مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (1) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (1) 2008

تطوير خوارزمية التحكم الانتقائي بنظم القدرة الكهربائية وفقاً لشروط الاستقرار الديناميكي للشبكات الكهربائية

الدكتور زياد هرموش *

(تاريخ الإيداع 21 / 1 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/2/18)

□ الملخّص □

يعالج هذا البحث أتمتة نظام مابعد حدوث العطل، وذلك وفقاً لمستويين معروفين: المستوى الأول هو مستوى انهيار الاستقرار، والمستوى الثاني، هو استخدام الحاسوب لإيجاد حل لهذا الاستقرار المفقود في نظام القدرة الكهربائي. يقع جهاز الحاسوب في المستوى الأعلى تراتبياً ويعمل على حساب أنظمة العمل الطبيعي والجاري. يتم الأخذ بالحسبان بارامترات معايرة التجهيزات المحلية، أو ما يمكن أن نطلق عليه اسم النظام الفرعي، والذي يمثل المستوى الأدنى لتراتبية العمل، مما يساعد في الحصول على المؤثرات المتحكمة في البارامترات التي يجب أن تخضع لعملية التطوير، باستبدالها بالبارامترات المحققة للاستقرار الديناميكي لنظام القدرة قيد الدراسة.

كلمات مفتاحية: بارامترات النظام الكهربائي – الاستقرار الديناميكي – التحكم بنظام القدرة – التحكم الانتقائي(التكيفي) – الحالات العابرة لنظام القدرة – نظام ما بعد العطل.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (1) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (1) 2008

Developing Adapting Control Algorithm in Electrical Power Systems in Accordance with Dynamic Stability Conditions for Electrical Networks

Dr. Ziad Harmoush*

(Received 21 / 1 / 2008. Accepted 18/2/2008)

□ ABSTRACT □

This paper studies the post-failure system automation in accordance with two known levels. First one deals with stability failure level; the second level is to use the computer to find out a solution for this missed stability in the electrical power system. The computer device is located on a high level arrangement, which calculated the normal and smooth work of the system.

It is important to pay attention to calibrated parameters of local equipment, which represent the low level arrangement of the work in such way that allows to obtain the factors affecting parameters. These parameters should be developed by replacing them with fabulous parameters which correct the dynamic stability of electrical power system.

Key Words: Electrical System Parameters, Dynamic Stability, Power System Control, Adapting Control, Transient Process, Electrical power system, Post Failure System.

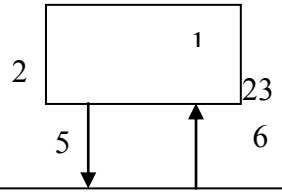
***Assistant Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدّمة:

إنَّ تطوير أنظمة عمل جمل الطاقة الكهربائية يرتبط ارتباطاً حيوياً بزيادة فعالية التحكم بهذه الأنظمة، على الرغم من التعقيدات المتزايدة والاتساع الكبير لأنظمة الطاقة الكهربائية Huge Electrical Power System[1]. وتعد أنظمة ما بعد العطل، من أقسى الأنظمة التي تعمل عندها الشبكة الكهربائية After-Fault System[5,6]، وتنشأ لأسباب عديدة منها اختلال الاستقرار الديناميكي في نظام الطاقة الكهربائي وهو ما سيتم بحثه حيث يعالج هذا البحث أتمتة نظام ما بعد العطل، وفقاً لمستويين معروفين: المستوى الأول، هو مستوى انهيار الاستقرار، والمستوى الثاني، هو استخدام الحاسوب لإيجاد حل لهذا الاستقرار المفقود Missed Stability في نظام القدرة الكهربائي. يقع جهاز الحاسوب في المستوى الأعلى تراتبياً Up-Level ويعمل على حساب أنظمة العمل الطبيعي وأنظمة العمل الجاري. يتم الأخذ بالحسبان بارامترات معايرة التجهيزات المحلية Local Equipment Parameters Calibration أو ما يمكن أن نطلق عليه اسم النظام الفرعي Branch System وهو يمثل المستوى الأدنى لتراتبية العمل Down-Level مما يساعد في الحصول على المؤثرات المتحكمة في البارامترات التي يجب أن تخضع لعملية التطوير باستبدالها بالبارامترات المحققة للاستقرار الديناميكي لنظام القدرة قيد الدراسة. وعلى اعتبار أنَّ الاستقرار بشكل عام، هو مقدرة الشبكة الكهربائية، أو نظام القدرة الكهربائي على الحفاظ على التواقت بين الآلات المتواقتة المربوطة إليه كافة عند حدوث تغير مفاجئ سواء كان صغيراً أم كبيراً في أثناء العمل الطبيعي Normal System.

