الشرر الكهربائي على مجمع المحرك. ثم الوصول إلى نتيجة بخصوص علاقة زمن الشرر الكهربائي وشدته أو طاقته بسرعة دوران المحرك وبشـدة تيـار المتحـرض. استند البحث إلى تجارب مخبرية خاصة، وتوصل في نهايته إلى نتائج عملية مفيدة.

الكلمات المفتاحية: محركات التيار المستمر المكروية – تيار التحميل – تيار التبديل- تيـار المتحرض – سرعة الدوران، الشرر الكهربائي.

[1] كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

1- مقدمة:

إن مشكلة التبديل وظهور الشرر على المجمع في محركات التيار المستمر المكروية (micro dc motors) هي مشكلة قديمة حديثة، ظهرت مع تطور هذا النوع من المحركات الصغيرة، وما زالت تلقى اهتمام الباحثين للحد من ظهور هذا الشرر أو الإقلال منه بغية إطالة عمر عمل هذه المحركات وتحسين أدائها. إن هذا النوع من المحركات[1] و [2] و [4] و [5] و [11] لا يزال يستخدم على نطاق واسع، ويتزايد كذلك استخدامه نظراً للتطور التقني المتزايد في العالم، وذلك لما يتمتع به هذا المحرك من مزايا عديدة كسرعة الاستجابة ودقة الأداء والمردود العالي والوثوقية فضلاً عن حجمه الصغير نسبياً الذي يسمح باستخدامه في التجهيزات الكهربائية الحديثة.

عمل [2] و[3] و[7] على دراسة التبديل في محركات التيار المستمر المكروية. وبينوا من خلال تجاربهم المخبرية على أنواعها شكل تيار التبديل (commutation current)، والمراحل المختلفة التي يمر بها عند انتقاله من صفيحة مجمع إلى أخرى.

وتمكن [7] من رسم منحني تيار التبديل في محركات التيار المستمر المكروية بمراحله المختلفة، وقارن بين هذا التيار في هذا النوع من الآلات بمثيلاتها من آلات التيار المستمر التقليدية، وبين من خلال التجارب المخبرية شكل منحنى تيار التبديل في مرحلته الأخيرة التي يظهر خلالها الشرر على المجمع.

واستطاع [2] بفضل تطور أجهزة القياس أن يرسم بدقة أكثر شكل تيار التبديل، ولاسيما في مرحلته الأخيرة التي يندلع خلالها الشرر على المجمع، وأثبت أن سبب خروج محركات التيار المستمر المكروية عن أداء عملها المطلوب من حيث السرعة والعزم هو عملية التبديل فيها، أي قصر إحدى وشائع المتحرض في أثناء الدوران، ومن ثم عدم مشاركة هذه الوشيعة في إنتاج القوة المحركة الكهربائية في المتحرض، مما يؤدي إلى تغير في سرعة الدوران وكذلك العزم عند كل عملية تبديل. وبين [2]

و[3] وبالأرقام مقدار التغير النسبي في السرعة والعزم لأحد أنواع هـذه المحركـات التي أجروا عليها تجاربهم.

[3] أظهر كيفية تآكل جهاز التبديل في محركات التيار المستمر المكروية كتابع لزمن تشغيلها، وحدد مقدار هذا التآكل. واستطاع أيضاً أن يقدر عمر العمل الزمني التقريبي المتوقع لهذا النوع من المحركات. إلا أن النتيجة الأهم التي توصل إليها [3] من خلال تجاربه العملية على محركات تيار مستمر مكروية هي التي بين فيها أن زمن المرحلة الأخيرة من التبديل، وهو الزمن الذي ينشأ فيه الشرر الكهربائي، ربما يتعلق، من أجل المحرك نفسه الذي أجرى عليه تجاربه، بسرعة دوران (rotation speed) المحـرك وبتيار المتحرض (armature current) وبمحددات الوشيعة الواقعـة تحـت التبـديل كمقاومتها الأومية وعامل التحريض الذاتي لها والتوتر الواقع عليها. وذكـر [3] فـي خلاصة بحثه أن هذه النتيجة التي توصل إليها تحتاج إلى المزيد من الدراسة والبحث. وباعتبار أن السبب الرئيسي لتآكل واهتراء جهاز التبديل الذي يؤدي بدوره إلى توقف المحرك المكروي عن الدوران يعود 90% منه للشرر الكهربائي (electrical spark) المشتعل في المجمع عند التبديل[7] و[8]، فإن معرفة العوامل المؤثرة في اندلاع هذا الشرر في جهاز التبديل، وكذلك العوامل التي تزيد في مدة وشدة اشتعال هذا الشـرر ستفيد المهتمين بهذا النوع من الآلات للعمل- قدر الإمكان- على تجنب هذه العوامـل أو الحد منها على الأقل، وذلك بغية إطالة عمر عمل هذه المحركات.

إن النتيجة التي توصل إليها [3] قادتنا إلى العمل على دراسة تأثير كلٍ مـن سـرعة دوران وتيار متحرض، والذي يكون هو نفسه تيار تحميل (load current)، محرك التيار المستمر على تيار التبديل فيه بمراحله المختلفة، ولاسيما المرحلة الأخيرة منـه التي يظهر خلالها الشرر على المجمع، رغبة بالتوصل إلى علاقة تفيد فـي معرفـة تأثير العاملين السابقين بمدة الشرر الكهربائي وشدته أو بطاقته على مجمع المحـرك،

وذلك من خلال تجارب مخبرية على أحد أنواع محركات التيار المستمر المكروية الشائعة الاستخدام.

2 – الميزات الخاصة بمحركات التيار المستمر المكروية:

لعل أهم ما يميز هذا النوع من المحركات مقارنة بمحركات التيار المستمر التقليدية والمعروفة [4] و[5]و[1] و[7] هو:

1- إن جميع أنواعها ذات تهييج مستقل بمغناطيس دائم. وهي على أحد ثلاثة أشكال رئيسية:

a- ذات متحرض أجوف (المتحرض على شكل جرس).

b- ذات متحرض قرصي.

c- ذات متحرض خالي الأسنان.

2- تصنع بأنواعها لحجمها الصغير خاليةً من أقطاب تبديل، وكل ما من شأنه تحسين التبديل فيها.

3- المتحرض فيها خالٍ تماماً من الحديد. ملفاتها تحمل بعضها بعضاً. لذلك تكون عزوم عطالتها وثوابتها الكهروميكانيكية صغيرة جداً، مما يؤدي إلى تيارات وعزوم إقلاع أفضل، إنها سريعة في الاستجابة للحصول على العزم المطلوب، وضياعها قليل في الاستطاعة مما يحسن من مردودها.

4- المقاومة المغناطيسية لدارتها الحديدية كبيرة جداً، لأن المعدن المستخدم ذو ثابت نفاذية صغير جداً، ومن ثَم فإن رد فعل المتحرض بفعل تياره، وكذلك الحقل العامودي في الوشيعة الواقعة تحت التبديل صغير جداً ومهمل.

5- المسفرات المستخدمة فيها معدنية وذات سطح مستوٍ تماماً. هذا يؤدي إلى أن تقصر المسفرة صفيحتين فقط من صفائح المجمع في أثناء التبديل. أي أن وشيعة واحدة فقط وهي الموصولة بين هاتين الصفيحتين ستقع تحت التبديل. ومن ثَم يكون زمن التبديل فيها صغيراً نسبياً.

6- تكون المسفرات مشوبة بمعادن ثمينة (وهي غالباً من النحاس المشوب بالفضـة)، لذلك تكون مقاومة التماس بين المسفرات وصفائح المجمع صغيرةً جداً بحيث يمكـن إهمالها.

7- إن طرفي الوشيعة الواقعة تحت التبديل يقعان بآنٍ واحد بشكل متناظر تحت قطبي التحريض، لذلك تكون التوترات المتولدة بفعل الدوران في جانبي الوشيعة متعاكسـة وتلغي بعضها بعضاً.

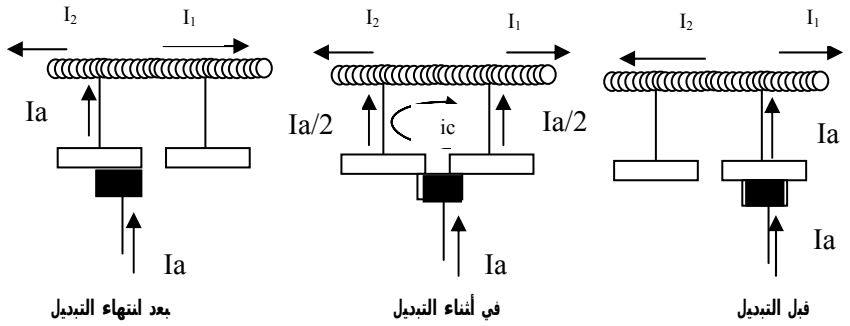
8- تؤدي مقاومة كلٍ من وشائع المتحرض دوراً كبيراً في عملية التبديل نظراً لقيمتها الكبيرة نسبياً على عكس محركات التيار المستمر التقليدية. الجدول(1).

9- يتولد شرر كهربائي في نهاية زمن التبديل بين المسفرة والصفيحة الراحلة، وذلك عند فك القصر عن الوشيعة الواقعة تحت التبديل بفعل توتر التحريض العالي نسـبياً والمتشكل بين هذين العنصرين المنفصلين عند الفصل وفقاً للعلاقة: $U= Ldi/dt$.

10- يشكل الشرر الكهربائي الناشىء عند التبديل على المجمع العامل الرئيسـي فـي تآكل جهاز التبديل المكون من المسفرات وصفائح المجمع. هذا التآكل يكـون 90% منه كهربائياً بفعل الشرر على المجمع و10% فقط ميكانيكي بفعل الاحتكـاك نتيجـة الدوران.

