استخدام متسعة المفاتيح الساكنة في بدء المحرك الحثي أحادي الطور

ياسر أحمد محمود
مدرس مساعد / قسم الهندسة الكهربائية / جامعة الموصل

الملخص

يقدم هذا البحث أسلوباً مطوراً لتغيير قيمة المتسعة المطلوبة في المحرك الحثي أحادي الطور، والتي تربط على التوالي مع اللفيفة المساعدة للمحرك. يتم التحكم بالقيمة الفعالة للمتسعة من خلال سلسلة نبضات قدح تسلط على المفاتيح الساكنة المربوطة على التوازي مع المتسعة. تم التركيز في هذا البحث على طرق الحصول على تغير القيمة الفعالة للمتسعة والمقارنة بينها من خلال تمثيل تلك الطرق على الحاسبة باستخدام برمجيات Matlab , وتأثير كل منها على أداء المحرك وذلك لتقليل التذبذب الناتج من العزوم النبضية والحصول على أعظم عزم بدء من خلال استخدام متسعة واحدة فقط مع المفاتيح الساكنة بدلا من متسعتين ومفتاح الطرد المركزي. كما تم بناء نموذج مختبري لأجل مقارنة النتائج ومعرفة صحة نموذج التمثيل.

Starting of the Single Phase Induction Motor using Static Switched Capacitor

Yasser A. Mahmood
Assist. Lecturer / Elect. Eng. / University of Mosul

Abstract

This paper provides a method of changing the effective value of the capacitor for starting a single phase induction motor starting. This capacitor is connected in series with the auxiliary winding. Its effective value can be controlled by static switches in parallel with the capacitor through a series of pulses. The focus was on finding ways of obtaining the best effective capacitor during starting condition through computer simulation software using (Matlab). By using this method, only one capacitor is used for both the starting and running conditions and a similar starting performance can be obtained when compared with the conventional method using two capacitors. The computer simulation results are validated by building a laboratory model and comparison of results.

Key words: single phase induction motor, switched capacitor, variable capacitor, starting conditions.

1 - المقدمة.

تعتبر المحركات الحثية الأحادية الطور من أكثر المحركات استخداما في التطبيقات الصناعية والمنزلية. بيد أن هذا النوع من المحركات لا يشتغل باللفيفة الرئيسة فقط ولكن يعمل مع اللفيفة المساعدة ومتسعة مضافة والتي تجعل تلك اللفيفة إما ذات خصائص حثية أو سعوية[1], ولكن على الأغلب تكون ذات خصائص سعوية، حيث تربط متسعة على التوالي مع دائرة اللفيفة المساعدة. يصمم هذا النوع من المحركات إما بمتسعة بدء او متسعة تشغيل أو بكليهما. تربط متسعة البدء على التوالي مع مفتاح الطرد المركزي حيث تخرج عن العمل عند بلوغ المحرك (75%) من السرعة التزامنية[2,1]، تعمل المتسعة هنا على جعل تيار اللفيفة المساعدة متقدماً على تيار اللفيفة الرئيسة ب(90) درجة تقريبا كما يحصل في المحرك الثنائي الطور المتوازن كي يكون عزم البدء هنا اكبر ما يمكن[4,3].

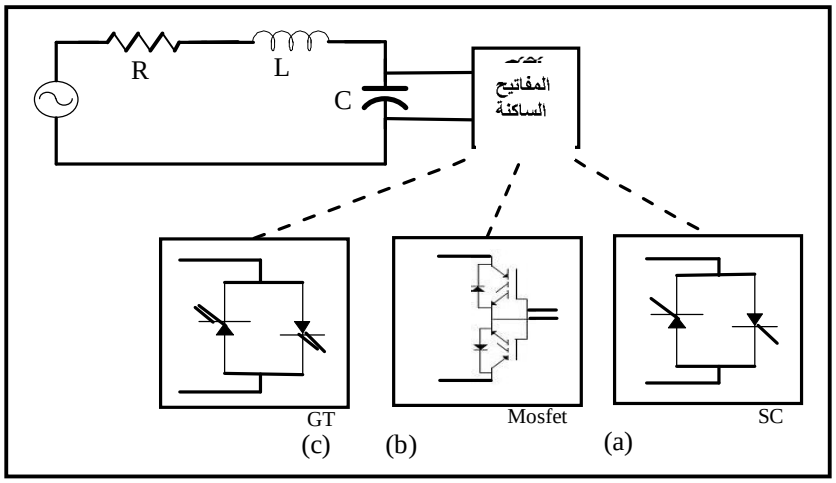
أما في المحركات التي تستخدم متسعة تشغيل فتبقى المتسعة مربوطة مع اللفيفة المساعدة طول فترة التشغيل, إن وجود هذه المتسعة يحسن من الكفاءة وعامل القدرة وتقليل العزم النبضي, إذ يمكن أن تصمم المتسعة واللفيفة المساعدة مثلا للحصول على تشغيل ثنائي الطور متوازن وذلك عند حمل معين مطلوب. وعند ذلك يلغى العزم النبضي الذي يعادل تردده ضعف تردد المصدر وتعمل المتسعة في هذه الحالة كمخزن لطاقة لتنعيم النبضات الحاصلة في القدرة الداخلة من الخط أحادي الطور, ونحصل بذلك على محرك يشبه في أداءه المحرك الحثي الثلاثي الطور المتوازن[5,2].