يبين الشكل (1) المخطط البنيوي للتحكم بأنظمة العمل الطبيعية ويظهر فيه مستوى انهيار الاستقرار ومستوى إيجاد حل لهذا الاستقرار المفقود باستخدام الحاسوب [1].

بالاستناد إلى الشكل (1)، ومن خلال المسائل التي تحل بالاعتماد على الحاسوب، فإن أكثر المسائل صعوبةً وتعقيداً من وجهة النظر الرياضية والمنهجية، هي مسائل تحليل الاستقرار الديناميكيDynamic Stability لنظم الطاقة وكذلك تحديد التأثيرات المتحكمة بالحد الأصغري للموديلات الرياضية اللاخطية، والتي بدورها توصِّف الحالات العابرة الكهروميكانيكية عند التغيرات الكبيرة في نظام الطاقة الكهربائي وهو ما يمكن أن يمثل بمجمله برنامجاً موسعاً لتحليل الاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة الكهربائي، وهذا ما سيتم عرضه في السياق القادم للبحث .



الشكل(1) – المخطط البنيوي للتحكم بأنظمة العمل الطبيعية

1–حاسوب المستوى العلوي 2– الحاسوب المحلي للمستوى العلوي 3– معلومات عن المعطيات اللازمة

4– إعطاء المؤثرات التحكمية 5– معلومات عن المواصفات الوظيفية للنظام الفرعي 6– معلومات عن بارامترات النظام

7– قنال الاتصالات بين الحواسيب 8– نظام طاقة كهربائي 9– حدود النظام الفرعي

أهمية البحث وهدفه:

وتكمن في إلقاء الضوء على استخدام الطرق الممكنة لزيادة سرعة التأثير High Speed Efficiency على تقييم الاستقرار الديناميكي، والتي تتركز على تحديد عدد المولدات عند حساب الحالات العابرة المعقدة، وذلك في حالات محددة ومتطورة وجديدة بحيث يسمح بفتح آفاق واسعة في تطوير المسائل المتعلقة بنظم الطاقة الكهربائية، كما يهدف البحث إلى التنوع في إجراء الحسابات المعقدة Complicated Calculations للنظم الكهربائية بحيث نحصل من خلالها على إمكانية تبني التنوع في البارامترات الداخلة في الدراسات الكهربائية المرتبطة على سبيل المثال "بالتعتيم الكهربائي غير المتوقع" Unexpected Blackouts، وبصورة خاصة إذا عرفنا أن ثمة تعتيمات عديدة حدثت عام 2003، نذكر منها التعتيم الذي حصل في أميركا الشمالية وفي شمال غرب الولايات المتحدة وفي غرب كندا، وكذلك التعتيم الذي حصل في إيطاليا، عام 2003، هذا التعتيم أثَّر في أكثر من 50 مليون نسمة[7] مما استدعى التعمق في الدراسات الكهربائية التي تبحث في تحليل الاستقرار الكهربائي لجمل الطاقة الكهربائية، ولعله من الواجب في هذا السياق ذكر أن التعتيم قد حصل في سورية أيضاً عام 1997.