3- التبديل في محركات التيار المستمر المكروية:

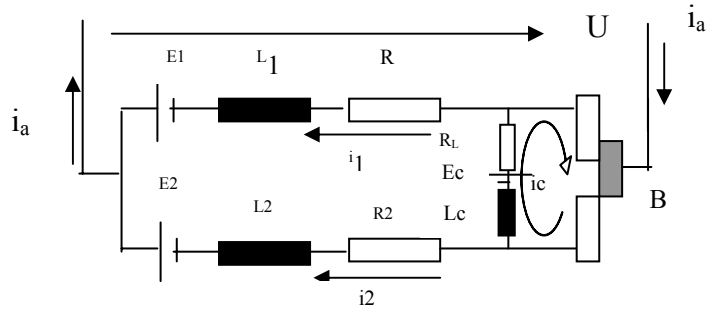
إن أهم ما يميز تيار التبديل في محركات التيار المستمر المكروية أنـه مـن النـوع المتباطىء [7]. وقد أوجز [3] و[2] آلية التبديل في هذا النوع من المحركات بشـكلٍ مبسط. وهي لا تختلف بشكلٍ عام عنها في آلات التيار المستمر التقليديـة، إلا فيمـا يخص ميزات هذه المحركات، والتي سبق ذكرها. وقد مثل [2] هذه العملية من خلال مراحل التبديل الأساسية المعروفة العامة المبينة بالأشكال (1):



الشكل (1) عملية التبديل في محركات التيار المستمر المكروية

يمكن إيجاز آلية التبديل في هذا النوع من المحركات كما يأتي [3]: ففي البدء تلامس المسفرة صفيحة واحدةً من صفائح المجمع، (الشكل (1) والشكل (2)) وينقسم تيار المتحرض في كلتا الدارتين التفرعيتين اللتين تشكلان كامل وشائع المتحرض. تيار كل فرع يتحدد من خلال عدد وشائع هذا الفرع. وبدوران المتحرض وانزلاق المسفرة من أمام المجمع تلامس المسفرة صفيحة أخرى أيضاً فضلاً عن الصفيحة السابقة من صفائح المجمع، فيتم قصر الوشيعة الموصلة طرفاها للصفيحتين ليمر فيها تيار قصر دوار. وينقسم تيار المتحرض في الدارتين التفرعيتين الجديدتين. وباستمرار دوران المتحرض تُزال عملية القصر عن الوشيعة الواقعة تحت التبديل لتعود المسفرة لتلامس صفيحة واحدةً فقط من صفائح المجمع، وهكذا تتكرر العملية.

رسم [2] الدارة المكافئة لمتحرض محرك التيار المستمر المكروي في أثناء عملية التبديل وقصر إحدى وشائعه بشكلٍ مبسط كما يبين الشكل (2):



الشكل (2) الدارة المكافئة لمتحرض المحرك المكروي مع الوشيعة الواقعة تحت التبديل

Rc: تمثل المقاومة الأومية للوشيعة الواحدة .

R_1 و R_2 : تمثل كلاً منهما مجموع مقاومات الوشائع التسلسلية في كل واحد من فرعي المتحرض.

Lc : عامل التحريض الذاتي للوشيعة الواحدة.

L1 و L_2 : عوامل التحريض الذاتية لكلٍ من الفرعين الأول والثاني من المتحرض.

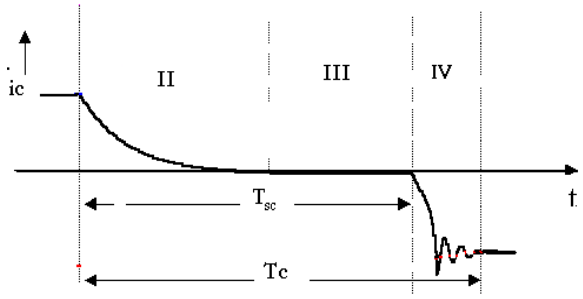
E_1 و E_2 و E_c : القوى المحركة الكهربائية المتولدة في كلٍ من الفرع الأول والفرع الثاني من المتحرض، وفي الوشيعة الواقعة تحت التبديل وقد فرضت ثابتة في أثناء التبديل.

U: توتر تشغيل المحرك. B : مسفرة . 1 و2 : أرقام صفائح المجمع

i_1 وi_2 و i_c و i_a تيارات كلٍ من الفرعين وتيار الدارة المقصورة وتيار التشغيل الاسمي.

4- تيار التبديل في محركات التيار المستمر المكروية:

رسم [2] و[3] و[7] تيار الوشيعة الواقعة تحت التبديل في محركات التيار المستمر المكروية على الشكل الآتي:



الشكل (3) منحني تيار المتحرض أثناء التبديل في مراحله المختلفة

حيث: T_c : زمن التبديل.

و T_{sc} : زمن القصر على الوشيعة المبدلة.

وقسم هؤلاء عملية التبديل في هذا النوع من المحركات إلى عدة مراحل كما يأتي:

I مرحلة ماقبل التبديل.

II مرحلة التبديل الأولى، وهي مرحلة دخول الوشيعة في حالة القصر.

III مرحلة التبديل الثانية، وهي مرحلة القصر التام على الوشـيعة الواقعـة تحـت التبديل.

IV مرحلة التبديل الثالثة أو الأخيرة، وهي عملية فك القصر عن الوشيعة المقصورة أو المبدلة وعودتها للمشاركة في فرع المتحرض الآخر علـى التسلسـل مـع بـاقي وشائعه.

V مرحلة مابعد التبديل، حيث تصبح الوشيعة المبدلة في الفرع الثاني من المتحـرض وبصورة تامة.

علل [2] و[7] الشكل الذي يأخذه منحنى تيار التبديل في مراحله المختلفة. وبـين [7] كذلك سبب وكيفية نشوء القوس الكهربائي في نهاية التبديل سنوجزه بما يأتي:

- إن تيارالتبديل في المرحلة الأولى منه (المرحلة II) هوعبارة عن تيـار القصـر الدوار في الوشيعة المقصورة، الذي تتحدد قيمته من خلال المقاومة الأومية للوشـيعة

وعامل التحريض الذاتي لها. و نظراً لأن زمن القصر في هذا النوع من المحركـات طويل جداً فيكون هذا الزمن أيضاً كافياً ليتناهى خلاله تيار التبديل وتصل قيمته تماماً إلى الصفر في نهاية هذه المرحلة.

- في مرحلة التبديل الثانية (المرحلة III) تكون الوشيعة المبدلة مقصورة تماماً ولا يمر فيها أي تيار. ويستمر تيارها مساوياً للصفر مدة تدوم (عنـد التشـغيل الأسـمي للمحرك[7]) عدة أضعاف من الثابت الزمني لهذه الوشيعة.وتكون وشائع المتحـرض مقسومة في فرعين متساويين تماماً في عددها، وبذلك يمر في كل واحد من الفـرعين نصف تيار المتحرض الكلي.

- المرحلة الثالثة أوالأخيرة من التبديل (المرحلة IV) وهي مرحلة ظهور الشـرر أو القوس الكهربائي على جهاز تبديل المحرك سنوردها هنا ثانيةً من [3] بإيجاز نظـراً لأهميتها في تآكل جهاز التبديل واهترائه، ومن ثَم تعطل المحرك وتوقفه عن الدوران كما يأتي:

انتهى تيار الوشيعة المبدلة في نهاية زمن القصر إلى قيمة تساوي الصفر، ولم يصـل هذا التيار إلى القيمة المتوجب عليه الوصول إليها في الفرع الثاني من المتحرض، فقد بقي فرق في التيار بين القيمة التي وصل إليها والقيمة المتوجب وصوله إليهـا، هـذا الفرق هو: [Δi]. ونتيجة لدوران المحرك ووجود فرق التيار هذا ووجـود عوامـل التحريض المختلفة في ملفات متحرض المحرك سينشأ تـوتر عـالي القيمـة وفقـاً للمعادلة:

$$u_s = l_{rest} \frac{di}{dt}$$

يدعى بتوتر القفزة أو التوتر القفزي. حيث: $\mathbf{di} = \Delta i$ وتمثل التيار المتبقي.

dt : تمثل زمن فك القصر عن الوشيعة المقصورة. أو تمثـل زمـن إعـادة وصـل الوشيعة المقصورة مع وشائع الفرع الثاني من المتحرض. أو أنه الـزمن المتوجـب خلاله أن تتغير قيمة تيار الوشيعة المقصورة من القيمة صفر في هـذا النـوع مـن المحركات إلى قيمة تيار الفرع الثاني من المتحرض الذي ستدخل فيه هـذه الوشـيعة

على التسلسل[3]. **Lrest**: تمثل عوامل التحريض الفعالة في ملفات المتحرض خلال الزمن dt، وقد بين [8] و[7] ماهية Lrest.

