مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (6) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (6) 2011

دراسة وتصميم منظومة حماية متعددة الوظائف لمحرك كهربائي

د. طارق ابراهيم*

(تاريخ الإيداع 6 / 12 / 2011. قُبِل للنشر في 29 / 12 / 2011)

□ ملخّص □

تُعَدُّ المحركات الكهربائية أكثر العناصر استخداماً في نظم القدرة الكهربائية وأكثرها استهلاكاً للطاقة، لذلك فإن مراقبتها وحمايتها من آثار الأعطال التي قد تصيبها، تشكل مساهمة فعالة في حماية النظام والمحافظة على استقراره.

تستطيع المنظومة المقترحة في البحث أن تتعامل مع حالات العطل المختلفة، وأن تتحسس أيضاً للأنظمة غير الطبيعية لعمل المحرك، ولذلك زودت بمخرجين، أحدهما لإعطاء أمر الفصل حيث يتطلب العطل ذلك، والثاني لإظهار حالة المحرك التي يمكن معها التريث.

الكلمات المفتاحية: نظم قدرة، حماية نظم قدرة، محركات كهربائية، أعطال.

* أستاذ – قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (6) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (6) 2011

Étude et Calwl du système de protection multi-tâches d'un moteur électrique

Dr. Tarek Ibrahim*

(Déposé le 6 / 12 / 2011. Accepté 29 / 12 / 2011)

□ Résumé □

On considère les moteurs électriques comme un des éléments les plus utilisés dans le système électrique, ainsi que les plus consommateurs d' énergie. Par conséquent, sa surveillance et sa protection des defauts constituent une contribution efficace dans la conception de protection de système électrique. Le système proposé dans l'article peut réagir dans différentes situations de défaut. Notre système peut prévoir un régime anormal du fonctionnement du moteur. Le système est équipé de deux sorties:
l'une pour donner l'ordre de coupre et la deuxième pour montrer l'état d'attente de protection du moteur.

Mots Clés: système électrique, protection des systèmes électriques, moteurs électriques, défauts.

* **Professeur au départment de Génie éléctrique, Faculté du Génie mécanique et éléctrique, Université Tichrine, Lattaquié, Syrie.**

مقدمة:

تتميز المحركات الكهربائية ببساطتها وموثوقية أدائها، الأمر الذي سمح بانتشارها الواسع في الصناعة ومنشآت الاحتياجات الذاتية للمحطات الكهربائية.

يمكن أن تنشأ في ملفات المحركات الكهربائية أثناء عملها حالات قصر لأحد أطوار الثابت مع الأرض، أو قصر بين اللفات، أو قصر متعدد للأطوار، وهو ما يترافق بمرور تيارات كبيرة قد تؤدي إلى تخريب عازلية ونحاس الملفات وفولاذ الدائر والثابت، كما يمكن للمحركات أن تعمل بشكل غير طبيعي من خلال زيادة تحميلها بتيارات ذات قيم أكبر من قيمة التيار الاسمي [1]، [2]، [3].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسةِ منظومةِ حمايةٍ وتصميمها بحيث تستطيع التعامل مع مختلف حالات الأعطال التي سبق ذكرها، وكذلك الحالات غير الطبيعية، بدلاً من الحمايات الكثيرة التقليدية التي تتعامل، وتكاد تختص، مع كل حالة عطل على انفراد.

وتعود أهمية هذا البحث إلى مقاربة الأعطال من وجهة نظر حرارية، وكذلك من خلال الاعتماد على التقنية الرقمية والمعالجات الميكروية [4].

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا في البحث دراسة تحليلية نظرية حول توازن الحالة الحرارية للعناصر الفعالة في المحرك، ثم وضعنا مميزات الزمن – تيار للحماية المعتمدة على هذه المقاربة للحالة الحرارية، وبناء عليها تم اقتراح المخطط الهيكلي المبدئي لمنظومة الحماية المقترحة.

النتائج والمناقشة:

إن تسخين ملفات الثابت إلى درجة حرارة أعلى من المسموح به ممكن في حالات الحمل الزائد المتناظر، والقصر بين الملفات، واللفات المقصورة، وقد يحدث التسخين الزائد لسطح الدوار في أنظمة العمل اللاتناظرية للمحرك الناجمة عن وجود قصر في اللفات أو بين الملفات، عدم التناظر في جهد التغذية بما في ذلك التقطعات في سلك توصيل أحد الأطوار.

