* الاستقرار في الحالة العابرة (Transient Stability):

هو قابلية الآلات للحافظ على التواقت حين حدوث تغير مفاجئ في الشبكة، إذ يتوجب على الآلات تعديل زواياها السببية عند كل تغير لمسايرة شروط سريان الاستطاعة الناجمة، حتى حدث تغير مفاجئ في الاستطاعة الكهربائية للآلة، مع بقاء الاستطاعة الميكانيكية ثابتة، فإن الفرق بينهما يسبب تسارعاً أو تباطؤاً في الآلة.

نفرض أن: P_s - الاستطاعة الميكانيكية المغذاة للآلة.

P_e - الاستطاعة الكهربائية الصادرة عن الآلة.

P_a - الاستطاعة المسارعة (Accelerating Power).

T_s - عزم الدوران الميكانيكي (Mechanical Torque).

T_e - عزم الدوران الكهربائي (Electrical Torque).

T_a - عزم الدوران المسارع (Accelerating Torque).

وبإهمال الضياع للسهولة، ينتج:

$$P_a = P_s - P_e \quad , \quad T_a = T_s - T_e$$

لكن:

$$P_a = T_a \cdot \omega = I \cdot \alpha \cdot \omega = M \cdot \alpha \quad \cdots (7-7)$$

حيث: M - كمية الحركة الزاوية (Angular Momentum).

α - التسارع الزاوي $= \frac{d^2\theta}{dt^2}$.

θ - الوضع الزاوي للدوار Roter.

فإذا اعتبرنا مرجعاً يدور بسرعة التواقت (ω_s)، فإن:

$$\theta = \omega_s t + \delta$$

حيث: ω_s - سرعة التواقت (Synchronous Speed) بالدرجات الكهربائية/ثا.

δ - الانزياح الزاوي (Angular Displacement) للدوار بالنسبة للمرجع بالدرجات الكهربائية.

باشتقاق المعادلة للحصول على التسارع الزاوي ⇐

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \omega_s + \frac{d\delta}{dt} \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} &= 0 + \frac{d^2\delta}{dt^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \text{بالتعويض في (7-7)}$$

$$P_a = M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_s - P_e \quad \cdots (7-8)$$

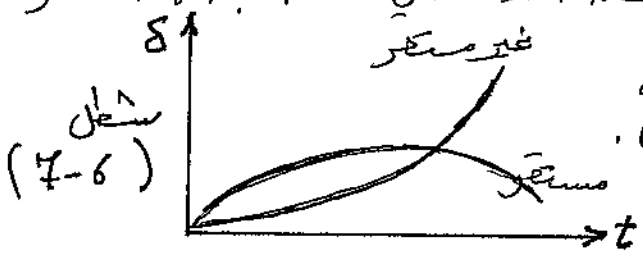
تدعى المعادلة (7-8) بمعادلة التأرجح (Swing equation) بالنسبة للآلة المرتبطة مع قضيب مجمع لامتناهي (Infinite BUS-Bar)، وتختلف كمية الحركة (M) باختلاف السرعة، لكنها تفترض ثابتة كون السرعة تتغير بمقدار قليل. كما أن الاستطاعة (P_m) تختلف باختلاف السرعة، ولكنها تفترض ثابتة أيضاً لأن منظم السرعة لا يعمل عادة قبل تغير السرعة بمقدار (1%).

بإهمال الضياع في الشبكة، وتعويض (P_e) من العلاقة (7-6) في العلاقة (7-8) ينتج:

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_S - \frac{E_1E_2}{X}\sin\delta \quad \Big\} \text{---(7-9)}$$

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_S - P_{max}\sin\delta \rightarrow \text{IF } \delta=\frac{\pi}{2}$$

إن الحل الرياضي لهذه المعادلة معقد، ويتطلب استعمال تكاملات قطع ناقصة لذلك نستعمل طرق حسابية للحل على فترات صغيرة والحصول على منحني التأرجح (Swing Curve)، الذي يبين اختلاف (δ) بالنسبة للزمن (t) فإذا أخذت (δ) بالاعتبار من بعد بلوغها قيمة عظمى، يفترض عادة" بأن الآلة مستقرة، وأن التأرجحات حول وضع التوازن ستتلاشى ولكن إذا استمرت (δ) بالازدياد (كما في حالة حدوث عطل ما دائم) فإن الآلة ستخرج بالتأرجح وتخرج عن سرعة التوافق، وتصبح غير مستقرة كما هو مبين في الشكل (7-6).

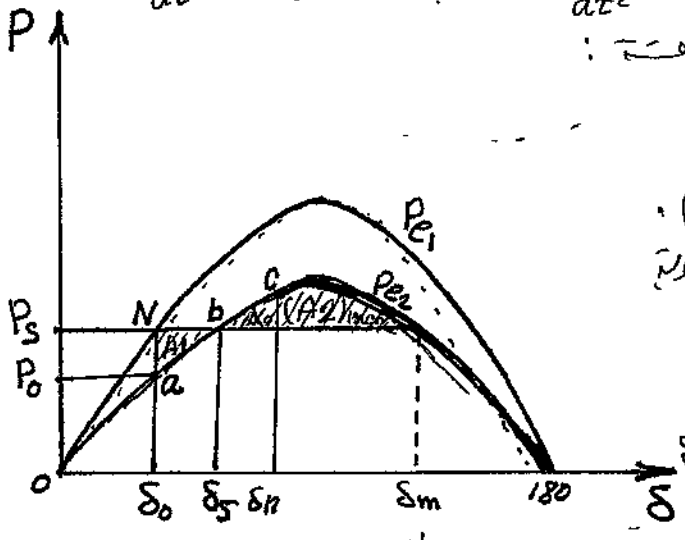


شكل (7-6)

* **طريقة المساحات المتساوية: (Equal Area Method)**

عند حل المعادلة (7-8) على أساس الافتراضات المذكورة أعلاه نجد أن الزاوية (δ) تتأرجح حول وضع التوازن بمطال ثابت إذا لم تتجاوز حد الاستقرار.

