مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (3) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (3) 2012

التعويض الأمثل للاستطاعة الردية في شبكات التوزيع الكهربائية باستخدام النظم الخبيرة

الدكتور جورج اسبر•
الدكتور فيصل شعبان••
سنان رزوق•••

(تاريخ الإيداع 21 / 11 / 2011. قُبِل للنشر في 27/ 5 / 2012)

□ ملخّص □

لقد تناولنا في هذا البحث موضوع تخفيض الضياع في شبكات التوزيع الكهربائية باستخدام المكثفات كونها الوسيلة الأنجع والأسهل من حيث التطبيق العملي لخفض الضياعات في شبكات التوزيع الكهربائية إلى حدها الأصغري.

إن عملية استخدام المكثفات لتخفيض الضياعات في شبكات التوزيع الكهربائية إلى حدها الأصغري تؤول في الحالة العامة إلى عملية أمثَلة Optimizing وبحث عن الحل الأمثل Optimum search. إذ إن الحل الأمثل لهذه المسألة يتأثر بعددٍ كبيرٍ من العوامل والقيود الفنية والاقتصادية، لذا فإن مسألة أمثَلة استخدام المكثفات لتخفيض الضياعات في شبكات التوزيع الكهربائية، إذا ما أخذنا الطبيعة المتقطعة Discrete لمتحولاتها بالحسبان، هي من المسائل المعقدة وتحتاج إلى تقنية متطورة للبحث عن الحل الأمثل والوصول إليه بسرعة معقولة.

في هذا العمل تمت الاستفادة من تقنيات الذكار الصنعي AI لحل مسألة أمثَلة استخدام المكثفات لتخفيض الضياع في شبكات التوزيع الكهربائية و قد تم بناء نظام خبير Expert system يساعدنا في البحث عن الحل الأمثل لمسألتنا هذه والوصول إليه بسرعة وبأقل جهد ممكن.

الكلمات المفتاحية: الاستطاعة الردية– المكثفات– شبكات التوزيع الكهربائية– النظم الخبيرة.

• أستاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
•• أستاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
••• ماجستير – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (3) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (3) 2012

OPTIMAL COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN THE ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS BY USING EXPERT SYSTEM

Dr. George Isber[•]
Dr. Faysal Shaban[••]
Sinan Razzoq[•••]

(Received 21 / 11 / 2011. Accepted 27 / 5 / 2012)

□ ABSTRACT □

This research discusses the subject of loss reduction in electrical distribution networks by using condensers as being the easiest and most effective means in the filed of practical application for reducing losses in the electrical distribution networks to their minimal level.

Using condensers for reducing losses in the electrical distribution networks to their minimal limit is attributed in general state to an optimizing operation and a research for the optimal solution. As the optimal solution of this question is affected by a great number of technical and economic factors and restrictions; therefore, the process of optimizing the use of condensers to reduce losses in electrical distribution networks, if we take the discrete nature of their transformations into consideration, is one of the complicated problems and it needs advanced technology to look for the optimal solution and to approach it at a reasonable speed.

In this task we should make use of the artificial intelligence technology to solve the problem of optimizing the use of condensers for reducing losses in electrical distribution networks, and an expert system has been constructed to help us in searching for the optimal solution for this problem of ours and to approach it quickly with the least possible effort.

Keywords: reactive power, condenses, electrical distribution networks, expert system.

[•] **Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia, Syria.**
[••] **Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia, Syria.**
[•••] **Master, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

بدأت في الستينات مرحلة في تطور الحواسيب قادت إلى إيجاد النظم الخبيرة الحالية التي تطبق في شتى الميادين، وهي على شكل تطويرات في الشرائح الصغيرة المصممة من أجل خفض أسعار الحواسيب إلى درجة تفوق توقعات العلماء. وبينما كان أخصائيون في هندسة الحواسيب يطورون الشرائح الدقيقة، فإن خبراء البرامج كانوا يعدون العدة من أجل ثورة مفاجئة في البرامج. وهذه الثورة لم تكن اقتراح طريقة جديدة في توفير المعلومات باستخدام شعاع ليزري أو تطوير شريحة صغيرة ولكن كانت ثورة في المفهوم أدت إلى إيجاد مجال جديد في عالم الحواسيب أطلق عليه الذكاء الصنعي "Artificial intelligence".

إن هدف علماء الذكاء الصنعي هو تطوير برامج حاسوبية باستطاعة التفكير بطريقة ما، أي إيجاد حل لمشكلة ما بطريقة يمكن اعتبارها ذكية كما لو أنها أجريت من قبل الإنسان.

لقد عرف علماء الذكاء الصنعي أنه لابد من وجود طريقة لجعل برنامج الكمبيوتر ذكياً وإذا كان من الصعب إيجاد برنامج ذي استخدام عام فإنه من الأفضل التركيز على تطوير طرق أو تقنيات عامة واستخدامها في برامج ذات استخدام خاص، وبالتالي ركزوا على تقنيات مثل "التمثيل" "Representation" (أي كيفية صياغة المشكلة وبالتالي تسهيل حلها) والبحث "search" (أي التحكم الذكي بالبحث عن الحل، وبالتالي لا يتطلب كثيراً من سعة ذاكرة الكمبيوتر). هذه السياسة أعطت بعض النتائج ولكنها لم تحدث ثورة برمجية إذ لم يتم ذلك إلا في بداية الثمانينات عندما بدأ علماء الذكاء الصنعي بصياغة بعض الأفكار المهمة: إن قوة حل المشكلة لدى البرنامج تأتي من المعطيات التي يمتلكها. وهذا هو المفهوم الثوري الذي يمكن شرحه ببساطة: فمن أجل وضع برنامج ذكي يجب تزويده بكثير من المعطيات الخاصة ذات النوعية العالية حول كل جوانب المشكلة، وهذا يقود إلى تطوير برامج حاسوبية محددة الاستخدام وخبيرة في بعض المشكلات الخاصة وهذه البرامج سميت بالبرامج الذكية "Expert system"[1].

