

تحليل الحسابات المعقدة لنظام ما بعد العطل في نظم الطاقة الكهربائية وفقاً لطريقة العقد الثلاثة

الدكتور زياد هرموش *

(تاريخ الإيداع 10 / 9 / 2009. قُبل للنشر في 2009/12/31)

□ ملخص □

ترتكز هذه الدراسة على استخدام طريقة العقد المكافئة الثلاثة في خطوط الربط (الاستطاعات الجارية)، بحيث تدخل في إطار التحليل الرياضي للحسابات المعقدة الواصفة لانتهيار استقرار نظام الطاقة المركزي. إن أهمية هذه الدراسة تكمن في التعمق بتحليل استقرار نظام الطاقة الكهربائية من وجهة نظر بيانية، و هو ما لم يتم التطرق إليه كثيراً في الدراسات الكهربائية التي تسعى إلى تحقيق هدف الحصول على استقرار نظام الطاقة الكهربائية في كافة الأوقات و الظروف.

لقد تم في هذا البحث إلقاء الضوء على التحليل البياني للحسابات المعقدة لنظام ما بعد العطل، بحيث يؤدي ذلك إلى فهم أكبر للمشاكل و المصاعب التي تتجم عن الأعطال المسببة لفقدان الاستقرار الديناميكي المنشود في نظام الطاقة الكهربائية، و هذا يقود إلى إيجاد الحلول المطلوبة لهذه المشاكل و المصاعب. أظهرت النتائج أن طريقة العقد الثلاثة تسمح بأتمتة نظام ما بعد العطل في نظم الطاقة الكهربائية بحيث تعطي صورة تحليلية بيانية لاستقرارها فعلياً.

الكلمات المفتاحية: أتمتة نظام ما بعد العطل - التحكم بنظام العمل الطبيعي - نظم الطاقة الكهربائية - طريقة العقد المكافئة الثلاثة - الاستقرار الديناميكي.

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

Analysis of After-Fault System for Electrical Power Systems by Using the Equivalent Three Nodes

Dr. Ziad Harmoush *

(Received 10 / 9 / 2009. Accepted 31 / 12 / 2009)

□ ABSTRACT □

The stability of electrical power systems consider as one of the most important goals to achieved in all time and circumstances, hence analyze the complicated calculation for after-fault system lead to acknowledgment and understanding the problems and troubles which resulting by the faults cause losing of dynamic stability in electrical power systems.

The mathematical analyze of complicated calculation described the collapse of central electrical power system claims to fined out the solution of this issue by using the equivalent three nodes method in connection lines with consideration the direction changing of these lines, which could leads to parameters changing of equivalent three nodes.

The equivalent three nodes method explained in this paper allows to automate the after-fault system in electrical power system, hence to give analyzing picture for its real stability.

Key Words: After-fault system automation-Control of Normal work system - electrical power systems – Equivalent three nodes method- Dynamic stability.

*Assistant Prof., department of Electrical power , Mechanical & Electrical Engineering Faculty, Tishreen University , Lattakia, Syria.

مقدمة:

من المعروف أن العوامل المؤثرة في استقرار نظم القدرة الكهربائية تنقسم إلى عوامل ميكانيكية و عوامل كهربائية. و من أهم هذه العوامل الميكانيكية نذكر عزم المحرك الأساسي (التوربين) الذي يدير المولد، عطالة المحرك الأساسي و المولد، عطالة المحرك و حمله الميكانيكي، و أخيراً عزم الخرج (عزم الحمل الميكانيكي)، أما العوامل الكهربائية فهي القوة المحركة الكهربائية الداخلية للمولد المتواقت، بالإضافة إلى مفاعلات عناصر النظام الكهربائي و هي مفاعلة المولد، و مفاعلة المحول، و مفاعلة خط النقل، و مفاعلة المستهلك [1].

إن التحليل الرياضي للحسابات المعقدة الواصفة لانتهيار استقرار نظام الطاقة المركزي يتطلب استخدام طرق مبسطة تهدف إلى إيجاد حلول ناجعة لتحديد التعقيدات الناجمة عن الأعطال المؤدية إلى هذا الانتهيار في الاستقرار الديناميكي لنظام الطاقة، مما يستتبع القول إن عملية الأتمتة المنشودة لجمل الطاقة الكهربائية الموحدة، تتركز في وضع خوارزمية تعتمد على الموديلات الكهروديناميكية للنظام المدروس، و لهذه الغاية سيتم استخدام طريقة العقد المكافئة الثلاث المتموضعة Located في خطوط الربط و الاتصال Connection lines (الاستطاعات الجارية). يدخل في هذا الإطار مجموعات التوليد بالإضافة إلى الحمولات المتوفرة و التي تبين امتدادات و إمكانيات الاستقبال لعقد الطاقة بالنسبة للخطوط المدروسة.