إن التوتر القفزي سينشأ بين الصفيحة التي انزلقت للتو من أمام المسـفرة (الصـفيحة الراحلة) ولم تعد على تماس معها وبين المسفرة نفسها، هـذه المسـفرة التـي زادت مساحة تماسها مع الصفيحة الموصولة بالفرع الآخر للوشيعة المبدلة. فإذا زادت قيمة توتر القفزة (U_s) على قيمة محددة، تتعلق هذه القيمة بشكل أساسـي بنوعيـة مـواد المسفرات وصفائح المجمع حسب [8] و[7] و[13] (هذه القيمة تساوي قرابة: 10 V للمحركات المختبرة حسب[7] و[8]) فإن هذا سيؤدي إلـى نشـوء قـوس أو شـرر كهربائي نظراً لوجود طاقة مختزنة في ملفات المتحرض تبحث لنفسها عن مخـرج. قيمة هذه الطاقة حددها [8] بالعلاقة الآتية:

$$w = L_{rest} \frac{(\Delta i)^2}{2}$$

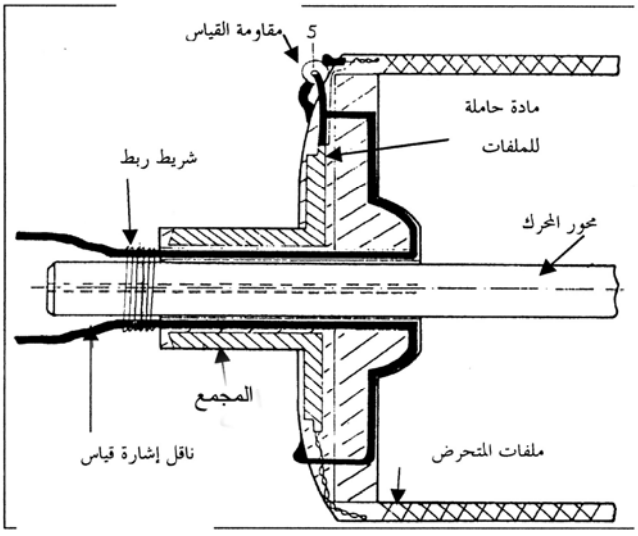
هذه الطاقة ستتفرغ على شكل شرر كهربائي بين العنصريين اللذين انفصلا للتـوعن بعضهما بعضاً وهما المسفرة والصفيحة الراحلة. يستمر اشتعال القوس حتى تتفـرغ كامل طاقته.

إلا أن اشتعال القوس الكهربائي يتسبب ثانيةً بإعادة وصل فيزيائي عبر بلازما القوس بين المسفرة ونصلة المجمع الراحلة. ليستمر عبر هذه البلازما مرور تيار في الوشيعة التي كانت مقصورة وانفك عنها القصر. شكل هذا التيار يحدده عناصر دارة الوشيعة التي يمر فيها، وهذه العناصر هي مقاومة الوشيعة الأومية وعامل التحريض الـذاتي لها والمكثف السعوي الناشىء بين كلٍ من العنصرين المنفصلين (المسـفرة والنصـلة الراحلة). وباستمرار دوران المحرك يبتعد أحد أقطـاب المكثـف (الصـفيحة) عـن الآخر(المسفرة) ليكون هذا المكثف بذلك متغير القيمة، ويستمر مرور تيـار الوشـيعة المبدلة عبر القوس الكهربائي إلى أن تتفرغ كامل طاقته لينطفأ بعدها. يكون للقـوس الكهربائي توتر ثابت طوال مدة اشتعاله وهو 10 V أيضاً[8] و[13]. يبـدأ القـوس اشتعاله بتيار عالٍ نسبياً ويستمر بالانخفاض حتى يصل إلى قيمة صغيرة جداً تقتـرب من الصفر أو تساويه فتتفرغ كامل طاقته وينطفأ.

إذاً بسبب وجود مقاومة الوشيعة وعامل تحريضها الذاتي والمكثف السعوي المتغير القيمة في دارتها يأخذ تيار الوشيعة المبدلة في المرحلة الأخيرة من التبديل، والذي يكون هنا هو عبارة عن تيار القوس، هذا الشكل الجيبي المتخامد. وتنتهي عملية التبديل بوصول تيار الوشيعة المبدلة إلى قيمة تيار الفرع الثاني من المتحرض، والذي تدخل فيه الوشيعة على التسلسل.

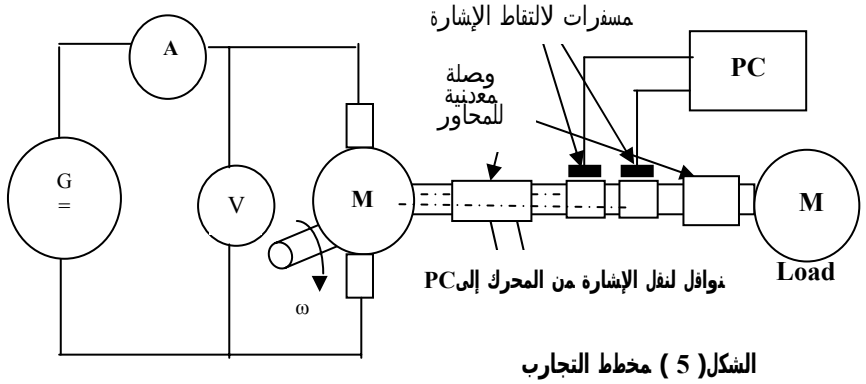
5 – التجارب المخبرية:

إن هذا البحث هو عبارة عن مساهمة لدراسة تأثير كلٍ من سرعة دوران المحرك و شدة تياره بالشرر الكهربائي الناتج في نهاية التبديل، أي في المرحلة الأخيرة منه والتي يشتعل خلالها هذا الشرر، وتحديد علاقة كلٍ من هذين العاملين بالشرر وذلك من خلال تجارب مخبرية خاصة أجريتْ لذلك. فقد أُجريتْ تجارب على أحد أنواع محركات التيار المستمر المكروية الشائعة الاستخدام. وهو النوع ذو المتحرض الأجوف. فقد قمنا بوصل مقاومة أومية بحتة، قيمتها تساوي الواحد أوم على التسلسل مع إحدى وشائع المتحرض وفقاً للشكل (4).



الشكل(4) وصل مقاومة تسلسلية مع إحدى وشائع المتحرض

وتم وصل ناقلين معزولين رفيعين جداً من طرفي هذه المقاومة. أمكـن إمرارهـذين الناقلين عبر مجمع المحرك إلى حلقتين نحاسيتين وضعتا على محـور مربـوط مـع محور المحرك المختبر بوصلة معدنية محكمة. وأمكن التقاط إشارة منحنـى التـوتر على طرفي المقاومة عبر مسفرتين معدنيتين ثابتتين تنزلق تحتهما الحلقتان النحاسيتان اللتان تدوران مع دوران محور المحرك.(اختيرت قيمة المقاومة الأومية بقيمة تساوي الأوم الواحد لتكون الإشارة الملتقطة عبر طرفيها هي إشارة تيـار أيضـاً: $i=^{u}/_{R}$). وصلت المسفرتان المعدنيتان عبر ناقل إلى مدخل حاسوب مجهز ببطاقة تحصـيل، وحمل المحرك بواسطة محرك آخر مناسب ربط على محور المحرك المراد اختبـاره وفقاً للشكل (5).



الشكل(5) مخطط التجارب

أُجريت التجارب على محرك تيار مستمر مكروي بالمواصفات الاسمية المدونة في الجدول (1)، وفقاً للمخطط المبين في الشكل (5).

خصائص المحرك المختبر:	القيمة:
توتر التشغيل الاسمي/ تيار التشغيل الاسمي	0.75 A / 12 V
سرعة الدوران الاسمية/سرعة دوران اللاحمل	5000/3000 min^{-1}
عدد وشائع المتحرض ويساوي عدد صفائح المجمع	13
قطر المحرك/قطر المجمع	6.5mm / 32 mm
عرض كل صفيحة من صفائح المجمع (قيمة وسطية قيست مخبرياً من مجموع عرض صفائح المجمع)	1.42 mm
عرض العازل بين صفائح المجمع (قيمة وسطية قيست مخبرياً من مجموع عرض العازل في المجمع)	0.15 mm
مقاومة التماس بين المسفرات والمجمع	0.02 Ω
القيمة المقيسة لمقاومة المتحرض (قيمة وسطية من مجموع مئة محرك)	5.33 Ω
عامل التحريض الذاتي للمتحرض (قيمة وسطية من مجموع مئة محرك)	150 µ H
مقاومة كل وشيعة من المتحرض (قيمة وسطية من مجموع مئة محرك)	1.65 Ω
عامل التحريض الذاتي لكل وشيعة (قيمة وسطية من مجموع مئة محرك)	46 µ H

الجدول(1) محددات محرك التيارالمستمرالمكروي المختبرحسب [11]و[7]و[6]

أُجري نوعان من الاختبارات على المحرك:

1 - اختبار **تأثير سرعة الدوران** في التبديل والشرر الناتج في نهاية عملية التبديل:

حيث تم تعديل سرعة الدوران والحفاظ على تيار متحرض ثابت، وذلك من خلال العمل على تثبيت تيار الحمل على القيمة نفسها دوماً عند كل تغير لسرعة الدوران. وتم في جهاز الحاسوب تسجيل إشارة منحنى تيار التبديل لإحدى وشائع المتحرض.

أُجريت التجارب عند سرعات دوران مختلفة للمحرك. وهذه السرعات كانت على سبيل المثال، ابتداء من سرعة دوران عظمى وهي سرعة اللاحمل نزولاً وعلى مراحل، وصولاً إلى قيمة سرعة دنيا، تم اختيارها بحيث ضمنت هذه استمرار المحرك بالدوران. وهذه السرعات كانت:

5000 min^{-1}, 4500 min^{-1}, 4000 min^{-1}, 35000 min^{-1}, 3000 min^{-1}, 2500 min^{-1}, 2000 min^{-1}, 15000 min^{-1}, 1000 min^{-1}, 500 min^{-1}.

وقد تم الحصول على سرعة الدوران المطلوبة بشكل مباشر من خلال تغير توتر تشغيل المحرك. وسجل عند كل واحدة من السرعات السابقة قياسات متعددة لمنحنى تيار التبديل.

