تصميم وتنفيذ نظام برامجي SECURITY 1 لتحليل أمان نظم القدرة الكهربائية باستخدام النماذج الخطية

الأستاذ الدكتور علي حمزة الدكتور نبيل الفقيه

قسم هندسة الطاقة الكهربائية – جامعة دمشق

الملخص

يبدأ البحث بمقدمة تشرح مفهوم وأهمية أمان نظام القدرة الكهربائية، يلي ذلك النموذج الرياضي الذي بني استناداً إلى تقانتي جريان الحمولة الخطي وعوامل الحساسية لأهم الأحداث التي يمكن أن يتعرض لها نظام القدرة مثل انقطاع خط و/أو انقطاع توليد. وقد صممت خوارزمية تحليل الأحداث المحتملة بحيث يمكن تقويم أمان أي نظام قدرة كهربائية (مهما كانت عدد باساته ومستويات توتراته) من حيث جريان الاستطاعة الفعلية. واستناداً إلى هذه الخوارزمية فقد تم تصميم نظام برامجي بلغة توربو باسكال بحيث يتيح للمستخدم الحوار السهل مع الحاسوب أثناء التشغيل، وقد تم التثبت من صحة البرنامج بتطبيقه على شبكات عملية اختبارية كما استخدم لتحليل الأمان لجزء من الشبكة السورية لتوتر 230 ك ف. وتبين من خلال النتائج أن البرنامج ذو كفاءة عالية ويصلح لتقدير أمان الشبكة بدقة مقبولة وسرعة قياسية ، على الرغم من استخدام طرق التحليل الخطية. وتجدر الاشارة الى أن البرنامج المنجز هو الأول من نوعه في القطر لتقدير أمان نظام القدرة.

1- مقدمة

يقتضي التخطيط التشغيلي Operational Planning لنظم القدرة الكهربائية تصميم برامج مختلفة مثل برامج التنبؤ بالأحمال، والتجنيد الأمثل لوحدات التوليد، وجريان الحمولة الأمثل، وتقـدير الأمـان وتحليل الأحداث المتوقعة لنظام القدرة إلى غير ذلك من البرامج التي تحقق تشغيلاً مقبولاً من الناحيـة الاقتصادية والفنية. ونركز في بحثنا هذا على دراسة أمان نظام القدرة الكهربائية Power System Security.

1-1- التعريف بالأمان:

تصمم عادة عناصر نظام القدرة لتعمل ضمن حدود معينة للتيار والتوتر ويعد النظام في حالة تشـغيل آمنة عندما يلبي الطلب على الاستطاعتين الفعلية والردية دون أن تحمل عناصر النظام فوق طاقتهـا. وإذا تغيرت الحمولات بشكل طفيف فيمكن أن ينتقل النظام من حالة آمنة إلى حالة آمنة أخرى. أما إذا تعرض النظام إلى اضطراب شديد كتغير كبير في الحمولة أو انقطاع توليد أو انقطاع خط بسبب عطل ما، فقد ينتقل النظام إلى حالة تشغيل غير آمنة يمكن أن نسميها حالة طوارئ. وفي هذه الحالة (حالـة الطوارئ) تؤمن عملياً كامل الحمولة المطلوبة ولكن مع تجاوز أحد عناصر النظـام أو أكثـر لحـدود تشغيلها كأن يحصل تحميل زائد لخط أو لمحول مثلاً، مما يتطلب إجـراءً تصـحيحياً Corrective action للحد من الضرر الذي قد يلحق بالعنصر المرهق Overloaded element. وفي بعـض الحالات تقوم أجهزة الحماية بفصل الخط المحمل تحميلاً زائداً (الخط المرهق) فتتحمل بقية الخطـوط الحمولة التي كان يترتب على الخط المعطل نقلها. وإذا أصبحت حمولة أحد هذه الخطوط زائدة عن حد تحمله فسيتم فصله مما يسبب مزيداً من الحمولة على الخطوط المتبقية فينفصل خط آخـر... وهكـذا تستمر الانقطاعات حتى ينهار النظام كلياً System Blackout أو جزئياً System Brownout وهذا ما ندعوه بالانقطاعات المتوالية Cascading outages.

1-2- تحليل الأحداث المحتملة Contingency Analysis

إن العملية المركزية في تقدير أمان نظام القدرة هي تحليل الأحداث التي يتوقع تعرض النظـام لهـا، وسندعو هذا تحليل الأحداث المحتملة. إن أي عنصر من النظام يمكن أن يتعطل لأسباب خارجيـة أو داخلية كضربة برق أو عمليات فصل ووصل، أو خطأ بشـري فـي عيـار المـرحلات Relays Settings أو فصل فجائي لحمولة كبيرة... إلخ. ومن غير المناسب تحليل الأحداث جميعها التي قـد

تسبب خللاً للنظام، بل سنذكر الحدثين الأهم وهما انقطاع خط (أو محول) وانقطاع توليد. إن الهدف من تحليل الأحداث المحتملة للانقطاعات هو اكتشاف الخطوط (أو المحولات) التي تتجاوز فيها الاستطاعة المنقولة (فعلية و/ أو ردية) الحد المسموح وكذلك الباسات Buses التي يتجاوز توترها الحدود الـدنيا أو العليا المسموحة.

إن التحليل الشامل للأمان يقتضي افتراض حدوث الانقطاعات للفروع وللتوليد واحداً بعد آخر، وحساب جريان الحمولة في كل مرة. أي أن الحساب سيتكرر بمعطيات وهيكلية مختلفة للشبكة عدداً من المرات يساوي عدد الخطوط والمحولات والمنوبات في نظام القدرة.