إن تغيير نظام عمل الاتجاهات الواقعية لهذه الخطوط يمكن أن يقود إلى تغيير بارامترات العقد المكافئة الثلاثة، بالإضافة إلى مجموعات العقد التي تدخل في نظام الطاقة الكهربائي بالمجمل، و يجب ملاحظة أننا لا نأخذ بالحسبان الناقلات المتبادلة بشكل غير مباشر في إطار الموديلات التي يمكن أن تتوفر (و هو ما سوف نراه في سياق الدراسة) وفقاً لاحتمالات تموضع العقد الإجمالية المكافئة. و تعتبر هذه المقاربة صحيحة كون العقد المكافئة تتضمن مولدات المحطة الكهربائية، كما أن الاستطاعات الفعلية الموزعة فيما بينها لا تؤثر على مجالات الاستطاعات المتوفرة في خطوط الربط المدروسة [2].

أهمية البحث وأهدافه:

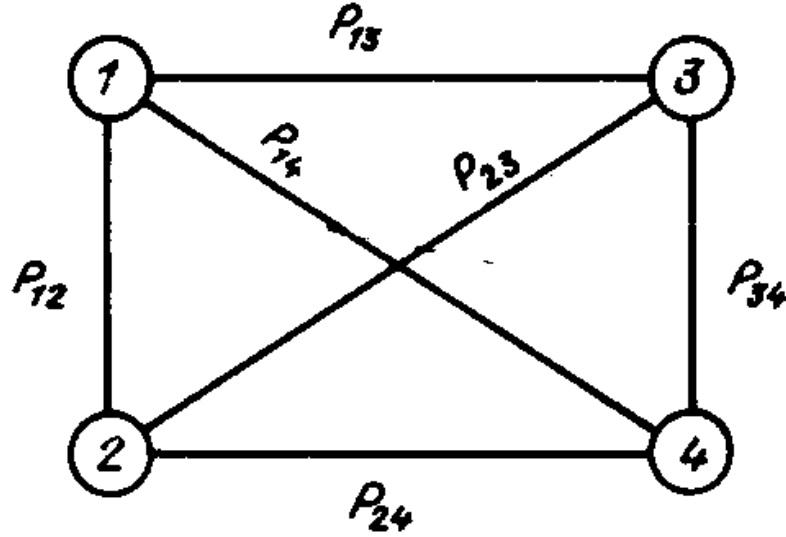
تكمن أهمية البحث في إلقاء الضوء على طريقة العقد المكافئة الثلاثة، و التي تساهم في إيجاد حلول مبتكرة لمشاكل تغيير نظام عمل الاتجاهات الواقعية لخطوط الربط و الاتصال المتعلقة بمجموعات التوليد و الحمولات المتوفرة في إطار امتدادات و إمكانيات الاستقبال لعقد الطاقة ، و قد أدى هذا إلى إيجاد إمكانية بيانية لتحليل الحسابات المعقدة لنظام ما بعد العطل بحيث يؤدي إلى فهم و معرفة المشاكل التي تنجم عن الأعطال المسببة لفقدان الاستقرار الديناميكي في نظام الطاقة الكهربائية. و تجدر الإشارة إلى أن التعمق في هذا النوع من الأبحاث والدراسات يساعد في تجنب الانقطاعات الخطيرة التي يمكن أن تصيب نظام الطاقة الكهربائية.

طرائق البحث ومواده:

لقد تم في هذا البحث استخدام طريقة العقد المكافئة الثلاثة التي تسمح بأتمتة نظام ما بعد العطل في نظم الطاقة الكهربائية بحيث تعطي صورة تحليلية لاستقرارها فعلياً. يجدر بالذكر أن الطريقة البيانية المستخدمة هنا تعتمد على التراكب المختلط و المتعمد لحسابات الاستطاعات السارية و الخواص التمريرية لخطوط الربط و الاتصال في نظام الطاقة الكهربائي.