أما النوع الذي يستخدم المتسعتين معا وذلك للحصول على عزم بدء عالي إضافة إلى تشغيل هادئ مع تحسين في الأداء. إن مشكلة هذا النوع من المحركات هو حاجته عند البدء إلى متسعة كبيرة القيمة وعند السرعة المقننة الى قيمة صغيرة. وللتغلب على هذه المشكلة تستخدم متسعتان مع مفتاح الطرد المركزي. هناك العديد من الدراسات في هذا المجال ولكن تعتمد على استخدام مفتاح ساكن يعمل بالضبط كعمل المفتاح الميكانيكي اي يتم ادخال واخراج المتسعة وليس باختيار القيمة المناسبة من خلال زاوية توصيل[4], وبعضها ركز فقط على التشغيل الطبيعي فقط[5,3] جاءت هذه الدراسة التي تهدف للوصول إلى الميزات الجيدة في حالتي لبدء والتشغيل باستخدام متسعة واحدة فقط ودون الحاجة إلى مفتاح ميكانيكي بحيث تتغير القيمة الفعالة للمتسعة عند التشغيل المقنن عن البدء باستخدام مفاتيح ساكنة[7,6].

2 - القيمة الفعالة للمتسعة.

أستند هذا البحث على بناء نموذج حاسوبي باستخدام برمجيات (Matlab \Power System Blockset v7.6) وهي احد أشهر الرزم البرمجية (software packages) التي تستخدم لتمثيل وتحليل المنظومات الكهربائية. تم بناء النموذج الحاسوبي للمحرك الحثي أحادي الطور مع متسعة تشغيل متغيرة القيمة من خلال المفاتيح الساكنة المربوطة على التوازي معها. واستخدام ثوابت المحرك المختبري المبينة مقنناته في الملحق، حيث تم إجراء الفحوصات اللازمة لحسابات ثوابت المحرك وذلك من خلال فحصي انعدام الحمل وفحص سكون الدوار.

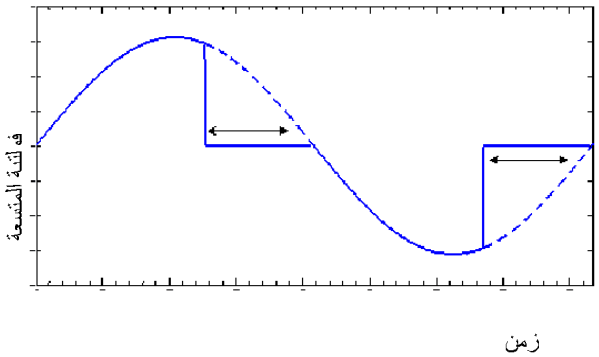
هناك العديد من الأنماط التي استخدمت بها المفاتيح الساكنة على التوازي مع المتسعة وكما مبينة بالشكل(1)[6,5,3]. اذ لكل نمط أسلوبه الخاص بالسيطرة على القيمة الفعالة للمتسعة. في هذا البحث تم استخدام الترانزستورين المتواليين المتعاكسين مع الثنائيات الشكل(b-1).



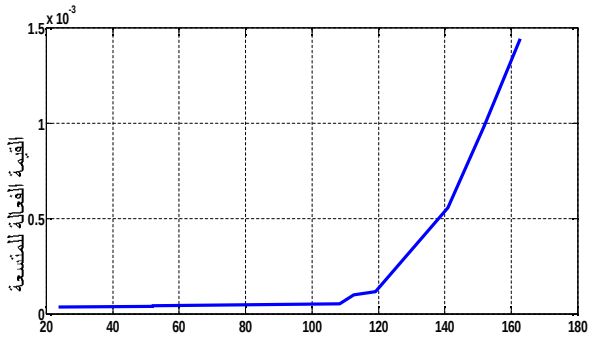
الشكل(1): دائرة RLC مع المفاتيح الساكنة لتغيير السعة.