إذاً فتحليل الأمان ليس إلا إنجاز جريان حمولة عدداً من المرات يسـاوي عـدد الانقطاعـات المـراد دراستها، وهذا العدد هو من مرتبة المئات بل الآلاف (تبعاً لحجم الشبكة) وباعتبار أن هذه الحسـابات تتم في الزمن الحقيقي Real time في مراكز التنسيق، فينبغي أن تنجز في وقت قصـير لا يتجـاوز الدقائق القليلة. إن استخدام طرق جريان الحمولة الدقيقة، مثل طريقة نيوتون – رافسون، يجعل زمـن الحساب طويلاً نسبياً إذ إن كل انقطاع يغير هيكل الشبكة ومن ثَم يقتضي حساب Ybus مختلفة كـل مرة، وما يستتبع ذلك من تغير في المتريس اليعقوبي. لذا لا بد من استخدام طرق وخوارزميات تعطي تقديراً تقريبياً ولكن سريعاً للأمان لتحضير القرار المعالج بسرعة.

في معظم نظم القدرة يهم المشـغِّل فـي مركـز التنسـيق الاكتشـاف الوقـائي للخطـوط المرهقـة Overloaoled بسبب تجاوز جريان الاستطاعة الفعلية MW فقط للحد المسموح. وعليه فـالطرق التي أثبتت فعاليتها للتحليل كانت ومازالت الطرق الخطية باستخدام تقانتين متلازمتين وهمـا جريـان الحمولـة الخطـي Linear load flow، وعوامـل الحساسـية الخطيـة linear Sensitivity Factors.

أما في بعض نظم القدرة فقد تكون قيم التوتر هي العامل المهم في تحليل الأمان، بالإضـافة إلـى أن بعض الأنظمة الكابلية يكون فيها جريان الاستطاعة الردية MVAR هو الحاسم في تحديد الخطـوط المرهقة. في مثل هذه الحالة لا بد من استخدام طرق جريان الحمولة الدقيقة ولكن بخوارزميات مقلّصة لوقت الحساب.

في هذا البحث نصمم نظاما برامجيا مبنياً على أساس الطرق الخطية ونطبقه على شـبكات كهربائيـة عملية ، وسنقوم بتوسيع هذا البرنامج من خلال بحوث لاحقة ليكون قادراً على رصد الجريان الـردي

وتوترات العقد أيضاً. وتجدر الإشارة إلى النظام البرامجي المنجز هو أول برنامج تحليل أمان يتم تصميمه وتنفيذه في سورية.

2- النموذج الرياضي Mathematical Model:

يتألف النموذج الرياضي من المعادلات الرياضية التي تمثل نظام القدرة ومسألة جريان الحمولة الخطي وعوامل الحساسية لانقطاع خط (أو محول) ولانقطاع توليد ومسألة التحميل الأعظمي لخطوط النقل، وذلك تمهيداً لتصميم وبناء الخوارزمية الملائمة لإجراء التحليل الوقائي لأمان النظام بشكل يساعد المهندس المشغّل في مركز التنسيق من تحقيق تشغيل آمن لهذا النظام.

2-1- جريان الحمولة الخطي Linear Load flow:

تقتصر هذه الطريقة على حساب جريان الاستطاعة الفعلية في فروع الشبكة بدلالة المفاعلات الطولية للفروع χ_{ij} (خطوط ومحولات) وزاويا الطور لباسات الشبكة θ_i والاستطاعات الفعلية المحقونة Pi في هذه الباسات. لاستخراج معادلات جريان الحمولة، نعد تمثيل π لخط نقل يصل بين الباسين i وj (الشكل 1).

بإهمال مقاومة الخط الطولية (المقاومة التفرعية مهملة دائماً)

نجد:

$$\underline{y}_{ij} = -jb_{ij} = \text{مسايرة الخط الطولية}$$

$$\underline{y}_{ijo} = +jb_{ijo} = \text{مسايرة الخط التفرعية عند الباس} \qquad (\text{تقابل } C/2)$$

الاستطاعة العقدية المحقونة في الخط ij من جهة الباس i:

$$\underline{S}_{ij} = \underline{V}_i(\underline{V}_i^* - V_j^*)(-jb_{ij})^* + \underline{V}_i\underline{V}_i^*(jb_{ijo})^* \qquad (1)$$

وتكون الاستطاعة الفعلية تبعاً لذلك:

$$P_{ij} = Re/\underline{S}_{ij}/ = V_iV_j\,b_{ij}\ \sin(\theta_i - \theta_j)$$

وبفرض التقريبات التالية:

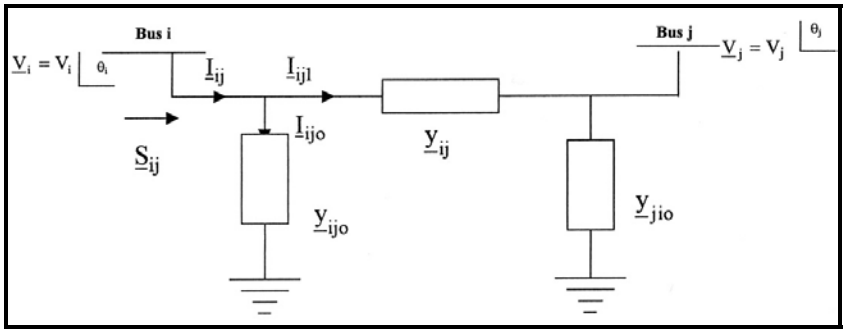
$$\sin(\theta_i - \theta_j) \approx \theta_i - \theta_j \qquad \text{Radian}$$