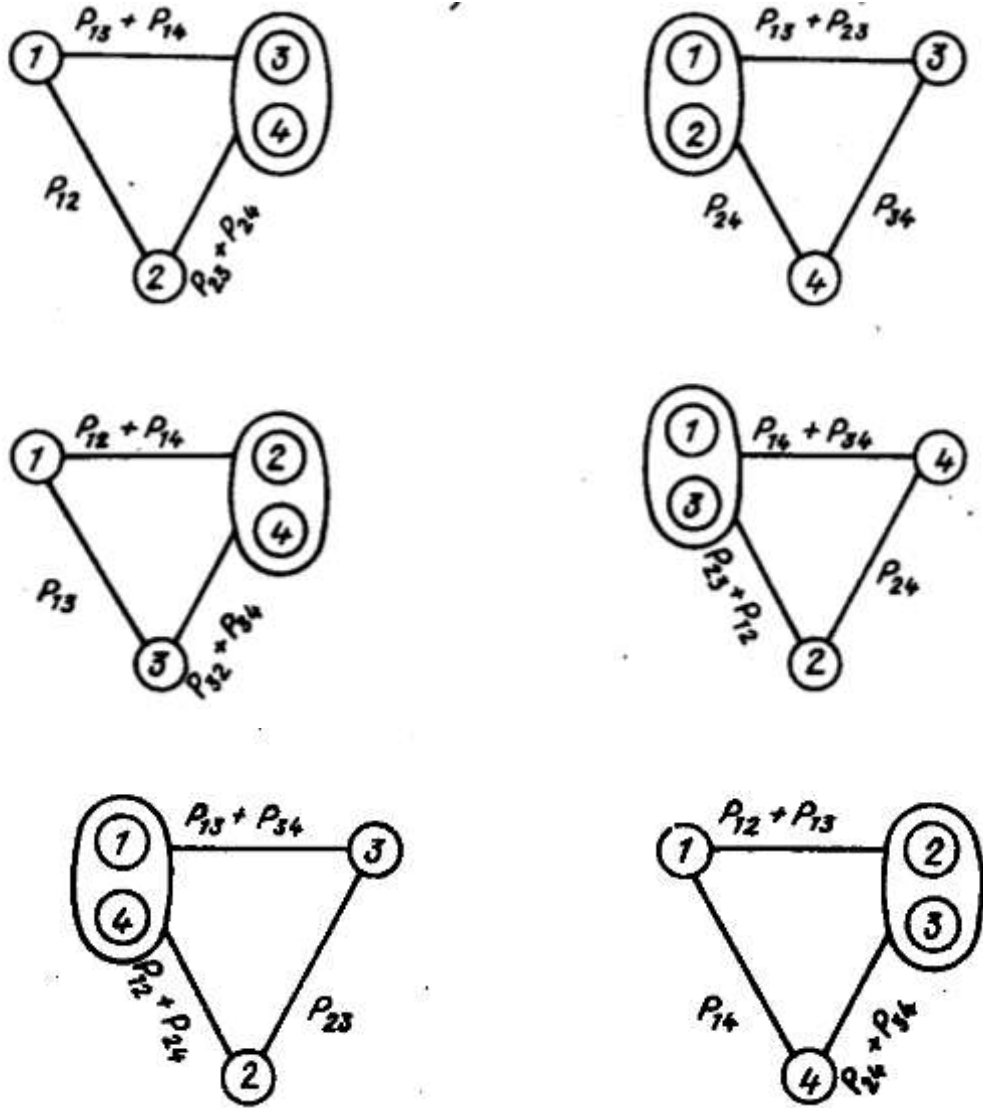
النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (1) مخطط العقد المكافئة الأربعة، حيث أن هذا الشكل يبين أيضاً خاصية التمرير لخطوط الربط والاتصال لهذه العقد، حيث P_{ij} - خاصية التمرير للفروع التي تربط بين العقد i و العقد j .



الشكل (1) - المخطط العام للعقد المكافئة الأربعة

و لتوضيح الفارق بين المخطط العام للعقد المكافئة الأربعة (الشكل 1)، بالإضافة إلى تجسيد أهمية الانتقال من هذا المخطط المذكور إلى مخطط العقد المكافئة الثلاثة (الشكل 2)، فإنه سيتم الاعتماد على تبيان كافة الإمكانيات المتاحة لتحويل هذا المخطط إلى مخططات للعقد المكافئة الثلاثة، و ذلك من خلال التوزيع البياني و الرقمي لهذه العقد، و بالأشكال المبينة أدناه (الشكل 2). و نلاحظ من خلال (الشكل 2) أن الأرقام الواقعة داخل الدائرة قد تغيرت مواقعها و تراتبياتها من خلال المنحني الذي يضم رقمين بدائرتين، و من هنا تأتي أهمية الانتقال من مخطط العقد المكافئة إلى مخطط العقد المكافئة الثلاثة. و كذلك نرى أن هذا الشكل يبين أيضاً خاصية التمرير لخطوط الربط والاتصال لهذه العقد، حيث P_{ij} - خاصية التمرير للفروع التي تربط بين العقد i و العقد j .

