مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية سلسلة العلوم الهندسية المجلد 15 (العدد 1) 1413-1993.

الحل الأمثل للشبكات الكهربائية باستخدام الحاسب الإلكتروني

المهندس سهيل اسبر
طالب ماجستير في نظم القدرة الكهربائية
جامعة حلب
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية

ملخص

إن معرفة توزع الاستطاعة في الشبكة الكهربائية من المسائل الهامة والشاغلة لمهندسي الطاقة في مرحلتي التخطيط والاستثمار، كي يتمكن مهندس نظم الطاقة من مراقبة وضع الشبكة لوضع القرارات المناسبة التي تمكن من قيادة الشبكة على الوجه الأكمل. ونظرا لكون حسابات سريان الحمولة تجري بالطرق التقليدية التخطيطية البطيئة كمحلل الشبكات وحاجة المهندس الى الحصول على النتائج بأسرع فترة ممكنة، ثم التوجه نحو استخدام الحاسب في قيادة الشبكة الكهربائية بوضع برنامج لسريان الحمولة وفق أفضل الطرق المدروسة بقصد استثمار الشبكة بالشكل الأمثل.

ان معرفة سريان الحمولة في الشبكة الكهربائية يمكن المهندس المسؤول في مؤسسة الكهرباء من الحصول على معلومات هامة سواء في مرحلة التخطيط أو في مرحلة الاستثمار وتتصف مرحلة الاستثمار بكونها آنية وتستلزم الحصول على النتائج بأسرع فترة ممكنة ليتمكن مهندس الاستثمار من مراقبة وضع الشبكة بناء على المعطيات المتوفرة لديه. ووضع القرارات المناسبة التي تمكنه من قيادة الشبكة على الوجه المناسب.

من هنا تأتي أهمية الدراسة المستفيضة للطرق المختلفة في حساب سريان الحمولة و العمل على مناقشتها ومن ثم صياغة الطريقة المناسبة تمهيداً لوضع برنامج سريان الحمولة للحاسب الالكتروني بقصد استثمار الشبكة الكهربائية.

كانت حسابات جريان الحمولة تجري بالطرق التحليلية المعروفة حيث كانت هذه الأنظمة محدودة الحجم غير أنه في الأنظمة الأوسع تحليلاً كانت تجري بواسطة محلل الشبكات الذي هو عبارة عن تمثيل فيزيائي للنظام.

مع اتساع نظام الطاقة الكهربائية أصبح من الصعب جداً اتباع الطرق السابقة لانجاز مثل هذه الحسابات بالسرعة والدقة المطلوبين مما حدا بمهندسي نظم الطاقة الكهربائية الى استخدام الطرق العددية التكرارية لإيجاد الطرق المناسبة، ثم العمل على تطوير ذلك من خلال تطوير تلك المعطيات باسلوب يسمح باستخدام الحاسوب للقيام بهذا العمل بالسرعة العالية والدقة المطلوبة حيث يتم تمثيل نظام الطاقة الكهربائي ومن ثم صياغة الخوارزمية المناسبة للاستخدام في الحاسوب. إلا أنه في التطبيقات العملية تبرز لدينا صعوبة اختيار الطريقة العددية الملائمة لأن ذلك يتطلب تحليلا جيداً لمزايا ومساوئ كل من الطرق المتاحة وخاصة فيما يتعلق بالزمن والسرعة وخصائص التقارب لتحديد الطريقة الأكثر ملاءمة.

أهم الطرق المعروفة لدراسة سريان الحمولة :

1- طريقة غاوص باستخدام (Y_{BUS}): يبدأ حل مسألة سريان الحمولة بافتراض قيم تخمينية للتوترات على جميع العقد ما عدا عقدة الأساس التي يثبت عليها التوتر على قيمة معينة لاتتغير خلال الحل وبإجراء التكرار يجري تصحيح القيم المفترضة لتوترات العقد تباعاً حتى الوصول الى قيم معينة قريبة جداً من الواقع وبدقة عالية.