طريقة البحث ومواده:

تمَّ الاعتماد في هذا البحث على العلاقات الرياضية المنمذجة للحالات العابرة Transient Process بالإضافة إلى تحليل الاستقرار الديناميكي لنظم الطاقة الكهربائية بالاستناد إلى الطرق الرائدة في حل المعادلات مثل طريقة نيوتن من الدرجة الثانية والطريقة التدرجية وطريقة الحذف بوساطة غاوس، وكذلك الطرق المؤسِسَة لمجموعة كبيرة من الدراسات الكهربائية على مستوى التجارب العلمية العالمية المدروسة في نطاق العلوم الهندسية، كما تمَّ اقتراح طريقة مستنبطة من خلال إجراء مسح عريض لأكثر النظريات استخداماً في المجال المدروس ومن ثُمَّ مقارنتها بالطريقة المعتمدة في البحث.

التحليل والنمذجة الرياضية للطريقة المعتمدة:

يتم هذا التحليل من خلال تطبيق طريقة المعاملات المتغيرة Parameters Variables أي تقليل العدد الإجمالي للحالات العابرة التي تحدث في مولدات نظام الطاقة الكهربائي Electrical power system Generators قيد الدراسة، حيث نُدخِل بالحسبان مميزات Characteristics هذه الحالات العابرة، والتي تتحدد من عدد المعادلات التكاملية الواصفة للمولدات العاملة في إطار نظام القدرة الكهربائي[3,2]. إنَّ نظام المعادلات التفاضلية اللاخطية الواصفة لحركة المولدات في نظام الطاقة المعقد والتي يتم من خلاله تبني موديلات هذه المولدات يُعبر عنها كالآتي:

$$d\,\delta_i / d\,t\;;\quad \frac{d\,s_i}{d\,t} = \frac{1800}{T_{J_i}}\,(P_{T_i} - P_{El\,i})\;,\quad i = 1,2,3,\ldots\ldots,\quad Where$$

$$P_{El\,i} = E_i^2\; y_{i\,i}\; Sin\;\alpha_{i\,i} + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}} E_i\,E_j\;Y_{i\,j}\;Sin(\delta_i - \delta_j - \alpha)\;; \qquad (1)$$

حيث:

n – عدد المحطات الكهربائية في نظام الطاقة. T_{j_i} – وحدة القصور الذاتي.

E_i – الممانعة الردية العابرة (بالواحدات النسبية).

δ_i – كميات الوقود المستخدم في إطار متناسب مع قيم E_i [grad].

P_{T_i} – الاستطاعة الميكانيكية للتوربين (بالواحدات النسبية).

$Y_{i\,j} = y_{i\,j} \langle -\Psi_{i\,j}$ – الناقلية المتبادلة بين المولدين i & j (بالواحدات النسبية).

$Y_{i\,i} = y_{i\,i} \langle -\Psi_{i\,i}$ – الناقلية الخاصة بالمولد i (بالواحدات النسبية).

$\alpha_{i\,j} = 90^\circ - \Psi_{i\,j}$ – الناقلية الإضافية للوقود.

يمكن توصيف حركة الدائر Generators Rotor للمولدات من خلال هذه البارامترات المبينة أعلاه، بالإضافة إلى الشروط الابتدائية للمعادلة التفاضلية (1). إنَّ تغير أماكن حدوث دارة القصر وفقاً للمخطط الهيكلي لنظام عمل جملة الطاقة الكهربائية يقود إلى تغير متوافق وسلس للمصفوفات الخاصة والمتبادلة، أي Y وكذلك ناقليات العقد الإضافية α والداخلة في المعادلة (1)، وهكذا يُستنتج بالضرورة وبشكل دوري أنَّ تغير $y_{i\,j}$ و $\alpha_{i\,j}$ يقود للتغير المتعلق بحل المعادلة نفسه (1). في هذه الحالة فإن مجموعة قيم البارامترات Available Parameters الممكنة والداخلة في المعادلة (1) تقابل مجموعة المميزات الكهروديناميكية للحالة العابرة للنظام. عند ذلك يمكن تطبيق حساب بسيط وتقريبي لهذه المميزات والتي تُقدَّم على أساس مجموعة حدود مجهولة، وذلك على شكل عمليات قاعدية وعمليات