أما استخدام الثايروستورين المتعاكسين (Back-to-Back thyristor (a)) في تغيير قيمة السعة فيسبب مشكلة ظهور التيار العالي على المفاتيح عند لحظة الغلق التي عادة ما تكون هناك فولتية على المتسعة, ومن الصعب التحكم بقيمة هذا التيار وذلك لعدم القدرة أو التحكم على الإطفاء. لحل هذه المشكلة وجب العمل في نهاية الموجة أي بعد زاوية 90^o من موجة فولتية المتسعة حتى يطفأ الثايرستور عند الزاوية 180^o بواسطة الإخماد الطبيعي. حيث يوضح الشكل(2) مخطط الجزء الذي يتم العمل به في موجة فولتية المتسعة بهذه الطريقة ويبين الشكل(3) تغير السعة الفعالة في دائرة (RLC).

إن استخدام وسيلة الحد من تيار المفاتيح باستخدام مقاومة مثلا على التوالي مع المفاتيح الساكنة تقلل من الكفاءة الكلية للمحرك لأنها سوف تعمل على زيادة الخسائر وتقليل الكفاءة بشكل عام كما تزيد من الحجم الكلي للدائرة المقترحة.

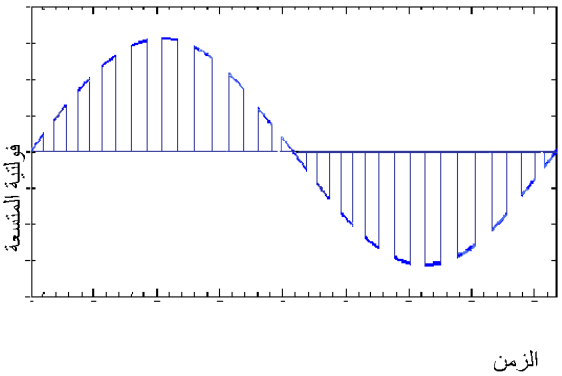


الشكل(2): مخطط يوضح الجزء من الموجة الذي يعمل به الثاير ستور ان المتعاكسان.

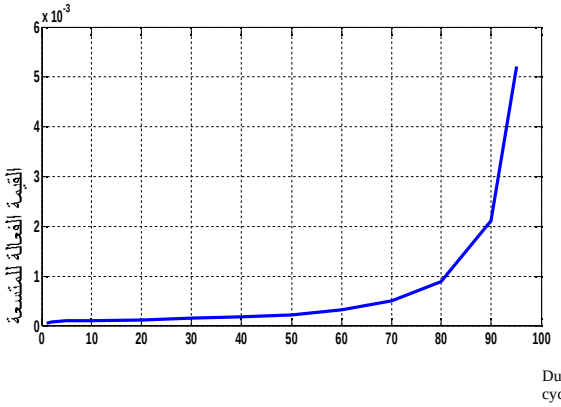


الشكل(3): علاقة المتسعة الفعالة مع تغير زاوية التوصيل باستخدام الثايرستورين المتعاكسين.

إما استخدام الدائرة الثانية وهي باستخدام ترانزستورين متوالين من نوع (MosFet (b)) على التوازي مع متسعة المحرك الحثي فهناك عدة طرق لعمل تلك الدائرة. تقتضي إحدى تلك الطرق بقدح المفاتيح الساكنة بتردد عالٍ يصل الى (1 kHz) وب(duty cycle) متغير من (1% إلى 100%) وتعمل على تغيير القيمة الفعالة للمتسعة بهذا المدى الواسع لتغيير وكما موضح بالشكلين(4,5).



الشكل(4): مخطط يوضح أسلوب عمل الترانزوستورين المتواليين بتردد عالي.