$$V_i = V_k \approx V_o = 1 \text{ pu} \qquad \text{التوتر الاسمي}$$

تصبح المعادلة (2):

$$P_{ij} = b_{ij}(\theta_i - \theta_j) \tag{3a}$$

$$P_{ij} = \frac{\theta_i - \theta_j}{\chi_{ij}} \tag{3b}$$



الشكل 1: تمثيل π لخط نقل يصل بين باسين

وتكون الاستطاعة المحقونة في الباس i مساوية لمجموع الاستطاعات المحقونة في الخطوط المتصـلة بالباس i:

$$P_i = \sum_j P_{ij} = \sum_j bij(\theta_i - \theta_j) \tag{4}$$

المعادلات (4) تمثل n معادلة خطية $P = f(\theta)$ (حيث n عدد باسات الشبكة) منها فقـط n-1 معادلـة مستقلة. لنعد المعادلة غير المستقلة تمثل باساً مرجعياً reference bus اختيارياً، ونفرض له $\theta r = 0$.

نكتب المعادلة (4) بشكل متريسي:

$$\tilde{P} = [B]\ \tilde{\theta} \tag{5}$$

$$\widetilde{\theta} = [X]\ \widetilde{P} \qquad (6)$$

حيث:

$$B_{ii} = \sum_{j} \frac{1}{\chi_{ij}}, \quad \text{for} \quad i \neq ref \qquad (7a)$$

j = جميع الخطوط المتصلة مباشرة بالباس i

χ_{ij} = مفاعلة الخط ij

$$B_{ii} = 0 \qquad \text{for} \quad i = ref \qquad (7b)$$

$$B_{ij} = \frac{-1}{\chi_{ij}} \quad , \qquad \text{for} \quad i \neq ref\,, \quad j \neq ref \qquad (7c)$$

$$B_{ij} = 0 \quad , \qquad \text{for} \quad i = ref \quad \text{or} \quad j = ref \qquad (7d)$$

وتجدر الإشارة إلى أن المتريس B غير قابل للقلب لأن السطر والعامود المقابل للباس المرجع يحوي أصفاراً فقط. وعليه فإن تشكيل X يتم كما يلي:

نحذف سطر وعامود الباس المرجع من المتريس B، ثم نقلب المتريس المتبقي من B، ثم نعيد سـطر وعامود المرجع للمتريس المقلوب الناتج.

ويمكن التوصل للمعادلة المتريسية (5) أيضاً إذا انطلقنا في استخراجها من معادلات جريان الحمولـة باستخدام طريقة نيوتون – رافسون وافتراض بعض التقريبات كإهمال التأثير المتبادل بين الاسـتطاعة الفعلية P_i وقيم التوتر V_j وكذلك التأثير المتبادل بين الاستطاعة الردية Q_i وزوايا الطـور θ_j (هـذا التقريب مبرر وفقاً للخبرة المكتسبة من قبل مهندسي مراكز التنسيق).

2-2- عوامل الحساسية Sensitivity Factors:

يجب أن نتوقع في كل لحظة تعرّض نظام القدرة الكهربائية إلى أعطال تؤدي إلى خروج خط أو أكثر من الخدمة أو فصل منوبة أو أكثر عن الشبكة نتيجة لاستجابة نظام الحماية. ويقتضي أمـان النظـام تزويد مركز التنسيق بصورة مستمرة ومسبقة بمعلومات عن الانقطاعات التي تسبب حمـولات زائـدة Overloads على الخطوط. وهذا يتطلب تحليل عدد كبير من الانقطاعات ووضـع النتـائج تحـت تصرف مركز التنسيق بسرعة قصوى. والعامل الحاسم في اختيار طريقة التحليل هو السرعة بتقريـب مقبول. لذا فقد شاع استخدام طرق عوامل الحساسية التي تستند إلى جريان الحمولة الخطي. وتعطـي

هذه العوامل التغير التقريبي في الاستطاعة المنقولة على الخطوط لأجل تغيّر في التوليد أو تغيّر في هيكلية الشبكة. وهذه العوامل ثلاثة أنواع:

- عوامل الحساسية لتغير التوليد.
- عوامل الحساسية لانقطاع الخطوط.
- عوامل الحساسية المختلطة.

2-2-1- عوامل الحساسية لتغير التوليد Generation outage factors:

آ- التعريف الأساسي:

نعتمد الرمز $g_{ij,m}$ لهذه العوامل ونعرّفها وفق المعادلة التالية:

$$g_{ij,m} = \frac{\Delta P_{ij}}{\Delta P_m} \qquad (8)$$

حيث:

ΔP_{ij} = التغير في الاستطاعة الفعلية الجارية في الخط ij عندما يحدث تغير في استطاعة التوليد على الباس m قيمته ΔP_m.

ΔP_m = التغير في استطاعة التوليد على الباس m.

يفترض هذا التعريف التعويض الكامل لاستطاعة التوليد المفقودة ΔP_m عن طريق تغير معاكس في استطاعة التوليد على الباس المرجع، في الوقت الذي تبقى فيه استطاعات التوليد على بقية باسات التوليد ثابتة. وعليه يمثل العامل $g_{ij,m}$ حساسية الجريان على الخط ij تجاه التغير في استطاعة التوليد على الباس m. وعليه فالجريان الجديد لأي خط في الشبكة نتيجة تغير التوليد في الباس m:

$$P_{ij}^{new} = P_{ij}^{old} + g_{ij,m} \times \Delta P_m \qquad (9)$$

حيث:

P_{ij}^{old} = الاستطاعة الجارية في الخط ij قبل الحادث.