إن تنفيذ الحماية على أساس تحقيق توازن الحالة الحرارية للعناصر الفعالة في المحرك الكهربائي يتيح وعلى الوجه الأكمل استخدام خاصية التحميل الزائد للمحرك الكهربائي في نفس الوقت الذي تتأمن فيه الحساسية العالية للحماية مع بداية نشوء العطل.

لخفض زمن بقاء المحرك في أنظمة العطل يتم إدراج زاجل قطع تياري ضمن منظومة الحماية. يمكن التعبير عن الوصف الأدق لعملية تسخين الأجزاء الفعالة للمحرك بالمعادلة (1):

$$\frac{d\theta}{\mathrm{dt}} = \frac{1}{cM}\,\Delta\rho - \frac{\propto F}{cM}\,\theta \qquad (1)$$

حيث: $\Delta\rho$ [w] – الضياع في العنصر الفعال؛ α [w/m^2k] – معامل التبادل الحراري؛ $F(m^2)$ – سطح تبريد العنصر الفعال؛ M [kg] – كتلة العنصر الفعال؛ c [Joul/kg.k] – السعة الحرارية النوعية لمادة العنصر الفعال؛ θ [k] – زيادة حرارة العنصر الفعال على وسط التبريد؛ t [sec] – الزمن.

يمكن كتابة المعادلة (1) على الشكل التالي:

$$\frac{d\theta}{\mathrm{dt}} = \frac{\Delta\rho}{cM} - \frac{\theta}{T_H} \qquad (2)$$

حيث $T_H = cM/\alpha F$ [sec] – ثابت زمن تسخين الجزء الفعال. عند حل هذه المعادلة يكون على الشكل الآتي:

$$\theta = \theta_0 (1\text{-}e^{\text{-t/TH}}) \qquad (3)$$

حيث: $\theta = \Delta P T_H/cM$ – القيمة النهائية لزيادة درجة الحرارة (المستقرة).

يمكن كتابة المعادلة (1) بشكل آخر كما يلي :

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{dt}} = \frac{K^2}{cM} - \frac{\theta}{T_H} \qquad (4)$$

حيث يتم تمثيل الضياعات بمضاعف التيار (K^2) المسخن للعنصر الفعال $K^2 = I^2/I_d{}^2$ (I– القيمة الآنية للتيار، I_d– تيار المحرك المسموح به لفترة طويلة. مثلاً، بالنسبة لتيار المركبة المباشرة $I_d = 1.07\ I_n$ وبالنسبة لتيار المركبة العكسية $I_d = 0.2\ I_n$.

عند ذلك يأخذ حل المعادلة التفاضلية الشكل الآتي:

$$\theta = \frac{k^2 T_H}{cM}\ (1 - e^{-t/T_H}) \qquad (5)$$

إذا اعتبرنا أن الحرارة لا يمكن أن تزيد عن القيمة الحدية المسموح بها θ_d والتي يجب النظر إليها على أنها القيمة النهائية للحرارة الموافقة القيمة المسموح بها للتيار لفترة طويلة I_d. فيمكن من المعادلة (5) تحديد مميزة الزمن– التيار للحماية:

$$t_{cp} = T_H\ ln(\frac{K^2}{K^2-1}) \qquad (6)$$

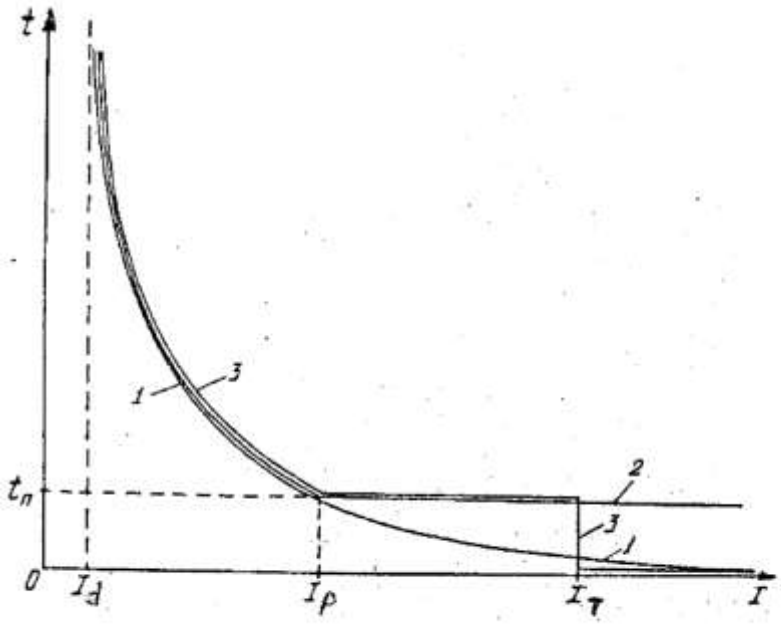
حيث t_{cp} – زمن عمل الحماية.