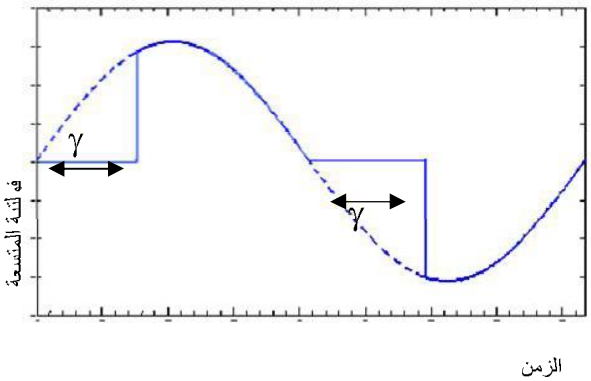
الشكل(5): علاقة تغير قيمة المتسعة الفعالة مع تغير النسبة المئوية للغلق على الزمن الكلي (duty cycle) عند قيمة

ويتم التحكم بمدى بقاء إشارة القدح والتي تمثل زاوية التوصيل هنا والتي من خلالها يتم الحصول على قيم مختلفة من المتسعة الفعالة. تكمن مشكلة تشغيل أي نوع من المفاتيح الساكنة مع المتسعة وجود فولتية آنية عبر تلك المتسعة والتي سوف تسبب مرور تيار عالي بالمفاتيح إذا ما كانت هذه الفولتية كبيرة القيمة وتصل إلى ضعف فولتية المصدر. لذلك من الممكن عمل تلك الدائرة والبدء بالتوصيل فقط عندما تكون الفولتية المسلطة على المتسعة مساويا للصفر حتى نضمن عدم وجود أي تيار عالٍ يسري عبر المفاتيح الساكنة. تكمن آلية العمل هذه بالمفاتيح الساكنة وإمكانية التحكم بالتشغيل والإطفاء, حيث ممكن استخدام (c) Back to back GTO)) على التوازي مع المتسعة كذلك. والجدير بالذكر هنا ان عمل الأسلوب الآخر وهو باستخدام (c) GTO)) شبيه بعمل الدائرة الثانية باستخدام الترانزستورين المتوالين[6,5].

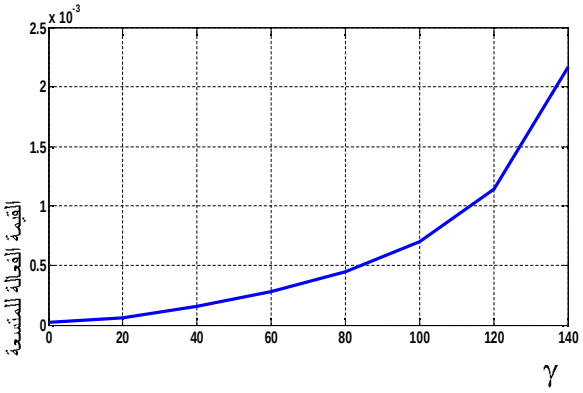
من الممكن اختيار زاوية التوصيل المناسبة التي تعطينا القيمة الفعالة للمتسعة المناسبة وذلك بشرط ان نبدأ بقدح المفاتيح لحظة وصول فولتية المتسعة الى الصفر وكما موضح بالشكل(6). يعتمد الأسلوب هنا في عملية توليد نبضات القدح للمفاتيح الساكنة بصورة رئيسية على موجة فولتية المتسعة حيث كلما تصل هذه الفولتية الى الصفر يبدأ بقدح المفاتيح الساكنة والتي تعمل على ابقاء فولتية المتسعة مساوية للصفر من خلال دائرة القصر المتمثلة بالمفاتيح. يتيح هذا الاسلوب كما ذكر الى تجنب تسليط دائرة قصر أثناء وجود أية فولتية آنية على المتسعة.

تعمل المفاتيح هنا بصورة دورية مع كل نصف موجة من دورة التيار, اي يكون تردد نبضات القدح ضعف تردد المصدر, فعندما يكون المفتاحان في وضع الإطفاء أي عدم وجود قدح عليهما سوف يمر التيار من المصدر عبر المتسعة إلى اللفيفة المساعدة. والوضع الآخر سوف يمر من المصدر عبر المفاتيح إلى اللفيفة المساعدة. تستخدم فولتية المتسعة لملاحظة وصولها إلى نقطة الصفر من خلال كشف موقع الصفر على إطرافها, وابقائها على الصفر الى ان ترفع الإشارة عن المفاتيح[3].

إن القيمة الفعالة للمتسعة تتغير عندما تكون قيمة الفولتية الأساسية عبر المتسعة لا تعتمد على قيمة التيار المار خلالها. بمعنى, إن القيمة الأساسية للفولتية الآنية عبر المتسعة سوف تكون اقل بكثير عند عمل المفاتيح الساكنة, لذلك تكون القيمة الفعالة للمتسعة أكبر بكثير من القيمة الفعلية. تصل القيمة الفعالة للمتسعة إلى ما لانهاية عندما تكون المفاتيح مغلقة خلال فترة الموجة بصورة كاملة, لاحظ الشكل(7).