2-طريقة غاوص-سايدل التكرارية باستخدام (Y_{BUS}): هذه الطريقة مشابهة لطريقة غاوص لكن تستخدم أحدث قيم للتوترات التي حصلنا عليها في الدورة إذ

يساهم ذلك في الوصول الى القيم النهائية المناسبة لتوترات العقد بأقل عدد ممكن من دورات التكرار.

3- طريقة غاوص وغاوص-سايدل للتكرار باستخدام (Z_{BUS}): يتمثل الفرق الأساسي بين طرق التكرار التي تستخدم المصفوفة (Y_{BUS}) وطرق التكرار التي تستخدم المصفوفة (Z_{BUS}) في أنه في الحالة الأخيرة يتم حل توترات العقد مباشرة باستخدام المصفوفة (Z_{BUS}) حسب العلاقة:

$$V_{BUS}=(Z_{BUS}).(I_{BUS}) \qquad (1)$$

حيث:

Y_{BUS}: مصفوفة سماحيات العقد،

Z_{BUS}: مصفوفة ممانعات العقد،

I_{BUS} : مصفوفة تيارات العقد،

4- طريقة نيوتن -رافسون : تتطلب طريقة نيوتن- رافسون تحويل مجموعة من المعادلات الجبرية غير الخطية الى مجموعة من المعادلات الجبرية الخطية التي تبين العلاقة بين الاستطاعة الفعلية والردفعلية عند جميع العقد باستثناء عقدة الأساس (عقدة مصدر التغذية).

مزايا ومساوئ الطرق المألوفة :

تتطلب طريقة غاوص (مقارنة مع طريقة غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة ممانعات العقد أو مصفوفة سماحيات العقد) تكرارا إضافيا وصولا الى الحل.

وطالما أن زمن كل تكرار واحد لكلتا الطريقتين فإن طريقة غاوص-سايدل متطورة بالمقارنة مع طريقة غاوص وبالتالي أصبحت طريقة غاوص مهملة أمام غاوص-سايدل.

أ- زمن التكرار الواحد:

تتطلب طريقة غاوص- سايدل باستخدام سماحيات العقد أقل وقت تكرار بسبب احتوائها على أقل عدد من العمليات الرياضية وذلك لكون صفوف سماحيات العقد غير ممتلئة.أما طريقة نيوتن-رافسون والتي تستخدم مصفوفة سماحيات العقد فإنها تتميز بكونها مصفوفة غير ممتلئة مما يستدعي الإقلال من العمليات الرياضية. لكن حساب عناصر الجاكوبي كل دورة تكرار يتطلب وقتا إضافيا مما يسبب الزيادة في كل تكرار بالمقارنة مع الطريقة السابقة. إن وقت كل تكرار في كلتا الطريقتين يزداد طرداً مع عدد العقد في الشبكة لأن عدد العناصر التي لاتساوي الصفر المضافة الى مصفوفة الشبكة لاجل كل عقدة ثابت تقريبا. أما طريقة غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة ممانعات العقد فإنها تتطلب إجراء حل أبسط نسبياً ولكن زمن كل تكرار لهذه الطريقة أكبر بسبب مصفوفة ممانعات العقد ممتلئة ولذلك

يتناسب زمن كل تكرار طرداً مع مربع عدد العقد.

ب- سرعة التقارب "الوصول الى الحل بأقل عدد ممكن من الدورات"

تتقارب طريقة غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة سماحيات العقد ببطء وتتطلب من أجل الوصول الى الحل التقريبي الصحيح عدداً أكبر من التكرارات أكثر مما تتطلب طريقة نيوتن-رافسون أو طريقة غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة ممانعات العقد وذلك بسبب الترابط الرياضي المفكك بين جميع العقد بعكس طريقة غاوص-سايدل باستخدام مضفوفة ممانعات العقد والتي تتميز بمصفوفة ممانعات عقد ممتلئة وبحل مباشر للشبكة مما يعني أن جهد كل عقدة مرتبط مع جميع استطاعات العقد ويتم التقارب نتيجة لذلك بشكل سريع وأكثر وثوقية مقارنة مع غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة سماحيات العقد.