2- اختبار **تأثير تيار المتحرض** في التبديل وفي الشرر الناتج في نهاية عملية التبديل:

تم تغيير تيار المتحرض والذي هو في الوقت نفسه تيار الحمل أو المحرك، وذلك من خلال تعديل توترعمل المحرك والحفاظ على سرعة دوران ثابتة له، وهي السرعة الاسمية للمحرك المدونة في الجدول (1). وتم في جهاز الحاسوب كما في الاختبار السابق تسجيل إشارة منحنى تيار التبديل لإحدى وشائع المتحرض.

أُجريت التجارب عند تيارات تشغيل مختلفة للمحرك. قيم هذه التيارات كانت ابتداء من قيمة دنيا أدت إلى دوران المحرك بسرعته الاسمية إلى قيمة عليا اختيرت تساوي ضعف التيار الاسمي للمحرك. قيم هذه التيارات كانت متدرجة بفرق مقداره 0.15 A بين 0 الواحدة والأخرى التي تليها وهي:

0.15 A , 0.30 A, 0.45 A, 0.60 A, 0.75 A, .90 A, 1.05 A, 1.20 A, 1.35 A, 1.50 A.

وسجل عند كل واحدة من قيم التيارات السابقة قياسات متعددة لمنحنى تيار التبديل.

6 -النتائج:

6-1- أثر السرعة في التبديل والشرر الناتج في نهاية عملية التبديل:

الأشكال في الملحق (1) تبين منحنيات تيارات التبديل عند سرعات الدوران الآتيـة: ($500\ \min^{-1}$, $2000\ \min^{-1}$, $35000\ \min^{-1}$, $5000\ \min^{-1}$)، حيث تم خيار هذه المنحنيات على سبيل المثال للعرض فقط. وتم خيار منحنى تبديل واحـد فقـط عنـد سرعات الدوران تلك على سبيل المثال من مجموعة متعددة من المنحنيـات الناتجـة، والتي كانت جميعها متقاربة. من خلال هذه المنحنيات تمت قراءة كـل مـن أزمنـة القصر وأزمنة التبديل وأزمنة مرحلة التبديل الأخيرة، والقيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة، ووضعت هذه في الجدول (2)، الملحق (2). وكذلك تـم فـي هـذا الجدول تدوين قراءات قيم أخرى حسبتْ من القيم السابقة، وهي: زمن الدورة الواحدة، وعدد مرات التبديل في الثانية، وعرض تماس المسفرة لصفيحتين متجـاورتين مـن صفائح المجمع في أثناء التبديل والطاقة الكهربائية المحسوبة للشرر. فضلاً عن إلـى تدوين قيم التوتر المطبق للحصول على سرعة الدوران المطلوبة. وجميع هـذه القـيم عند كل واحدة من سرعات الدوران المختبر عندها المحرك السابقة الذكر.

انطلاقاً من قيم جدول النتائج (2) رسمتْ منحنيات هذه القيم حسبما يبينها الشـكل (1) في الملحق (2).

- يحسب زمن الدورة الواحدة مقدراً بالثانية وفقاً للعلاقة الآتية[3]:

$$t_r = 60/n \qquad [S]$$

- **و** يحسب عرض تماس المسفرة لصفيحتين متجاورتين من صفائح المجمع في أثناء التبديل من العلاقة المعروفة الآتية[9] (تقصدنا هذا الحساب بغرض التأكد أيضاً مـن صحة التجارب):

$$b_B = T_{sc} \times \vartheta_c \qquad \vartheta_c = \omega \times r$$

$$\omega = 2 \times n \times \pi / 60 \qquad S^{-1}$$

حيث: r: تمثل نصف قطر المجمع. ω: السرعة الزاويـة للمجمـع. υ_c : السـرعة المحيطية للمجمع.

- أما عدد مرات التبديل في الثانية الواحدة فيحسب على الشكل الآتي:

تقع كل وشيعة من وشائع المتحرض مرتين تحت التبديل (نظراً لوجود مسفرتين في هذا النوع من المحركات). وباعتبار عدد وشائع المتحرض الكلي هـو 13 للمحـرك المختبر، فيكون عدد مرات التبدل لكامل وشائع المتحرض هو 26 في الدورة الواحدة والتي يدورها المتحرض في: 60/n ثانية. من ثَم يحصل فـي الثانيـة الواحـدة: 60 /26×n مرة تبديل.

(عمدنا في هذه المجموعة من التجارب كما ذكرت الحفاظ على تيار ثابت للمتحرض، لاستبعاد تأثيره في منحني تيار التبديل بجميع مراحله. واقتصرت التجارب المخبريـة هنا على تأثير سرعة الدوران في التبديل. علماً بأن سيالة الأقطاب ثابتة أيضـاً، لأن التهييج في هذا النوع من المحركات يتم بأقطاب مغناطيسية مستقلة ودائمة كما سـبق ذكره. وبذلك فإن التهييج لن يؤثر في سرعة الدوران).

من ملاحظة أشكال الملحق (1)، وخلاصة هذه الأشكال المدونـة فـي الجـدول(2)، الملحق (2) ومنحنيات قيم النتائج في الشكل (1)، الملحق (2) يمكن استنتاج مايأتي:

1. ينقص كل من زمني التبديل والقصر تبعاً لزيادة سرعة دوران المحرك. و يبقـى زمن القصرعند جميع سرعات الدوران طويلاً وكافياً محافظاً على التبديل المتباطئ ويصل إلى القيمة صفر في نهايته، حتى عند سرعة دوران اللاحمل.
2. يمكن ملاحظة أن العرض المحسوب لتماس المسفرة الواحدة لصفيحتين متجاورتين من صفائح المجمع في أثناء التبديل هو نفسه عند أي من سرعات الـدوران. وهـذا شيء مؤكد لأن هذا العرض لا يتغير مهما تغيرت سرعة الدوران، حتى أيضاً لـو كان المحرك ساكناً ومتوقفاً عن الدوران.

3. لوحظ بالعين المجردة اشتعال قوس كهربائي عند دوران المحرك بجميع سـرعات الدوران المختبر عندها.
4. يلاحظ من النتائج زيادة عدد مرات التبديل في الثانية الواحدة تبعاً لزيادة سـرعة الدوران. وذلك لأن زمن الدورة الواحدة يقل بزيادة سرعة الدوران، من ثَـم تزيـد كثافة مرات التبديل في الثانية الواحدة. وهذا ما يبرر كثافة ظهور الشرر الكهربائي عند دوران المحرك بسرعات عالية، حتى أن المجمع بدا عند الدوران بحالة اللاحمل وكأنه قطعة واحدة ملتهبة. في حين كان ظهور الشرر عند سـرعات دوران دنيـا متباعداً متقطع الظهور.
5. يلاحظ أن زمن المرحلة الأخيرة من التبديل بقي ثابتاً تقريباً عند جميع سـرعات الدوران التي تم عندها الاختبار. وهو ما يدل على أن هذا الزمن مستقل تماماً عـن سرعة الدوران. لمعرفة علاقة هذا الزمن بزمن اشتعال الشرر أوالقوس الكهربـائي لابد من المناقشة الآتية:

- وفقاً لنظرية اشتعال القوس الكهربائي من [13] و[8] لا يمكن الجزم بـأن زمـن المرحلة الأخيرة من التبديل يساوي زمن اشتعال القوس الكهربائي تماماً فمن الممكـن للقوس الكهربائي أن ينطفأ قبل نهاية المرحلة الأخيرة من التبديل بمدة زمنيـة معينـة وذلك بعد أن تتفرغ كامل طاقته. واستمرار مرور التيار الجيبي المتخامد في الوشيعة المبدلة رغم إنطفاء القوس يمكن عندها تعليله بأنه عبارة عن تيار يدور في الوشـيعة عبر العنصريين المنفصليين وذلك عن طريق الإلكترودات التي كان قد حررها إشتعال القوس وفرق الكمون العالي بين العنصـريي المنفصـليين[U_s=Ldi/dt]، واسـتمرت الإلكترودات بالتحرك بفعل الحرارة التي مازالت مرتفعة في المنطقة التي كان القوس فيها مشتعلاً ([13] بخصوص نظرية إشتعال القوس الكهربائي في الحالات العابرة). هذا من ناحية أولى. ومن ناحية أخرى لا يمكن الجزم بأن القوس الكهربائي يشتعل مع لحظة بدء المرحلة الأخيرة من التبديل. لا يوجد مايثبت أو ينفي ذلك، لكن وبكل تأكيد

لن يشتعل قبل بداية هذه المرحلة، لعدم وجود أي مبرر لاشتعاله. من ثَـم يمكـن أن نستنتج بأن زمن اشتعال القوس هو حصراً أقل بقليل من زمن المرحلـة الأخيـرة أو يساويه على أبعد حد. **وسنفترض بغية المقارنة بأن كلا الزمنيين متساويين**. وعلـى اعتبار أن زمن المرحلة الأخيرة من التبديل بقي ثابتاً عند جميع سـرعات الـدوران للمحرك، فلا نجد ما يمنع أن تكون أزمنة اشتعال الشرر متساوية أيضاً عنـد جميـع سرعات الدوران التي تم عندها الإختبار. وهو ما يدعو إلى القول: بأن **زمن اشـتعال الشرر على مجمع المحرك المكروي مستقل عن تغير سرعة دوران هذا المحرك.**

6. إن **القيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة وهي نفسها القيمة العظمـى لتيار الشرر الكهربائي، (والتي تدل أيضاً على القيمة العظمى لشدة أو قوة اشتعال وتوهج الشرر[13]) بقيت ثابتة** عند جميع سرعات الدوران المجرب عندها. منهـا يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الشرر من خلال القسمة علـى أثنـين للقيمـة العظمى لتيار القوس المقروءة مطروحاً منها قيمة تيار القوس الـدنيا، وسـنفترض قيمة تيار القوس الدنيا هي الصفر، أي أن القوس ينطفىء عندما يصل تيـاره إلـى الصفر. بالتالي يمكن حساب الطاقة الكهربائيـة المخربـة للشـرر مـن العلاقـة: $W= U.I_m.T$ حيث: U هو توتر القوس، ويساوي وفق [8] و [13] القيمة الثابتة: 10V T: زمن اشتعال القوس وسنفرضه يساوي زمن المرحلة الأخيرة من التبديل. I_m هو متوسط تيار القوس. و باعتبار أن **جميع محددات طاقة الشرر عنـد جميـع سرعات الدوران المجرب عندها بقيت نفسها** فيمكن القول بأن طاقة الشرر القـوس الكهربائي هي نفسها أيضاً عند دوران المحرك بجميع السرعات المختبرة، وبتعبيـر آخر فإن **الطاقة المخربة للشرر الكهربائي تكون مستقلة تماماً عن تغيرات سـرعة الدوران للمحرك.** الجدول (2) في الملحق (2).