P_{ij}^{new} = الاستطاعة الجارية في الخط ij بعد الحادث.

إذا كان الحادث انقطاع كامل التوليد على الباس m:

$$\Delta P_m = -P_{Gm}$$

حيث:

PGm = استطاعة التوليد على الباس m.

يقارن الجريان الجديد في كل خط نقل مع الجريان الأعظمي المسموح، فإذا زاد عنها كان هذا مـدعاة للإنذار بأن الخط مرهق Overloaded.

ب- التعريف الموسّع:

نفرض أن تعويض الاستطاعة المفقودة يمكن أن يتم من قبل جميع المنوبات الأخرى في نظام القـدرة نتيجة استجابة أنظمة تحكمها. ومن الطرق المستخدمة لتقدير إسهام كل منوبة هي تقاسـم الاسـتطاعة المفقودة بين تلك المنوبات بشكل يتناسب مع الاستطاعة العظمى لكل منوبة. وعليـه فعلمـل التناسـب (الحصة النسبية) لإسهام المنوبة K في تعويض الاستطاعة المفقودة على الباس m:

$$F_{k,m} = \frac{P_k^{max}}{\sum_{\substack{\text{جميع المولدات} \\ \text{عدا m}}} P^{max}} \qquad (11)$$

P_k^{max} = الاستطاعة الفعلية العظمى للمنوبة K

وعليه نعدل المعادلة (9):

$$P_{ij}^{new} = P_{ij}^{old} + g_{ij,m} \times \Delta P_m - \sum_{\substack{\text{جميع المولدات} \\ \text{عدا m} \\ K \neq m}} (g_{ij,k} \times F_{k,m} \times \Delta P_m)$$

$$P_{ij}^{new} = P_{ij}^{old} + \Delta P_m \left[g_{ij,m} - \sum_{K \neq m} (g_{ij,k} \times F_{k,m}) \right] \qquad (12)$$

جـ- حساب عوامل حساسية تغير التوليد:

انطلاقاً من المعادلة الخطية للجريان (رقم 6) يمكن أن نكتب:

$$\Delta\widetilde{\theta} = [X]\Delta\widetilde{P} \qquad (13)$$

ونفرض أن التغير في التوليد على الباس m هو 1 pu وأن الباس المرجع يعوّض هذا التغير بمقدار - 1 pu، وتأسيساً على التعريف الأساسي لعوامل الحساسية يمكن أن نتوصل إلى:

$$g_{ij,m} = \frac{X_{im} - Xjm}{\chi_{ij}} \qquad (14)$$

حيث:

χ_{ij} = مفاعلة الخط ij.

X_{im} وX_{jm} = عناصر من [X].

وعليه فعدد عوامل حساسية تغير التوليد لشبكة ما يساوي إلى:

عدد الخطوط × عدد باسات التوليد وتحسب هذه العوامل مرة واحدة لشبكة معينة بدلالة مصفوفة [X] لها.

2-2-2- عوامل حساسية انقطاع الخطوط Line outage Sensitivity Factors:

آ- تعريفها:

نعتمد لهذه العوامل الرمز $\ell_{ij,i'j'}$ ونعرفها كما يلي:

$$\ell_{ij,i'j'} = \frac{\Delta P_{ij}}{P_{i'j'}} \quad , \quad ij \neq i'j' \qquad (15)$$

حيث:

$\ell_{ij,i'j'}$ = عامل حساسية الخط ij لأجل انقطاع الخط $i'j'$

ΔP_{ij} = التغير في جريان الاستطاعة على الخط ij بعد انقطاع الخط $i'j'$

$P_{i'j'}$ = الجريان على الخط $i'j'$ قبل انقطاعه.

وعليه يمكن استخدام العوامل ℓ في حساب الجريانات على جميع الخطوط لدى انقطاع أحدها:

$$P_{ij}^{new} = P_{ij}^{old} + \ell_{ij,i'j'} \times P_{i'j'} \qquad (16)$$

حيث $ij \neq i'j'$

ب- حساب عوامل حساسية انقطاع الخطوط:

مبدأ الحساب يعتمد على المعادلة (13) من جهة وعلى طريقة تمثيل انقطاع الخط. الطريقة المستخدمة في تمثيل انقطاع الخط $i'j'$ هو حقن استطاعة مناسبة $\Delta P_{i'}$ في الباس i' وسحب استطاعة مساوية $\Delta P_{j'}$ في الباس j' . واختصاراً نعطي نتيجة مباشرة:

$$\ell_{\substack{ij,i'j' \\ ij \neq i'j'}} = \frac{\chi_{i'j'}}{\chi_{ij}} \times \frac{(X_{ii'} - X_{ji'} - X_{ij'} + X_{ij'})}{\chi_{i'j'} - (X_{i'i'} + X_{j'j'} - 2X_{i'j'})} \qquad (17)$$

حيث:

$\chi_{i'j'}$ = مفاعلة الخط المقطوع

X = عناصر من [X]

وعليه فعدد هذه العوامل = عدد الخطوط × (عدد الخطوط –1)

2-2-3- عوامل الحساسية المختلطة Hybrid Sensitivity factors:

نظراً لأن علاقات عوامل الحساسية هي علاقات خطية فيمكن استخدام مبدأ التراكم Superposition لتقدير الأمان في حالة انقطاعات مختلطة كانقطاع توليد وانقطاع خط بشكل متزامن أو انقطاع خطين.