مركزية أو مستوى أعلى Upper Level ومستوى أدنى Down Level كما هو مبين في الشكل (1). إنَّ تغير أمكنة حدوث دارة القصر غير المتجانسة ومن نوع واحد ضمن فرع واحد من فروع الدارة الحاوية على نظام طاقة، يُعَبَّرَ عنه بالعلاقات الآتية:

$$Y = f(\ell)$$
$$\alpha = f(\ell) \qquad (2)$$

إذ إن:

ℓ – دارة القصر الطولانية والتي تتحدد من خلال نقطة حدوث دارة القصر القاعدية (بالواحدات النسبية).

تسمح العلاقة (2)، عند تغير مكان حدوث دارة القصر، بانتقال بارامترات متفاوتة كثيراً من حيث القيمة، (هي y_{ij} و α_{ij}) بحيث نتمكن من الوصول إلى الدارة ℓ. وبإجراء التفاضل على القسم اليميني والقسم اليساري للمعادلة (1) بالنسبة لـ ℓ وبتعيين $L_i = \partial\delta_i / \partial\ell$ نحصل على أول نظام معادلات متغيرة Variable Equation System:

$$\frac{d^2 L_i}{dt^2} = \frac{1}{T_{j_i}} \left\{ -E_i^2 \left(\frac{\partial y_{ii}}{\partial \ell} Sin\ \alpha_{ii} + y_{ii} Cos\ \alpha_{ii} \frac{\partial \alpha_{ii}}{\partial \ell} \right) - \right.$$
$$\left. - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}} E_i E_j \left[\frac{\partial y_{ij}}{\partial \ell} Sin\ (\delta_{ij} - \alpha_{ij}) + y_{ij} Cos\ (\delta_{ij} - \alpha_{ij}) \left(L_{ij} - \frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial \ell} \right) \right] \right. \qquad (3)$$

بإجراء التفاضل بالنسبة لـ ℓ وبالتصحيح نحصل على ثاني نظام معادلات متغيرة[4]:

$$\frac{d^2 M_i}{dt^2} = \frac{1}{T_{j_i}} \left\{ -E_i^2 \left[\begin{array}{l} \frac{\partial^2 y_{ii}}{\partial \ell^2} Sin\,\alpha_{ii} + 2 \frac{\partial y_{ii}}{\partial \ell} Cos\,\alpha_{ii} - y_{ii} Sin\,\alpha_{ii} \left(\frac{\partial \alpha_{ii}}{\partial \ell} \right)^2 + \\ + y_{ii} Cos\,\alpha_{ii} \frac{\partial^2 \alpha_{ii}}{\partial \ell^2} \end{array} \right] \right. -$$
$$\left. - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} E_i E_j \left[\begin{array}{l} \frac{\partial^2 y_{ij}}{\partial \ell^2} Sin(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) + 2 \frac{\partial y_{ij}}{\partial \ell} Cos(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) \left(L_{ij} - \frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial \ell} \right) - \\ - y_{ij} Sin(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) \left(L_{ij} - \frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial \ell} \right)^2 + y_{ij} Cos(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) \left(M_{ij} - \frac{\partial^2 \alpha_{ij}}{\partial \ell^2} \right) \end{array} \right] \right. \qquad (4)$$

حيث: $M_i = \partial^2 \delta_i / \partial \ell^2$

إذن ومن خلال إجراء الحساب التكاملي للمعادلات (3) و(4) نحصل على المُعامِلات $L_i(t)$ & $M_i(t)$ حيث يمكن حفظها في ذاكرة الحاسوب واستخدامها عدة مرات وعند ذلك يمكن كتابة معادلة المميزات الكهروميكانيكية للحالة العابرة للنظام $\widetilde{\delta}_i(t)$ وذلك بدلالة الأمكنة المتباينة لدارات القصر المنسوبة على دارة القصر القاعدية، وهذه المعادلة هي :

$$\widetilde{\delta}_i(t) = \delta_i^*(t) + L_i(t)\, l + \frac{1}{2!} M_i(\ell)\, \ell^2 ;$$

حيث:

$\delta_i^*(t)$ – المميزة الكهروميكانيكية للحالة العابرة القاعدية.