2-6 - أثر تيار المتحرض في التبديل والشرر الناتج في نهاية عملية التبديل:

الأشكال في الملاحق (3) تبين منحنيات تيارات التبديل عند بعضٍ من قـيم تيـارات المتحرض المختبر عندها المحرك وهي:(1.50 A 1.05 A 0.60 A 0.15 A). وقد تم خيار منحنى تبديل واحد منها فقط عند القيم المختارة للعرض فقط على سبيل المثال من مجموعة متعددة من المنحنيات الناتجة والتي كانت متشابهة.

وتم عند كل واحدة من قيم تيار المتحرض المختبر عنـدها المحـرك ومـن خـلال منحنيات تيارات التبديل الناتجة قراءة قيم كلٍ من أزمنة القصر وأزمنة التبديل وأزمنة مرحلة التبديل الأخيرة، وقيمة التيار المتبقي، والقيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة، ووضعت هذه في الجدول (3) الملحق (4). وتم كذلك في هذا الجدول تدوين قيم أخرى تم حسابها من القيم السابقة، وهي: زمن الدورة الواحدة، ومجموع أزمنـة المراحل الأخيرة في كل دورة، ونسبة زمن المرحلة الأخيرة إلى زمن التبديل، وكذلك مجموع أزمنة المراحل الأخيرة في كل دورة منسوباً إلى زمن الدورة الواحدة. فضلاً عن تدوين قيم التوتر المطبق للحصول على قيمة تيار المتحرض المطلوبة. بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية للشرر. وتم في الملحق (5) رسم المنحنيات البيانية التـي تبـين تغير زمن المرحلة الأخيرة من التبديل (زمن اشتعال القوس) تبعاً لتغير التيار المتبقي في الشكل (1) وفي الملحق نفسه، الشكل (2) تم رسم أزمنة كلٍ من تيار القصر وتيار التبديل مضافاً إليهما زمن المرحلة الأخيرة من التبديل كتابع لتيار المتحـرض. وفـي الملحق نفسه رسمت في الشكل (3) علاقة نسبة زمن المرحلة الأخيرة من التبديل إلى زمن التبديل الكلي كتابع لتيار المتحرض. ورسم المنحنى البياني الذي يـنظم علاقـة مجموع أزمنة المراحل الأخيرة من التبديل في الدورة الواحدة تبعاً لتيار المتحرض في الشكل (4) في الملحق نفسه، وهي عبارة عن كثافة الشرر في الدورة الواحدة. وفـي الملحق نفسه في الشكل (5) رسمت علاقة تيار القوس الأعظمي المفترض أي تيـار التبديل الأعظمي في المرحلة الأخيرة من التبديل كتابع لتيار المتحرض. وفي الشـكل

(6) من الملحق نفسه تم رسمتْ علاقة طاقة القوس الكهربائي كتابع لتيار المتحـرض وفي الشكل (7) كتابع للتيار المتبقي.

من ملاحظة النتائج في أشكال الملاحق (3)، وخلاصاتها المدونة في الجدول(3) مـن الملحق (4)، ومنحنيات قيم النتائج المرسومة في الملحق (5) يمكن استخلاص مايأتي:

1- لوحظ بالعين المجردة اشتعال قوس كهربائي عند دوران المحـرك بجميـع قـيم التيارات المجرب عندها. في حين بدا الشرر الكهربائي على المجمع باهتاً وظهر فـي أوقات متقطعة قصيرة من الزمن عند تيارات متحرض صغيرة، كان يزداد هذا توهجاً وتزيد مدة اشتعاله بزيادة تيار المتحرض، حتى بدا جهاز التبديل عند تيارات متحرض عالية وكأنه قطعةً واحدة ملتهبةً.

2- إن الشكل العام لتيار التبديل بقي دوماً ثابتاً، وهو نفسه المرسوم بالشكل (3)، ومن النوع المتباطىء، على الرغم من تغير قيم تيار المتحرض. فزيادة أو نقصـان تيـار المتحرض لم يؤد إلى تغيير الشكل العام لأي مرحلة من مراحل تيار التبـديل فيـه بشكلٍ يذكر.

3- بينما بقي زمن القصر بمرحلتيه الأولى والثانية المشكل منهما ثابتاً تماماً في الشكل والقيمة، وقيمة تيار الوشيعة المبدلة تساوي الصفر في نهاية المرحلة الثانية عند جميع قيم تيارات المتحرض المختبر عندها المحرك، فإن زمن التبديل ازداد طـولاً بزيـادة قيمة تيار المتحرض وذلك بسبب زيادة زمن المرحلة الأخيرة من التبديل كمـا هـو ملاحظ.

4- إن شكل تيار التبديل في مرحلته الأخيرة، وعند جميع قيم تيارات المتحرض حتى الصغيرة المجرب عندها بقي جيبياً متخامداً. إن هذا الشكل الجيبي المتخامد للتيار في هذه المرحلة يدل على أنه تيار قوس شرر كهربائي[13]، ويمثـل اسـتمراراً لتيـار الوشيعة المبدلة بعد انتهاء فك القصر عنها، ويمر هذا التيار عبر بلازما القوس. وهذا يؤكد أنه يظهر شرر كهربائي عند جميع قيم تيارات المتحرض المجرب عندها، حتى

الصغيرة منها، وهو ما يعلل رؤية الشرر الكهربائي بالعين المجـردة علـى مجمـع المحرك عند جميع قيم التيارات المجرب عندها.

5- إن زمن المرحلة الأخيرة والذي فرضناه يساوي زمن ظهور الشرر يزيد بزيـادة تيار المتحرض أو زيادة التيار المتبقي، وينقص بنقصانهما. وعلاقة التناسـب بينهمـا هي علاقة خطية تماماً حسبما تبين الأشكال في الملحق (5).

6- إن شكل المنحنى البياني الذي يبين علاقة زمن المرحلة الأخيرة من التبديل (زمن ظهور الشرر الكهربائي فرضاً)، كتابع لشدة تيار المتحرض، أو كتابع للتيار المتبقي، هو عبارة عن علاقة خطيه تماماً وفقاً للشكلين (1) أو (2) في الملحـق(5). ويمكـن كتابة هذه العلاقة كتابع لتيار المتحرض بالشكل الآتي:

$$t_{arc} = C \times i_a$$

أو كتابع للتيار المتبقي على الشكل الآتي:

$$t_{arc} = C' \times \Delta i$$

حيث:C أو $C^{/}$ هي ثوابت يمكن تحديد قيمها بشكل تقريبي من أجل المحرك المختبـر من خلال ميل المنحنيات التي ترسمها وهي:

$C^{/} = 78.8$ $C = 36.6$

قيم هذه الثوابت تتعلق بعوامل مختلفة، نعتقد من هذه العوامل على الأقل:

- مخزن الطاقة: L_{rest} . هذا الذي يؤدي الدور الأساسـي بتحديـد كميـة الطاقـة. و L_{rest} هذه تتعلق بالتأكيد بعامل التحريض الذاتي لكل وشيعة من وشائع المتحرض.
- نوعية وشكل المواد المصنع منها جهاز التبديل، وهما المسفرات وصفائح المجمع، فيما إذا كانت هذه مثلاً ذات تحمل أفضل أو أسوأ للقوس الكهربائي الناشىء.
- مدى اهتراء جهاز التبديل،المسفرات وصفائح المجمع، بمعنى آخر بزمن اسـتثمار المحرك. فمحرك عمل مدة طويلة يكون جهاز التبديل فيه قد تآكلت أجزاء من سطحه سيبدي مقاومة تختلف تجاه القوس الكهربائي مقارنةً بآخر وضع حديثاً في الاستخدام.

- بتوتر القوس الكهربائي. هذا التوتر الذي يساوي عند [13] و [8] القيمة: 10 V تقريباً ويحافظ عليها القوس ثابتةً طوال مدة اشتعاله.

7- بالنظر إلى قيمة الثابت $L_a/2$) La =150 μ H) من الجدول (1))، لربما يعني هذا أن قيمة مجمل العوامل الأخرى، عدا تيار المتحرض، المؤثرة في زمن ظهور الشرر الكهربائي تساوي نصف قيمة عامل التحريض الذاتي للمتحرض. آخذين بالحسبان أخطاء القياس.

8- نظراً للحفاظ على سرعة دوران ثابتة فإن زمن الدورة الواحدة، الذي يحسب من العلاقة:

$$t_r = 60/n = 0.02 \qquad [S]$$

يبقى ثابتاً. وكذلك يبقى عدد مرات التبديل في الثانية الواحدة ثابتاً (كثافة التبديل)، والذي يحسب من العلاقة الآتية: [3]:

$$2X13Xn/60 = 1300$$

حيث يحدث 2X13 مرة تبديل في كل دورة. 13 هو عدد صفائح المجمع. و 2 عدد المسفرات في المحرك المختبر. وهذا يدل على أن ثبات سرعة الدوران أبقى على كثافة تبديل ثابتة. ومن الواضح بأن كثافة التبديل هذه مستقلة عن تغيرات تيار المتحرض.