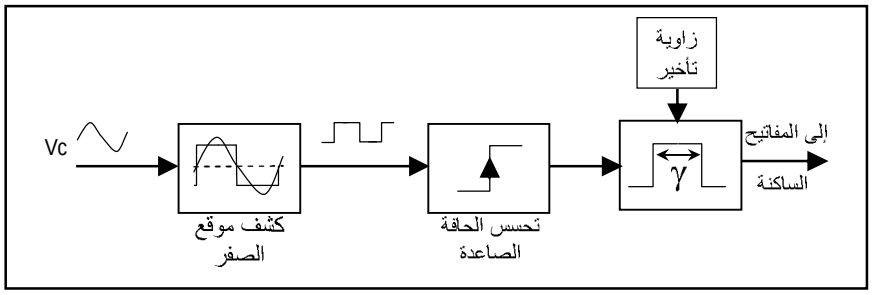
الشكل(6): مخطط يوضح أسلوب عمل مبدأ الكشف عن الصفر باستخدام الترانزوستورين المتواليين.



الشكل(7): علاقة تغير القيمة الفعالة للمتسعة مع تغير زاوية التوصيل عند باستخدام أسلوب كشف الصفر

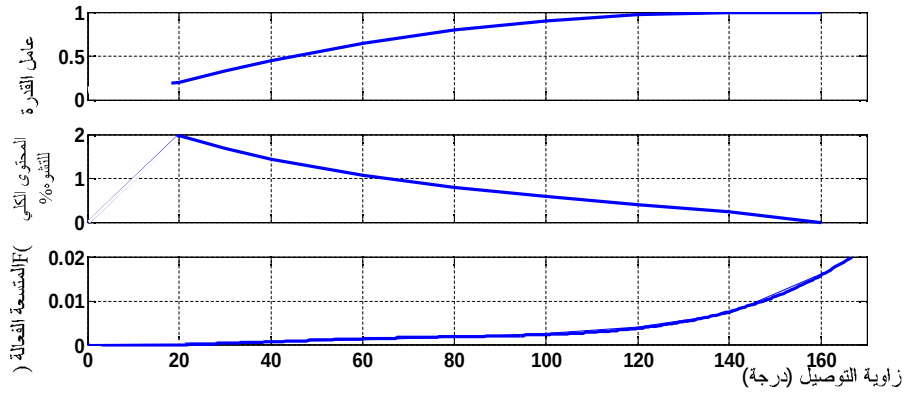
3- وصف لألية التحكم وتطبيقها.

يتم تحويل الفولتية إلى موجة مربعة حيث يستفاد من الجزأين الموجب والسالب لقدح زوج المفاتيح الساكنة المستخدمة. يتم التحسس بالحافة الصاعدة ومن ثم إضافة مقدار التأخير المطلوبة وحساب زاوية التوصيل المطلوبة ليتم تسليطها فيما بعد للترانزستور الجزء الموجب, أما التحسس بالحافة النازلة تسلط الى الترانزستور الآخر, كما موضح بالشكل(8).



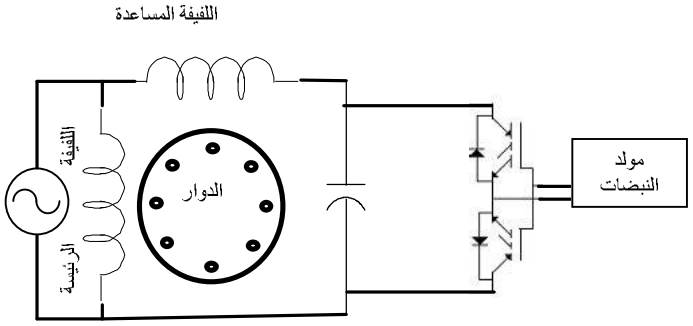
الشكل(8): أسلوب توليد زوايا قدح المفاتيح الساكنة.

تم تطبيق هذا الأسلوب بتغيير السعة على دائرة (RLC circuit) وتم اخذ نتائج القيمة الفعالة للمتسعة وعامل القدرة وكانت كما مبينا بالشكل ولكن بدون شك انه سوف يكون على حساب أمور أخرى أهمها تشوه تيار الدائرة, حيث يزداد التشوه عن تسليط نبضات القدح ومن ثم يقل بزيادة زاوية التوصيل[3], وكما مبينة بالشكل(9).