وهكذا وباستخدام حسابات المعادلات المبينة أعلاه يمكن الحصول على نتائج عملية ولحظية لمجموعة المميزات الكهروميكانيكية Electromechanical Characteristics للحالات العابرة عند حدوث دارة القصر في إطار فرع واحد من فروع المخطط العام لنظام الطاقة General Plan.

إنَّ تحديد المؤثرات المتحكمة Control Effects بشروط الاستقرار الديناميكي يتلخص في إيجاد المستوي الأصغري اللازم لتخفيض الحمولة Load Reduce، والذي يضمن استقرار التحكم بنظام الطاقة. عند ذلك يؤخذ بالحسبان عدد المولدات المفصولة Switch off Generators أو من خلال مستوى تخفيض حمولة التوربينات في كل محطة كهربائية وبالانطلاق من التهييج المعطى Induction ومن المتطلبات الاحتياطية لاستقرار نظام ما بعد العطل، فضلاً عن الاستقرار الديناميكي العابر لهذا النظام.

إنَّ تحديد التخفيض اللازم للحمولة الأصغرية وذلك من أجل الحفاظ على الاستقرار الديناميكي المتواقت وذلك عند التهييج المعطى وبوصفها قاعدة أساسية يتطلب عدد كبير من حسابات الاستقرار عند تغير الاستطاعة P_{T_i} للمحرك الأولي. وبالاستناد إلى ماذُكِرَ أعلاه يمكن تبسيط الحل، وذلك عن طريق إجراء التفاضل لمجموعة المعادلات (1) مرتين على التوالي بالنسبة للاستطاعات المتفاوتة فنحصل على:

$$T_{j_i} \frac{d^2 L_i}{d t^2} = 1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} E_i' E_j' Y_{ij} Cos(\overset{*\,/}{\delta}_{ij} - \alpha_{ij}) L_{ij} T_{j_i} \frac{d^2 M_i}{d t^2} =$$

$$= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} E_i' E_j' y_{ij} \left[Sin(\overset{*\,/}{\delta}_{ij} - \alpha_{ij})\, L_{ij}^2 - Cos(\overset{*\,/}{\delta}_{ij} - \alpha_{ij}) M_{ij} \right], \quad (5)$$

حيث:

$$L_i = \partial\, \delta_i' / \partial\, P_{T_i} \downarrow P_{T_i} = P^*_{T_i} \;,\; M_i = \partial^2\, \delta_i' / \partial\, P^{*}_{T_i} \downarrow P_{T_i} = P^*_{T_i} \;.$$

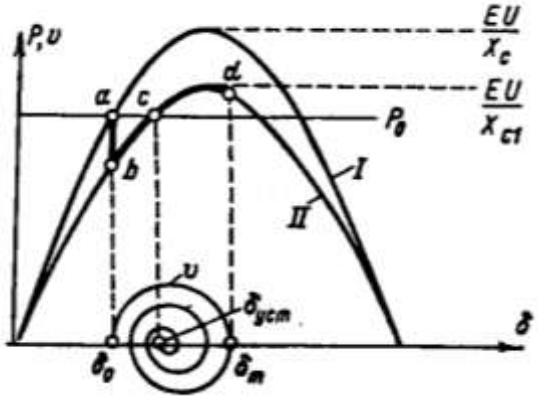
بحل نظام المعادلات (5) يمكن تحديد المعاملات المتغيرة $L_i(t)$ & $M_i(t)$، عند ذلك فإن مجموعة المميزات الكهروميكانيكية للحالة العابرة في حالة القيم المختلفة للاستطاعة P_{T_i} يمكن أن يتم تجسيدها من خلال العلاقة:

$$\widetilde{\delta}_{ij}(t) = \delta^*_{ij}(t) + L_{ij}(t)\, \Delta P_{T_i} + \frac{1}{2!} M_{ij}(t) \Delta P_{T_i}^2 \quad (6)$$

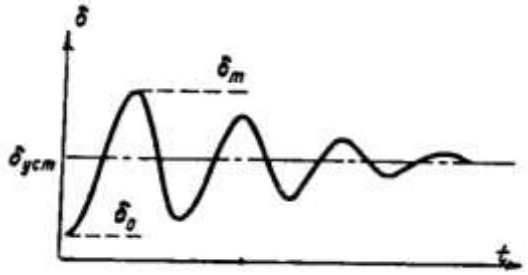
من المعادلة (6) يمكن اختيار الانحراف الأصغري $\Delta P_{T_i \min}$ والذي يتناسب مع المؤثرات الأصغرية الضرورية والتي تتحكم بضمان الاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة المُتَحَكَّم به. إنَّ شرط الاستقرار فيما يتعلق باهتزازات نصف الدورة الأولية لدائر المولدات التواقتية ويُصاغ على شكل العلاقة التالية:

$$\delta_{i\,j}(t) \leq 180^{\circ}$$

إنَّ مسألة التحكم بنظام ما بعد العطل تتطلب الحصول على علاقة المؤثرات التحكمية عند العدد المحدود للبارامترات المُتَحَكَّم بها والصالحة لمعايرة التجهيزات الموضعية للمحطات ذات مجالات عمل كبيرة. ويمكن توضيح تغيرات استطاعة المولدات عند العمل في النظام الطبيعي وفي حالة العطل من خلال الشكل (2) المبين أدناه، بينما يبين الشكل (3) تغير الزاوية δ بدلالة الزمن t.

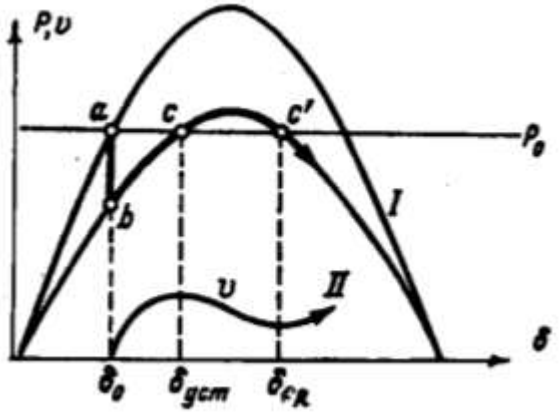


الشكل (2) – تغيرات استطاعة المولدات عند العمل في النظام الطبيعي، وفي حالة العطل

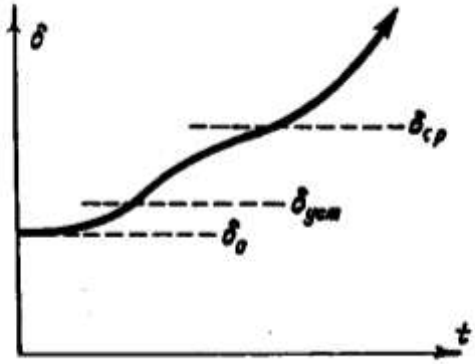


الشكل (3) – تغير الزاوية δ بدلالة الزمن t

و يوضح الشكل (4) حالة انهيار الاستقرار الديناميكي عند فصل أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية، ويبين الشكل (5) علاقة الزاوية δ بدلالة الزمن t في أثناء الخروج من الاستقرار.



الشكل(4) – انهيار الاستقرار الديناميكي عند فصل أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية



الشكل (5)– علاقة الزاوية δ بدلالة الزمن t أثناء الخروج من الاستقرار

خوارزمية الموديل الرياضي المُنَمْذِجة لحالة الاستقرار الديناميكي لنظام القدرة الكهربائي:

بالاستناد إلى الشكل (1)، الذي يبين المخطط المنهجي للتحكم بأنظمة العمل الطبيعية ويظهر فيه مستوى انهيار الاستقرار، ومستوى إيجاد حل لهذا الاستقرار المفقود بوساطة الحاسوب، وعلى غرار العلاقة (2) أعلاه ننطلق بدايةً، في بناء الخوارزمية المطلوبة باتجاه تحديد العلاقة بين تابعي النظام الفرعي والنظام الكلي، أو بتعبير آخر، يتم توصيف نظام المعادلات المبسط كالآتي:

$$F_S = \sum_y F_y \qquad (7)$$

حيث: F_S – التابع الصحيح للنظام ككل.

F_y – التابع الصحيح للنظام الفرعي.

و يتحدد التابع الصحيح المشتق بالنسبة للبارامترات الداخلة في علاقة الاستقرار الديناميكي من خلال العلاقة الآتية:

$$\frac{\partial F_S}{\partial X_j} = \sum_{y \subset y_i} \frac{\partial F_y}{\partial X_i} \qquad (8)$$

و هكذا فقد تم إدخال علاقة ارتباط بين النظام S والنظام الفرعي i أو j على شكل متغيرات داخلية Internal Variables والتي تملك الشكل الآتي:

$$\frac{\partial F_S}{\partial X_j} = \frac{\partial F_j}{\partial X_j} + \left[\frac{\partial X_B}{\partial X_j}\right]^T \left[\frac{\partial F_S}{\partial X_B}\right] \qquad (9)$$

حيث: X_j – المتغيرات الداخلية في النظام الفرعي j .

$\frac{\partial F_S}{\partial X_B}$ – شعاع (مصفوفة) يملك مقياس هو عدد المتغيرات من أجل كل عنصر من العناصر وفق العلاقة:

$$\frac{\partial F_S}{\partial X_B} = \sum_{j \subset j\, i} \frac{\partial F_j}{\partial X_B} \qquad (10)$$

بتطبيق الطريقة التدرجية أي طريقة الغراديان على العلاقتين (7) و(8) وبالأخذ بالحسبان أن المتغيرات الخارجية هي عبارة عن الاستطاعة الفعلية والاستطاعة الردية على حدود النظام الفرعي فإننا نحصل على مصفوفة المشتقات الخاصة للنظام الفرعي أي نحصل على العلاقة:

$$\left[\frac{\partial \Delta X_B}{\partial X_B}\right] \Delta X_B = \left[\frac{\partial V_B}{\partial X_B}\right] = B \Delta X_{ij} \qquad (11)$$

حيث:

$\left[\frac{\partial V_B}{\partial X_B}\right]$ – عبارة عن المشتقات الخاصة للنظام الفرعي B .

B – شعاع يتضمن العناصر $\frac{\partial V_B}{\partial X_B}$ من أجل العقد المتجاورة مع النظام الفرعي B .

و هكذا فإن العلاقة الناظمة لحل الاستقرار الديناميكي المفقود في نظام الطاقة الكهربائي تتحدد من خلال العلاقة الرياضية الناجمة عن العلاقات (7–11):

$$\begin{vmatrix} \Delta\left[\frac{\partial F_j}{\partial X_{ij}}\right] \\ \Delta\left[\frac{\partial F_j}{\partial X_j}\right] \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \left[\frac{\partial^2 F_j}{\partial X_i^2}\right] & \left[\frac{\partial^2 F_j}{\partial X_i^2\, \partial X_B}\right] \\ \left[\frac{\partial^2 F_j}{\partial X_B\, \partial X_i}\right] & \left[\frac{\partial^2 F_j}{\partial X_B^2}\right] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta X_j \end{vmatrix} \qquad (12)$$

و هكذا فإن النظام الخاضع لهذه الخوارزمية يسمح بضمان تحكم عالي بأنظمة عمل جمل الطاقة الكهربائية الضخمة وذلك بفضل الحساب المتكامل لجميع البارامترات والمؤثرات التحكمية المحيطة بالنظام المدروس. ويجدر التنويه أن السرعة والفعالية التي تتميز بها هذه الخوارزمية عند تطبيقها من خلال الحاسوب تتأتى من تبسيط مكوناتها التي توصف بشكل حقيقي كل بارامترات نظام الطاقة الكهربائي اللازمة لاستقراره الديناميكي في الزمن الفعلي Real Time.