إن معادلة التأرجح هي: $M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_S - P_e$ بضرب الطرفين بـ $\frac{d\delta}{dt}$ وإجراء عدة عمليات رياضية نحصل بالنهاية على العلاقة:



شكل (7-7)

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\int_{\delta_0}^{\delta} \frac{2(P_S - P_e)}{M}\,d\delta} \quad \text{---(7-10)}$$

حيث: δ_0 - زاوية الحمل قبل حدوث العطل (δ_0 التغير المطاوعي)، وتعود الآلة إلى سرعة التوافق وتتوقف التغيرات في الزاوية (δ) حتى يصبح ($d\delta/dt=0$) $\Leftarrow$

$$\int_{\delta_0}^{\delta} \frac{2(P_S - P_e)}{M}\,d\delta = 0 \quad \text{---(7-11)}$$

تعرف أيضاً معادلة الاستطاعة الكهربائية المنقولة قبل حدوث التغير المطاوعي هي:

$$P_{e1} = P_{1\,max}\cdot\sin\delta$$

وأيضاً معادلة الاستطاعة الكهربائية المنقولة بعد حدوث التغير هي :

$$P_{e2} = P_{2max} \cdot \sin\delta$$

من الشكل (7-7) نلاحظ أنه :

قبل حدوث التغير المفاجئ فإن ($P_m = P_{e1}$) وزاوية العزم (δ_0) ونقطة العمل (N) ومع تناقص الاستطاعة الكهربائية يظل مقابض الدخار الاستطاعة الميكانيكية ثابتة، تتزايد نقطة العمل إلى النقطة (a) فوراً، وتتوفر استطاعة مسرعة، فتزداد الزاوية (δ) حتى تصل إلى النقطة (δ_s) في النقطة (b)، حيث تتساوى الاستطاعة الكهربائية والميكانيكية فيتوقف التسارع ويصبح صفراً. ولكن سرعة الآلة تزيد عن سرعة التواقت، لذلك فإن الزاوية (δ) تستمر بالازدياد، وبعد النقطة (b) ينعكس الوضع فتزيد قيمة (P_e) عن قيمة (P_m) فتتباطأ الآلة من النقطة (c) حيث تستهلك الطاقة الحركية التي خزنت في الآلة من النقطة (a) إلى النقطة (b)، ولعود السرعة إلى سرعة التواقت. في النقطة (c) لا تزال قيمة ($P_e > P_m$) فتستمر السرعة بالنقصان وبالتالي فإن (δ) تتناقص أيضاً حتى تصل إلى النقطة (b) فتحصل التوازن بين الاستطاعتين الكهربائية والميكانيكية وتصبح السرعة مساوية لسرعة التواقت أي عند النقطة (b) تكون قيمة ($P_m > P_e$) لكن السرعة هنا أكبر من سرعة التواقت، وبالتالي فإن (δ) تستمر بالنقصان لتصل إلى النقطة (a) وبالتالي الآلة تتسارع. عند النقطة (a) تبدأ (δ) بالازدياد من جديد وتتكرر الدورة.

من الشكل (7-7) نستطيع أن نكتب رياضياً :

المساحة A_1 تساوي :

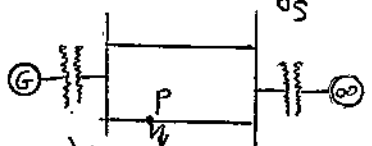
$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_s} (P_s - P_e)\, d\delta$$

والمساحة A_2 تساوي :

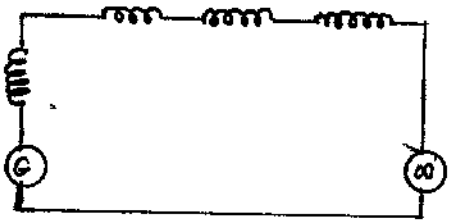
$$A_2 = \int_{\delta_s}^{\delta_m} (P_e - P_s)\, d\delta$$

$$\Leftarrow \begin{cases} A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_s} (P_s - P_e)\, d\delta \\ A_2 = \int_{\delta_s}^{\delta_m} (P_e - P_s)\, d\delta \end{cases}$$

$$A_1 - A_2 = \int_{\delta_0}^{\delta_m} (P_m - P_e)\, d\delta \quad ----(7-12)$$

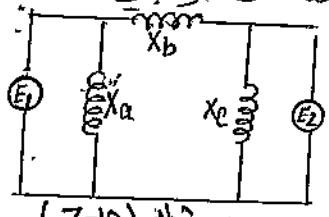


فإذا حدث عطل في أحد الخطين المتوازيين في نقطة ما مثل (P) قرب المولد، وعملت القواطع الآلية على فصل الخط حالاً، تصبح الدارة المكافئة للشبكة كما هو مبين بالشكل (8 - 7)، أي أن المفاعلة التزامنية للدارة قد ازدادت، وبالتالي فإن القيمة العظمى للاستطاعة المكن نقلها نظرياً في الحالة الدائمة قد انخفضت عن قيمتها قبل حدوث العطل، ولكن إذا دام العطل فترة من الزمن حتى تعمل القواطع الآلية على فصل الخط العاطل فإن الاستطاعة الميكانيكية ($P_s = P_{1m}$) ظاهرياً تسبب تسارع المولد، نظراً للزيادة الاستطاعة المنقولة تساوي الصفر أثناء دوام العطل وعليه فإن زاوية العزم (δ) تزداد (δ_c) حتى تعمل القواطع الآلية على فصل الخط العاطل،