أ- حالة خاصة 1:

فلحساب عوامل الحساسية بين خط ij وباس توليد m عندما ينقطع الخط $i'j'$ ، وباستخدام مبدأ التراكم نجد:

$$\Delta P_{ij} = g_{ij,m} \times \Delta P_m + \ell_{ij,i'j'} \times \Delta P_{i'j'} \qquad (18)$$

وباعتبار:

$$\Delta P_{i'j'} = g_{i'j',m}\, \Delta P_m \qquad (19)$$

نجد:

$$\begin{aligned}\Delta P_{ij} &= g_{ij,m} \times \Delta P_m + \ell_{ij,i'j'} \times g_{i'j',m} \times \Delta P_m \\ &= (g_{ij,m} + \ell_{ij,i'j'} \times g_{i'j',m})\Delta P_m\end{aligned} \quad (20)$$

وعليه فعوامل الحساسية المختلطة في هذه الحالة:

$$H_{ij,m,i'j'} = g_{ij,m} + \ell_{ij,i'j'} \times g_{i'j',m} \quad (21)$$

ب- حالة خاصة 2:

نفرض انقطاع خطين $i'j'$, $i''j''$ وندرس حساسية خط ما ij لهذا الحدث:

$$\Delta P_{ij} = \ell_{ij,i'j'} \times \Delta P_{i'j'} + \ell_{ij,i''j''} \Delta P_{i''j''} \quad (22)$$

ولكن:

$$\Delta P_{i''j''} = \ell_{i''j'',i'j'} \times \Delta P_{i'j'} \quad (23)$$

ومنه:

$$\Delta P_{ij} = (\ell_{ij,i'j'} + \ell_{ij,i''j''} \times \ell_{i''j'',i'j'})\Delta P_{ij} \quad (24)$$

وعليه فعوامل الحساسية المختلطة في هذه الحالة:

$$H_{ij,i'j',i''j''} = \ell_{ij,i'j'} + \ell_{ij,i''j''} \times \ell_{i''j'',i'j'} \quad (25)$$

2-3- الحمل الأعظمي لخط النقل:

Maximum Loading of a transmission line:

يقتضي تقدير أمان الشبكة اكتشاف الخطوط المرهقة. وهذا يستدعي حساب الاستطاعة العظمى التي يستطيع الخط نقلها. وثمة معياران لهذه المسألة: أولهما الحد الحراري للخط الذي تحدده سعة حمل التيار Current-Carrying Capacity لنواقل الخط، وثانيهما حد الاستقرار السلكن Steady-state stability limit الذي تحدده قيم ممانعات الخط وهبوط التوتر المسموح عبره.

2-3-1- الحد الحراري للخط The Line Thermal Limit:

لأجل خط ثلاثي الطور تكون الاستطاعة الثلاثية الطور التي يمكن للخط نقلها دون تجاوز الحدود الحرارية:

$$S_{th} = \sqrt{3}\ V_{rated}\ \ I_{rated} \qquad (26)$$

حيث:

V_{rated} = توتر الخط (قيمة فعالة).

I_{rated} = تيار الطور (قيمة فعالة) المسموح جريانه في الناقل بشكل دائم دون تجاوز الحد الحراري له وتجدر الملاحظة أن I_{rated} تتعلق بدرجة حرارة المحيط وبسرعة الرياح. ففي الصيف تأخذ I_{ratred} قيما أصغر منها في فصل الشتاء.

2-3-2- حد الاستقرار الساكن The Steady-State Stability limit:

نفرض خط نقل طوله ℓ ممثل بممانعة طولية $\underline{Z} = (R' + jX')\ell$ ومحمل في نهايته الاستقبال بحمولة عامل استطاعتها $\cos\varphi r$ لأجل هبوط توتر طولي $\Delta V\ell$ معين نحصل على تيار الحمل:

$$I = \frac{\Delta V\ell}{\sqrt{3}\ \ \ell(R'\cos\varphi_r + X'\sin\varphi_r)}$$

ونضرب الطرفين بـ $\frac{V^2}{V}\cdot\frac{100}{100}$ نحصل على:

$$S_{ss} = \frac{V^2}{100\ell(R'\cos\varphi + X'\sin\varphi)}\cdot\Delta V_\ell\% \qquad (27a)$$

وبإهمال R':

$$S_{ss} = \frac{V^2}{100\cdot X.\ \ \sin\varphi}\Delta V_\ell\% \qquad (27b)$$

S= الاستطاعة ثلاثية الطور (MVA)

V= التوتر الاسمي بين طورين (kV)

X= قيمة المفاعلة بالأوم.

$\Delta V_{\ell}\%$ = هبوط التوتر النسبي المسموح ، وحده الأعظمي 15% نظراً لأن المحولات يمكـن أن تعوّض هذا الهبوط عن طريق تغيير نسـب تحويلهـا تحـت الحمـل (Tap-Changing).