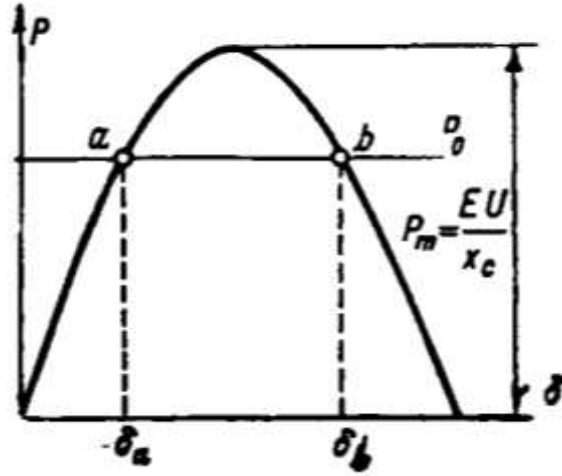


الشكل (2) - الإمكانيات المتاحة لتحويل مخطط العقد المكافئة الأربعة إلى مخططات للعقد المكافئة الثلاثة

ومن المفيد في هذا المجال تبين العلاقة بين الاستطاعة الفعلية P و زاوية الإزاحة δ حيث تتجلى كما يلي:

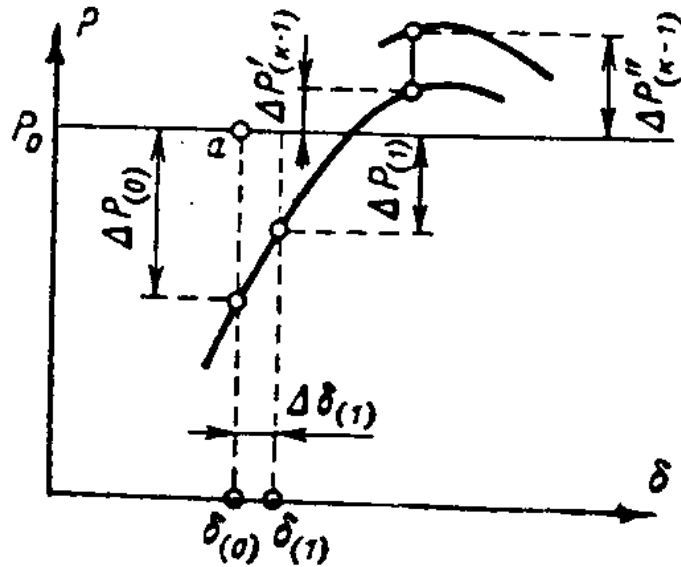
$$P = \frac{E U}{X_c} \sin \delta \quad (1)$$

و يبين الشكل (3) المنحني البياني الممثل للعلاقة أعلاه [3].



الشكل (3) - و يبين العلاقة بين الاستطاعة الفعلية و زاوية الإزاحة

يُظهر الشكل (3) أن العلاقة بين الاستطاعة الفعلية P و زاوية الإزاحة δ تأخذ شكلاً جيبياً، و بالتالي فإن الاستطاعة تزداد مع زيادة الزاوية حتى تصل إلى قيمة عظمى، ثم تأخذ بالتناقص. بينما نبين في الشكل (4) علاقة الاستطاعة الفعلية P و زاوية الإزاحة δ عند حدوث دائرة قصر، و قد تم تطبيق ذلك على أشكال المقاطع المبينة في السياقات القادمة لهذا البحث، بحيث يمكن حساب قيمة زاوية الفصل الحدية و معرفة مدى استقرار الشبكة و هو ما يمثل جوهر البحث.