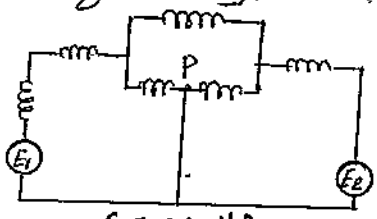


شكل (7-8)

وإذا حصل العطل في نقطة متوسطة على أحد الخطين، تصبح الدارة المكافئة كما هو مبين



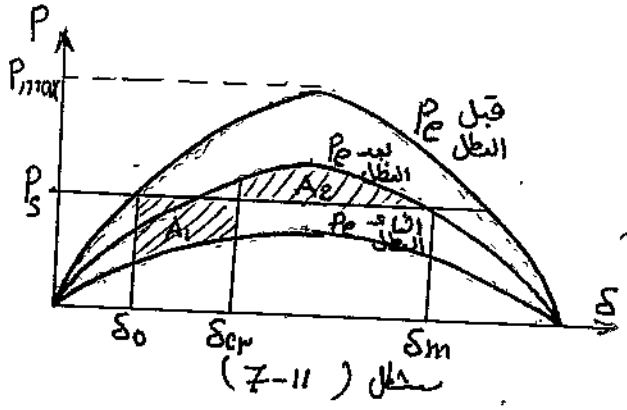
شكل (7-10)



شكل (7-9)

في الشكل (7-9)، حيث يمكن نقل جزء من القدرة على الشبكة أثناء وجود العطل، حيث يوجد إمكانية تحويل هذه الدارة إلى دارة مكافئة بسيطة كما هو مبين في الشكل (7-10)، حيث تكون الاستطاعة المتداولة إلى المتفاعلين (Xa) و (Xc) هي استطاعة تحريضية لذلك فإن الاستطاعة الكهربائية المنقولة في الشبكة تمر عبر المفاعلة (Xb) فقط وتساوي عندها:

$$P_{max}\sin\delta = \frac{E_1 \cdot E_2}{X_b}\sin\delta$$



شكل (7-11)

والشكل (7-11) يبين أن الاستطاعة المنقولة أثناء العطل قد ساعدت على انقاص قيمة (A_2) بالنسبة لقيمة معينة لـ (δ_c)، وأن قيمة الزاوية الحرجة للفصل المقابلة لقيمة معينة لـ (P_s) ونوع معين من العطل ويرمز عندها لتلك الزاوية الحرجة بـ (δ_{cr}).

نفرض أن معادلة الاستطاعة المنقولة قبل العطل هي: $P_e = P_{max}\cdot\sin\delta$

وأن معادلة الاستطاعة المنقولة أثناء العطل هي: $P_{e1} = r_1 P_{max}\cdot\sin\delta$

ومعادلة الاستطاعة المنقولة بعد العطل هي: $P_{e2} = r_2 P_{max}\cdot\sin\delta$

وبالتالي تكون المساحة (A_1) أو (A_2) بعد إجراء عملية التكامل وأخذ حدودها من الشكل (7-11)

$$A_1 = P_s(\delta_{cr}-\delta_0) - \int_{\delta_0}^{\delta_a} r_1 P_{max}\cdot\sin\delta\cdot d\delta = P_s(\delta_{cr}-\delta_0) + r_1 P_{max}(\cos\delta_{cr}-\cos\delta_0)$$

$$A_2 = \int_{\delta_a}^{\delta_m} r_2 P_{max}\cdot\sin\delta\cdot d\delta - P_s(\delta_m-\delta_{cr}) = r_2 P_{max}(\cos\delta_{cr}-\cos\delta_m) - P_s(\delta_m-\delta_{cr})$$

وبتطبيق شرط الاستقرار $A_1 = A_2$ بالتعويض وإجراء بعض الاختصارات نجد أن:

$$\delta_{cr} = \cos^{-1}\left[\frac{(P_s/P_{max})(\delta_m-\delta_0) + r_2\cos\delta_m - r_1\cos\delta_0}{r_2-r_1}\right] \quad \ldots (7-13)$$

يمكن تطبيق هذه الطريقة على أمثلة عديدة من الأعطال، وعلى حالات عديدة من الآلات المتوافقة، سواء كانت مولدات أو محركات أو مكثفات متوافقة.

ملاحظة: عند استخراج علاقة الزاوية الحرجة قد نترك الزوايا في العلاقة (7-13) بالراديان، يوجد طرق أخرى لحساب وتقدير استقرار الشبكة من عدمها مثل:

P - طريقة الخطوات المتتالية (وهي تمكن من تقدير الزمن الحرج واللازم لحمل التواجع الآلية على فصل العطل)

ب - استعمال الرحلات الآلية لتعيين منحنى التأرجح: (وذلك بتمثيل كل آلة بمفاعلتها العابرة وتكوينها معبراً بالمقدار والطور للصول الاستطاعة على الاستطاعة قبل العطل) ومن ثم يتم تعيين التواجع بتأثير القيم الجديدة الحدية لـ (δ) لبعد حدوث العطل ومعرفة ($\Delta\delta$) ومن ثم يتم رسم منحنى التأرجح لكل آلة ودراسة استقرارها في الشبكة.