يبين الشكل (1) الشكل العام لهذه المميزة (المنحني 1). في بنية الحماية لا تعد الحرارة العنصر المتحكم به وإنما القيمة cMθ. إن الزمن يعطى أيضاً على شكل $cM\theta_d$ الأمر الذي يوافق الطاقة، التي تسخن الجزء الفعال من المحرك حتى درجة الحرارة الحدية المسموح بها، ويتم تحديد قيمتها من المعادلة (4) بعد مساواة القسم الأيسر من المعادلة بالصفر، أي:

$$\frac{k^2}{cM} - \frac{\theta_d}{T_H} = 0$$

$$K^2 T_H = CM\theta_d$$

وُيعتمد هذا الأسلوبُ لهدفٍ هو تبسيط الحماية وإدخال بعض الاحتياطي على تأثيرها التنبيهي نتيجة استخدام درجة الحرارة 40° تقريباً، كدرجة حرارة عظمى أولية للوسط المحيط.



الشكل 1 : مميزات التيار–الزمن لحماية المحرك الكهربائي

1– بقيمة ثابتة لدرجة الحرارة الحدية، 2– مع تجاوز قصير الأمد لدرجة الحرارة الحدية، 3– مع الحد من زمن العمل عند وجود التيارات الكبيرة؛ t– زمن وجود المحرك في حالة التوصيل؛ t_n– زمن إقلاع المحرك؛ I_d– تيار المحرك المسموح به لفترة طويلة؛ I_p– التيار محدود الزمن؛ I_T– تيار عمل زاجل القطع التياري.

سيتم تحديد درجة الحرارة الحدية بالمواد المكونة للقسم الفعال، على سبيل المثال، بالنسبة لملف بعزل من الدرجة B تكون $\theta_d = 80$ c° . من أجل التنفيذ العملي لمعادلة التسخين التفاضلية يجب حساب مكافئاتها (معاملاتها)، وباعتبار صعوبة تحديد هذه المكافئات يمكن لضبط الحماية من الأحمال الزائدة التناظرية مثلاً، استخدام مواد تحكم دليلية والتي ينبغي، وفقاً لها على الآلات العاملة بالتيار المتناوب ودون مبدلات ودون تبريد مباشر للملفات، أن تتحمل زيادة الحمل بالتيار بمقدار 50% لمدة دقيقتين دون أن تتضرر ودون أن تحدث تشوهات كنتيجة لهذه الحالة. إذا افترضنا أن عملية التسخين عند مثل هذه الصياغة للمسألة يمكن توصيفها بالمعادلة التفاضلية (1)، فيمكن على أساس المعادلة (6) إيجاد قيمة ثابت الزمن الافتراضي :

$T_H = 120/In(2.25/(2.25-1)) \approx 170$ sec والتي يجب اعتبارها في بنية الحماية.

إن ثابت الزمن الفعلي يمكن أن يتجاوز القيمة التي يتم الحصول عليها بمرتين أو أكثر، مما يؤدي إلى عدم الاستفادة من خاصية تحمل الحمل الزائد للمحرك. إن التخفيض المصطنع لثابت الزمن قد يؤدي إلى فصل المحرك خلال عملية الإقلاع، فعلى سبيل المثال بالنسبة لمحرك باستطاعة 800 كيلوواط عند مضاعف تيار تقريبي (6-8) يحدث الفصل خلال زمن $t_{cp} = 170ln\ \frac{40}{40-1} \cong 4\ sec$ وهذا مسموح به. إن التصحيح الموافق لمميزة الزمن–التيار يمكن أن يتم تحقيقه بإدراج إعادة تشكيل لاخطية للضياعات بحيث يتم تفادي العمل غير الصحيح للحماية أثناء إقلاع المحرك (المنحني 2 في الشكل 1)، لهذه الغاية أثناء حل المعادلة التفاضلية (1) وبمقياس الزمن الحقيقي بالنسبة للقيمة الآنية لدرجة الحرارة، يتم إجراء تحديد مستوى المتحول I_K