الشكل (4) - علاقة الاستطاعة الفعلية P و زاوية الإزاحة δ عند حدوث دائرة قصر

إن المجالات الأعظمية لنظام عمل العقد المكافئة الثلاثة، و التي تُوصَفُ بالإمكانات التمريرية للخطوط بين العقد P_{12} , P_{13} , P_{23} تتناسب و نظام المعادلات الذي يربط ما بين الاستطاعات الأعظمية السارية في كل

مقطع من المقاطع التالية $P_{1\max}$, $P_{2\max}$, $P_{3\max}$ و بين استطاعات الحمولات اللحظية في المقاطع الأخرى (أي المقاطع الثانية و الثالثة عند تحديد $P_{1\max}$ ، و المقاطع الأولى و الثالثة عند تحديد الاستطاعات السارية العظمى في المقطع الثاني $P_{2\max}$ و هكذا). لتحديد المجال الأعظمي لنظام العمل للاستطاعات P_1 & P_2 فإننا نكتب المعادلات التالية[1]:

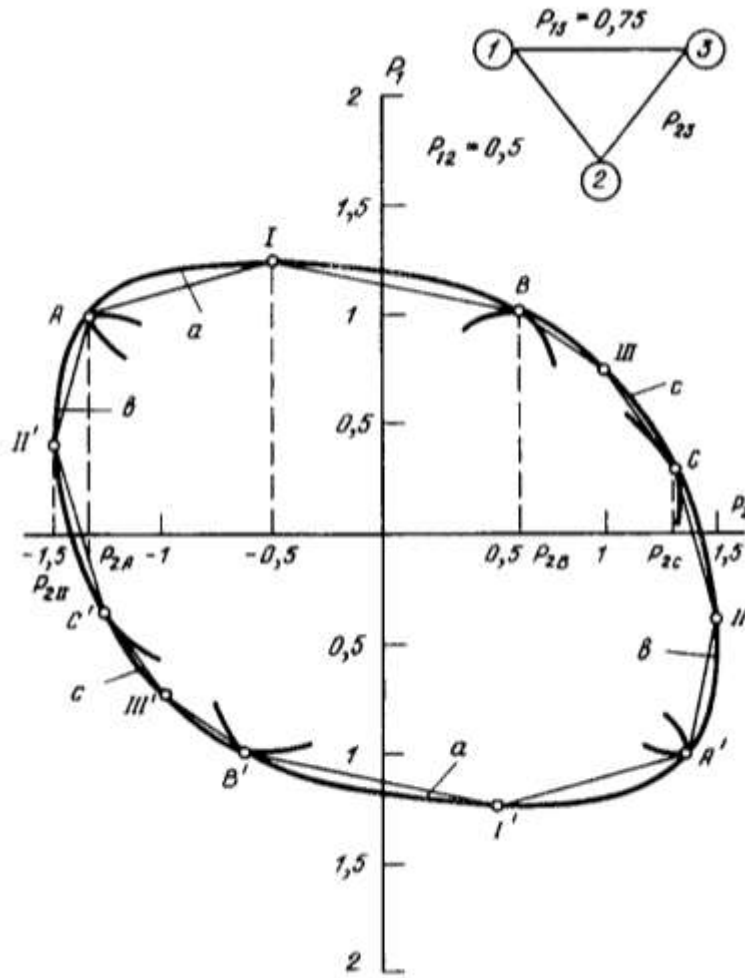
$$P_2 = \frac{P_{13}^2 - P_{12}^2 - P_{1\max}^2}{2 P_{1\max}} \pm P_{23} \sqrt{1 - \left(\frac{P_{1\max}^2 - P_{12}^2 - P_{113}^2}{2 P_{12} P_{13}} \right)^2} ; \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{P_{23}^2 - P_{12}^2 - P_{2\max}^2}{2 P_{2\max}} \pm P_{13} \sqrt{1 - \left(\frac{P_{2\max}^2 - P_{12}^2 - P_{23}^2}{2 P_{12} P_{23}} \right)^2} ; \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{P_{13}^2 - P_{23}^2 - P_{3\max}^2}{2 P_{3\max}} \pm P_{12} \sqrt{1 - \left(\frac{P_{3\max}^2 - P_{13}^2 - P_{23}^2}{2 P_{13} P_{23}} \right)^2} ; \quad (4)$$

$$P_1 = P_{3\max} - P_2 \quad (5)$$

نطبق المعادلات الأربعة المبينة أعلاه على المجالات الناجمة عن أنظمة العمل الأعظمية بحيث نستحصل من خلالها على مجموعة المنحنيات المبينة في الشكل (5).