جامعة حلب
الكلية التطبيقية

* استقرار المنظومات ذات الآلات المتعددة:

(Multi-Machine Power System Stability)

كما بينا سابقاً فإن الاستطاعة المنتجة وبالتالي الاستطاعة المسارعة لكل آلة تعتمد على الأوضاع الزاوية والسرعات لطاقة الآلات في الشبكة. لذلك ينتج معنا عدداً من المعادلات التفاضلية الآنية مساوياً لعدد الآلات. فمثلاً بالنسبة لشبكة تحوي على ثلاثة آلات، تنتج معنا المعادلات التالية:

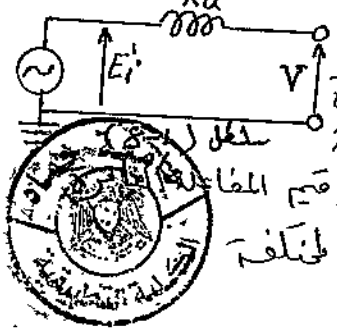
$$\left.\begin{aligned} M_1 \cdot \frac{d^2\delta_1}{dt^2} &= P_{m_1} - P_{e_1}\left(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \frac{d\delta_1}{dt}, \frac{d\delta_2}{dt}, \frac{d\delta_3}{dt}\right) \\ M_2 \cdot \frac{d^2\delta_2}{dt^2} &= P_{m_2} - P_{e_2}\left(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \frac{d\delta_1}{dt}, \frac{d\delta_2}{dt}, \frac{d\delta_3}{dt}\right) \\ M_3 \cdot \frac{d^2\delta_3}{dt^2} &= P_{m_3} - P_{e_3}\left(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \frac{d\delta_1}{dt}, \frac{d\delta_2}{dt}, \frac{d\delta_3}{dt}\right) \end{aligned}\right\} \quad \cdots (8\text{-}1)$$

إن الحل الرياضي لهذه المعادلات صعب جداً، لذلك نتبع طريقة الخطوات المتتابعة، حيث نحسب قيم الزاوية (δ) لكل آلة في نهاية كل فترة زمنية بمعرفة القيم في بداية الفترة، والاستطاعة المسارعة المفروضة أثناء الفترة، ثم نحسب قيم الاستطاعة المسارعة لكل آلة بمعرفة الأوضاع الزاوية لطاقة الآلات واستخدام القيم المعروفة للفترات التالية لحساب معطيات التأرجح لجميع الآلات المشكلة منها الشبكة.

إن الشبكة المعقدة تتطلب استخدام الحواسب الآلية بالتيار المتناوب أو الآلات الحاسبة الأنالوغية الرقمية. أما الشبكات البسيطة فيمكن حلها يدوياً، وفيما يلي بيان كيفية تمثيل الأجزاء المختلفة من الشبكة وحساب المعلومات المطلوبة لإجراء الدراسة.

- تمثيل أجزاء الشبكة:

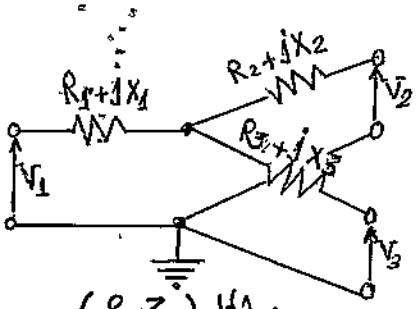
إن نقطة البداية هي مخطط الخط الواحد للشبكة الرئيسية، وتمثل محطات التوليد والمحولات الصفيرة عادة "بمحولات محمية عند نقطة الارتباط. ثم يستنتج مخطط المقاومة بالعود للتسلسل الموجب حيث تبنى عليه قيم المقاومة بالأوم أو بالواحدة النسبية، وفي هذا المخطط يتم تمثيل الأجزاء المختلفة كما يلي:



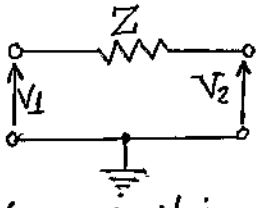
آ- الآلات المتزامنة:

وتمثل بالنسبة لدراسة الاستقرار في الحالة العابرة بمفاعلات المحور المباشر العابرة على التسلسل مع منبع ثابت، كما هو مبين في الشكل (8-1)، إذ أنه مقاومة ملف التحريض والمتوضعة في الآلات الكبيرة هي مهملة. ويمكن إيجاد قيم المفاعلة من الشركات الصانعة أو الجداول العلمية المتوفرة في المراجع المختلفة.

ب - المحولات :



شكل (8-3)



شكل (8-2)

تمثل المحولات العادية (ذات الملفين) بواسطة دارة مكافئة (T)، حيث تمثل الذراعان المتسلسلان ممانعتي الملفين، وتمثل الذراع المتفرع ممانعة التمغنط، إلا أنه يمكن إهمال تيار التمغنط في دراسة الاستقرار، وبذلك تصبح الدارة المكافئة كما هو مبين في الشكل (8-2)، حيث (Z) الممانعة المكافئة للمحولة التي تذكر عادة على اللوحة الاسمية للمحولة. ويمكن إهمال المقاومة في معظم الأحيان لكونها لا تتجاوز (حوالي 1 %)، كما يمكن الحصول على قيم المفاعلة من الجداول العلمية، والتي تزداد عادة بازدياد السوتر، كما أننا نهمل عادة تأثير الزوايا الطور بين طرفي المحولة (صفر أو 180°، أو ± 30°) وتمثل المحولات ذات الملفات الثلاث مع إهمال تيار التمغنط كما هو مبين في الشكل (8-3)، حيث R_1، R_2، R_3 تمثل مقاومة كل ملف بالطور على التوالي ولتعيين قيم المفاعلات لكل من الملفات بالطور على التوالي بالعلاقات التالية:

$$\left.\begin{aligned} X_1 + X_2 &= X_{12} \\ X_1 + X_3 &= X_{13} \\ X_2 + X_3 &= X_{23} \end{aligned}\right\} \quad \text{---(8-2)}$$

ومنه:

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= \tfrac{1}{2}(X_{12} + X_{13} - X_{23}) \\ X_2 &= \tfrac{1}{2}(X_{12} + X_{23} - X_{13}) \\ X_3 &= \tfrac{1}{2}(X_{13} + X_{23} - X_{12}) \end{aligned}\right\} \quad \text{---(8-3)}$$

حيث تمثل (X_{12}) مفاعلة الدارة القصيرة بين نهايتي الملفين (1) و (2) حين تكون نهايتي الملف الثالث مفتوحة، وهكذا بالنسبة لـ (X_{13}، X_{23}).
وربما ينتج في الحساب قيمة سالبة لمفاعلة أحد فروع المحولة، وهذا لا يشكل أي مشكلة بالنسبة للحل الرياضي، ولكن يتطلب تمثيلها مفاعلة سعوية عند استخدام الوحدة الحاسبة بالتيار المتناوب. وإذا أردنا تقدير المفاعلة المتبادلة (X_{12}) بين الملفين الرئيسيين في محولة ذات ثلاث ملفات سعوية لمفاعلة محولة ذات ملفين فيها نفس الاستطاعة، إلا أنه يمكن تقدير قيم (X_{12}) و (X_{23}) بين كل من الملفين الرئيسيين والملف الثالث بدقة بسبب الاختلاف الواسع في تلك القيم بين التصاميم المختلفة.

تمثل المحولات الناشئة بنفس طريقة المحولات العادية، (ذات الملفين) وتؤخذ قيم ممانعات التسرب بين نهايات المحولة وليس بين أطراف الملف، وتقدر مفاعلة المحولة الناشئة على أساس الاستطاعة الاسمية المنتجة لطريقة المفاعلة للمحولة العادية (ذات الملفين) بالطريقة التالية: التوتر العالي الاسمي - التوتر المنخفض الاسمي / التوتر العالي الاسمي

جـ - خطوط النقل والكابلات :

عادة تمثل خطوط النقل والكابلات بدارة مكافئة على شكل (TT) سواء كانت استطاعتها اسمية أو فعلية . وعند ارتباط عدة خطوط إلى قضيب مجمع واحد ، فإن المعادلات العقدية من نهاية الدارة المكافئة على شكل (TT) تصبح على التوازي بحيث يمكن استبدالها بمعادلة مكافئة واحدة . وهذه ميزة كبيرة للدارة المكافئة من شكل (TT) لدى مقارنتها بدارة مكافئة من شكل (T) ، وخاصة عند استخدام اللغة الحاسبية بالتيار المتناوب ، إضافة إلى أن كل خط يمثل بمعادلة تسلسلية واحدة في دارة (TT) بينما يحتاج كل خط إلى معادلتين في الدارة (T) . ويمكن استخدام ثوابت الخطوط والكابلات المعطاة من قبل الشركات الصانعة ، أو استخراج قيم متوسطة من الجداول العملية ، بينما يتعين اعتبار معادلة الخطوط الطويلة لنقل القدرة بأرقام تساوي (خمسة أو ستة) .

د - الحمولات :

بسبب اختلاف الحمولات باستمرار أثناء اليوم والشهر والسنة ، لذلك يجب اختيار إحدى أو بعض الحالات النموذجية للدراسة ، كالحمولة العظمى أو الصغرى السنوية ، وتعتبر الحمولات معقدة عادة" عند القضبان المجمعة في الخطوط الرئيسية للتوليد والارتباط ، حيث تمثل بقيمتها العقدية (P+jQ) وبذلك يمكن تمثيل الحمولة على شكل مسايرة تقريبية ، ومنه نكتب :

$$Y = \frac{P+jQ}{V^2}$$

حيث تستعمل في البداية قيماً تقديرية لـ (V) ثم تصحح قيم الحمولات لاحقاً باستخدام القيم المحسوبة للتوتر . ويمكن توزيع الحمولات الفرعية في النقاط المتاخمة عن الخطين القضبان المجمعة في نهايتي الخط ، بصورة تقريبية تعكس نسبة المسافات بين موقع الحمولة والقضبان المجمعة .

هـ - التجهيزات المختلفة :

بما أن ممانعة القواطع العازلة والآلية في شبكات التوتر العالي تكون مهملة من تكون مغلقة ولذلك ممانعة محولات التيار والقضبان المجمعة هي أيضاً مهملة ، لذلك فإنها لا تمثل في الدارة . كما أن الممانعة التفرعية لمحولات التوتر وموقفات الصواعق هي كبيرة جداً ، لذلك يتم إهمالها في تلك الدراسات .

و - الأجزاء البعيدة من الشبكة :

يمكن تمثيلها بمولدة محركة كهربائية على التسلسل مع ممانعة حسب نظرية (تفينين) إذا كانت متصلة مع الشبكة في نقطة واحدة ، ويمكن اعتبار التوتر مساوياً (1) بالواحدة ، أما إذا كانت متصلة بالشبكة في نقطتين فيمكن تمثيلها بقوى محركة مع دارة مكافئة على شكل (Y) . وتكون قيمة الاستطاعة وثابت العطالة (H) للشبكة مساوية لمجموع قيم الاستطاعة وثوابت العطالة على التوالي لتلك الأجزاء البعيدة .

ومن عدم توفر معلومات دقيقة، يمكن استخدام قيمة متوسطة عن أساس نوع استطاعات الآلات، وإذا كانت العطالة كبيرة، يمكن اعتبارها لامتناهية، وذلك خطأ بسيط، أي أننا نتغاضى لحساب متطلبات التأثر لتلك الآلات.

ـ قائمة المعلومات اللازمة لدراسة الاستقرار في الحالة العابرة:

آ ـ المولدات:

ـ الاستطاعة الاسمية (Rating).
ـ ثابت العطالة H.
ـ طرق الوصل بالأرض (Grounding).
ـ مقاومة المحور المباشر العابرة.
ـ حدود التوتر.
ـ مقاومة ومفاعلة التتابع السالب والتتابع الصفري.