الاستنتاجات والتوصيات:

يُمكن إجمال نتائج البحث في النقاط الآتية:

1. إعادة النظر في تقييم البارامترات الداخلة في تحسين وتطوير نظم الطاقة الكهربائية بصورة جديدة وذلك من خلال التركيز على تحديد واضح وجلي لهذه البارامترات وإخضاعها للمنهجية التطويرية التي تقود إلى الحل الأفضل والمنشود.

2. تم اقتراح طريقة، وبناء خوارزمية للتحليل السريع للاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة وتحديد المؤثرات التحكمية الأصغرية الضرورية من أجل نظام ما بعد العطل؛ إذ إن هذه المؤثرات تمثل بالفعل أكثر العناصر تأثيراً في عملية التحكم في نظام الطاقة الكهربائية.

3. تختلف هذه الطريقة عن الطرق المعروفة لإيجاد البارامترات المتغيرة؛ إذ إنه من الواضح عدم الأخذ بالحسبان معادلات نظام عمل المولدات حيث نُدخِل بالحسبان مميزات هذه الحالات العابرة، والتي تتحدد من عدد المعادلات التكاملية الواصفة للمولدات العاملة في إطار نظام القدرة الكهربائي.

4. استخدام برنامج تحليل الاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة، وتحديد المؤثرات التحكمية الضرورية والأصغرية ضمن إطار أنظمة ما بعد العطل، مما يسمح بزيادة مطردة لسرعة الحاسوب المركزي وفقاً لمعايرة تجهيزات المحطات المحلية (الموضعية).

5. إنَّ البند السابق يؤدي إلى زيادة موثوقية وإنتاجية أنظمة ما بعد العطل والتي تعتبر من أقسى الأنظمة التي تعمل عندها الشبكة الكهربائية.

يوصى بمتابعة البحث في هذا المضمار والتركيز على الدراسة في المجالين الآتيين: المجال الأول هو توسيع إطار البارامترات الداخلة في تحسين وتطوير نظم الطاقة الكهربائية، والمجال الثاني هو تحديد أدق للمؤثرات التحكمية الأصغرية الضرورية من أجل نظام ما بعد العطل وذلك باستخدام الحاسوب.

المراجع:

1- ف. أ. فينيكوف، *تطور الطاقة كنظام معقد*، 1985، ص7 (باللغة الروسية).

2 -VOROPAI, I. ; TRUFANOF, V.V.;SELFANOVE, V.; ISHEVELEVA, G.I., *Electric power system integration in liberalized environment: An approach effectiveness estimation*. London, 2000, 4-7.

3- ف. أ. فينيكوف، ف. أ. سترويف، أ. ب. أونغر وغيرهم، *بناء خوارزميات التحكم الآلي بأنظمة ما بعد العطل في جمل الطاقة باستخدام الحاسوب*، 1992.

4- ي. ف. برويدزي، ف. أ. شتروبل، *تحديد المؤثرات التحكمية الآلية في أنظمة ما بعد العطل وفقاً لشروط الاستقرار الديناميكي*، 1993.

5- د. شعبان، مظفر، *تحليل الشبكات الكهربائية*، منشورات جامعة حلب 1983، 731

6- د. أسبر، جورج، *تحليل الشبكات الكهربائية*، منشورات جامعة تشرين 1994، 485 صفحة

7- موسوعة ويكيبيديا الحرة على شبكة الانترنيت العالمية. موقع الموسوعة هو: http://en.wikipedia.org/wiki/