إن ازدياداً هاماً في سرعة التقارب يمكن الحصول عليها باستخدام عوامل التسريع α و β ومنها نحسب القيمة المسرعة للتوتر لأجل خطوة التكرار (K+1) كما يلي:

(2)

$$V_{P_{(acceleration)}}^{(K+1)} = V_P^{(K)} + \alpha(V_P^{(K+1)} - V_P^{(K)})$$

حيث تستعمل α و β كعوامل تسريع لأجل المركبتين الحقيقية و التخيلية للجهد ويعتمد اختيار هذين العاملين على خواص الشبكة وطريقة الحل.

إن أفضل قيمة لعامل التسريع تتراوح بين (1,5-1,7) والاختيار الخاطئ لهما يمكن أن يبطئ التقارب أو حتى يجعل الحل غير ممكن.

تتميز طريقة نيوتن - رافسون بسرعة تقاربها وبحتمية حصول هذا التقارب ويلعب الدور الهام هنا تحويل جملة المعادلات غير الخطية لمسألة سريان الحمولة الى جملة معادلات خطية مما يؤدي الى سرعة التقارب ووثوقيته.

إن الميزة الهامة لطريقة نيوتن - رافسون هي ثبات عدد التكرارات مهما اختلف عدد العقد في الشبكة في حين يزداد عدد التكرارات في طريقة غاوص-سايدل باستخدام(Z_{BUS}) أو (Y_{BUS})طردا مع عدد العقد في الشبكة.

وطالما أن عدد التكرارات ثابت في طريقة نيوتن-رافسون مهما كان حجم المسألة فإن أفضليتها تزداد بالمقارنة مع بقية الطرق الاخرى باطراد كلما ازداد حجم النظام المطلوب حله.

نجد بطريقة غاوص- سايدل باستخدام مصفوفة سماحيات العقد أنه من الممكن اختصار عمليات التخزين وليس من الضروري تخزين العناصر المساوية للصفر. ولتحقيق ذلك نخزن العناصر غير المساوية للصفر مع قائمة بأرقام العقد التي تطابق

أسطر وأعمدة المصفوفة. نستفيد هنا من خواص مصفوفة السماحية حيث تكون متناظرة قطريا لذلك يكفي أن نخزن جزءاً منها في ذاكرة الحاسب وعلاوة على ذلك يمكن ($Y_{pq}=0$) في حال عدم وجود ارتباط مباشر بين العقدتين p, q وهذه الخاصية تجعل كثيراً من عناصر المصفوفة مساوية للصفر قد تصل (90٪) من جميع العناصر المؤلفة لنظام مؤلف من عشرات العقد.

إن مصفوفة غاوص-سايدل باستخدام مصفوفة ممانعات العقد تتميز بمصفوفة ممتلئة وعلى سبيل المثال لأجل نظام يحتوي على (101) عقدة مع عقدة المرجع نحتاج الى (2000)كلمة لتخزين كامل المصفوفة. وطالما أن المصفوفة متناظرة فيكفي تخزين عناصر الخط القطري والعناصر خارج الخط القطري إما العلوية أو السفلية وهذا يخفض متطلبات التخزين الى(10000) كلمة مع الحاجة الى مساحة لأجل قائمة بأرقام العقد.

أما طريقة نيوتن-رافسون علاوة على تخزين المصفوفة المثلثية العيا أو الدنيا من مصفوفة السماحيات فإنها تتطلب تخزين مصفوفة اليعقوبي الناتجة ذات الحجم الكبير نسبيا وهذا ما سيزيد من متطلبات التخزين بصورة كبيرة.

لم تتوقف جهود الباحثين عند هذا الحد إذ نجدهم في السنوات الأخيرة توصلوا الى تعديلات هامة في طرق حساب سريان الحمولة من هذه التعديلات كانت الطرق التالية:

Decovpled- Method - 1

تبين من الدراسات المتعددة لسريان الحمولة أن التغيرات الساكنة (ΔP_p) في الاستطاعة الحقيقية لقضيب تجميع تؤثر بشكل رئيسي على زوايا أطوار التوترات (وبالتالي على سريان الاستطاعة الفعلية في الخطوط) إلا أن هذا التغير لايؤثر تقريباً على طويلة توترات قضبان التجميع (وبالتالي على سريان الاستطاعة الرد فعلية) حيث تبقى هذه المقادير ثابتة. كما أن تغيرات الاستطاعة الرد فعلية (ΔQ_p) لقضيب تجميع تؤثر بشكل أساسي على طويلة توترات قضبان التجميع (وبالتالي على سريان الاستطاعة الرد فعلية في الخطوط) وتبقى زوايا طور توترات قضبان التجميع (وبالتالي الاستطاعة الفعلية للخطوط) ثابتة تقريبا. كما أن التغيرات الساكنة في الاستطاعة الرد فعلية لقضيب تجميع معين تؤثر بشكل كبير جدا على طويلة توتر قضيب التجميع المعتبر بدرجة أقل على قيم توترات قضبان التجميع البعيدة. مما سبق نستنتج أنه يمكن إهمال مصفوفتي الارتباط M, N في مصفوفة اليعقوبي وعليه تصبح العلاقات كما يلي :

$$S_p = P_p - JQ_p = V_p^* \sum Y_{pq} V_q = |V_p| \sum (G_{pq} + JB_{pq}) e^{-J\theta_{pq}} |V_q| \quad (3)$$

حيث :

S_p الاستطاعة الظاهرية عند العقدة p،

P_p الاستطاعة الفعلية عند العقدة p،

Q_p الاستطاعة الرد فعلية عند العقدة p،

V_p شعاع التوتر عند العقدة p ،

Yp_q مصفوفة سماحيات العقد ،

Gp_q الناقلية الفعلية ،

Bp_q الناقلية التخيلية ،

Qp_q زاوية الطور ،

وبالتالي تغيرات الاستطاعة الفعلية والردية.

$$[\Delta P_{pq}] = [H_{pq}][\Delta\theta][M] \quad (4)$$

$$[\Delta Q_{pq}] = [L_{pq}]\left[\frac{\Delta|V|}{|V|}\right][M] \quad (5)$$

P_{pq} ، Q_{pq} تغيات الاستطاعة الفعلية والرد فعلية.

H_{pq} ، L_{pq} مصفوفات جزئية باليعقوبية عناصرها مشتقات جزئية كما يلي:

$$N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|}|V_q| \ , \ H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \theta_p}$$

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \theta_p} \ , \ L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}|V_q|$$

حيث:

لأجل

$$H_{pq} = L_{pq} = |V_p||V_q|(G_{pq}\sin\theta_{pq} - B_{pq}\cos\theta_{pq}) p \neq q$$

$$H_{pp} = -B_{pp}|V_p|^2 - \theta_p$$

$$L_{pq} = -B_{pp}|V_p|^2 + \theta_p$$

هناك طرقتان لحل جملة المعادلتين (4), (5)

1- الحل لأجل $\frac{\Delta|V|}{|V|}$, $\Delta\theta$ بنفس الوقت.

2- الحل لأجل $\Delta\theta$ أولا ومن ثم استعمال المعطيات الناتجة لحل المعادلة (5) لأجل $\frac{\Delta|V|}{|V|}$

تتقارب هذه الطريقة بشكل يعوّل عليه كما في طريقة نيوتن رافسون وتكمن أفضلية هذه الطريقة في التوفير في التخزين لمصفوفة الارتباط N.M

2-طريقة Fast decoupled load- Flow method .

يمكن جعل الحالة الأولى مبسطة وميسرة أكثر وذلك بعمل تبسيطات اضافية يمكن تبريرها فيزيائياً بدون أي ضياع في الدقة المطلوبة. إذ إنه في نظم الطاقة العملية تكون الافتراضات المثالية سارية المفعول.

$$\cos\theta_{pq} \approx 1$$

$$G_{pq}\sin\theta_{pq} << B_{pq}$$

$$\theta_p << B_{pp}|V_p|^2$$

وبهذه الاعتبارات تصبح المعادلات السابقة على الشكل التالي:

لأجل $p \neq q$

$$H_{pq} = L_{pq} = -|V_p||V_q|B_{pq}$$

لأجل $p \neq q$

$$H_{pp} = L_{pp} = -B_{pp}|V_p|^2$$

إن المضغوطات [L],[H] هي مصفوفات مربعة أبعادها (n1), (H1+H2) على التوالي حيث n1 هي عدد العقد (P-Q) و n2 هي عدد عقد (P-V) في النظام المدروس.