ب ـ المحولات العادية (ذات الملفين):

ـ الاستطاعة الاسمية.
ـ نسبة عدد الملفات.
ـ طرق الوصل (Connections).
ـ المقاومة والمفاعلة المطافئة.
ـ توفر المآخذ (Taps) وأدوات التنظيم (Regulation).
ـ الوصل بالأرض (Grounding).

ج ـ المحولات متعددة الدارات أو الملفات:

جميع المعلومات المطلوبة بالمحولات العادية إضافة إلى:
ـ مقاومة كل ملف
ـ المفاعلة بين كل زوج من الملفات
ـ الاستطاعة الاسمية لكل ملف
} منسوبة إلى نفس الأساس.

د ـ المفاعلات:

ـ المقاومة، ـ المفاعلة.

هـ ـ خطوط النقل والطابلات:

ـ المقاومة والمفاعلة التتابعية.
ـ المسايرة التفرعية
ـ مقاومة ومفاعلة ومسايرة التتابع الصفري.

و ـ المحركات والمكثفات المتوافقة:

نفس المعلومات المطلوبة للمولدات، علماً بأن الاستطاعة الاسمية للمكثفات المتوافقة قد تختلف حسبما يلزم عامل الاستطاعة متقدماً أو متأخراً.

ز ـ الحمولات:

الاستطاعة الفعلية والردية لكل حمولة. ـ حدود التوتر.

ح ـ القواطع الآلية:

ـ زمن القطع
ـ زمن إعادة الإغلاق
ـ زمن عمل أمادي الطرد أو الزمن الأدنى.
} وذلك حين استخدام قواطع إعادة الإغلاق.

ط ـ زواجل الحماية:

النوع والتعيين.

جامعة حلب
المكتبة المركزية

* معادلات الاستطاعة بدلالة الزاوية Power- angle equations:

لتكن لدينا شبكة عامة تحوي على (n) منبع تغذي مصانعات خطية، حيث تمثل (E_1 و E_2 و ... E_n) القوى المحركة خلف الممانعات المباشرة للآلات (1 و 2 و ... n) على التوالي، حيث اعتبرت المفاعلات العابرة لتلك الآلات ضمن الشبكة، وتمثل (I_1 و I_2 و ... I_n) التيارات المغذاة للشبكة من كل من المنابع المذكورة على التوالي.

إن الاستطاعات المغذاة تعطى بالعلاقة:

$$\left.\begin{aligned} P_1+jQ_1 &= \vec{E}_1 I_1^* \\ P_2+jQ_2 &= \vec{E}_2 I_2^* \\ &\cdots\cdots \\ P_n+jQ_n &= \vec{E}_n I_n^* \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (8-4)$$

وباعتبار الممانعات خطية لذلك فإن:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}E_1 + Y_{12}E_2 \cdots Y_{1n}E_n = \sum_{K=1}^{n} Y_{1K}E_K \\ I_2 &= Y_{21}E_2 + Y_{22}E_2 \cdots Y_{2n}E_n = \sum_{K=1}^{n} Y_{2K}E_K \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ I_n &= Y_{n1}E_1 + Y_{n2}E_2 \cdots Y_{nn}E_n = \sum_{K=1}^{n} Y_{nK}E_K \end{aligned}\right\} \cdots (8-5)$$

بتعويض (8-5) في (8-4) ⇐

$$\left.\begin{aligned} P_1+jQ_1 &= \vec{E}_1 \sum_{K=1}^{n} Y_{1K}E_K \\ P_2+jQ_2 &= \vec{E}_2 \sum_{K=1}^{n} Y_{2K}E_K \\ &\cdots\cdots\cdots \\ P_n+jQ_n &= \vec{E}_n \sum_{K=1}^{n} Y_{nK}E_K \end{aligned}\right\} \quad \cdots (8-6)$$

فإذا فرضنا أن:

$$E_1 = E_1 \angle\delta_1 \;;\; E_2 = E_2 \angle\delta_2 \;,\; \cdots\; E_n = E_n \angle\delta_n$$

Or,

$$\vec{E}_1 = E_1 \angle -\delta_1 \;,\; \vec{E}_2 = E_2 \angle -\delta_2 \cdots \vec{E}_n = E_n \angle -\delta_n$$

$$Y_{11} = Y_{11}\angle\theta_{11} \;,\; Y_{12} = Y_{12}\angle\theta_{12} \;,\; Y_{21} = Y_{21}\angle\theta_{21} \;,\; Y_{22} = Y_{22}\angle\theta_{22}$$

بالتعويض في العلاقة (8-6) ⇐

$$P_1+jQ_1 = E_1^2 Y_{11}\angle\theta_{11} + E_1E_2Y_{12}\angle\theta_{12}-\delta_1+\delta_2 + \cdots + E_1E_nY_{1n}\angle\theta_{1n}-\delta_1+\delta_n$$

$$\left.\begin{aligned} P_1+jQ_1 &= \sum_{K=1}^{n} E_1E_KY_{1K}\angle\theta_{1K}-\delta_1+\delta_K \\ P_2+jQ_2 &= \sum_{K=1}^{n} E_2E_KY_{2K}\angle\theta_{2K}-\delta_2+\delta_K \end{aligned}\right\} \cdots (8-7)$$

والاستطاعة الفعلية هي القسم الحقيقي، أي أن:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11} \cos\theta_1 + E_1 E_e Y_{12} \cos(\theta_{12} - \delta_1 + \delta_2) \cdots + E_1 E_n Y_{1n} \cos(\theta_{1n} - \delta_1 + \delta_n)$$