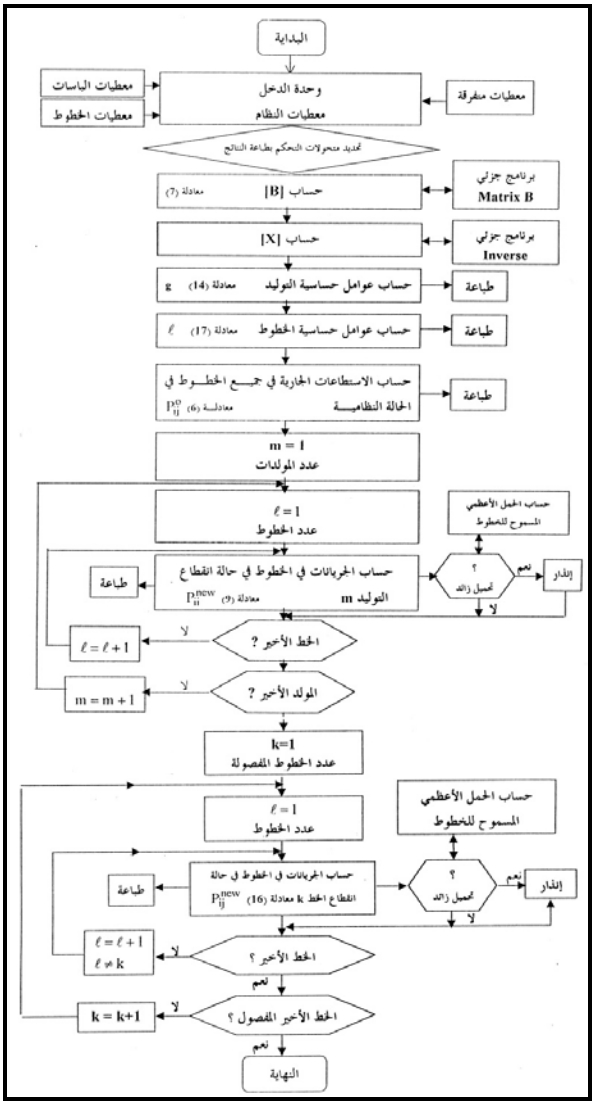
إن الحمل الأعظمي المسموح هو القيمة الأقل بين القيمتين Sth وSss. وعادة تكون Sth هي القيمـة المعتمدة لأجل أطوال صغيرة للخطوط. وكلما زاد طول الخط تقل Sss لتصـبح أصـغر مـن الحـد الحراري بعد طول معين للخط.

3- الخوارزمية Algorithm:

يبين الشكل 2 المخطط الانسيابي لخوارزمية تحليل الأمان باستخدام طرق عوامل الحساسية. وتتـألف الخوارزمية من الوحدات الأساسية التالية:

- وحدة الدخل: وتشمل معطيات الباسات (استطاعات التوليد والأحمـال) ومعطيـات الخطـوط (المفاعلة والحد الحراري للاستطاعة المنقولة). ومعطيات متفرقة مثل هبوط التـوتر النسـبي المسموح وعامل الاستطاعة للأحمال واستطاعة الأساس.
- وحدة حساب مصفوفة المسايرات [B]
- وحدة حساب مقلوب مصفوفة المسايرات [X]
- وحدة حساب عوامل الحساسية وتشمل عوامل حساسية التوليد وعوامـل حساسـية الخطـوط والعوامل المختلطة.
- وحدة حساب جريان الحمولة في الحالة النظامية.
- وحدة نمذجة فصل المولدات واحداً بعد آخر، وحساب تأثير ذلك في جميع الخطوط فـي كـل مرة، واكتشاف الخطوط المرهقة.
- وحدة نمذجة انقطاع الخطوط واحداً بعد آخر، وحساب تأثير ذلك في جميع الخطوط الأخـرى في كل مرة، واكتشاف الخطوط المرهقة.
- وحدة الخرج: نتائج جميع الوحدات السابقة يمكن إظهارها علـى الشاشـة وكـذلك طباعتهـا اختيارياً.

لقد تبين لنا من خلال الدراسة المرجعية أن الكتب والدوريات التي تتناول مسألة الأمان لم تُنشـر أيـة برامج يمكن اقتباسها والاعتماد عليها لذلك.



الشكل 2 : خوارزمية تحليل الأحداث المحتملة على شبكة كهربائية

4- النظام البرامجي Security 1

قمنا بترجمة الخوارزمية والنموذج الرياضي إلى نظام برامجي تمت كتابته بلغة تربوباسـكال وتبـين فيمايلي شاشات الحوار مع المستخدم.

Input Data	**L**inear Load Flow	**H**elp
Factors of **S**ensitivity	**S**ecurity	**E**xit

	Line Data		**B**us Data	**H**elp
New Network	View	New Network	View	Input Data
Modification	Chang	Modification	Change	**M**ain Menu

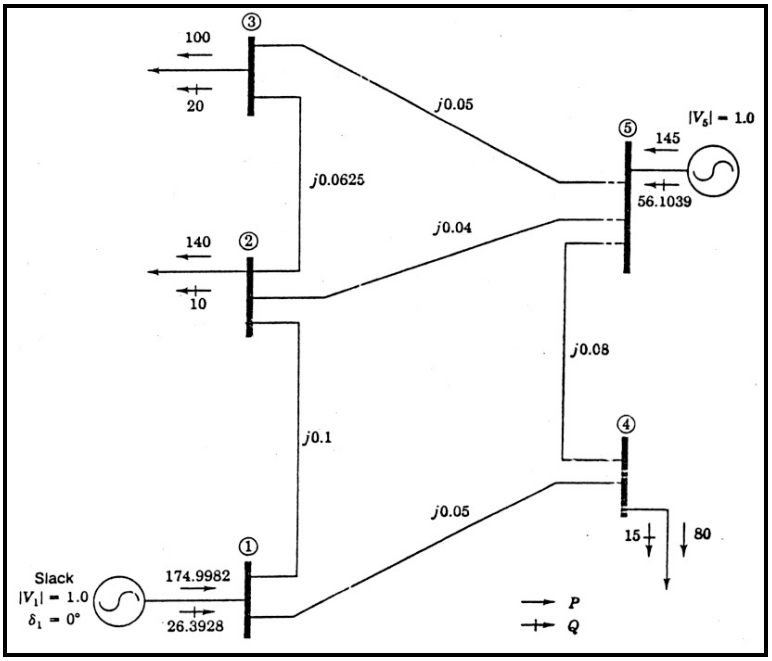
Load **F**low Simu. Outage(**L**ine/Generator) **H**elp-Function **M**ain Menu

ويمكن بواسطة هذا البرنامج تحليل الأمان لأي شبكة كهربائية مهما كان عـدد باسـاتها وخطوطهـا، والمفيد الوحيد هو إمكانية التخزين الذي تسمح به لغة تربوباسكال. وتجدر الإشارة إلى أن هذا النظـام البرامجي هو أول برنامج تحليل نظم القدرة يتم تصميمه وتنفيذه في سورية.