9- نلاحظ أن زمن المرحلة الأخيرة من التبديل (زمن ظهور الشرر) منسوباً إلى زمن الدورة الواحدة كتابع لتيار المتحرض يزداد تبعاً لزيادة تيار المتحرض (الشكل (3) في الملحق (5))، حتى أنه وعند دوران المحرك بتيارات عالية يصبح زمن ظهور الشرر يشكل نسبة عالية من كامل زمن التبديل (قرابة 25% تقريباً عند I_a =1.5 A في حين هو أقل من 3% عند I_a = 0.15 A).

10- عطفاً على الملاحظة السابقة فإن مجموع أزمنة ظهور الشرر في كل دورة. وهوعبارة عن زمن المرحلة الأخيرة مضروباً بعدد مرات التبديل في كل دورة وهو 2X13 للمحرك المختبر، يزداد تبعاً لزيادة تيار المتحرض. من ثَم فإن مجموع هذه

الأزمنة منسوباً إلى زمن الدورة الواحدة، وهو ما يدعى **بكثافة الشـرر خـلال دورة واحدة**، يزداد أيضاً، لأن زمن الدورة الواحدة ثابت. (الشكل (4) في الملحـق (5)) . ويمكن الملاحظة بأن مجموع هذه الأزمنة في كل دورة يصبح يشكل نسبة لا يستهان بها عند دوران المحرك بتيارات عالية (أي الشرر يظهر خلال زمن يساوي أكثر من 7% بقليل من زمن الدورة الواحدة عند I_a =1.5 A). وهذا مايعلـل رؤيـة الشـرر الكهربائي يشتعل بكثافة عند عمل المحرك بتيارات عالية. والعكس بـالعكس أيضـاً (هذه النسبة تساوي أقل من 0.7% عند I_a = 0.15 A)، لذلك يكون الإشتعال علـى المجمع خافتاً عند تشغيل المحرك بتيارات صغيرة نسبياً.

11- تم خلال التجارب زيادة تيار المتحرض على مراحل، وكل مرحلة زيد فيها تيار المتحرض على سابقتها بمقدار يساوي: 0.15A أي مايعادل 10% من قيمة أكبر تيار متحرض تم عنده الاختبار، وهو A 1.5. إن زيادة تيار المتحرض خـلال التجـارب بمقدار: A 0.15= 10% أدت إلى زيادة كثافة ظهور الشرر الكهربائي فـي الـدورة الواحدة بنسبة زيادة تيار المتحرض نفسه تقريباً، أي قرابة 10%، (يمكن ملاحظة ذلك من قيم الجدول (3) في الملحق (4) أو من الشكل (4) في الملحق (5))، أي كلمـا زاد تيار المتحرض بنسبة 10% زادت كثافة ظهور الشرر بالنسبة نفسها تقريباً) وهو مـا يدعو للقول: وكأن **زمن ظهور الشرر الكهربائي في الدورة الواحدة أو كثافة الشـرر في الدورة يزداد طرداً بنسبة زيادة تيار المتحرض نفسه**. فلو استطاع مستثمر على سبيل المثال أن يعرف كثافة ظهور الشرر الكهربائي عند عمل هذا المحرك بتيار ما، لأمكن له تقدير هذه الكثافة عند عمل المحرك بأي تيار آخر أصغر أو أكبر من ذلك.

12- إن القيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة، والتي تمثل القيمة العظمـى لتيار القوس الكهربائي، وتبين شدة اشتعال وتوهج الشرر تزداد بزيادة تيار المتحرض بتناسب طردي خطي تقريباً (الشكل (5)). كذلك فإن الطاقة الكهربائية المخربة للقوس تزداد بزيادة تيار المتحرض أو بزيادة التيار المتبقي وفق العلاقة التي يرسمها كل من

هذين المنحنيين المبينين في الشكلين (6) و (7) من الملحق (5). إن شكل كل واحد من هذين المنحنيين يدل على أن لكلٍ منهما علاقة تناسب طردية تربيعية بتيار المتحرض أو بالتيار المتبقي، أي: $\mathbf{W=f(ia^2)}$ أو $\mathbf{W=f(\Delta i^2)}$. وهو ما يدل على أن كلا هذين المنحنيين يمثلان العلاقة الآتية : $w = L_{rest} \frac{(\Delta i)^2}{2}$ المفترضة من [8] لطاقة القوس أفضل تمثيل. فالواضح أن زيادة تيار المتحرض تؤدي من ناحية أولى إلى زيادة شدة تيار القوس كما يبين الشكل (5) بتناسب طردي خطي تقريباً، ولزيادة زمن اشتعال القوس من ناحية ثانية وفق الشكل (2) بتناسب طردي خطي أيضاً، أي وكأن **طاقة القوس أو الشرر تزداد شدةً وتصبح بحاجة إلى زمن أطول حتى تُصرف كلما زاد تيار المتحرض**.

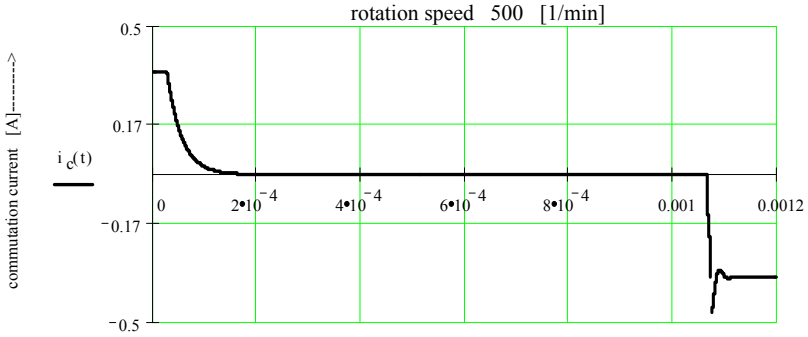
6- الخلاصة:

استطاع هذا البحث من خلال تجارب مخبرية، إثبات أن طاقة الشرر الكهربائي الناشئ على مجمع المحرك المكروي في نهاية عملية التبديل مستقلة تماماً عن تغيرات سرعة دورانه. أي **أن سرعة الدوران <u>ليست</u> أحد العوامل التي قد تؤدي دوراً في زيادة أو إنقاص الطاقة المخربة للشرر الكهربائي على مجمع المحرك** حسبما يسود الاعتقاد عند بعض الباحثين.

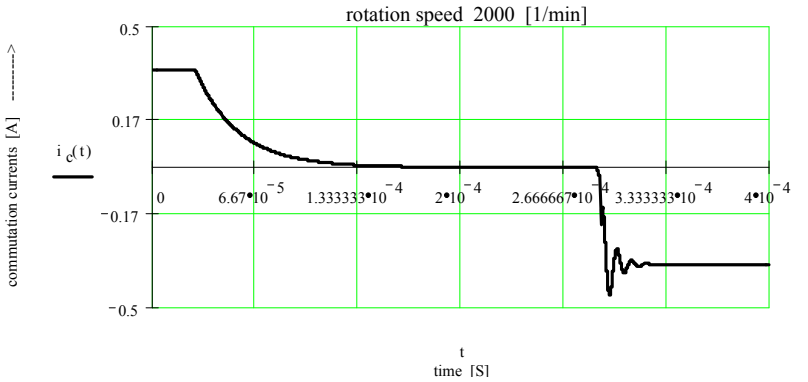
وقد توصل البحث إلى نتائج واضحة بأن زيادة تيار عمل محرك التيار المستمر المكروي ستؤدي إلى زيادة الطاقة الكهربائية المخربة للشرر على مجمعه كما هو متوقع ومعلوم. لكن البحث استطاع أن يحدد العلاقة التي تنظم زمن ظهور الشرر الكهربائي على مجمع المحرك كتابع لتياره. وكانت علاقة خطية تماماً. قمنا بكتابة هذه العلاقة وبالأرقام من أجل المحرك المختبر. كذلك استطاع البحث أن يبرهن أن كثافة ظهور الشرر الكهربائي للمحرك بشكل عام تتغير زيادةً أونقصاناً بمقدار تغير تيار المتحرض نفسه تقريباً.

فقد تأكد أن تشغيل هذا المحرك المكروي سيؤدي إلى ظهور شرر كهربائي حتماً على مجمعه حتى ولو عمل عند أقل سرعة دوران أو أقل تيار عمل ممكن أن يؤدي إلى دورانه. فظهور الشرر الكهربائي على مجمع هذا المحرك، ونظراً لعدم وجود أقطاب تبديل، هو شر لا بد منه. إلا أنه من الواضح، وفقاً لنتائج التجارب، أن استثمار هذا النوع من المحركات يكون بالشكل الأمثل عند تشغيلها **بسرعات دنيا، حيث ستكون** كثافة التبديل أقل ومن ثم كثافة أقل لظهور الشرر، **وبأقل تيارات** ممكنة بغية الإقلال من الطاقة المخربة للشرر ما أمكن، **(**هذا إذا سمحت ظروف تشغيل المحرك بذلك**)** مما يساعد هذا في إطالة عمر عمل هذه المحركات.