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= \sum_{K=1}^{n} E_1 E_K Y_{1K} \cos(\theta_{1K} - \delta_1 + \delta_K) \\ P_2 &= \sum_{K=2}^{n} E_2 E_K Y_{2K} \cos(\theta_{2K} - \delta_2 + \delta_K) \end{aligned}\right\} \cdots (8-8)$$

أما المسايرات فيتم تعيين قيمها وفقاً لطرق الشبكة، قبل وأثناء وبعد إزالة العطل حسب نوع العطل بالطرق المعروفة، كما أننا نلجأ لاختزال الشبكة بجمع المسايرات على التسلسل والتوازي باستخدام علاقات التحويل النجمي المثلثي (الكهربائي) أو باستخدام الطريقة العامة التالية:

- اختزال الشبكة:

ونهدف إلى حذف العقد من الشبكة، بالتالي، لنفرض مثلاً أنه لدينا شبكة تحوي على خمسة عقد وأننا نرغب في حذف إحداها، إن معادلات التوتر العقدي للشبكة الأصلية هي:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}E_1 + Y_{12}E_2 + Y_{13}E_3 + Y_{14}E_4 \\ I_2 &= Y_{21}E_1 + Y_{22}E_2 + Y_{23}E_3 + Y_{24}E_4 \\ I_3 &= Y_{31}E_1 + Y_{32}E_2 + Y_{33}E_3 + Y_{34}E_4 \\ I_4 &= Y_{41}E_1 + Y_{42}E_2 + Y_{43}E_3 + Y_{44}E_4 \end{aligned}\right\} \cdots (8-9)$$

لنفرض أننا نرغب بحذف العقدة الرابعة، ونفرض أنها لا تتصل بمنبع تغذية خارجي، أي أن التيار (I_4) يساوي الصفر. لذلك ينتج:

$$I_4 = 0 = Y_{41}E_1 + Y_{42}E_2 + Y_{43}E_3 + Y_{44}E_4 \Rightarrow$$

$$E_4 = -\frac{Y_{41}E_1 + Y_{42}E_2 + Y_{43}E_3}{Y_{44}}$$

نعوض (E_4) في العلاقة (8-9) ⇐

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \left(Y_{11} - \frac{Y_{14}Y_{41}}{Y_{44}}\right)E_1 + \left(Y_{12} - \frac{Y_{14}Y_{42}}{Y_{44}}\right)E_2 + \left(Y_{13} - \frac{Y_{14}Y_{43}}{Y_{44}}\right)E_3 \\ I_2 &= \left(Y_{21} - \frac{Y_{24}Y_{41}}{Y_{44}}\right)E_1 + \left(Y_{22} - \frac{Y_{24}Y_{42}}{Y_{44}}\right)E_2 + \left(Y_{23} - \frac{Y_{24}Y_{43}}{Y_{44}}\right)E_3 \\ I_3 &= \left(Y_{31} - \frac{Y_{34}Y_{41}}{Y_{44}}\right)E_1 + \left(Y_{32} - \frac{Y_{34}Y_{42}}{Y_{44}}\right)E_2 + \left(Y_{33} - \frac{Y_{34}Y_{43}}{Y_{44}}\right)E_3 \end{aligned}\right\} \cdots (8-10)$$

يمكن تبسيط هذه العلاقة وكتابتها بالشكل:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}'E_1 + Y_{12}'E_2 + Y_{13}'E_3 \\ I_2 &= Y_{21}'E_1 + Y_{22}'E_2 + Y_{23}'E_3 \\ I_3 &= Y_{31}'E_1 + Y_{32}'E_2 + Y_{33}'E_3 \end{aligned}\right\} \cdots (8-11)$$

جامعة تشرين الكلية التطبيقية

حيث :

$$Y'_{11} = Y_{11} - \frac{Y_{14}Y_{41}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{12} = Y_{12} - \frac{Y_{14}Y_{42}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{13} = Y_{13} - \frac{Y_{14}-Y_{43}}{Y_{44}}$$

$$Y'_{22} = Y_{22} - \frac{Y_{24}Y_{42}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{23} = Y_{23} - \frac{Y_{24}Y_{43}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{33} = Y_{33} - \frac{Y_{34}-Y_{43}}{Y_{44}}$$

$$Y'_{21} = Y_{21} - \frac{Y_{24}Y_{41}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{31} = Y_{31} - \frac{Y_{34}Y_{41}}{Y_{44}} \quad ; \quad Y'_{32} = Y_{32} - \frac{Y_{34}Y_{42}}{Y_{44}}$$

والعلاقة العامة للمصفوفة الجديدة عند النهايات هي من الشكل:

$$Y'_{jk} = Y_{jk} - \frac{Y_{j4}Y_{4k}}{Y_{44}} \qquad \text{---------- (8-12)}$$

حيث : — $k = 1, 2, 3$ و $j = 1, 2, 3$

ومن أجل ايجاد العلاقات بين عناصر الشبكة الأساسية والجديدة ، لنفرض أن الشبكتين هما من النوع القياسي (Standard Form) الذي يشمل على عنصر واحد فقط بين كل زوج من العقد ، أي أن :

$$\left.\begin{aligned} Y_{11} &= y_{01} + y_{12} + y_{13} + y_{14} \\ Y_{22} &= y_{02} + y_{12} + y_{23} + y_{24} \\ Y_{33} &= y_{03} + y_{13} + y_{23} + y_{34} \\ Y_{44} &= y_{04} + y_{14} + y_{24} + y_{34} \end{aligned}\right\} \text{--- (8-13)}$$

$$\left.\begin{aligned} &Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}, \quad Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}; \quad Y_{14} = Y_{41} = -y_{14} \\ &Y_{23} = Y_{32} = -y_{23}; \quad Y_{24} = Y_{42} = -y_{24}; \quad Y_{34} = Y_{43} = -y_{34} \end{aligned}\right\} \text{---(8-14)}$$

$$Y'_{11} = y'_{01} + y'_{12} + y'_{13}; \quad Y'_{22} = y'_{02} + y'_{12} + y'_{23}; \quad Y'_{33} = y'_{03} + y'_{13} + y'_{23} \text{ ---} \} \text{(8-15)}$$

$$Y'_{12} = Y'_{21} = -y'_{12}; \quad Y'_{13} = Y'_{31} = -y'_{13}; \quad Y'_{23} = Y'_{32} = -y'_{23} \} \text{---(8-16)}$$

بالتعويض في العلاقة (8-12) نحصل على العبارات المتبادلة :

$$-y'_{12} = -y'_{12} - \frac{(-y_{14})(-y_{42})}{y_{04} + y_{14} + y_{24} + y_{34}} \Rightarrow$$

$$y'_{12} = y'_{12} + \frac{y_{14}\, y_{42}}{y_{04} + y_{14} + y_{24} + y_{24}} \qquad \text{------ (8-17)}$$

وبالتالي :

$$y'_{13} = y_{13} + \frac{y_{13}\, y_{43}}{y_{04} + y_{14} + y_{24} + y_{24}} \qquad \text{---- (8-18)}$$

$$y'_{23} = y_{23} + \frac{y_{23}\, y_{43}}{y_{04} + y_{14} + y_{24} + y_{34}} \qquad \text{--- (8-19)}$$

أما بالنسبة للمسايرات الذاتية لكل عقدة :

$$y'_{01}+y'_{12}+y'_{13}=y_{01}+y_{12}+y_{13}+y_{14}-\frac{(-y_{14})(-y_{14})}{y_{04}+y_{14}+y_{24}+y_{34}}$$

وبطرح العلاقتين (8-17) و (8-18) من هذه العلاقة ينتج :

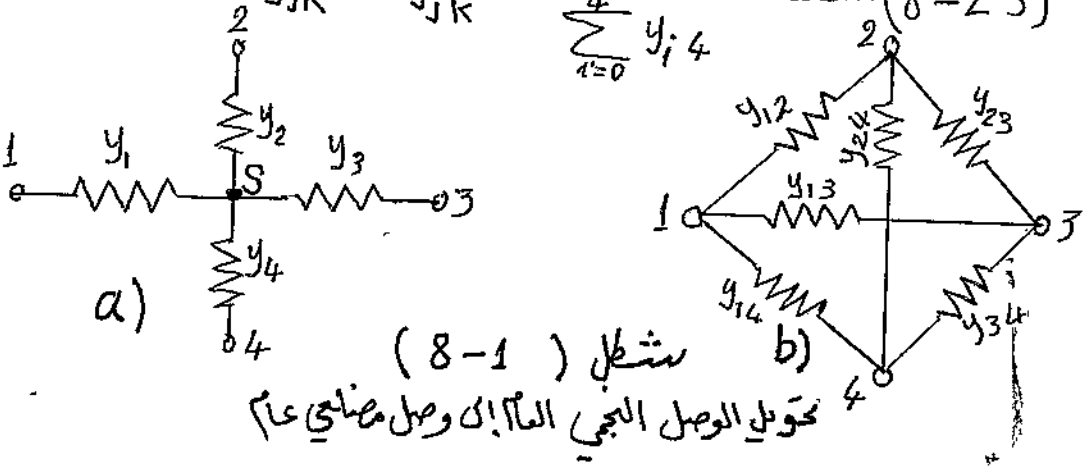
$$y'_{01}=y_{01}+\frac{y_{04}\,y_{14}}{y_{04}+y_{14}+y_{24}+y_{34}} \quad \cdots (8-20)$$

$$y'_{02}=y_{02}+\frac{y_{04}\,y_{24}}{y_{04}+y_{14}+y_{24}+y_{34}} \quad \cdots (8-21)$$

$$y'_{03}=y_{03}+\frac{y_{04}\,y_{34}}{y_{04}+y_{14}+y_{24}+y_{34}} \quad \cdots (8-22)$$

وبصورة عامة يحل هذه العلاقة الخاصة بالمسايرات الذاتية :

$$y'_{jk}=y_{jk}+\frac{y_{j4}\,y_{k4}}{\sum_{i=0}^{4} y_{i4}} \quad \cdots (8-23)$$



شكل (8-1) تحويل الوصل النجمي العام إلى وصل مضلعي عام

في الشكل (8-1) يبين تحويل الوصل النجمي العام (a) إلى وصل مضلعي (b) حيث تم حذف العقدة (S) . حيث تعطى مسايرات الوصل المضلعي العام بدلالة مسايرات الوصل النجمي العام بالعلاقات التالية والناتجة بالاعتماد على العلاقة (8-23) :

$$y_{12}=\frac{y_1 y_2}{\Sigma y} \quad ; \quad y_{13}=\frac{y_1 y_3}{\Sigma y} \quad ; \quad y_{14}=\frac{y_1 y_4}{\Sigma y}$$

$$y_{23}=\frac{y_2 y_3}{\Sigma y} \quad ; \quad y_{24}=\frac{y_2 y_4}{\Sigma y} \quad ; \quad y_{34}=\frac{y_3 y_4}{\Sigma y}$$

حيث : $\Sigma y = y_1+y_2+y_3+y_4$

وإذا احتوى الوصل النجمي العام على (n) عقدة ، فإن العلاقات السابقة ، الدالة (Σy) تحوي عندها على (n) حداً ، لهذا التحويل غير قابل للعكس إلا في حالة وجود ثلاثة عقد فقط ، وبشكل عام نعتبر التحويل المضلعي النجمي في حالة وجود أكثر من ثلاثة عقد غير ممكن .