وللتثبت من صحة البرنامج طبقناه على شبكات كهربائية اختباريـة، وأنجـزت الحسـابات بالسـرعة المطلوبة وبدقة مقبولة تماماً.

5- تطبيق البرنامج على شبكة اختبارية

نفرض الشبكة المبينة في الشكل 3 والمؤلفة من 5 باسات وستة خطوط حيث يتم التوليد في الباسـين 1و 5، ونفترض أن استطاعة الأساس تساوي 100 MVA، وتـوتر الأسـاس 230 kV، وهبـوط التوتر المسموح على الخط 7%، وعامل الاستطاعة 0.85، علما أن هذه المعطيات قابلة للتغيير أثناء تنفيذ البرنامج.



الشكل 3 : الشبكة الكهربائية الاختبارية

ويبين الشكل 4 ملف الدخل للتطبيق.

Line Data for Network No.5 6 Lines

No.	from	to	X (pu)	Sthermal(pu)
1	1	2	0.100	3.590
2	1	4	0.050	3.590
3	2	3	0.063	3.590
4	2	5	0.040	3.590
5	3	5	0.050	3.590
6	4	5	0.080	3.590

Bus Data for Network No. 5 S base = 100 MVA

Bus No.	P GEN	P LOAD
1	175.0	
2		-140.0
3		-100.0
4		-80.0
5	145.0	

الشكل 4 : ملف الدخل للباسات والخطوط

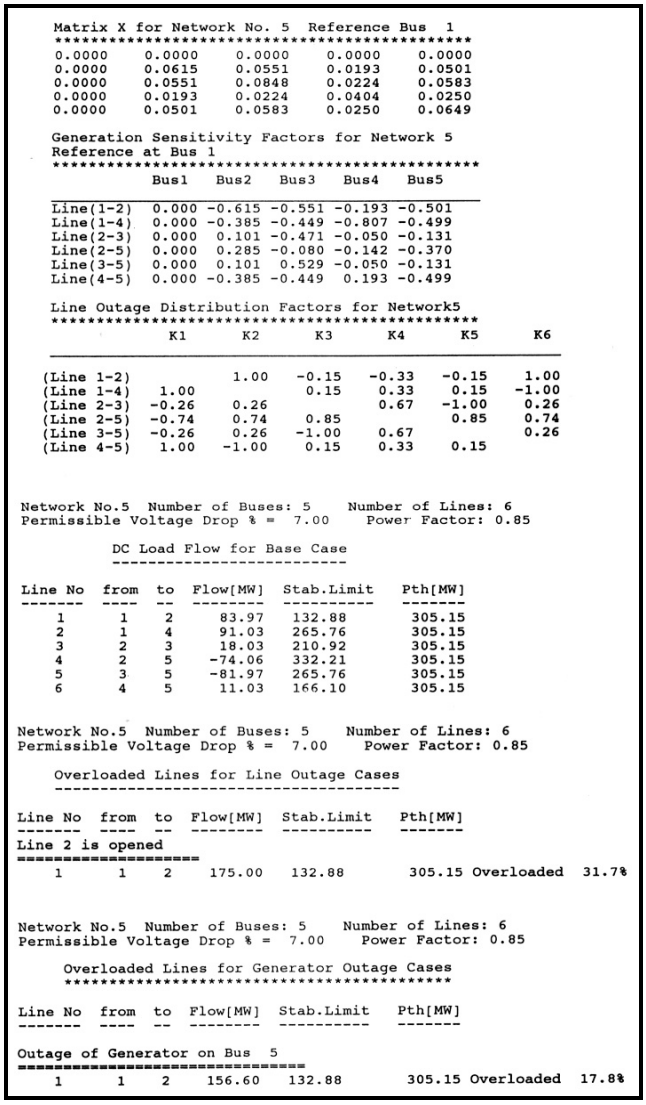
كما يبين الشكل 5 بعض نتائج تحليل الأحداث المحتملة التي طبعت بواسطة الحاسـوب. ويلاحـظ أن انقطاع التوليد على الباس 5 يؤدي إلى زيادة تحميل الخط الواصل بين الباسين 1 و2 بنسبة 17.8%. كماأن انقطاع الخط 2 يجعل الخط 1 مرهقاً بنسبة31%. وتجدر الاشارة إلى أن قيمة ΔV_ℓ% لهـا تأثير كبير على التحميل الأعظمي للخطوط.