بهذا تصبح المعادلات (1),(2) على الشكل التالي:

$$[\Delta P_p] = [|V_p||V_q|B'_{pq}][\Delta\theta] \qquad (6)$$

$$[\Delta Q_p] = [|V_p||V_q|B''_{pq}]\left[\frac{\Delta|V|}{|V|}\right] \qquad (7)$$

حيث B''_{pq}, B'_{pq} عناصر المصفوفة [B] مصفوفة المسايرات الوهمية. وتتم عملية فصل وتشكيل الخوارزمية كما يلي:

أ- حذف أو اهمال عناصر الشبكة، التي تؤثر في السيطرة على سريان الاستطاعة الرد فعلية من المصفوفة [B'] مثل المفاعلات التفريعية وبدل المآخذ للمحولات.

ب- اهمال أو حذف تأثير تغيرات الطور من المصفوفة ["b]

ج- تقسم كل من المعادلتين (6),(7) على $|V_p|$ ووضع جميع قيم التوتر في الجانب الأيمن لها مساوية الى 1 P.u .

د- اهمال المقاومات التسلسلية في حساب عناصر المصفوفة [B'] التي تصبح بعدئذ مصفوفة لسريان الحمولة التقريبية ومكافئة تقريباً لسريان الحمولة المستمر ولهذه أهمية ثانوية لكنها وجدت لتعطي تحسيناً طفيفاً للنتائج.

مع هذه التعديلات فإن معادلات سريان الحمولة النهائية بصيغة (FDLF) تكتب كما يلي:

$$\left[\frac{\Delta p}{|V|}\right] = [B'][\Delta\theta]$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{|V|}\right] = [B"][\Delta|V|]$$

إن كلا من المصفوفات [B'] , ["b] حقيقية ومتغيرة ولها مكونات كل من , [L] [H] على التوالي وحيث إنها تحتوي فقط على مسايرات الشبكة فهي ثابتة وتحتاج لعملية بناء مرة واحدة في بداية الدراسة واذا لم تكن متغيرات الطور ممثلة أو موجودة فإن كلاً من المصفوفات , ["B] [B'] هي مصفوفات متماثلة.

summery

The load flow problem consist of the calculation of power flows and voltages of a net work for specified terminal or bus conditions. There are a lot of methods that calculate this problem like Gauss,Gauss-seidel and Newton-Raphson....etc...Test computer programs were developed in order to evaluate the effectiveness of methods presented for load flow solution. These programs were used to obtain load flow solutions an actual power systems and to obtain relative solution times.

المراجع

1- الانكليزية.

1- " COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS".
D.A.Abied 1968

2- " COMPUTER TECHNIQUESIN POWER SYSTEM ANALYSIS"
M.pai- Megraw-Hill-1979

3-" REVIEW OFLOAD FLOW calculation Method "
B.stott,proceeding;of IEEE, vol62,NO.6,July 1974

4- " FAST DECOUPLED LOAD FLOW"
B. stot , O.ALSAC IEEE. TRANS.ON POWER and SYSTEM, VOL. Pag -93, 15 MAY 1974

5- " ITERATIVE LINEAR ACPOWER LOAD FLOW SOLUTION FOR FAST APPROXIMATE DUTAGE STUDIES".
N.PETRON ,W.TINNEY IEEE. NEWYORK, JAN 1972

2- العربية :

1- كتاب تصميم وتخطيط الشبكات الكهربائية 1990 الدكتور المهندس ميشيل حلاق.

2- كتاب تصميم وتخطيط الشبكات الهربائية 1991 الدكتور المهندس جورج اسبر.

3- كتاب نظم القدرة الكهربائية (1) الدكتور المهندس عبد الله سعيد.

4- كتاب نظم القدرة الكهربائية (2) الدكتور المهندس عبد الله سعيد.

5- كتاب تحليل الشبكات الكهربائية الدكتور المهندس شوقي البطل