الشكل(9): يوضح تغير قيمة المتسعة الفعالة والمحتوى الكلي للتشوه وعامل القدرة مع زاوية

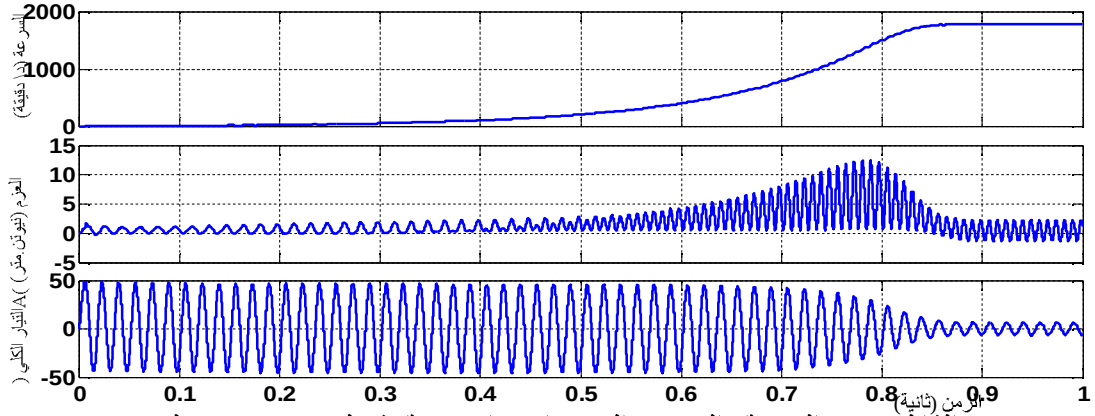
تم تنفيذ هذا الأسلوب لتغير السعة مع المحرك الحثي أحادي الطور الشكل(10) باستخدام النموذج الحاسوبي وبقيمة متسعة التشغيل المناسبة للمحرك أو اقل ومن ثم يتم التحكم بالقيمة الفعالة وبمدى محصور بين قيمة متسعة التشغيل والى قيمة متسعة البدء. فعند البدء يتم قدح المفاتيح بزاوية قدح تعطي قيمة فعالة مساوية لقيمة متسعة البدء التي يحتاجها المحرك. وعند وصول المحرك الى الاستقرار تتغير زاوية التوصيل تدريجيا اوقطعياً وصولاً إلى الصفر.



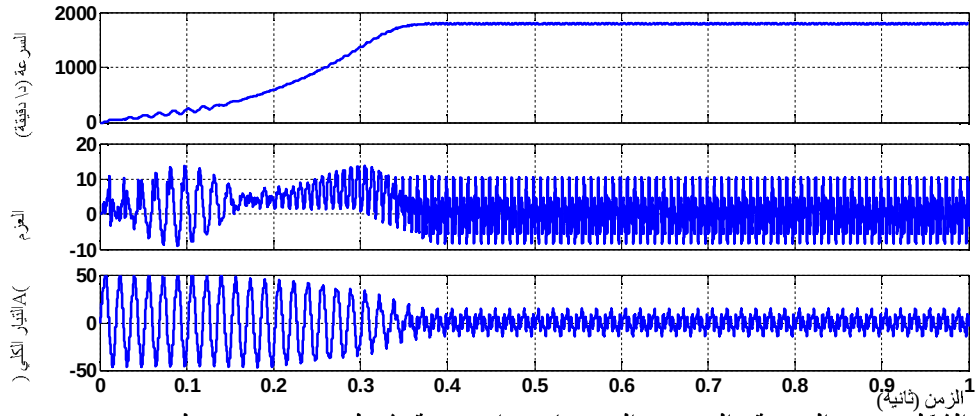
الشكل (10): دائرة المحرك الحثي مع المفاتيح الساكنة.

4- حالة البدء.

تقدم فكرة المتسعة المتغيرة حلا لمشكلة البدء التي تتطلب قيمة اكبر للمتسعة من حالة التشغيل الطبيعي, وللحصول على هذه القيمة لمتسعة البدء في الأسلوب الجديد ما علينا إلا تسليط نبضات قدح بزاوية توصيل معينة. تم تشغيل المحرك بمتسعة واحدة فقط اكبر بقليل من متسعة التشغيل الطبيعية وملاحظة ظروف البدء من فترة الوصول إلى الحالة المستقرة للسرعة والعزم مع الزمن. ثم تشغيل المحرك بنمط القيمة الفعالة لمتسعة المفاتيح الساكنة ومقارنتها كما مبينة بالشكلين(12,11). حيث تم استخدام متسعة بقيمة متسعة التشغيل للمحرك وهي 30μF وعند اللاحمل. نلاحظ هنا إن البدء باستخدام متسعة التشغيل فقط نصل إلى الاستقرار والى السرعة المقننة بزمن (0.85) ثانية الشكل(11), أما البدء باستخدام متسعة المفاتيح الساكنة أي بعد قدح بزاوية توصيل مقدارها (50) درجة فنصل إلى السرعة المقننة بزمن (0.35) ثانية, الشكل(12). والملاحظ كذلك عدم ارتفاع التيار في الحالة الثانية عن الحالة الأولى, معنى ذلك أننا حصلنا على حالة بدء جيدة وبدون ارتفاع التيار. أما سبب اختيار الزاوية عند هذه القيمة فيأتي من القيمة الفعالة للمتسعة التي تكون قريبة من قيمة متسعة البدء لهذا المحرك.