إن مفهوم الاقتصادية غدا من المعايير الأساسية لنجاح أي مشروع هندسي تصميمياً كان أو استثمارياً، وتعد مشاريع الطاقة، وبخاصة مشاريع استثمار الطاقة الكهربائية، في مقدمة هذه المشاريع. فقد أصبح تحسين اقتصادية تشغيل عناصر نظم القدرة الكهربائية واستثمارها بمختلف أساليبه ووسائله من ترشيد للاستهلاك، والحد من الهدر، وخفض للضياعات، وتُعد عملية تخفيض ضياعات الطاقة في مختلف عناصر نظم القدرة الكهربائية من أهم الأساليب الناجعة لتحسين اقتصادية عمل هذه النظم واستثمارها وخصوصاً في تلك البلدان التي تعاني من ارتفاع كبير في القيم النسبية لهذه الضياعات.

وهذه الطرق التحليلية للبحث عن الحل الأمثل، على الرغم من فعاليتها وقدرتها الكبيرة على حل مسائل الأمثلة (optimizing) التقليدية فإنه تعوزها المرونة الكافية لاستيعاب القيود التي تفرضها ظروف المسألة المطروحة، كالقيود على المكان وحدود انحراف التوتر وغيرها، أضف إلى ذلك أنها تصبح بالغة التعقيد عندما تكون شبكة التوزيع المراد دراستها متعددة الفروع. كما أن هذه الطرق التحليلية غير قادرة على الوصول إلى الحل الأمثل بدقة كافية نظراً لأنها لا تأخذ الطبيعة المتقطعة discrete للمتحولات بالحسبان، بالإضافة إلى كونها تتطلب عمليات رياضية وحسابية مطولة ومرهقة تصل إلى حد الإعجاز وخصوصاً عندما تكون الشبكة المدروسة كثيرة العقد والتفرعات والخيارات المتوفرة لبطاريات المكثفات. من هنا بدأ التفكير بالاتجاه نحو استخدام تقنيات الذكاء الصنعي AI techniques التي أخذت تتطور بسرعة فائقة وتتغلغل في مختلف فروع العلوم الهندسية ومن بينها هندسة نظم القدرة الكهربائية واقتصادياتها.

لقد حظيت النظم الخبيرة Expert systems كإحدى هذه التقنيات بالحظ الأوفر في مختلف مجالات إدارة نظم الطاقة الكهربائية وتحسين أدائها ورفع اقتصادياتها وبخاصة في مجال الحل الأمثل نظراً لأنها تسمح وبسهولة بإدخال المعلومات المرشدة Heuristic information التي تساعد على تسريع الوصول إلى الحل الأمثل المطلوب. إن الأعمال المنشورة في هذا المجال قليلة نسبياً وتعود بداياتها إلى عام 1988 حين عقدت أول ندوة متخصصة لتطبيقات النظم الخبيرة في حل مسائل نظم القدرة الكهربائية في مدينة هيلسنكي آب 1988.

أهمية البحث وأهدفه:

يهدف البحث إلى استخدام النظم الخبيرة في مسألة التعويض الأمثل للاستطاعة الردية، إذ إن موضوع استخدام المكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية، سواء لتحسين عامل الاستطاعة أو لمعالجة هبوطات التوتر الكبيرة، مسألة قديمة، كما أن فكرة استغلال هذه المكثفات لتخفيض الضياع في الشبكات الكهربائية قديمة أيضاً[2].

ومع تزايد الدعوات والندوات والنداءات للحفاظ على الطاقة وترشيد استهلاكها والحد من الهدر توجه اهتمام مهندسي الطاقة الكهربائية ومستثمريها إلى الوسائل التي ترفع من اقتصادية استثمار هذه الشبكات وفي مقدمتها استخدام المكثفات لخفض الضياع في شبكات التوزيع إلى الحد الأدنى الممكن. ومنذ ذلك الوقت بدأت مسألة تحديد القيمة الاقتصادية لسعة المكثفات وأمكنة ربطها على شبكات التوزيع تأخذ أبعادها الاقتصادية والفنية فاكتسبت صيغةً "مسألة إيجاد الحل الأمثل" وبدأت المحاولات الجادة بتطبيق الطرق التحليلية المعروفة آنذاك لعملية إيجاد الحل الأمثل كطريقة حساب المتغيرات وطريقة مضاريب لاغرانج والطريقة التدريجية.

طرائق البحث ومواده:

في هذا العمل سنحاول الاستفادة من تقنيات الذكاء الصنعي لحل مسألة إيجاد الحل الأمثل لاستخدام المكثفات لتخفيض الضياع في شبكات التوزيع الكهربائية وبناء نظام خبير يساعد في البحث عن الحل الأمثل والوصول إليه بسرعة وبأقل جهد ممكن.

إن النظام الخبير الذي تم وضعه يساعد في الوصول إلى الحل الأمثل وقد تم استخدام إحدى أدوات بناء النظم الخبيرة المتطورة الملائمة لطبيعة المسألة الموضوعة. أضف إلى ذلك أنه تم استخدام لغة برمجة عالية المستوى لتحقيق هذا النظام الخبير ووضعه موضع التنفيذ. ولتسريع عملية الوصول إلى الحل الأمثل تم استخدام معلومات مرشدة وتقليص فضاء البحث "Search space".

النتائج والمناقشة:

إن عملية استخدام المكثفات لتخفيض الضياع تتضمن تحديد أنواع المكثفات المراد إضافتها وحجومها ومواقعها على خطوط شبكة التوزيع وهذا يجب أن يتم على نحو أمثل "Optimally" بحيث يحقق القيمة الوسطى للوفر الحاصل من إضافة هذه المكثفات مع الحفاظ على الشروط الفنية المقبولة، وعلى ذلك فإن مسألة استخدام المكثفات لتخفيض الضياع في شبكات التوزيع الكهربائية تؤول في الحالة العامة إلى عملية (البحث عن الحل الأمثل) للوصول إلى القيمة العظمى لتابع الهدف الذي يمكن وصفه على الشكل الآتي:

$$F = K_1\tau_e(\Delta p_L) + K_2(\Delta p_L) - r\sum_1^N K_{ci}C_i \qquad (1)$$

إذ:

Δp_L – التخفيض في الضياع الإجمالي الناجم عن تركيب المكثفات.