أزال هذا البحث الشك لدى المهتمين، بالنتيجة التي توصل إليها، وهي أن **الطاقة المخربة للشرر الكهربائي الناشئ على مجمع المحرك المكروي في نهاية عملية التبديل لا تتأثر بتغير سرعة دورانه. وإنما بالتأكيد بتيار عمل هذا المحرك بعلاقة تناسب طردية تربيعية.**

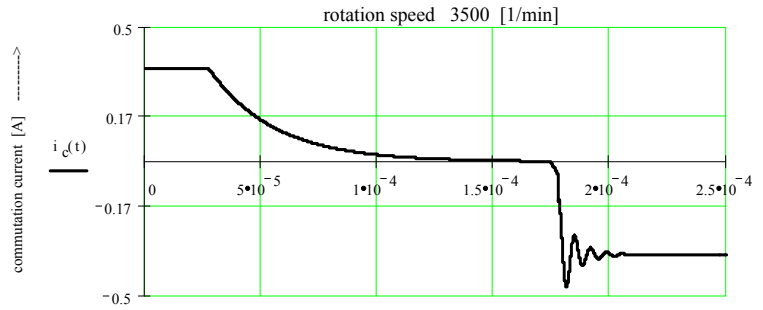


الشكل(1) منحنى تيار التبديل عند دوران المحرك بسرعة تساوي: $500\ min^{-1}$

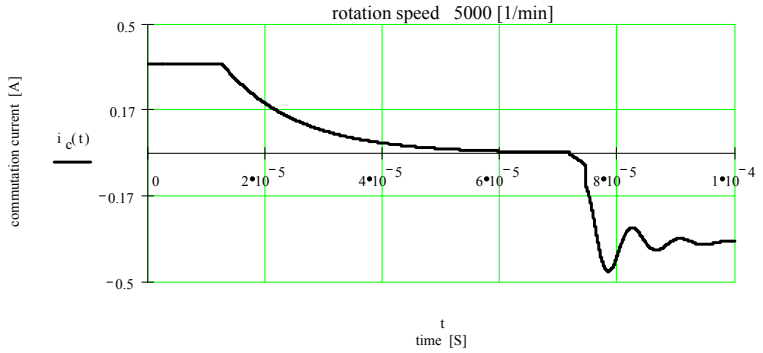


الشكل(2) منحنى تيار التبديل عند دوران المحرك بسرعة تساوي: $2000\ min^{-1}$

الملحق (1)



الشكل(3) منحنى تيار التبديل عند دوران المحرك بسرعة تساوي: 3500 min^{-1}



الشكل(4) منحنى تيار التبديل عند دوران المحرك بسرعة تساوي: 5000 min^{-1}

الملحق (1)

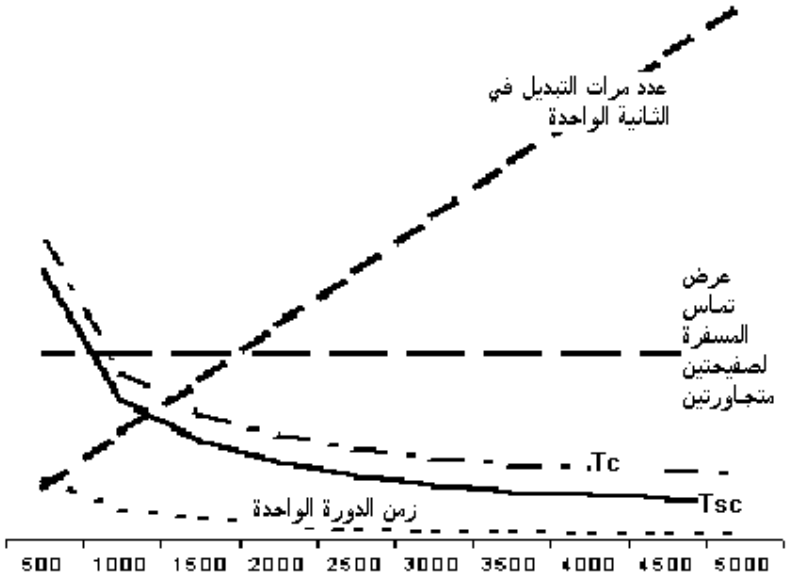
سرعة الدوران min^{-1}	التوتر المربطي الموافق [V]	T_{sc} (قيمة وسطية من مجموع عدة قراءات) $X10^{-6}$ S	T_c (قيمة وسطية من مجموع عدة قراءات) $X10^{-6}$ S	T_{IV} (قيمة وسطية من مجموع عدة قراءات) $X10^{-6}$ S	زمن الدورة الواحدة [S]	عدد مرات التبديل في الثانية الواحدة	عرض تماس المسفرة لصفيحتين متجاورتين: ba [mm]	I_a [A]	القيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة [A]	الطاقة الكهربائية المخربة للشرر $X10^{-6}$ [W]
500	5.35	1030	1060	30	0.12	216.7	0.17527	0.75	0.466	69.9
1000	6.70	515	545	30	0.06	433.3	0.17528	0.75	0.466	69.9
1500	8.05	345	375	30	0.04	650.0	0.17611	0.75	0.466	69.9
2000	9.40	260	290	30	0.03	866.7	0.17621	0.75	0.466	69.9
2500	10.75	205	235	30	0.024	1083.3	0.17498	0.75	0.466	69.9
3000	12.00	170	200	30	0.02	1300.0	0.17561	0.75	0.466	69.9
3500	13.40	147	177	30	0.0171	1520.5	0.17510	0.75	0.466	69.9
4000	14.80	128	158	30	0.015	1733.3	0.17489	0.75	0.466	69.9
4500	16.15	114	144	30	0.0133	1954.9	0.17498	0.75	0.466	69.9
5000	17.50	103	133	30	0.012	2166.6	0.17527	0.75	0.466	69.9

الجدول (2):

ويبين قيم قراءات كل من أزمنة التبديل والقصر والمرحلة الأخيرة من التبديل و القيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة (تيار القوس) ، فضلاً عن قيم محسوبة من القيم السابقة وهي: زمن الدورة الواحدة، وعدد مرات التبديل في الثانية الواحدة، وعرض تماس المسفرة لصفيحتين متجاورتين من صفائح المجمع في أثناء التبديل، والطاقة الكهربائية المخربة للشرر. وجميع القيم السابقة مقروءة عند سرعات الدوران المختبر عندها المحرك المكروي. ويحتوي الجدول أيضاً على كل من قيمة التوتر المربطي الموافق لسرعة الدوران، وتيار الحمل الذي تم العمل للحفاظ عليه ثابتاً.

(جميع القيم المقروءة هي قيم وسطية تقريبية من مجموع عدة منحنيات)

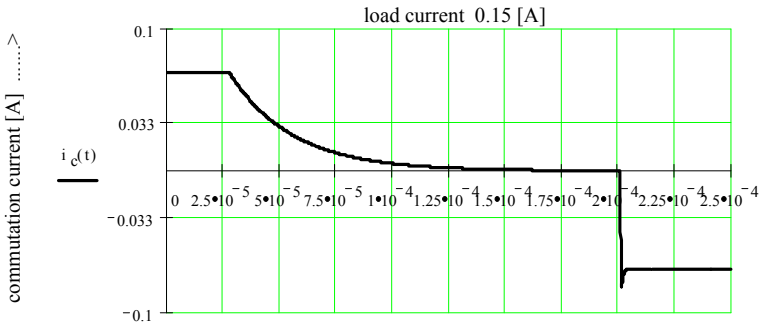
الملحق (2)



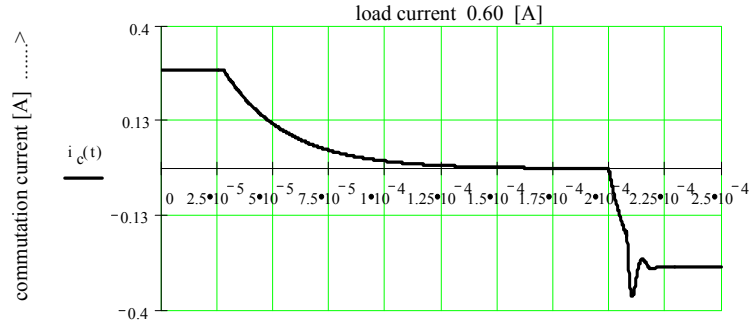
الشكل (1):

ويبين كلا من زمني التبديل والقصر وزمن المرحلة الأخيرة من التبديل (زمن اشتعال القوس الكهربائي) وزمن الدورة الواحدة وعدد مرات التبديل في الثانية الواحدة كتابع لسرعة دوران المحرك المكروي المختبر. (القيم مأخوذة من جدول النتائج السابق (2)).