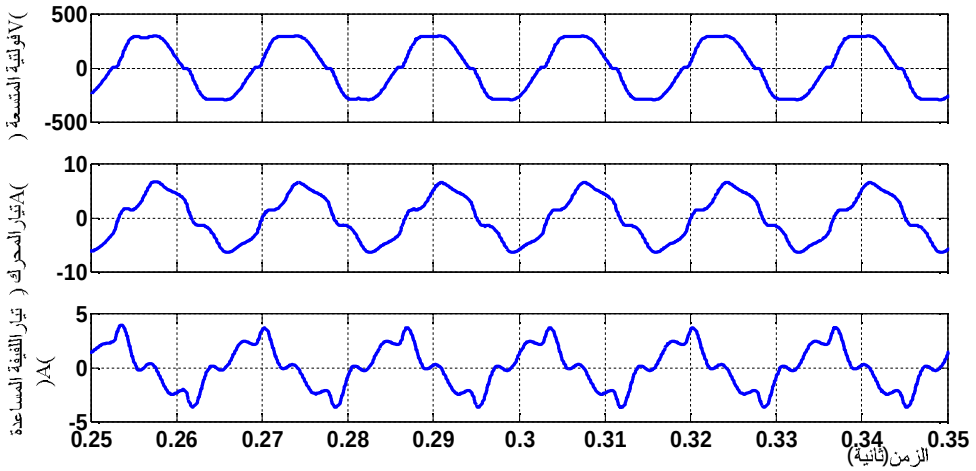
الشكل (11): السرعة والعزم مع الزمن باستخدام متسعة تشغيل 30μF عند حمل 0.5 نيوتن متر ثابت وبدون استخدام المفاتيح الساكنة.



الشكل (12): السرعة والعزم مع الزمن باستخدام متسعة تشغيل 30μF عند حمل 0.5 نيوتن متر باستخدام المفاتيح الساكنة وبزاوية توصيل 50^o.

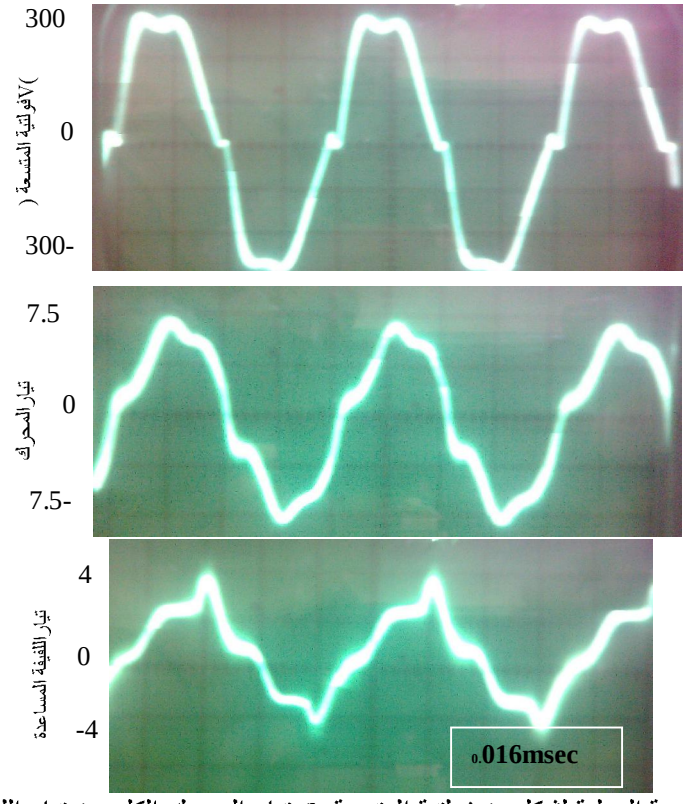
5- فولتية وتيار متسعة المفاتيح الساكنة.