τ_e – الزمن المطابق للضياع الأعظمي أو زمن الضياع الأعظمي، ساعة/سنة (كيلوات)،

K_1 – كلفة القدرة الكهربائية أو سعر القدرة الكهربائية وحدة نقدية/كيلوات ساعي،

K_2 – الوفر الناتج عن انخفاض استطاعة الزروة نتيجة لتخفيض الضياعات وحدة نقدية/كيلوات،

r – قسط التعويض السنوي لتكاليف المكثفات المضافة بما في ذلك التشغيل والصيانة، (%)،

C_i – استطاعة وحدة المكثفات المضافة على قضيب التجمع i، كيلوفار،

N – عدد قضبان تجميع الشبكة.

ولأن الحل الأمثل لهذه المسألة يتأثر بعدد كبير من العوامل والقيود الفنية والاقتصادية (الحجم– العدد– القيود على التوتر– القيود على المكان المتاح...).

لذا فإن مسألة إيجاد الحل الأمثل لاستخدام المكثفات لتخفيض الضياع في شبكات التوزيع معقدة وتحتاج إلى تقنية متطورة للبحث عنه والوصول إليه بسرعة كبيرة.

يوجد حالياً طرائق رياضية حديثة وفعّالة للبحث عن الحل الأمثل مثل الطريقة التدريجية، والبرمجة الديناميكية وطريقة الألعاب وهناك العديد من الأعمال التي استخدمت هذه الطرائق لإيجاد الحل الأمثل لاستخدام المكثفات وتخفيض الضياع، إلا أن هذه الطرائق الرياضية لا تفي بالغرض على الوجه الأكمل لحل المسألة المطلوبة، فمثلاً الطريقة التحليلية لا تأخذ بالحسبان الطبيعة المتقطعة لمتحولات مسألة إيجاد الحل الأمثل أما طريقة البرمجة الديناميكية فهي طويلة ومرهقة وتتطلب وقتاً كبيراً على الحاسوب[3].

إن المعطيات المقترحة لاستخدامها كمعلومات مرشدة هي:

1. قيم تابع الهدف Objective function.
2. قيم عوامل تحسس الضياع Power loss sensitivity factors.

وهي عوامل تعبر عن مدى تحسس ضياع الاستطاعة الفعلية لتغير استطاعة المكثفات الردية المضافة على أي من قضبان تجميع الشبكة، وأفضل وسيلة رياضية للتعبير كمياً عن هذا التحسس هي المشتقات الجزئية لضياع الاستطاعة الفعلية الإجمالية P_L بالنسبة لكل من استطاعات وحدات المكثفات المضافة إلى قضبان تجميع الشبكة.

$$S_i = \frac{\partial p_i}{\partial C_i} \qquad i = 1,2,..., N \qquad (2)$$

يحسب ضياع الاستطاعة الفعلية الإجمالي Δp_i في شبكات التوزيع الشعاعية المتشعبة من العلاقة الآتية [5،6]:

$$\Delta p_L = \frac{p_1^2 + (Q_1 + C_1)^2}{U_1^2} R_1 + \frac{p_2^2 + (Q_2 + C_2)^2}{U_2^2} R_2 + ... + \frac{p_N^2 + (Q_N + C_N)^2}{U_N^2} R_N \quad (3)$$

إذ:

p_1 ، p_2 ، p_N– الاستطاعة العفلية للأحمال المستجرة من قضبان التجميع،

Q_1 ، Q_2 ، Q_N– الاستطاعة الردية للأحمال المستجرة من قضبان التجميع،

C_1 ، C_2 ، C_N– استطاعة وحدات المكثفات المضافة إلى قضبان التجميع.

U_1 ، U_2 ، U_N– توترات قضبان التجميع،

R_1 ، R_2 ، R_N– مجموع المقاومات الأومية للفروع بدءاً من المنبع (محطة التحويل أو التوزيع) حتى قضيب التجميع موضوع الدراسة.

أما عوامل تحسس الضياع فيمكن إيجادها باشتقاق علاقة الضياع الإجمالي جزئياً بالنسبة لكل من استطاعة وحدات المكثفات المضافة إلى قضبان التجميع:

$$S_i = \frac{\partial p_1}{\partial C_i} = \frac{Q}{U}(C_i - Q_i)R_i \qquad i = 1,2,...,N \qquad (4)$$

وذلك باعتبار أن قيمة كل من U_i و Q_i ثابتة عند الاشتقاق الجزئي، مع إهمال تأثير تغيرات توترات قضبان التجميع والاستطاعات الردية للأحمال على ضياع الاستطاعة الفعلية، وهذا التقريب مقبول بشكل جيد في الحياة العملية.

وبناء على ما تقدم يمكن وضع تصور لبنية النظام الخبير الذي سيعالج مسألة تعويض الاستطاعة الردية وإيجاد الحل الأمثل لها باستخدام المعلومات المرشدة التي تساعد في سرعة الوصول إلى الحل المطلوب بمساعدة البرامج الحاسوبية المساعدة وهي:

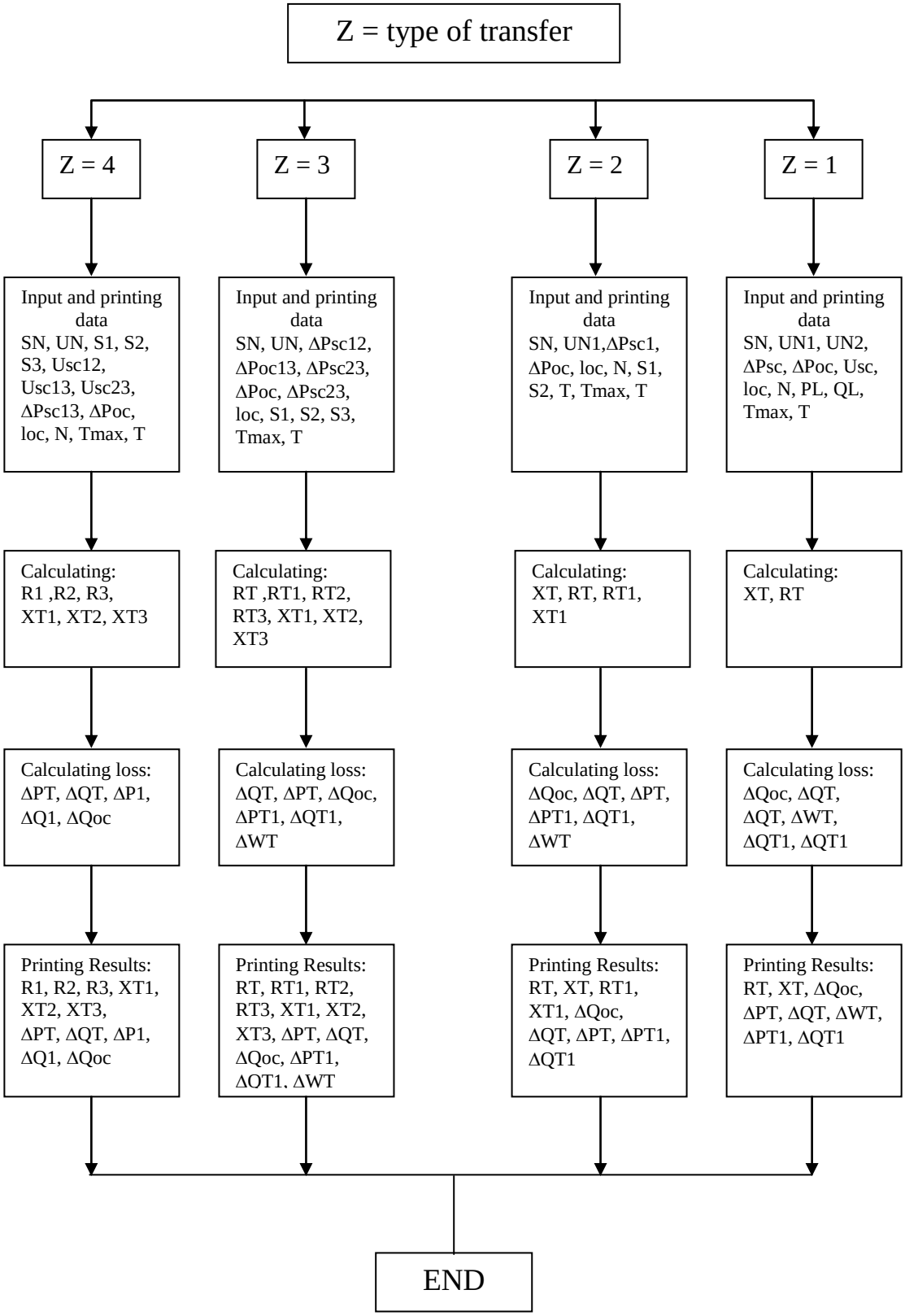
–برنامج لحساب الضياع الإجمالي في الشبكة.

–برنامج لحساب عوامل تحسس الضياع.

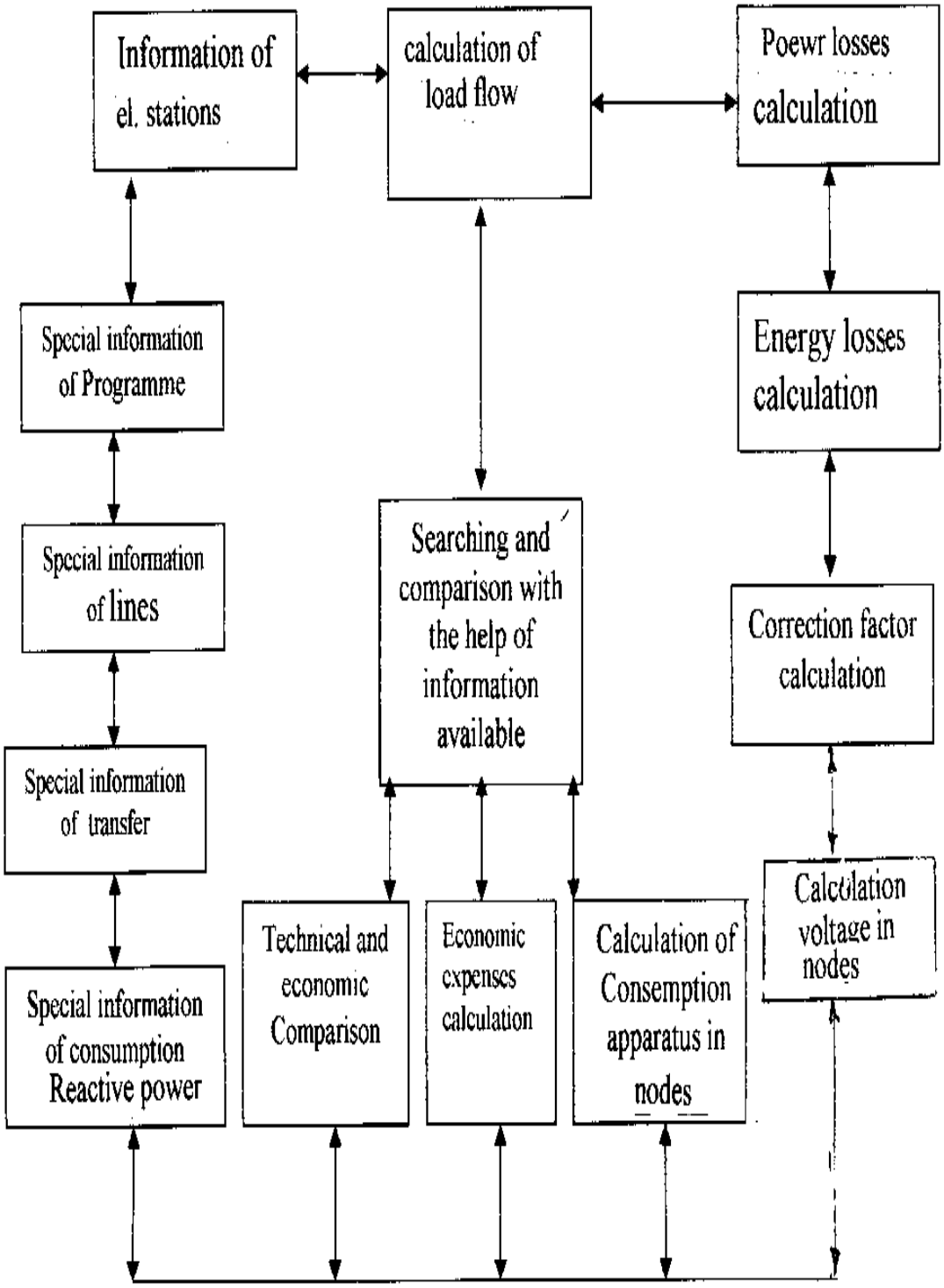
–برنامج لحساب تغيرات توترات قضبان التجميع نتيجة لإضافة المكثفات.

–برنامج لحساب اقتصادية تعويض الاستطاعة الردية بواسطة المكثفات شكل (1). كما يبين الشكل (1) المخطط الصندوقي للعمليات الأولية الذي يعتمد عليها النظام الخبير[4].

يوضح الشكل (2) بنية النظام الخبير المقترح.

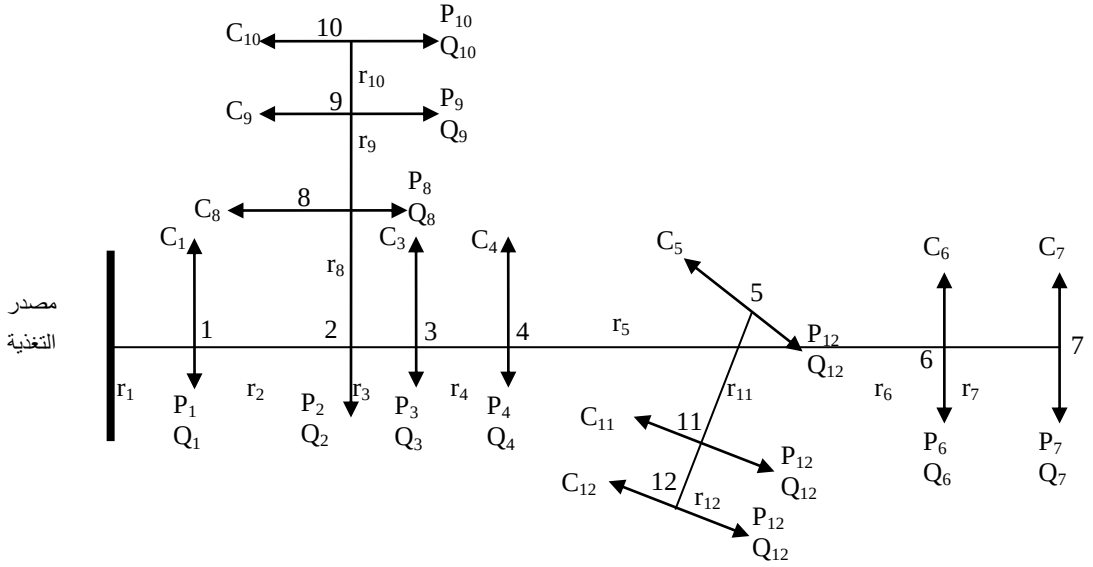


شكل (1): المخطط الصندوقي للحلول الجزئية لنظام القدرة الكهربائية



شكل (2) بينية النظام الخبير

1- حساب ضياعات الاستطاعة الفعلية Real power loss التي سيرمز لها بـ ΔP_{Loss} أو اختصاراً ΔP_L وهي ضياعات الاستطاعة الإجمالية في الشبكة (شكل 3).



شكل (3): الشبكة المقترح نمذجتها

إذ : 1، 2، 3،...، N أرقام قضبان التجميع.

$P_1, P_2, P_3,..., P_{12}$- الاستطاعة الفعلية Real power للأحمال المستجرة من كل قضيب تجميع (Bus) bar، وتكون من المعطيات التي هي على شكل جداول إما مباشرة أو بشكل KVA و P.F. عامل الاستطاعة، إذ $P = KVA \times P.F.$.

$Q_1, Q_2, Q_3,..., Q_{12}$- الاستطاعة الردية Reactive power للأحمال المستجرة من كل قضيب تجميع، وتكون من المعطيات على شكل جداول إما مباشرة أو بشكل KVA و P.F.، حيث $Q = KVA \times \left[\sin(\cos^{-1} P.F.)\right]$.

$r_1, r_2, r_3,..., r_{12}$- مقاومات الفروع Resistance وتكون من المعطيات على شكل جداول إما مباشرة، أو تُحسب من أطوال خطوط الفروع ومقاطعها ونوع معدنها Al أو Cu التي تعطى على شكل جداول.

$C_1, C_2, C_3,..., C_{12}$- الاستطاعات الردية للمكثفات بالـKVAR المراد تركيبها على قضيب تجميع الشبكة وهي المراد تعيين قيمها التي تحقق الحالة المثلى لتقليل الضياعات Power loss reduction.

تُعطى ضياعات الاستطاعة الفعلية الإجمالية P_L بالعلاقة التفصيلية الآتية:

$$\Delta P_L = \frac{P_1^2 + (Q_1 - C_1)^2}{U_1^2} r_1 + \frac{P_2^2 + (Q_2 - C_2)^2}{U_2^2}(r_1 + r_2) +$$
$$+ \frac{P_3^2 + (Q_3 - C_3)^2}{U_3^2}(r_1 + r_2 + r_3) + \ldots\ldots\ldots\ldots +$$
$$+ \frac{P_7^2 + (Q_7 - C_7)^2}{U_7^2}(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7)$$
$$+ \frac{P_8^2 + (Q_8 - C_8)^2}{U_8^2}(r_1 + r_2 + r_8) + \frac{P_9^2 + (Q_9 - C_9)^2}{U_9^2}(r_1 + r_2 + r_8 + r_9)$$
$$+ \frac{P_{10}^2 + (Q_{10} - C_{10})^2}{U_{10}^2}(r_1 + r_2 + r_8 + r_9 + r_{10}) +$$
$$+ \frac{P_{11}^2 + (Q_{11} - C_{11})^2}{U_{11}^2}(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_{11}) +$$
$$+ \frac{P_{12}^2 + (Q_{12} - C_{12})^2}{U_{12}^2}(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_{11} + r_{12})$$

إن: r_1- هي مقاومة الفرع أو الخط الواصل بين محطة التحويل وقضيب تجميع رقم 1.

r_2- هي مقاومة الفرع أو الخط الواصل بين الباس رقم 1 وقضيب تجميع رقم 2.

r_3- هي مقاومة الفرع أو الخط الواصل بين الباس رقم 2 وقضيب تجميع رقم 3.

لنرمز بقصد التبسيط إلى مجاميع المقاومات r_1+r_2+ كما يأتي:

$$r_1 = R_1$$
$$r_1 + r_2 = R_2$$
$$r_1 + r_2 + r_3 = R_3$$
$$r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = R_4$$
$$r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 = R_5$$
$$r_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + r_6 = R_6$$
$$r_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + r_7 = R_7$$
$$r_1 + r_2 + r_8 = R_8$$
$$r_1 + r_2 + r_8 + r_9 = R_9$$
$$r_1 + r_2 + r_8 + r_9 + r_{10} = R_{10}$$
$$r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_{11} = R_{11}$$
$$r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_{11} + r_{12} = R_{12}$$

وتصبح علاقة تعيين ضياعات الاستطاعة الإجمالية كما يأتي:

$$\Delta P_L = \frac{P_1^2 + (Q_1 + C_1)^2}{U_1^2} R_1 + \frac{P_2^2 + (Q_2 + C_2)^2}{U_2^2} R_2 + \frac{P_3^2 + (Q_3 + C_3)^2}{U_3^2} R_3 + ... +$$
$$+ \frac{P_7^2 + (Q_7 + C_7)^2}{U_7^2} R_7 + \frac{P_8^2 + (Q_8 + C_8)^2}{U_8^2} R_8 + ... + \frac{P_{12}^2 + (Q_{12} + C_{12})^2}{U_{12}^2} R_{12}$$

2- تعيين المشتقات الجزئية للضياعات الإجمالية بالنسبة لاستطاعات المكثفات C_c التي هي عناصر شعاع التحسس لضياعات الاستطاعة SM:

إن الشعاع (SM) Power loss sensitivity vector هو بالتعريف:

$$SM = \left\{ \frac{\partial \Delta P_L}{\partial C_1}, \frac{\partial \Delta P_L}{\partial C_2}, ..., \frac{\partial \Delta P_L}{\partial C_i}, ..., \frac{\partial \Delta P_L}{\partial C_{12}} \right\}$$

لذا فللحصول على هذه العناصر يلزم أن نشتق علاقة الضياعات جزئياً بالنسبة لكل من استطاعات المكثفات C_i، وبإجراء ذلك بعد فك المتطابقة $(Q_i - C_i)^2$ نحصل على:

عناصر الشعاع SM
$$\begin{cases} SM_1 = \dfrac{\partial P_L}{\partial C_1} = \dfrac{1}{U_1^2}(2C_1 - 2Q_1)R_1 \\ SM_2 = \dfrac{\partial P_L}{\partial C_2} = \dfrac{1}{U_2^2}(2C_2 - 2Q_2)R_2 \\ ---------- \\ SM_i = \dfrac{\partial P_L}{\partial C_i} = \dfrac{1}{U_i^2}(C_i - 2Q_i)R_i \\ ---------- \\ SM_{12} = \dfrac{\partial P_L}{\partial C_{12}} = \dfrac{1}{U_{12}^2}(C_{12} - 2Q_{12})R_{12} \end{cases}$$

وذلك بعد اعتبار كل من U_i وQ_i ثابتة، أي بإهمال تأثير تغيرات توترات قضبان التجميع والاستطاعة الردية للحمل على ضياعات الاستطاعة الفعلية الإجمالية، وهذا مقبول في الحياة العملية بتقريب جيد[5،6].

3- حساب قيمة التابع الهدف Object Function (OBJ):

لدينا بالتعريف:

$$OBJ = K_1(\Delta P_{Loss}\,\mathrm{Re}\,duction) - K_2(Total\ capa\ citor\ \mathrm{cost})$$

إذ :

K_1- تقدر بالوحدة النقدية لكل كيلواط سنوي من الوفر في الضياعات ويمكن اعتبارها بحدود 200 وحدة نقدية وتكون هذه القيمة من المعطيات. يمكن اعتبار الوحدة النقدية مساوية للدولار قيمةً.

K_2- نسبة مئوية تعبر عن قسط التعويض السنوي لتكاليف المكثفات وتتراوح عادة ما بين 10%-15% ويمكن أخذها بمقدار 12% كقيمة وسطية[6].

أما الـPower Loss Reduction فهي مقدار التخفيض في الضياعات الإجمالية ΔP_L وهي الفرق بين قيمتي الضياعات الإجمالية لمجموعتين من قيم المكثفات المركبة على قضبان التجميع $(C_1, C_2, ..., C_i, ..., C_N)$، إذ

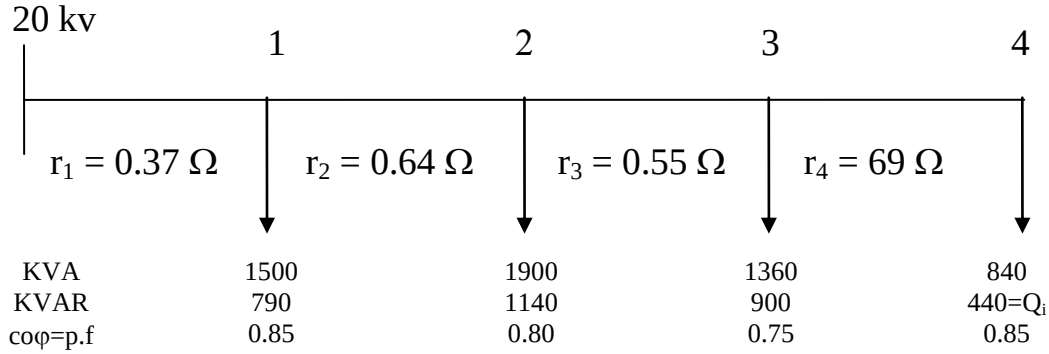
تحسب قيمة ΔP_L من العلاقة السابقة من أجل مجموعة معينة لقيم المكثفات C_i ولتكن ΔP_{L_1}، ثم بتغيير قيم مجموعة المكثفات هذه بشكل ما، أي بالحصول على عقدة حل node أخرى تنتج لدينا قيمة مغايرة للضياعات الأجمالية ولتكن ΔP_{L_2} وتكون قيمة التخفيض في الضياعات

Power Loss Reduction= $\Delta P_{L_1} - \Delta P_{L_2}$ وهكذا، علماً أحد الحلول الممكنة (أو إحدى عقد الحل node الممكنة) هو عدم وجود مكثفات على أي من قضبان التجميع أي الحل أو العقدة االآتية:

$$\begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & & C_N \\ 0, & 0, & 0, ..., & & 0 \end{pmatrix}$$

أما تكاليف المكثفات (Total Capacitor cost) فتؤخذ من نشرات أسعار المكثفات المستخدمة (أو المقترحة)، وتكون هذه الأسعار من المعطيات أيضاً.

مثال: لنأخذ فرعاً من شبكة توزيع على التوتر 20 kv يغذي أربعة باسبارات أي: N=4 كما هو مبين بالخطط أدناه:



KVA	1500	1900	1360	840
KVAR	790	1140	900	440=Q_i
coφ=p.f	0.85	0.80	0.75	0.85

شكل (4): مثال شبكة التوزيع المقترح حلها

$R_1 = r_1 = 0.37$

$R_2 = r_1 + r_2 = 1.01$

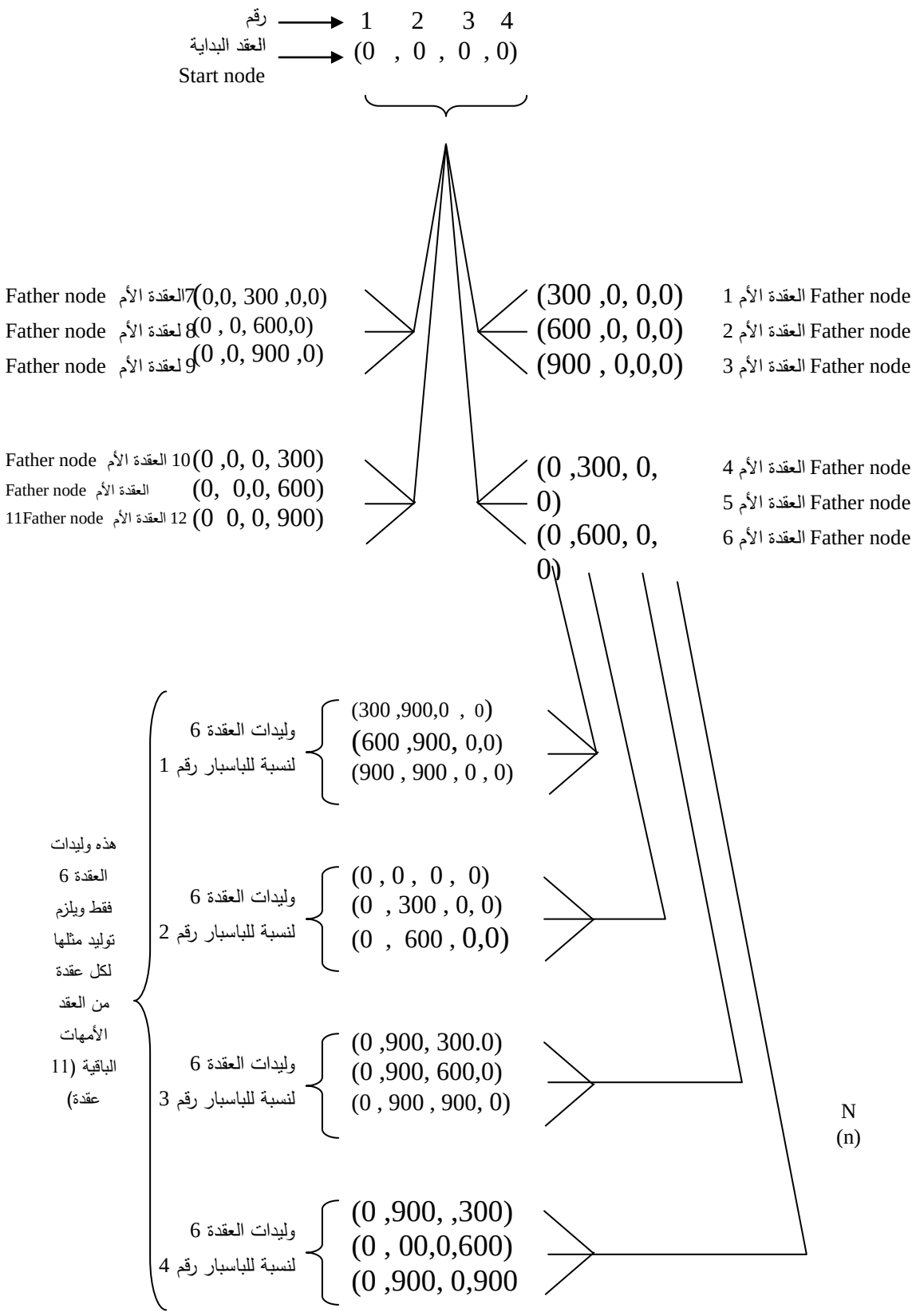
$R_3 = r_1 + r_2 + r_3 = 1.56$

$R_4 = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = 2.25$

وبفرض أن حجوم (استطاعات) المكثفات المتاحة C_i هي:

$C_i = 300 , 600 , 900$ LVAR

تكون الاحتمالات الممكنة لتركيب هذه المكثفات على قضبان التجميع، أي الحلول المتمثلة في العقد الأمهات Father nodes الممكن تشكيلها والعقد الوليدات Sons الممكن توليدها كما هو مبين في الشكل (5):



شكل (5) مخطط الشجرة (العقد الأمهات العقد الوليدات)

العقد الأمهات الممكنة $n \times N$

إذ n عدد أحجام المكثفات المتوفرة عدا الصفرية

N عدد قضبان التجميع (الباسبارات) في الشبكة المدروسة

والحلول (الاحتمالات الممكنة لتركيب المكثفات على قضبان التجميع)

و: $(n \times N)^2$ وهو عدد الواحدات

1- بإضافة 300 KVAR ثانية تصبح $C_1 = 600$ و $\Delta C = 300$

$$SM1 = 5.55\times10^{-6}\times(600-790) - 1.06\times10^{-3} < 0$$

$$Gain = 200\times1.06\times10^{-3}\times300 = 6.36 \quad \$/yr$$

$$Cost = 0.14\times3.7\times300 = 155.4 \quad \$/yr$$

إذن cost> gain وعليه لا تُقبل هذه الإضافة والقيمة: $C_1 = 600$ KVAR غير مقبولة

2- بإضافة 300 KVAR تصبح $C_1 = 900$ و $\Delta C = 300$

$$SM1 = 5.55\times10^{-6}\times(900-790) = +0.61\times10^{-3} > 0$$

نلاحظ هنا أن عامل التحسس موجب $SM1 > 0$ لذا لا تقبل هذه الإضافة ويجب إنقاص قيمة C_1 إلى 600 ثم إلى 300.

إذن القيمة $C_1 = 900$ KVAR غير مقبولة

وعليه فالقيم المقبولة لإضافة المكثفات على الباسبار رقم (1) هي: 300 , 0 (قيمتان فقط)

لنأخذ الآن الباسبار رقم (2) حيث $C_2 = 300$

1- بإضافة 300 KVAR تصبح $C_2 = 600$ و $\Delta C = 300$

$$SM_2 = \frac{2R_2\times10^{-3}}{u_2^2}(C_2 - Q_2)$$

$$= \frac{2\times1.01\times10^{-3}}{(201\sqrt{3})^2}(600-1140) = -15.15\times10^{-6}\times540$$

$$= -8.18\times10^{-3} < 0$$

$$Gain = 200\times8.18\times10^{-3}\times300 = 790.8 \quad \$/yr$$

$$Cost = 0.14\times3.7\times300 = 155.4 \quad \$/yr$$

إذن cost < gain وعليه تقبل هذه الإضافة والقيمة: $C_2 = 600$ KVAR مقبولة.

2- نضيف 300 KVAR ثانية فتصبح $C_2 = 900$ و $\Delta C = 300$

$$SM2 = 15.15\times10^{-6}\times(900-1140) = -3.64\times10^{-3} < 0$$

$$Gain = 200\times3.64\times10^{-3}\times300 = 218.4 \quad \$/yr$$

$$Cost = 0.14\times3.7\times300 = 155.4 \quad \$/yr$$

إذن cost < gain وعليه تقبل هذه الإضافة والقيمة: $C_2 = 900$ KVAR مقبولة.

ولا يمكن إضافة أكثر من ذلك لأننا لو فرضنا أن أكبر قيمة للمكثفات المضافة هي 900. وعليه فالقيم المقبولة لإضافة المكثفات على الباسبار رقم (2) هي:

(900 , 600 , 300 , 0) أربع قيم.

لنأخذ الآن الباسبار الأخير رقم (4) إذ $C_4 = 0$:

1- نضيف 300 KVAR فتصبح $C_4 = 300$ و $\Delta C = 300$

$$SM_4 = \frac{2R_4 \times 10^{-3}}{u_4^2}(C_4 - Q_4)$$

$$= \frac{2 \times 2.25 \times 10^{-3}}{(201\sqrt{3})^2}(300 - 440) = -33.75 \times 10^{-6} \times 140$$

$$= -4.73 \times 10^{-3} < 0$$

$$\text{Gain} = 200 \times 4.73 \times 10^{-3} \times 300 = 283.8 \quad \$/yr$$

$$\text{Cost} = 0.14 \times 3.7 \times 300 = 155.4 \quad \$/yr$$

إذن gain > cost وعليه تقبل هذه الإضافة والقيمة: $C_4 = 300$ KVAR مقبولة.

2- بإضافة 300 KVAR أخرى تصبح $C_4 = 600$ و $\Delta C = 300$

$$SM4 = 33.75 \times 10^{-6} \times (600-440) \quad > 0$$

عامل التحسس لهذه الإضافة موجب وعليه لا تقبل هذه الإضافة والقيمة: $C_4 = 600$ KVAR مقبولة.

وعليه فالقيم المقبولة لإضافة المكثفات على الباسبار رقم (4) هي: (300 , 0) (قيمتان فقط).

الاستنتاجات:

تم وضع نموذج رياضي وخوارزمية وبرنامج حاسوبي بلغة جافا يعتمد على تقنيات الذكاء الصنعي لحل مسألة استخدام المكثفات لتخفيض الضياع في شبكات التوزيع الكهربائية وهذا البرنامج يساعد في حل المشكلة المطروحة بشكل سريع وبأقل جهد ممكن ويختلف عن البرامج الأخرى التي تعتمد على الطرق التي ذكرت في البحث بأنه أسرع وأكثر دقةً. وأنه يحقق ربحاً اقتصادياً ملحوظاً نتيجة لأنه يقوم بتعويض الاستطاعة الردية في الأماكن التي بحاجة إلى تعويض كما أنه لا يلتزم بقيمة محددة لعامل الاستطاعة. أي أن قيمة عامل الاستطاعة تحددها احتياجات الشبكة العامة والمستهلك وقيمة الاستطاعة الشحنية (السعوية) المولدة في الشبكة.

التوصيات:

1. الانتقال من استخدام البرامج الحاسوبية التقليدية إلى البرامج التي تعتمد على طريقة الحل الأمثل والنظم الخبيرة.
2. إن عملية تحديد عامل استطاعة موحد للمستهلك غير اقتصادية، لذلك يجب تحديد عامل استطاعة بناءً على حسابات دقيقة بحيث يحدد لكل حمل عام الاستطاعة الخاص به الذي يمكن أن يكون هو الأمثل بالنسبة له وبالنهاية العامل المثالي للشبكة العامة.

المراجع

1. Cook, R.F., "Optimizing the application of shunt capacitors for reactive-VOH Ampere control and loss reduction", AIEE Transactions, Part II (Power Apparatus and systems), Vol.1, 80, Aug. 1961.
2. Shao, J., Rao, N.D. and Zhang, Y. "An expert system for secondary distribution system design"., IEEE Trans. On power delivery-PWRD, Vol.6 No.4, 1991.
3. Lo, K.L. a Nashid, I. "Expert systems and them application to power systems, part 3: examples of application", IEE power Eng. Journal, Vol.7, No.5, Oct. 1993.
4. Chis, M., Salama, M.M.A., Jayaram, S., "Capacitor placement in Distribution systems using heuristic search strategies" IEE Proc. Goner, Trans. Distrib., Vol. 144, No.3, May 1997.
5. Паулы В.К., Воротников Р.А., "Коменсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии" II энергоэксперт –
2007-№2 –15p.
6. د. جورج اسبر. تحليل الشبكات الكهربائية. منشورات جامعة تشرين، 2007-2008، 550.