الشكل (5) - منحنيات المجالات الناجمة عن أنظمة العمل الأعظمية

المنحني a يتناسب و المعادلة (2) و هو يحدد الحموله الأعظمية للمقطع الأول عند تغير استطاعة العقدة المكافئة 2،

المنحني b يتناسب و المعادلتين (4) و (5) و هو يحدد الحموله الأعظمية للعقدة المكافئة 3، عند تغير استطاعة العقدة المكافئة 2،

المنحني c يحدد استطاعة العقدة المكافئة في المقطع الثاني عند تغير الاستطاعة في المقطع الأول.

إن نقاط انتقال هذه المنحنيات A,B,C تعطينا مجالات أنظمة العمل التي تُوصَف انهيار الاستقرار وفقاً لمقاطع محددة. و هكذا نقول إنه إذا كانت استطاعة العقدة 2 تقع ضمن المجال التالي :

$$P_{2A} > P_2 > P_{2II}$$

فإن المقطع الثاني هو المقطع الخطر، أي أنه يتم الخروج من حدود مجال انهيار العمل المتوازي للعقدة 2 المترافق مع بقية عناصر النظام الكهربائي[4].

إذا كانت استطاعة العقدة 2 تقع في المجال $P_{2B} > P_2 > P_{2A}$ فإن زيادة سريان الاستطاعة من العقدة 1 إلى العقدة 3 يمكن أن يؤدي إلى انهيار خطوط النقل للمولدات المكافئة. و من جهة أخرى إذا كان $P_{2C} > P_2 > P_{2B}$ فإن انهيار الاستقرار عند الخروج من هذا المجال يمكن أن يُلاحظ في المقطع الثالث.

إن النقاط A,B,C تسمح بتوحيد حدود المجالات الأعظمية لأنظمة العمل، و يمكننا تحديد إحداثياتها من خلال معادلات الاستطاعات من أجل العقدتين 1 و 3 و نكتب:

$$P_1 = P_{1\max} \sin (\delta_{13} - \varphi_1) ; \varphi_1 = \arctg \frac{P_{12} \sin \delta_{23}}{P_{13} + P_{12} \cos \delta_{23}} ; \quad (6)$$

$$P_3 = P_{3\max} \sin (\delta_{13} - \varphi_3) ; \varphi_3 = \arctg \frac{P_{23} \sin \delta_{12}}{P_{13} + P_{23} \cos \delta_{12}} ; \quad (7)$$

يُمكن بلوغ الحمولة الأعظمية للمقطعين الأول و الثالث من خلال المعادلة التالية:

$$\delta_{13} - \varphi_1 = \bar{n} / 2 ; \delta_{13} - \varphi_3 = \bar{n} / 2 \quad (8)$$

نأخذ بالحسبان المعادلات من (6) حتى (8)، و كذلك معادلات خط النقل $\delta_{13} = \delta_{12} + \delta_{23}$ ، فنحصل بذلك على القيم المُحدَّدة للزاوية δ_{23} في نظام العمل بالنسبة للنقطة B أي:

$$\cos \delta_{23} = \frac{P_{12} \sin \delta_{23}}{\sqrt{P_{12}^2 + P_{13}^2 + 2 P_{12} P_{13} \cos \delta_{23}}} \frac{P_{13}}{P_{23}} \quad (9)$$

إن حل المعادلة المبيّنة أعلاه يقع ضمن مجال القيم التالية للعقد المكافئة:

$$\delta_{23}' = \arctg \frac{P_{23} (P_{13} + P_{12})}{P_{12} P_{13}} ; \delta_{23}'' = \arctg \frac{P_{23} \sqrt{P_{13}^2 + P_{12}^2}}{P_{12} P_{13}} \quad (10)$$

تُعطي مجالات العقد هذه الإجابة التي نسعى للحصول عليها بالنسبة للمجالات الداخلية للاستطاعات ذات القيم المساوية لحدود استطاعات النقطة B أي:

$$P_1' = \sqrt{P_{12}^2 + P_{13}^2 + \frac{2 P_{12}^2 P_{13}^2}{\sqrt{P_{13}^2 P_{12}^2 + P_{23}^2 (P_{13} + P_{12})^2}}} ; \quad (11)$$

$$P_1'' = \sqrt{P_{12}^2 + P_{13}^2 + \frac{2 P_{12}^2 P_{13}^2}{\sqrt{P_{13}^2 P_{12}^2 + P_{23}^2 (P_{13}^2 + P_{12}^2)}}} ; \quad (12)$$

تبين الدراسات المتخصصة في هذا الإطار أنه حتى من أجل الحالة الأكثر خطورة فإن قيم P_1' & P_1'' لا تزيد عن 5 % من القيمة الإجمالية للاستطاعة $P_{1\max}$ ، و لتبسيط العلاقة بين المجالات الداخلية للاستطاعات ذات القيم المساوية لحدود استطاعات النقطة B المبيّنة في (الشكل 5) أي بإجراء المساواة المبسطة التالية $P_{1B} = P_1''$ ، فإننا نعتبر الانحراف في الخطأ أصغرياً في حدود مجال نظام العمل. و بنفس الطريقة نطبق هذا الأمر على الأدلة المحددة الأخرى أي P_{1A} & P_{1C} .