$$\theta_k = \int_0^t \left(\frac{I^2}{4} - \frac{1}{T_H}\,\theta_0 \right) dt$$

$I < I_P$ عندما $I_K \approx K\,I$

$I \geq I_P$ عندما $I_K \approx K\,I_P$

حيث I_K, θ_k– متحولات الآلة المتناسبة طرداً مع التيار ودرجة الحرارة الحقيقيين. يمكن وضع قيمة I_P من المعادلة (6) عند معرفة زمن إقلاع المحرك ومضاعفات تيار الإقلاع:

$$I_P^2 = I_a^2\, e^{t/T_H}/(e^{t/T_H} - 1)$$

إن تسارع عمل الحماية عند مرور تيارات تفوق تيارات الإقلاع يتحقق بإدخال حماية قطع تيارية (المميزة 3 في الشكل 1).

تنشأ الصعوبة في تحديد معاملات المعادلة التفاضلية (1) أيضاً عند توليف الحماية من زيادة حمل المحرك بتيار المركبة العكسية. ينصح بموالفة هذه الحماية فقط مع حمايات العناصر الملاصقة وتحقيق التمايز المطلوب عن اللاتناظر المحتمل في أنظمة الإقلاع. وهكذا، يؤخذ زمن عمل الحماية للعناصر الملاصقة والمستوى الاعظمي لتيار اللاتناظر أثناء إقلاع المحرك ($I_{tmax} = I_n/2$) كشروط حدية يمكن تحديد القيمة المفترضة لثابت زمن التسخين بالنسبة للحماية المقترحة، وشكل مميزة الحماية في هذه الحالة يمثله المنحني 1 في الشكل 1.

إن الحماية من القصر الأرضي تمثل عنصر التيار الأعظمي، المتحسس على تيار التتابع الصفري للمحرك (المأخوذ من مرشح خارجي– محول تيار)، والذي يشكل إشارة التحكم على خرج منفصل مع تأخر زمني متحكم به 0- 2.5 ثانية.

إن نمذجة عملية التسخين بوسائط التقانة الحسابية التشابهية مرتبطة بمجموعة من الصعوبات في تحقيق ثوابت زمن كبيرة لمكاملة وتأمين الدقة الضرورية ضمن مجال واسع من تغيرات الإشارات المتحكم بها. ومن هذه الناحية تأتي أفضلية التقانة الحسابية الرقمية [5] [6]، والتي تتطلب معالجة مسبقة للمعلومات بالوسائط التشابهية. ويمكن تقديم مخطط هيكلي مبدئي للحماية المقترحة كما يظهر على الشكل (2).

بناء على تقنية الحسابات التشابهية يتم تنفيذ المحولات (V1-V3)، المرشح المركب (KΦCC)، الذي يفصل المركبات المتناظرة في تيارات الأطوار، العقد العيارية (V5,V6)، العقد التي تشكل القيم المتحكم بها V7-V9 و Z1-Z3. إن الخوارزميات المباشرة للحماية تعالج في الحواسب المكروية [5]، ويتم من خلالها إدخال ناتج المعلومات عن شكل الضرر وعرضه على لوحة رقمية مضيئة.

تعمل المنظومة المقترحة لحماية المحرك الكهربائي على إظهار حالات العطل (القصر الأرضي، القصر بين الملفات) والأنظمة غير الطبيعية (عدم تناظر تيارات التغذية، الحمل الزائد، تأخر الإقلاع) لعمل المحرك الكهربائي، وتشغيل دارات الفصل والإنذار.