الملحق(2)

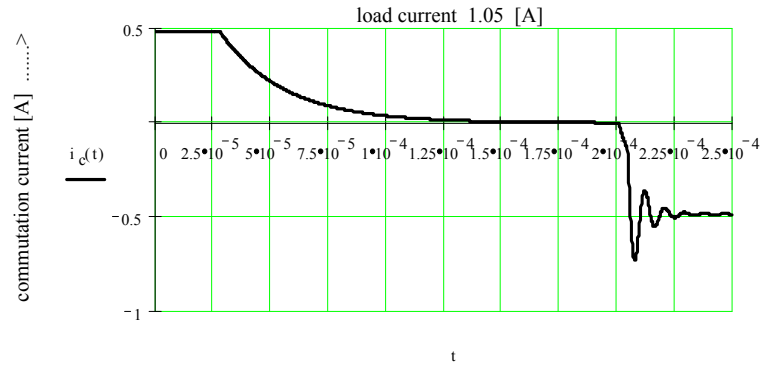


الشكل(1) منحنى تيار التبديل عند تيار متحرض يساوي 0.15 A

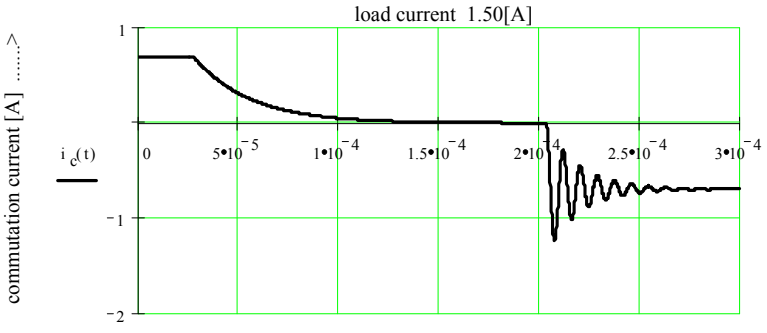


الشكل(2) منحنى تيار التبديل عند تيار متحرض يساوي 0.60 A

الملحق (3)



الشكل(3) منحنى تيار التبديل عند تيار متحرض يساوي 1.05 A



الشكل(4) منحنى تيار التبديل عند تيار متحرض يساوي 1.50 A

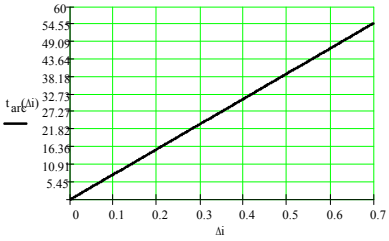
الملحق (3)

تيار المتحرض [A]	التوتر المرىطي الموافق [V]	T_{sc}	T_c	T_{IV}	قيمة التيار المتبقي [A]	زمن الدورة الواحدة [S]	مجموع أزمنة المراحل الأخيرة في الدورة الواحدة $X10^{-6}$ S	نسبة زمن المرحلة الأخيرة إلى زمن التبديل	أزمنة المراحل الأخيرة في كل دورة منسوباً إلى زمن الدورة الواحدة	القيمة العظمى لمطال تيار مرحلة التبديل الأخيرة [A]	طاقة القوس أو الشرر الكهربائي $X10^{-6}$ [W]
		قيم وسطية تقريبية من مجموع عدة قراءات $X10^{-6}$[S]									
0.15	8.80	170	175	5	0.069	0.02	130	0.0283	0.0065	0.082	2.0500
0.30	9.60	170	180	10	0.138	0.02	260	0.0556	0.0130	0.173	8.6500
0.45	10.4	170	185	15	0.207	0.02	390	0.0810	0.0195	0.271	20.325
0.60	11.2	170	192	22	0.277	0.02	572	0.1146	0.0286	0.383	42.130
0.75	12.0	170	200	30	0.346	0.02	780	0.1500	0.0390	0.466	69.900
0.90	12.8	170	205	35	0.415	0.02	910	0.1707	0.0455	0.650	113.75
1.05	13.6	170	210	40	0.484	0.02	1040	0.1905	0.0520	0.770	154.00
1.20	14.4	170	215	45	0.554	0.02	1170	0.2093	0.0585	0.895	201.37
1.35	15.2	170	220	50	0.623	0.02	1300	0.2273	0.0650	1.070	267.50
1.50	16.0	170	225	55	0.692	0.02	1430	0.2444	0.0715	1.230	338.25

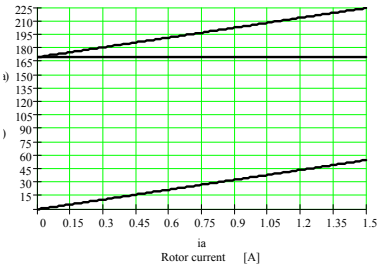
الجدول (3): ويبين قيم قراءات تقريبية لكل من أزمنة التبديل والقصر والمرحلة الأخيرة من التبديل وقيمة التيار المتبقي، فضلاً عن قيم محسوبة من القيم السابقة وهي: زمن الدورة الواحدة، ومجموع أزمنة المراحل الأخيرة في كل دورة، ونسبة زمن المرحلة الأخيرة إلى زمن التبديل، وكذلك نسبة مجموع أزمنة المراحل الأخيرة من التبديل في كل دورة إلى زمن الدورة الواحدة (كثافة ظهور الشرر في الدورة الواحدة). وجميع القيم السابقة عند القيم الموافقة لتيار المتحرض المختبر عندها المحرك المكروي. ويحتوي الجدول أيضاً على القيمة العظمى لتيار التبديل في مرحلته الأخيرة (فرضاً قيمة تيار القوس العظمى) و الطاقة الكهربائية المخربة للقوس. وهذه أيضاً كتابع لتيار المتحرض . ويحتوي الجدول أيضاً على كل من قيمة التوتر المرىطي الموافق لتيار المتحرض (تيار الحمل) وذلك من أجل الحفاظ على سرعة دوران ثابتة للمحرك.

ملاحظة: القيم المقروءة هي قيم وسطية تقريبية من مجموع عدة منحنيات.

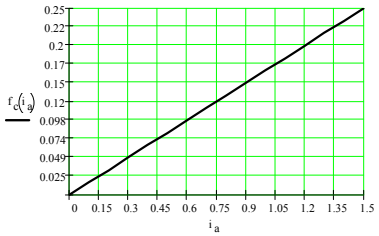
الملحق(4)



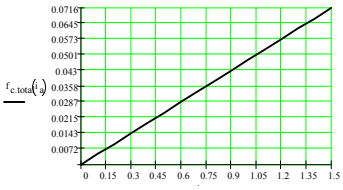
الشكل (1) زمن المرحلة الأخيرة من التبديل أو زمن ظهور الشرر الكهربائي كتابع للتيار المتبقي



لشكل (2) ويبين أزمنة كل من المرحلة الأخيرة و الفصر والتبديل كتابع لتيار المتحرض

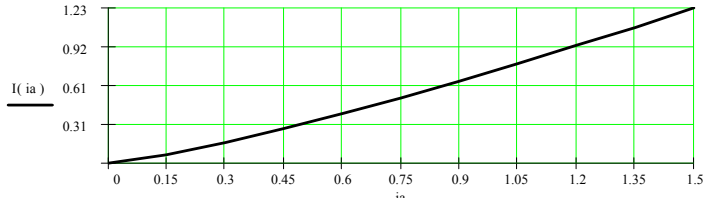


الشكل (3) نسبة زمن المرحلة الأخيرة من التبديل إلى زمن الدورة الواحدة كتابع لتيار المتحرض

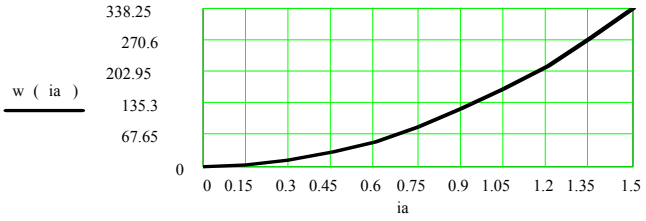


الشكل (4) مجموع أزمنة المراحل الأخيرة من التبديل منسوبةً إلى زمن الدورة الواحدة (كثافة الشرر في الدورة الواحدة) كتابع لتيار المتحرض

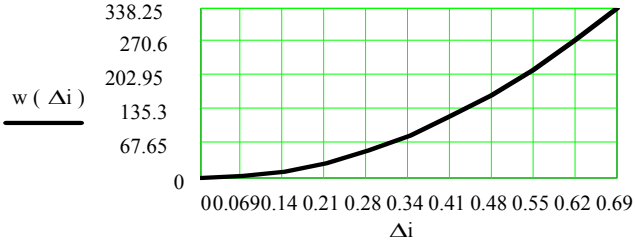
الملحق (5)



الشكل (5) تيار الفوس الأعظمي (المفترض) كتابع لتيار المحرك أو المتحرض



الشكل(6) الطاقة الكهربائية المخربة للشرر كتابع لتيار المحرك أو المتحرض



الشكل (7) الطاقة الكهربائية المخربة للشرر كتابع للتيار المتبقي

الملحق (5)

المراجع:

[1]- د. بروسكين أ. زوروخوفتش ف خفوستوف ترجمة: د . أبو سـيف، عبـد المطلب- الآلات الكهربائية والميكروية- المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق1995.

[2] - د. وهبي، سعيد، دراسة تيار التبديل وتأثيره على أداء محركات التيار المستمر المكروية- مجلة باسل الأسد للعلوم الهندسية- العدد 18- دمشق 2003.

[3]- د. وهبي، سعيد، أثر التبديل وزمنه على المجمع وعلى أداء محركات التيار المستمر المكروية- مجلة باسل الأسد للعلوم الهندسية- العدد 21- دمشق 2005.

[4] - H. Fujita Recent Progress of microactuators and micromotors Microsystem Technologies Springer Berlin / Heidelberg June 2005

[5]- Junge and Mueller Electro- engineering lexicon Weinheim, New York Basel, Cambridge, Tokyo 2001

[6]- E, Jucker Physical behavior of DC- Micro motors free ferrate rotor Porte cap la Chaux- de- Fonds Switzerland 2001

[7]- Wahbi, Said Untersuchung zur Erhöhung des Kommutator Bűrstenapparates von GMM Dissertation TU Dresden 1989

[8]- Paulig, Eberhard Anforderung an Gleitkontakte in GMM Anforderung an Gleitkontakte in GMM Dissertation TU Dresden 1985

[9]- Schneidetr, G Untersuchung an Kleinstmaschinen Dissertation TU Berlin 1996

[10]- Connstantinescu- Simon, Liviu Elektrische Energietechnik Vieweg & Sohn Verlag Braunschweig/ Wiesbaden 2001

[11]- Herta GmbH Projkterungsvorschrift fűr GMM Herta, Germany199 , 2000, 2002

[12]- Műller, G Elektrische Maschinen Verlag Technik Berlin 1997

[13] – Bätz, Rutzen Elektrotechnische SchaltgeräteVerlag Technik Berlin 1998

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2007/6/26.