بحصولنا على قيم P_{1A} & P_{1B} & P_{1C} و بالأخذ بالحسبان المعادلات من (2) حتى (4) فإنه تتحدد لدينا قيم P_{2A} & P_{2B} & P_{2C} . و هكذا نجد أنه عند حساب P_{2A} فإن العنصر الثاني للمعادلة (2) يدخل بإشارة سالبة (-)، كما أنه عند حساب P_{2B} فإن العنصر الثاني للمعادلة (2) يدخل بإشارة موجبة (+)، و كذلك العنصر الثاني للمعادلة (4) يدخل بإشارة موجبة (+) عند حساب P_{2C} . و هكذا فإنه يتم توحيد حدود مجالات أنظمة العمل الأعظمية وفقاً

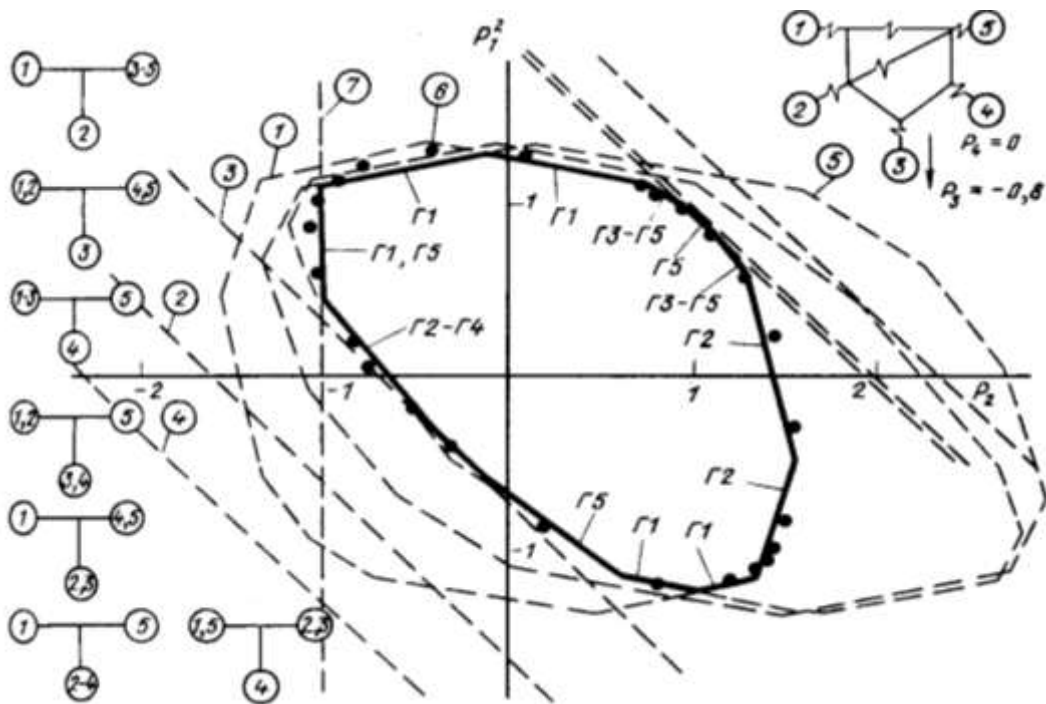
لبارامترات العقد الثلاث المكافئة و التي تم تحديد إحداثيات نقاطها الخاصة، و يتم هنا الأخذ بالاعتبار العلاقة بين استطاعة العقدة المرحلية P_2 و بين القيم الصغيرة لاستطاعات النقاط المُجَسَّدة للمقطع الخطر لنظام العمل المدروس. يمكن بالاستناد إلى المخطط المبين في الشكل (6) تبيان أن حدود المجالات الأعظمية لنظام عمل مخطط العقد المكافئة الثلاثة، يمكن أن تصل إلى المقاطع الخطية التقريبية التي تربط بين حدود النقاط التالية:

A With II' & A With I

& B With I & B With III

& C With II & C With III

و نلاحظ هنا أن القاعدة المطبقة على منحنيات المجالات الناجمة عن أنظمة العمل الأعظمية و المبينة في الشكل (3) هي نفسها مطبقة على المخطط المبين في الشكل (6) أدناه. ولشرح هذا الشكل بشكل مسهب فإنه من المهم التأكيد على الميزة المعتمدة على حدود المجالات الأعظمية لنظام عمل مخطط العقد المكافئة الثلاثة، سواء المبينة في الشكل (5) أو المبينة في الشكل (6) و التي يمكن أن تصل إلى المقاطع الخطية التقريبية التي تربط بين حدود النقاط المبينة أعلاه. حيث أن هذه الميزة تدخل في إطار التابع P_i ، و تُدخل في الحساب أيضاً الزمن t_{DO} و هو الزمن الذي تستغرقه عملية تجسيد المؤثرات التحكمية.



الشكل (6) - حدود المجالات الأعظمية لنظام عمل مخطط العقد المكافئة الثلاثة

تملك المعادلة $t_i (\Delta P_i) = t_{DO}$ جذرين حقيقيين في إطار التتابع P_i ، جذراً معطى في المستوى الأعلى High Level للتراتبية الحسابية، و جذراً آخر معطى في المستوى الأدنى Down Level بحيث يؤدي إلى تغيير التوليد المدروس عند تغيرات الاستطاعة المحددة في هذه المحطة الكهربائية. إن خاصية التغيير السريع للاستطاعة اللحظية يُوصَف Describe حالة المحطات الكهربائية الضخمة لذلك يُقترح استخدام التابع الزمني t_i المشروح أعلاه و ذلك بإدخاله في مسألة التحكم العمليتي لما بعد العطل، في إطار القيم المدروسة لتتابع تغيير الاستطاعة في المحطات الكهربائية Electrical Power Stations.

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد تم استنتاج حدود المجالات لنظام العمل الأعظمي المبين في الشكل (6) من أجل مخطط خمس عقد مبيّنة في الجانب الأيمن من الشكل. و نستنتج أيضاً توازن الاستقرار الديناميكي للنظام في إطار استطاعة العقدتين الكهربائيتين 1 & 2 ، $(P_1 \& P_2)$ ، و ذلك عند عقدة التوازن 5، و عند تثبيت حمولة العقدتين 3 و 4، و إن تبني هذه الحدود تمّ من خلال استخدام العلاقات المبيّنة أعلاه بغية حساب إحداثيات النقاط الخاصة. لقد تم الاستفادة من العلاقات الكهربائية والرياضية الأكثر شهرة من أجل تحديد بارامترات العقد الثلاثة (أي تحديد قيم الخواص التمريرية لخطوط النقل الكهربائية) مما ساهم في الحصول على المجالات الداخلية للاستطاعات المدروسة. و تمّ التأكيد هنا على أنّ تطبيق الطريقة المدروسة مرتبط بالدرجة الأولى بمجموعات العقد الثلاث المكافئة و المتعلقة بنظام الطاقة الكهربائية ذات n عقدة و التي تتناسب مع عدد المقاطع مضروبة في 3 . بيّنا كذلك في الشكل 4 العقد الثلاثة المكافئة و التي تؤخذ بالحسبان عند تحديد المجالات الأعظمية لأنظمة العمل. إن كل مقطع ذي خط مستقيم لهذه المجالات يتوافق مع العقد الثلاث المكافئة و المبيّنة على الجانب الأيسر من الشكل (6)، و التي تُعتبر الأكثر تمثيلاً لتقييم استقرار المخطط برمته. يوصى بتعميق دراسة هذه الطريقة و تطبيقها على نظم الطاقة الكهربائية الضخمة، بالإضافة إلى تحليل الشبكات الكهربائية بغية الحصول على الاستقرار الديناميكي لها.

المراجع:

1. ARZAMASTSIV, D.A.; LIPITZ, A.F. , *Reduce the technology losses for power in electrical networks* ,Russia, 1999, 128.
2. BAOLYN, B.N.; NEVELSKY, V.L.; DROBOV, E.A. *Evaluation stability for electrical power systems*, Russia, 2004,153.
3. ISBER, G. *Analysis of electrical network*, Syria, 1994.
4. BILLINTON, R. R.; WOOD, R.A. *power system reliability calculation. MIT PRESS* , U.S.A., 2006 , 173.