نلاحظ من الشكل(13) تيار اللفيفة المساعدة والتيار الكلي وفولتية المتسعة وذلك عند زاوية توصيل مقدارها (15^o), بعد وصول المحرك إلى الحالة المستقرة تم أخذ هذه القيمة لزاوية التوصيل لا على التعيين, فقط لمجرد المقارنة مع النتائج العملية ولبيان أشكال فولتيات وتيارات المحرك عند قيمة قليلة من زاوية التوصيل. حيث نلاحظ عدة أمور منها ارتفاع القمة العليا لفولتية المتسعة عند أي زيادة في زاوية التوصيل كما نلاحظ التشوه الشديد الحاصل في تيار اللفيفة المساعدة بسبب تغير قيمة الممانعة الكلية لدائرة اللفيفة المساعدة في الدورة الواحدة من خلال دخول وإخراج قيمة المتسعة مع هذه الدائرة, بيد أن التشوه في التيار الكلي يكون نسبيا اقل من تيار اللفيفة المساعدة لأنه يمثل مجموع التيارين المساعدة والرئيسية, حيث يكون تيار الأخيرة قريباً من الموجة الجيبية.



الشكل(13): يوضح موجات فولتية المتسعة والتيار الكلي وتيار اللفيفة المساعدة في الحالة المستقرة

كما نلاحظ في الشكل (14) نتائج النموذج المختبري لموجات فولتية المتسعة وتيار اللفيفة المساعدة والتيار الكلي للمحرك عند زاوية توصيل مقدارها (15^o) ومدى مطابقتها لأشكال النموذج الحاسوبي التمثيل باستخدام برمجيات Matlab والمبينة في الشكل(13). مما يعطينا فكرة واضحة عن مدى دقة وصحة برنامج التمثيل الذي تم اعتماده.



الشكل(14): النتيجة العملية لشكل a) فولتية المتسعة b) تيار المحرك الكلي c) تيار اللفيفة المساعدة وبزاوية توصيل 15^o.

6- الاستنتاجات:

يقدم هذا البحث نموذجاً لبادئ حركة (Motor Starter) ساكن للمحرك الحثي أحادي الطور مكوّن من نبائط الكترونيات القدرة *(المفاتيح الساكنة)*, *والتي توضع بدلاً عن متسعة البدء ومفتاح الطرد المركزي المربوطة مع دائرة اللفيفة المساعدة. تعمل المفاتيح الساكنة بشكل دوري (periodically) ومتزامن (synchronously) دائرة قصر على متسعة تشغيل المحرك*. من الممكن تغيير القيمة الفعالة للمتسعة وذلك من خلال تغيير قيمة زاوية التوصيل للمفاتيح الساكنة. ومن خلال ذلك يتم الحصول على حالة بدء جيدة عند قدح المفاتيح عند البدء وباستخدام متسعة واحدة هي متسعة التشغيل. وقد أمكن تقليص زمن البدء بهذه الطريقة من (850) ملي ثانية إلى (350) ملي ثانية دون ارتفاع في تيار البدء.

7- المصادر.

1. T. Wildi. **"Electrical Machines, Drives, and Power system"** Pearson Prentice Hall, sixth edition, 2006.

2. S. Ghosh **" Electrical Machines "** Pearson Education, 2005.

3. S. Sunter, M. Ozdemir, and B. Gumus, **" Modeling and Simulation of a Single-Phase Induction Motor with Adjustable Switched Capacitor "** 9th International conferences on power electronics and motion control –EPE- PEMC 2000.

4. R. Rabinovici and Z. Keller **" New Electronic Starter for Single Phase Induction Motors "** IEEE Transaction on Magnetics, vol 32, No 5, Sept 1996.

5. E. Muljadi, Y. Zhao, T. Liu and T. Lipo **" Adjustable ac Capacitor for a Single-Phase Induction Motor "** IEEE Transaction on industry application, vol 29, No 3, May 1993.

6. T. Lettenmaier, D. Novotny and T. Lipo **" Single-Phase Induction Motor with an Electronically Controlled Capacitor "** IEEE Transaction on industry application, vol 27, No 1, Jan/Feb 1991.

8- <u>الملحق</u>.

Single phase induction motor:-

$r_{1m} = 0.78\ \Omega$, $L_{1m} = 0.0032H$,
$r_2' = 1.6\Omega$, $L_2' = 0.00318H$,
$r_{1a} = 3.52\Omega$, $L_{1a} = 0.0087H$,
$a = 1.66$,

RLC circuit:-

$R = 5\Omega$, $L = 0.6H$, $C = 20\mu F$

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل