مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

استخدام عملية إعادة الوصل الآلية سريعة الأداء لرفع وثوقية الخدمة في محطات التوليد الكهربائية

د.عبد اللطيف أبو سيف*

(قبل للنشر في 1996/3/19)

□ الملخّص □

يستعرض هذا المقال خصائص شبكة الاحتياجات الذاتية المغذية لمحركات وتجهيزات الخدمة في محطات التوليد الكهربائية المكونة من مجموعات توليد 200MW. كما يبين مخاطر انقطاع التغذية عن تجهيزات الخدمة لفترة طويلة وإمكانية استخدام عملية إعادة الوصل الآلية للتغذية، التي تخفض زمن انقطاع التغذية والخسارة الاقتصادية الناتجة عن ذلك إلى أدنى حد ممكن يتضمن المقال أيضاً النموذج الرياضي الممثل لمحركات الخدمة والذي يمكن من دراسة سلوكها في مختلف حالات التشغيل المستقرة والعابرة باستخدام الحاسوب. كما يبين هذا المقال أنه من أجل ضمان نجاح عملية الإقلاع الذاتي التي تتلو إعادة الوصل الآلية للتغذية لمحركات الخدمة يتوجب دراسة خصائص هذه العملية بدقة من أجل الاختيار الصحيح لمحددات عناصر شبكة الخدمة وتعيير أجهزة التحكم والحماية فيها بالشكل الأمل. وتقترح في هذا المقال دارة مخبرية لتنفيذ عملية إعادة الوصل الآلية على جولتين يمكن استخدامها عند الدراسة العلمية للمحركات الكهربائية باستخدام النماذج الفيزيائية المصغرة.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق– دمشق – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

APPLICATION OF QUICK AUTOMATIC RECLOSING FOR RAISING THE RELIABILITY OF AUXILIARY MOTORS IN ELECTRICAL POWER STATIONS

Dr. Abed Almoutaleb ABOU-SAIF*

(Accepted 19/3/1996)

❐ ABSTRACT ❐

This paper studies the characteristic properties of auxiliary network, which feeds auxiliary motor equipments in electric power stations with power units of 200MW. The research shows the risk of switching-off power supply at auxiliary equipments for a long time, and explains the possibility of using quick automatic reclosing. This reduces the interruption in power supply and decreases the related economic damage to minimum levels. This paper also presents a mathmatical model of auxiliary motors, which help to study them in several stable and transeint cases on computers. This research shows that self – starting of auxiliary motors needs the study of quick automatic reclosing in auxiliary power network for right design parameters and adjusting the control and protection devices in this network. The research presents practical scheme for modifying quick automatic reclosing in laboratory for two rounds. This scheme can be used for the practical study of electric motors on small physical models.

* Associate Professor at ElecticalPower Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

مازال إنتاج الطاقة الكهربائية حتى يومنا هذا يتم بشكل أساسي في محطات التوليد الكهروحرارية، التي تعمل على أنواع الوقود المختلفة كالفحم والنفط والغاز والوقود النووي، وذلك بفضل توافر الاحتياطات الكبيرة من أنواع الوقود المذكورة في مختلف أنحاء العالم.

ومع التزايد المتوافر للطلب على الطاقة الكهربائية تتزايد قيم الاستطاعة المركبة في محطات التوليد ويتسع استخدام مجموعات التوليد عالية الاستطاعة. فقد وصلت الاستطاعة الاسمية لمجموعات التوليد المستثمرة في المحطات الكهربائية السورية إلى 200MW، ويمكن أن تصل هذه الاستطاعة عما قريب حتى 380MW. إن هذا النمو بالاستطاعات يجعل التجهيزات المخصصة لخدمة وتشغيل محطات التوليد الحديثة أكبر استطاعة وأكثر تعقيداً، مما يزيد من صعوبة تصميماً واستثمارها وأعمال الصيانة اللازمة لها.

من ناحية أخرى، إن استخدام مجموعات التوليد الحديثة عالية الاستطاعة يقتضي زيادة الاهتمام بمسألة تأمين درجة الوثوقية العالية لهذه المجموعات من أجل الحفاظ على استقرارها في العمل ومنع خروجها من الخدمة. فخروج مجموعات التوليد ذات الاستطاعة العالية من الخدمة يؤدي إلى مخاطر فنية واقتصادية كبيرة، أهمها قطع التغذية الكهربائية عن المستهلك وما ينجم عن ذلك من خسارة مادية كبيرة، وتعريض الشبكة الكهربائية التي انفصلت عنها مجموعات التوليد للاضطراب الشديد مما يعرض استقرارها للانهيار.

إن عملية إعادة الوصل الآلية سريعة الأداء تهدف. كما سنرى لاحقاً من خلال هذا المقال، إلى تخفيض زمن انقطاع التغذية الكهربائية عن تجهيزات الخدمة في محطات التوليد الكهربائية إلى أدنى حد ممكن، من أجل رفع درجة وثوقية مجموعات التوليد ومنع خروجها من الخدمة، وبالتالي تجنب المخاطر الفنية والاقتصادية الكبيرة التي تنجم عن ذلك.

من المعلوم أنه يلزم من أجل تشغيل مجموعات التوليد في المحطات الكهربائية استخدام مجموعة كبيرة من التجهيزات تدعى تجهيزات الخدمة. وتتكون هذه التجهيزات في المحطات الكهروحرارية بصورة أساسية من مجموعة المضخات، التي تؤمن دوران مياه التغذية والتبريد والتكثيف في الدارة الحرارية للمحطة، ومن جملة المراوح التي تقوم بتوفير الهواء اللازم لحرق الوقود وسحب الغازات الناتجة عن هذا الاحتراق. وتدار جميع هذه التجهيزات بالمحركات الكهربائية. ومن أجل إيضاح مكونات عناصر الخدمة نورد في الجدول رقم (1) بعض المواصفات الفنية لتجهيزات الخدمة الرئيسية المخصصة لمجموعة التوليد البخارية، التي تعمل على الوقود الصلب والتي تبلغ استطاعتها الاسمية 200MW[1].

الجدول (1): بعض المواصفات الفنية لتجهيزات الخدمة المخصصة لمجموعة التوليد البخارية 200MW.

تسميات التجهيزات / مواصفاتها الفنية	مروحة سحب الغازات IF	مروحة دفع الهواء الأساسي BF	مروحة هواء الطحن MF	مروحة الهواء الساخن HAF	مضخة الغذية الرئيسية PEP	مضخة التبريد CP	مضخة مياه التكثيف HWP	المهيج الاحتياطي RE
الاستطاعة الاسمية [KW]	1500 / 850	620 / 360	800	240	3800	1700	250	1100
سرعة الدوران [r.p.m]	597 / 497	599 / 497	1485	740	2985	368	1480	990
معامل الاستطاعة المردود	0.77 / 0.91	0.7 / 0.84	0.9 / 0.94	0.84 / 0.9	0.85 / 0.96	0.81 / 0.94	0.89 / 0.92	0.75 / 0.85
عزم الإقلاع / تيار الاقلاع [P.U]	1.0 / 5.7	1.9 / 9	1.0 / 5.4	1.75 / 4.6	1.4 / 7	1.3 / 3.4	1.1 / 5.8	2.6 / 10.0

كما يتضح من الجدول رقم (1) فإن محركات الخدمة الأساسية المخصصة لمجموعة التوليد 200MW تتغير باستطاعاتها الكبيرة، حيث تتراوح ما بين 200KW و3800KW. كما أن جميع هذه المحركات تعمل غالباً على التوتر المتوسط 6KV ويتم اختيارها عادة من أنواع المحركات التحريضية ثلاثية الطور ذات الدائر المقصور، لما تتميز به هذه المحركات من بساطة التركيب وسهولة في الاستخدام ومحددات أداء (مردود ومعامل استطاعة) استثمارية جيدة.

يتم تزويد تجهيزات الخدمة بالطاقة الكهربائية من شبكة كهربائية خاصة (الشكل 1) حيث نلاحظ أنها تتكون من مجموعتي قضبان توزيع ذات توتر متوسط 6KV. وتربط إلى هذه القضبان محركات الخدمة الأساسية والاحتياطية.

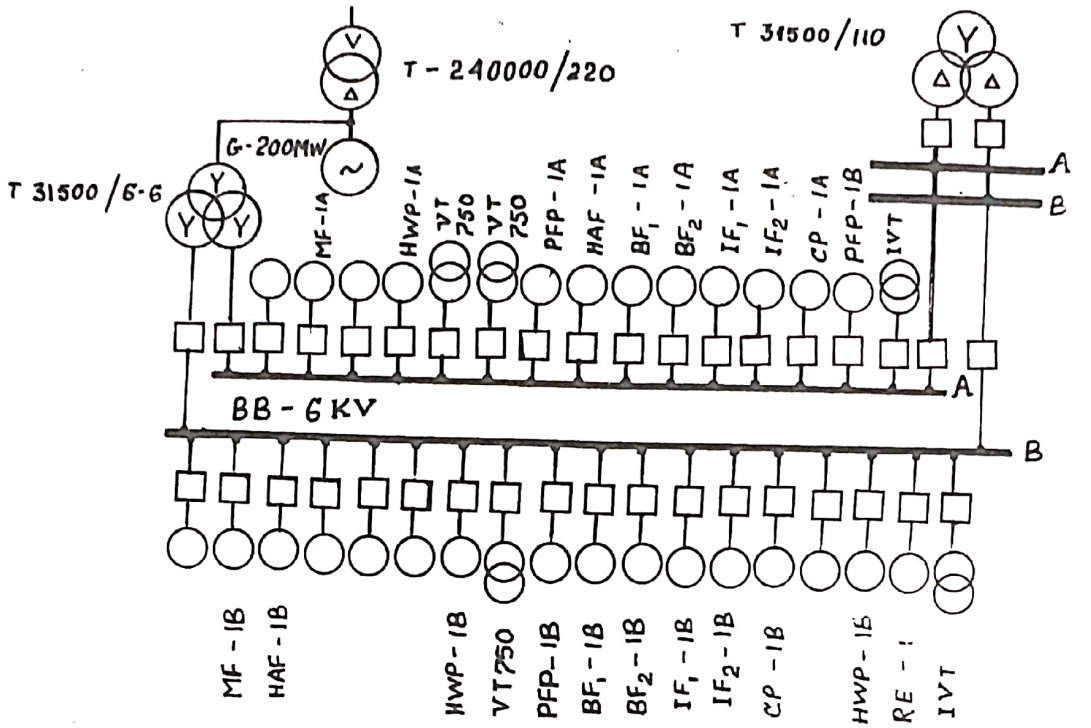
وتتغذى قضبان التوزيع بالطاقة الكهربائية من محولي خدمة، أحدهما أساسي يستجر الاستطاعة من خارج مجموعة التوليد نفسها، والمحول الآخر احتياطي ويقوم بإيصال الاستطاعة المطلوبة إلى شبكة الخدمة من شبكة التوتر العالي 230KV، التي تربط محطة التوليد مع منظومة الطاقة الخارجية.

عند اختيار المحولات المخصصة لتغذية تجهيزات الخدمة يتوجب التوفيق بين أمرين متناقضين فمن ناحية أولى يجب أن تتميز هذه المحولات بممانعة صغيرة ما أمكن لكي لا تسبب هبوطات بالتوتر كبيرة أثناء حالات العمل المستقرة والعابرة، وهذا ينعكس بشكل إيجابي

على استقرار محركات الخدمة ومقدرتها على العودة إلى حالة العمل الطبيعية بعد تعرضها للاضطراب بسبب الأعطال المختلفة التي تحدث في شبكة الخدمة. من ناحية أخرى لا يجوز خفض ممانعة محولات الخدمة عن حد أدنى معين لكي لا تتجاوز تيارات القصر في شبكة الخدمة الحدود المسموحة، وحتى تبقى قواطع التوتر المتوسط 6KV الآلية قادرة على فصل هذه التيارات دون أن تتعرض للتأثيرات الحرارية والكهروديناميكية زائدة الخطورة الناتجة عن حالة القصر.

على أساس ما تقدم يتم اختيار محولات الخدمة بتوتر قصر مئوي Us.c% لا يقل عن %(12-8) وذلك حتى تبقى تيارات القصر ضمن الحدود المسموحة كما تؤخذ هذه المحولات باستطاعات اسمية تتراوح ما بين 3% حتى 8% من الاستطاعة الاسمية لمجموعة التوليد المربوطة إليها. وذلك حسب نوع الوقود المستخدم في المحطة. من أجل زيادة درجة وثوقية التغذية في شبكة الخدمة يتم استخدام قضبان التوزيع المقسمة، التي تسمح بتوزيع المحركات ضمن مجموعتين تحصل كل مجموعة منها على التغذية من منبعين أحدهما رئيسي والآخر احتياطي. وتستخدم عند ذلك المحولات ذات ملفات التوتر الثانوي المقسمة. ويعتبر هذا الإجراء الوقت ذاته وسيلة أخرى للحد من تيارات القصر في شبكة الخدمة.

يتم اختيار محول الخدمة الاحتياطي بنفس مواصفات المحول الأساسي، لكنه يمكن أن يؤخذ باستطاعة اسمية أكبر بدرجة واحدة، لأن وظيفة المحول الاحتياطي تشمل بالإضافة لتأمين الاستطاعة الاحتياطية المطلوبة لتجهيزات خدمة إحدى مجموعات التوليد الاستطاعة اللازمة لإقلاع مجموعة توليد أخرى وإيقاف مجموعة ثالثة. يتعلق عدد محولات الخدمة الاحتياطية بعدد مجموعات التوليد في المحطة الكهربائية، حيث يخصص محول خدمة احتياطي واحد لكل ثلاثة مجموعات توليد تقريباً.



الشكل (1): شبكة التوتر 6KV المغذية لتجهيزات خدمة مجموعة التوليد 200MW.

تتعرض شبكة الخدمة أثناء الاستثمار لعدد كبير من الأعطال. ومن أخطر هذه الأعطال تأتي حالات القصر المختلفة التي تصيب أجزاء هذه الشبكة. في هذه الحالة تقوم تجهيزات الحماية الكهربائية بتحسس أماكن حدوث دارات القصر ثم الفروع المصابة بالعطل عن الشبكة لكي لا يتطور العطل إلى مراحل أخطر. إلا أن فصل بعض فروع أو بعض تجهيزات الخدمة عن شبكة التغذية لفترة طويلة سيؤدي حتماً لاختلال عمل مجموعة التوليد بالكامل وقد يؤدي، إذا لم يعالج بسرعة، إلى ضرورة إيقاف مجموعة التوليد بأكملها وإخراجها من الخدمة. من ناحية أخرى، تبين المعطيات الإحصائية أن معظم حالات القصر التي تحدث في الشبكات الكهربائية تكون مؤقتة ويمكن أن تزول بعد فترة وجيزة من الزمن بشكل تلقائي. لذلك إذا تمت إعادة وصل أجزاء الشبكة، التي فصلت بأجهزة الحماية بسبب حدوث القصر، يمكن أن تعود إلى حالة العمل الطبيعية إذا كان القصر مؤقتاً. وتشير التجربة العملية في هذا المجال إلى أن احتمال نجاح عملية إعادة وصل التغذية بعد القصر يصل إلى 60-65% إذا أجريت هذه العملية بجولة واحدة، ويزداد احتمال نجاحها إذا أجريت على جولتين حتى 75-85%. ويمكن أن تزداد هذه النسبة إذا نفذت عملية إعادة الوصل الآلية بثلاث جولات.

وهكذا تنفذ عملية إعادة الوصل الآلية لأجزاء الشبكة الكهربائية، التي فصلت بأجهزة الحماية بسبب الأعطال المختلفة، بوساطة دارات تحكم آلية سريعة الأداء تؤمن إعادة الوصل

خلال زمن قصير وهو الزمن الذي يذهب على عملية فصل القواطع الآلية ومن ثم إعادة وصلها. وهكذا لا يتعدى الزمن اللازم لتنفيذ هذه العملية، أي زمن العطل، الثانية الواحدة أو بضع ثوان. وبما أن الجولة الثالثة لا تزيد كثيراً في احتمال نجاح عملية إعادة الوصل الآلية، لذلك تنفذ هذه العملية في الغالب بجولة أو جولتين فقط، لأن عدم نجاحها في الجولة الثانية يعني أن القصر من النوع المستقر ولا يمكن أن يزول بصورة تلقائية.

عند استخدام عملية إعادة الوصل الآلية في شبكات خدمة محطات التوليد الكهربائية يتوجب التقيد بجملة من الشروط، التي تأخذ بالحسبان الخصائص المميزة لهذه الشبكات ولتجهيزات الخدمة. فكما لاحظنا مما سبق تتميز محركات الخدمة المستخدمة في محطات التوليد الحديثة باستطاعاتها العالية وشدة تأثرها بتغير التوتر (يتعلق عزم المحركات التحريضية بالتوتر بعلاقة تربيعية)، كما أنها تصمم بسبب ذلك للعمل على التوتر 6KV.

لذلك فإن انقطاع التغذية عن هذه المحركات، ولو لفترة مؤقتة، يهدد بالدرجة الأولى استقرارها ويمكن أن يتسبب بتوقفها إذا تجاوز هذا الانقطاع حدوداً معينة. من ناحية ثانية، نلاحظ من الشكل رقم (1) أن محركات الخدمة تربط مع بقية تجهيزات الخدمة الأخرى إلى قضبان توزيع مشتركة، حيث يمكن أن يصل عدد الفروع المغذاة من قضبان التوزيع هذه إلى 30–40 فرعاً. وقد لاحظنا أن استطاعة هذه الفروع يمكن ان تتجاوز MW(15-10)، لذلك فإن عملية انقطاع التغذية في هذه الشبكة بسبب حدوث القصر، ومن ثم إعادة الوصل الآلية تتم ضمن شروط معقدة وتترافق بمخاطر لابد من أخذها بعين الاعتبار سنوضحها فيما يلي:

عدد حدوث القصر في نقطة ما من شبكة الخدمة، كجهة التوتر العالي لمحول الخدمة الرئيسي على سبيل المثال، فإن التوتر على قضبان التوزيع يتعرض للهبوط إلى قيمة قريبة من الصفر. وبما أن عزم محركات الخدمة يتناسب مع هذا التوتر بعلاقة من الدرجة الثانية لذلك ينخفض هذا العزم بحدة ويصبح شبه معدوم، في حين يبقى عزم الحمل المؤثر على مجاور دوران هذه المحركات في اللحظة الأولى للقصر عند قيمته الأصلية تقريباً. بنتيجة ذلك تصبح محلة العزوم المؤثرة في محركات الخدمة سالبة، أي عزوماً مفرملة، مما يؤدي إلى هبوط سرعة دورانها لتأخذ بالسير نحو التوقف. وبديهياً، أنه كلما كان زمن العطل أكبر تكون درجة هبوط سرعة الدوران أشد بغض النظر عن عزوم عطالة هذه المحركات.

بعد فصل دارة القصر واختفاء العطل تقوم دارة إعادة وصل التغذية الآلية سريعة الأداء بإعادة وصل القاطع الآلي المسؤول عن إعادة التغذية إلى قضبان التوزيع، وبالتالي يعود التوتر إلى جميع محركات الخدمة بعد أن تكون قد هبطت سرعة دورانها بدرجات متفاوتة، كل حسب عزم عطالته وخصائص الآلة الميكانيكية التي يديرها. بعد عودة التوتر إلى محركات الخدمة تتعرض لحالة عابرة مترافقة بظهور نبضات حادة في قيم التيارات التي

تسرى فيها والعزوم المؤثرة على محاورها. وتتعلق شدة تأثير هذه الحالة العابرة بلحظة إعادة وصل التغذية ووضعية شعاع توتر الشبكة بالنسبة لشعاع القوة المحركة الكهربائية المتبقية في المحركات.

تسمى المرحلة التي تتلو عملية إعادة وصل التغذية إلى محركات الخدمة بالإقلاع الذاتي، حيث يمكن أن تتم هذه المرحلة بنجاح أو أن تفشل. فإذا تمت هذه العملية بنجاح فإن ذلك يعني نجاح جميع محركات الخدمة بالعودة إلى سرعة دورانها الطبيعية بعد فترات زمنية لا تتجاوز بضع ثوان وذلك حسب عزوم عطالتها ودرجات تحميلها وفترة انقطاع التغذية عنها. أما فشل الإقلاع الذاتي فيعني أن إعادة التغذية إلى محركات التغذية لن تفلح بإعادة سرعة دورانها إلى حدها الطبيعي، إذ يمكن أن يبقى بعض هذه المحركات معلقاً عند سرعة دوران أقل بشكل ملموس من السرعة الاسمية، أو ان تتابع سرعة دورانها بالهبوط بعد إعادة وصل التغذية إلى أن تتوقف عن الدوران نهائياً، لتقوم أجهزة الحماية بفصلها عن الشبكة، مما قد يستدعي إيقاف مجموعة التوليد بأكملها.

تختلف عملية الإقلاع الذاتي، كما نلاحظ مما تقدم، عن الإقلاع العادي، الذي يتم من حالة التوقف، بجملة من الميزات. فالإقلاع الذاتي، بخلاف الإقلاع العادي، لا يبدأ من الصفر وإنما من حالة الحركة عندما تكون محركات الخدمة عند سرعة دوران تشكل 50–80% من سرعات دورانها الاسمية. ويعتبر هذا الشيء أمراً إيجابياً يساعد على إنجاح هذه العملية ويختصر الزمن اللازم لتنفيذها. وتتمثل الميزة الأخرى للإقلاع الذاتي بأنه يجرى بمشاركة جميع محركات الخدمة الرئيسية دفعة واحدة، في حين يجري الإقلاع العادي لهذه المحركات بصورة تدريجية يتتالى عندها إقلاع هذه المحركات الواحد تلو الآخر. إن مشاركة هذا العدد الكبير من المحركات بالإقلاع الذاتي يضع هذه العملية في ظروف صعبة لأن ذلك سيؤدي إلى استجرار تيارات كبيرة من محول الخدمة مما سيعرض توتر قضبان التوزيع للهبوط الحاد خلال هذه المرحلة، إلى درجة يمكن أن تفشل عندها عملية الإقلاع الذاتي.

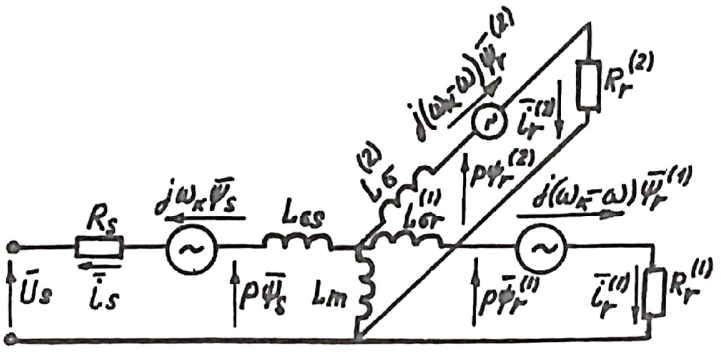
من ناحية أخرى، فإن انطلاق عملية الإقلاع الذاتي من سرعة دوران تشكل أكثر من نصف سرعة الدوران الاسمية يعني أن إعادة التوتر المغذي لمحركات الخدمة تتم عندما يكون الحقل المغناطيسي المتبقي في هذه المحركات قوياً، لأنه لا يمكنه التخامد نهائياً خلال فترة العطل القصيرة، التي يمكن ألا تتجاوز الثانية الواحدة. ووجود الحقل المغناطيسي في المحرك يعني وجود قوة محركة كهربائية على مخارجه في لحظة إعادة وصل توتر الشبكة آلية لذلك فإن قيمة محصلة التوتر الذي سيتعرض له محرك الخدمة عند إعادة وصل التغذية تتعلق بوضعية شعاع القوة المحركة الكهربائية المتبقية بالنسبة لشعاع توتر الشبكة. فإذا كانت الزاوية بين هذين الشعاعين تشكل على سبيل المثال *180 يتعرض المحرك لأكبر توتر

ممكن، وهو يزيد عن التوتر الاسمي بمقدار القوة المحركة الكهربائية المتبقية. أي أن الحالة العابرة الموافقة لعملية الإقلاع الذاتي يمكن أن تترافق بظهور زيادات توتر كبيرة على مرابط محركات الخدمة تؤدي بدورها إلى سريان تيارات عابرة خطرة، وأن تولد عزوم نبضية تؤثر بضربات ديناميكية شديدة على محاور الدوران.

على أساس ما تقدم، يتوجب عند دراسة إمكانية استخدام عملية إعادة الوصل الآلية سريعة الأداء في شبكة خدمة محطات التوليد التحقق من أن عملية الإقلاع الذاتي لمحركات الخدمة التي تتلو إعادة وصل التغذية ستتم بنجاح ودون مخاطر فنية غير مسموحة.

وهناك عدة طرق لدراسة الإقلاع الذاتي والحالات العابرة في المحركات الكهربائية، إلا أن أفضل طريقة يمكن استخدامها حالياً تأتي طريقة التمثيل الرياضي لهذه المحركات مع العناصر الأخرى للشبكة المغذية لها. إن هذه الطريقة تمكن من وضع نموذج رياضي لشبكة الخدمة مكون من مجموعة معدلات رياضية مترابطة تعكس الظواهر الفيزيائية التي تؤثر في عناصر الشبكة أثناء الحالة العابرة والمستقرة.

يتم وضع النموذج الرياضي لمحركات الخدمة على أساس معادلات توازن توترات الثابت والمتحرك في الحالة العابرة (معادلات بارك-غوريف)[2] من أجل الدارة المكافئة للمحرك التحريضي (شكل 2) ذات الحلقات المتعددة في جهة المتحرك. وتعتبر هذه الدارة حالياً أدق نموذج يمكن الاعتماد عليه لانها تأخذ بالاعتبار تأثير الظاهرة القشرية في نواقل الجزء المتحرك، كما أن ملفات المتحرك تمثل بعدة حلقات (في هذه الحالة بحلقتين) تكون قيمة المقاومة في كل منها ثابتة، مما يسهل كتابة العلاقات الرياضية.



الشكل (2): الدارة المكافئة للمحرك التحريضي ذات الحلقات المتعددة.

يتم حساب ثوابت الدارة المكافئة للمحرك $L_m, \overset{(2)}{L}_{\sigma r}, \overset{(1)}{L}_{\sigma r}, L_{\sigma s}, \overset{(2)}{R}_r, \overset{(1)}{R}_r, R_s$ التي تشمل المقاومات الأومية ومحارضات كل من الثابت وحلقتي المتحرك ومحرضة فرع المغنطة، بإحدى الطرق المتبعة لحساب الثوابت[3].

تكتب المعادلات التفاضلية المعبرة عن عمل المحركات التحريضية في الحالات العابرة باستخدام جملة محاور متعامدة y,x تدور بسرعة دوران المتحرك ω_k حيث تتحول الآلة ثلاثية الأطوار إلى آلة مكافئة ثنائية الطور

$$\vec{u}_s = R_s\vec{i}_s + p\vec{\Psi}_s + j\omega_k\vec{\Psi}_s \qquad (1)$$

حيث $\vec{\Psi}_s, \vec{i}_s, \vec{u}_s$: قيم كل من توتر الثابت وتيار الثابت والتشابك المغناطيسي للثابت على التوالي؛ p = d/dt: إشارة التفاضل.

ومن أجل الحلقة (I) المقصورة من حلقات الدائر نكتب:

$$0 = \overset{(i)}{R}\vec{i}^{(i)} + p\overset{(i)}{\Psi}_r + j(\omega_k - \omega)\vec{\Psi}_r^{(i)} \qquad (2)$$

حيث $\overset{(i)}{\Psi}_r, \overset{(i)}{i}$ التيار والتشابك المغناطيسي في الحلقة المقصورة للمتحرك وتحسب قيم التشابك المغناطيسي في الثابت والمتحرك على النحو التالي:

$$\vec{\Psi}_s = L_{\sigma s}\vec{i}_s + L_m\vec{i}_m \;;\; \overset{(i)}{\Psi}_r = \overset{(i)}{L}_{\sigma r}\overset{(i)}{i}_r + L_m\vec{i}_m \qquad (3)$$

كما يحسب التشابك المغناطيسي الأساسي وتيار المغنطة في الآلة بالعلاقات التالية:

$$\vec{\Psi}_m = L_m\vec{i}_m \;;\; \vec{i}_m = \vec{i}_s + \sum_{i=1}^{k}\overset{(k)}{i}_r \qquad (4)$$

يضاف إلى العلاقات السابقة المعبرة عن الظواهر الكهرومغناطيسية العابرة علاقة حركة العضو الدوار التي تعبر عن الحالات العابرة الكهروميكانيكية في المحركات التحريضية:

$$m - m_c = Jp\omega \;;\; m = \frac{3}{2}\vec{\Psi}_s\vec{i}_s \qquad (5)$$

هنا: m– العزم الكهرومغناطيسي في المحرك

m_c– عزم الحمل؛

J– عزم عطالة الكتل الدوارة في المحرك.

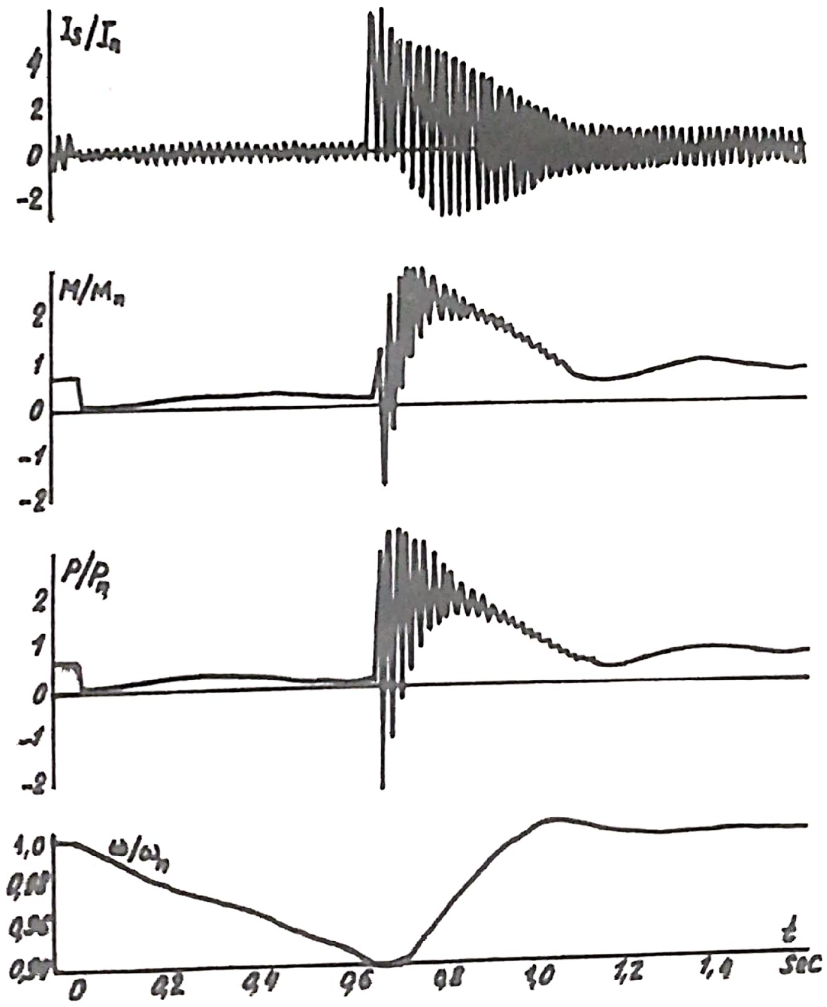
وتحسب قيم تيارات الثابت والمتحرك على أساس العلاقات السابقة كما يلي:

$$\vec{i}_s = \frac{\vec{\Psi}_s - \vec{\Psi}_m}{L_{\sigma s}} \;;\; \overset{(i)}{i}_r = \frac{\overset{(i)}{\vec{\Psi}}_s - \vec{\Psi}_m}{\overset{(i)}{L}_{\sigma s}} \qquad (6)$$

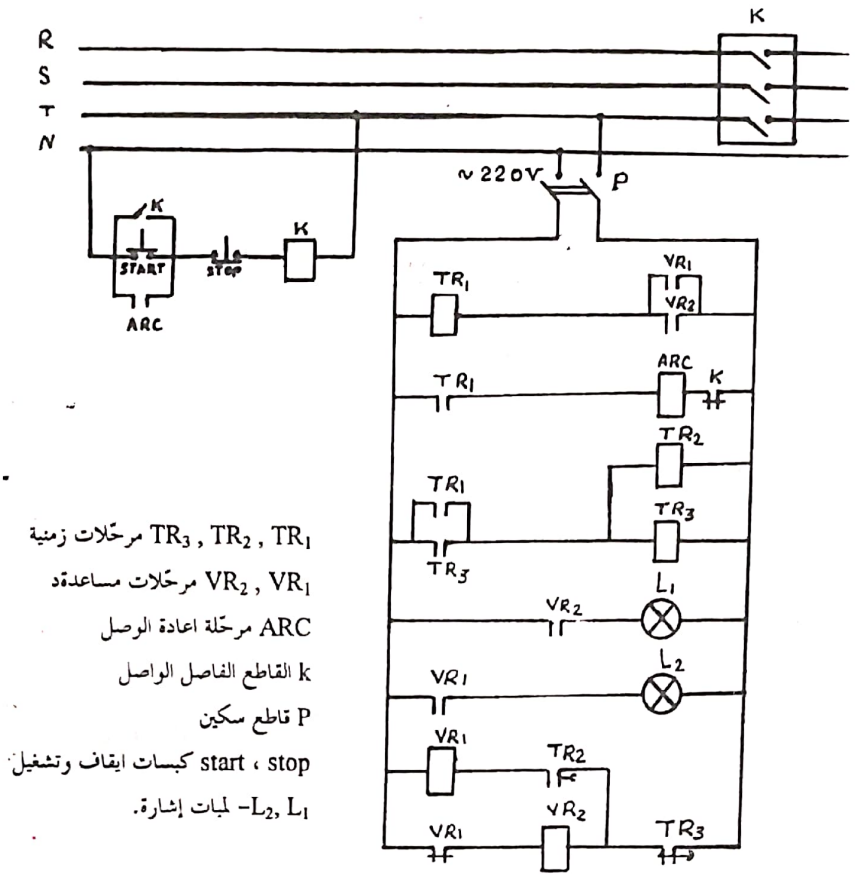
يتم حل المعادلات السابقة (انظر [4]) في جملة المحاور y,x بإحدى الطرق الحسابية التقريبية المتبعة كطريقة رونغي–كوتا بعد أن تتم صياغتها في برنامج رياضي، وذلك باستخدام

الحاسوب. ويمكّن البرنامج من دراسة مختلف الحالات العابرة والمستقرة للمحركات التحريضية المستخدمة في مختلف الشبكات الصناعية.

يقدم الشكل رقم (3) مثالاً على النتائج التي يمكن الحصول عليها من الحاسوب عند دراسة الحالة العابرة، التي تجري في مضخة التغذية الأساسية ذات الاستطاعة P_n = 3800KW التي تدخل ضمن تجهيزات خدمة مجموعة التوليد 200MW، وذلك عندما يتعرض محرك هذه المضخة لانقطاع التغذية المؤقت لمدة 0.6 ثانية ومن ثم إعادة الوصل الآلية للتغذية، يلاحظ من هذا الشكل أن عملية الإقلاع الذاتي لهذا المحرك تتم بنجاح خلال زمن قصير لا يتعدى 0.5 ثانية، على الرغم من ظهور نبضات حادة بتيار الثابت وعزم المحرك في المرحلة الأولى لإعادة وصل التغذية.



الشكل (3): المخططات الزمنية المعبرة عن سلوك المحرك التحريضي باستطاعة 3800KW الذي يدير مضخة التغذية الأساسية في مجموعة التوليد 200MW عند تعرضه لانقطاع مؤقت بالتغذية.



الشكل (4): الدارة المخبرية لإعادة وصل التغذية الآلية.

يمكن دراسة بعض خصائص إعادة الوصل الآلية التي استعرضناها آنفاً باستخدام التجارب العملية على بعض نماذج المحركات التحريضية الصغيرة في المخبر. على هذا الأساس قمنا بتصميم وتنفيذ دارة إعادة وصل آلية مخبرية سريعة الأداء (شكل 4)[5] يقوم بدور العنصر المنفذ فيها بدلاً من القاطع الآلي 6KV قاطع فاصل-واصل اكونتاكتور بتوتر 380V. وتستطيع هذه الدارة إعادة وصل التغذية بعد أي زمن مرغوب من انقطاعها يبدأ بعشر الثانية حتى عشر ثوان. كما يمكن أن تقوم بإعادة الوصل على جولتين يتم اختيار التأخر الزمني بينهما حسب المطلوب. وقد جهزت هذه الدارة بعنصر منع VR3 لا يسمح بتكرار عملية إعادة الوصل آلياً لأكثر من مرتين، لأنه لا يوجد جدوى تذكر عند تكرار العملية لجولات أكثر. يمكن الاستفادة من الدارة المذكورة لدراسة عملية إعادة الوصل الآلية للمحركات التحريضية المستخدمة في مختلف الشبكات الصناعية، على أساس دراسة النماذج الفيزيائية المصغرة لهذه الشبكات في المخبر.

مما تقدم نخلص إلى النتائج التالية:

1- تعد عملية إعادة الوصل سريعة الأداء إجراءً فعالاً لرفع وثوقية عمل المحركات الكهربائية في محطات التوليد الكهربائية والشبكات الصناعية الأخرى، إذ تخفض زمن انقطاع التغذية إلى حدود دنيا فتحافظ على الاستقرار وتقلل الخسائر المادية الناتجة عن ذلك إلى أدنى ما يمكن.

2- من أجل ضمان نجاح عملية الإقلاع الذاتي التي تتلو إعادة الوصل الآلية للتغذية لمحركات الخدمة في محطات التوليد يتطلب دراسة هذه العملية بدقة، وذلك من أجل الاختيار الصحيح لمحددات عناصر شبكة الخدمة وتعيير أجهزة التحكم والحماية فيها بالصورة المثلى.

3- تعتبر طريقة التمثيل الرياضي وسيلة مثلى في الوقت الحاضر لدراسة مختلف الحالات العابرة في الشبكات الحاوية على محركات كهربائية عالية الاستطاعة كشبكة الخدمة في محطة التوليد. ويمكن استخدام الحاسوب في دراسة مختلف حالات عمل هذه الشبكات، بما في ذلك تلك الحالات التي لا يسمح بدراستها عن طريق الاختبار العملي.

4- نقترح في هذا المجال دارة مخبرية لتنفيذ عملية إعادة الوصل الآلية على جولتين، حيث يمكن الاستفادة منها عند الدراسة العملية لسلوك المحركات التحريضية باستخدام النماذج الفيزيائية المخبرية المصغرة.

REFERENCES المراجع

[1]- حالات الإقلاع الذاتي للمحركات اللاتزامنية. يا.أ. أوريخ، ف. ف. سيفوكو بيلنيكو موسكو "انيرجيا" 1974.

[2]- الحالات العابرة في نظم التغذية الكهربائية المخصصة لخدمة محطات التوليد. سيفوكو بيلينكو ف.ف. دونيتسك 1984.

[3]- حساب ثوابت الآلات التزامنية واللاتزامنية بمساعدة معطيات التجارب المنفذة على الآلة المتوقفة عن الدوران. سيفوكو بيلينكوف ف.ف، ليبيديف.ك، غارما ش ف.س. مجلة الطاقة والنقل، موسكو 1989 عدد 4 ص49-57.

[4]- أتمتة عملية إعادة وصل التجهيزات الكهربائية (ARC) مشروع تخرج. كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق، بإشراف الدكتور عبد المطلب أبو سيف دمشق 1995.