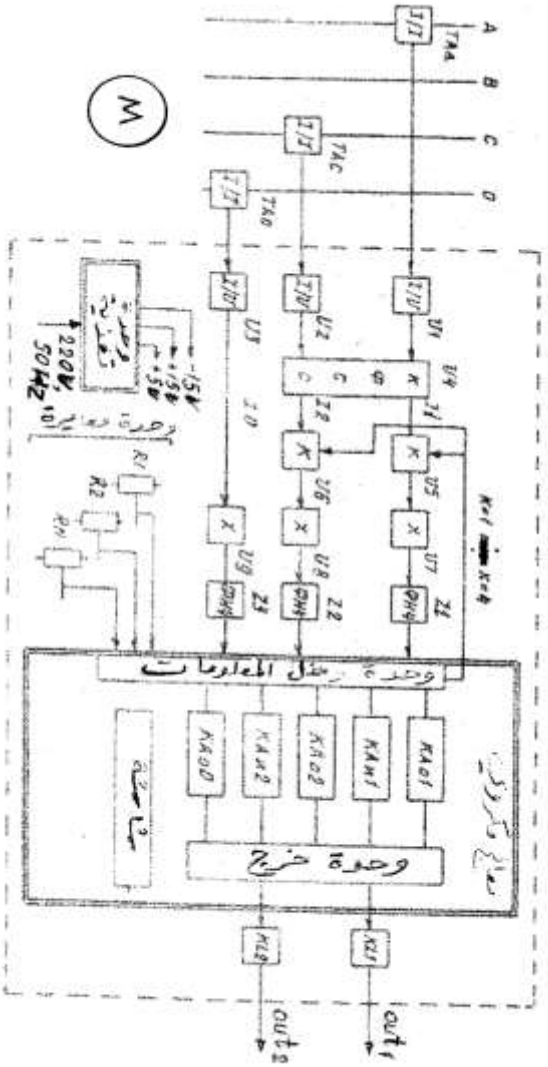
تؤمن المنظومة من الناحية الوظيفية:

- الحماية من القصر بين الأطوار ومن انقطاع سلك طور (حمايات قطع تيارية تعمل على مركبات التتابع المباشرة والعكسية للتيارات، وهي ذات عتبة تشغيل قابلة للتعيير).
- الحماية من الحمولات الزائدة المتناظرة أو غير المتناظرة ومن القصر بين اللفات (عناصر تحاكي عملية التسخين والتبريد للمحرك الكهربائي بتيارات التتابع المباشر والعكسي ذات مميزة التيار– الزمن من النوع التابع).

- الحماية من القصر الأرضي (عنصر تيار يتحسس لمركبة التتابع الصفري بعتبة تشغيل قابلة للتعيير وبتأخير زمني يتراوح من 0 حتى 2.5 ثانية).

للمنظومة مخرجان أحدهما للفصل والآخر للإنذار (الحماية بتيار التتابع الصفري). تؤمن دارات خرج المنظومة تحويل التيارات إلى دارة الجهد 220 فولت عندما لا تزيد استطاعة الحمل الفعال عن 15 واط، التيار الاسمي المفترض لدارات دخل المنظومة 5 أمبير، والاستطاعة المستهلكة في دارات التيار لا تزيد عن 0.01 فولت أمبير عند التيار الاسمي.

تتم تغذية المنظومة من شبكة تيار متناوب بجهد 220 فولت وتردد 50 هرتز، ويفترض في أساس الحماية تحقيق التوازن في تسخين الأجزاء الفعالة من المحرك (ملفات الثابت وسطح الدوار).



الشكل 2- المخطط الهيكلي لحماية المحرك الكهربائي

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يمكن اعتماد مقاربة مختلفة لتحقيق حماية المحرك، تتعلق بتوازن الحالة الحرارية فيه.
2. الحصول على مميزات الزمن– تيار للحماية العاملة وفق المقاربة الحرارية الخاصة بكل حالة عطل.

3. الاعتماد على المعالجات الميكروية الحاسوبية للتعامل مع المعطيات الحرارية المتعلقة بحالات الأعطال وأنظمة العمل غير الطبيعية.
4. تقديم نموذج مبدئي لمخطط هيكلي لمنظومة حماية عديدة الوظائف، تستطيع التعامل مع مختلف حالات العطل وأنظمة العمل غير الطبيعية للمحرك.

المراجع:

1. ابراهيم طارق– حسام الدين علاء– حماية نظم القدرة الكهربائية– جامعة تشرين– 2001، 530 صفحة.
2. فلاحة أحمد سمر– حماية نظم القدرة (1)– جامعة حلب– 1991، 502 صفحة.
3. أندرييف ف. أ– حماية وأتمتة نظم التغذية الكهربائية– موسكو– 2008، 639 صفحة.
4. دياكوف أ. ف– حماية وأتمتة نظم القدرة باستخدام المعالجات المكروية– موسكو– 2010، 335 صفحة.
5. بلايف أ. ف– اختيار عناصر الحمايات في الشبكات الكهربائية– موسكو– 1988، 173.
6. شاباد م. أ– اختيار وتعيير عناصر الحمايات الرقمية– موسكو– 1996، 46 صفحة.