وللتأكد من دقة جريان الحمولة الخطي فقد قمنا بحساب جريان الحمولة الفعلية باستخدام طريقة نيوتون - رافسون وكانت النتائج متقاربة إلى حد كبير كما يبين جدول المقارنة التالي:

Line	AC Load Flow MW	DC Load Flow MW
1	83.95	83.97
2	91.05	91.03
3	18.11	18.03
4	74.16	74.06
5	81.89	81.97
6	11.05	11.03

6- تحليل الأمان للشبكة السورية لتوتر 230 kV

بغية إبراز إمكانية النظام البرامجي المنجز في تحليل الأمان لشبكة كبيرة نسبياً، فقد اخترنا جزءاً من شبكة 230 kV السورية التي أمكننا الحصول على معلومات حولها. علماً أن البرنامج يصلح لتحليل الأمان لأية شبكة. الشبكة المدروسة تتألف من 26 باساً (منها 5 باسات توليد و21 باسَ أحمالٍ) و32 خطاً كما يبين الشكل 6. يبين الشكل 7 ملف الدخل للباسات والخطوط. وقد أجرينا تحليل الأمان لأجل قيم مختلفة لكلا الكميتين هبوط التوتر المسموح ، وعامل الاستطاعة. ويبين الشكل 8 نتائج جريان الحمولة في الحالة النظامية.



```
Matrix X for Network No. 5  Reference Bus  1
*********************************************
0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
0.0000    0.0615    0.0551    0.0193    0.0501
0.0000    0.0551    0.0848    0.0224    0.0583
0.0000    0.0193    0.0224    0.0404    0.0250
0.0000    0.0501    0.0583    0.0250    0.0649

Generation Sensitivity Factors for Network 5
Reference at Bus 1
*************************************************
            Bus1   Bus2   Bus3   Bus4   Bus5
_____________________________________________
Line(1-2)  0.000 -0.615 -0.551 -0.193 -0.501
Line(1-4)  0.000 -0.385 -0.449 -0.807 -0.499
Line(2-3)  0.000  0.101 -0.471 -0.050 -0.131
Line(2-5)  0.000  0.285 -0.080 -0.142 -0.370
Line(3-5)  0.000  0.101  0.529 -0.050 -0.131
Line(4-5)  0.000 -0.385 -0.449  0.193 -0.499

Line Outage Distribution Factors for Network5
*********************************************
             K1      K2      K3      K4      K5      K6
_____________________________________________________

(Line 1-2)           1.00   -0.15   -0.33   -0.15    1.00
(Line 1-4)   1.00             0.15    0.33    0.15   -1.00
(Line 2-3)  -0.26    0.26            0.67   -1.00    0.26
(Line 2-5)  -0.74    0.74    0.85            0.85    0.74
(Line 3-5)  -0.26    0.26   -1.00    0.67            0.26
(Line 4-5)   1.00   -1.00    0.15    0.33    0.15


Network No.5  Number of Buses: 5    Number of Lines: 6
Permissible Voltage Drop % =  7.00    Power Factor: 0.85

          DC Load Flow for Base Case
          --------------------------

Line No  from  to  Flow[MW]  Stab.Limit   Pth[MW]
-------  ----  --  --------  ----------   -------
    1      1    2     83.97    132.88       305.15
    2      1    4     91.03    265.76       305.15
    3      2    3     18.03    210.92       305.15
    4      2    5    -74.06    332.21       305.15
    5      3    5    -81.97    265.76       305.15
    6      4    5     11.03    166.10       305.15


Network No.5  Number of Buses: 5    Number of Lines: 6
Permissible Voltage Drop % =  7.00    Power Factor: 0.85

    Overloaded Lines for Line Outage Cases
    --------------------------------------

Line No  from  to  Flow[MW]  Stab.Limit   Pth[MW]
-------  ----  --  --------  ----------   -------
Line 2 is opened
====================
    1      1    2    175.00    132.88       305.15 Overloaded  31.7%


Network No.5  Number of Buses: 5    Number of Lines: 6
Permissible Voltage Drop % =  7.00    Power Factor: 0.85

     Overloaded Lines for Generator Outage Cases
     *******************************************

Line No  from  to  Flow[MW]  Stab.Limit   Pth[MW]
-------  ----  --  --------  ----------   -------

Outage of Generator on Bus  5
================================
    1      1    2    156.60    132.88       305.15 Overloaded  17.8%
```

الشكل 5 : بعض نتائج تحليل الأمان للشبكة الاختبارية في الشكل 3

من خلال مناقشة نتائج تحليل الأمان لأجل انقطاع التوليد (الشكل 9) نجد أنه لأجل هبوط توتر مسموح 15% وعامل استطاعة 0.85 فإن انقطاع التوليد على باس محردة أو باس بانياس أو قطينة ، سيؤدي إلى زيادة تحميل خط الثورة – فيروزة بنسب 55.4% ، 55.6% و7.6% على الترتيب. إذا أنقصنا هبوط التوتر المسموح إلى 10% فإن انقطاعات التوليد ذاتها تسبب تحميلاً زائداً لثلاثة خطوط وهي الثورة – فيروزة وفيروزة – عدرا 2 وقطينة – قابون 2.

أما نتائج تحليل الأمان لأجل انقطاع الخطوط فهي مبينة في الشكل 10 آ وب. ونلاحظ أنه لأجل هبوط توتر مسموح 15% فان خط الثورة – فيروزة سيتعرض لتحميل زائد (من 7 الى 18%) في حالة انقطاع أي من الخطوط الثورة – حلب د والثورة – مسكنة 2 وبانياس – طرطوس. ولأجل هبوط توتر مسموح 10% فإن الخطين الأكثر تأثراً بسبب انقطاع أي من الخطوط الأخرى هما خط فيروزة – عدرا 2 وخط قطينة – قابون 2 (وهما خطان يغذيان المنطقة الجنوبية من سورية) إذ تتراوح نسبة التحميل الزائد بين 7% و122%.

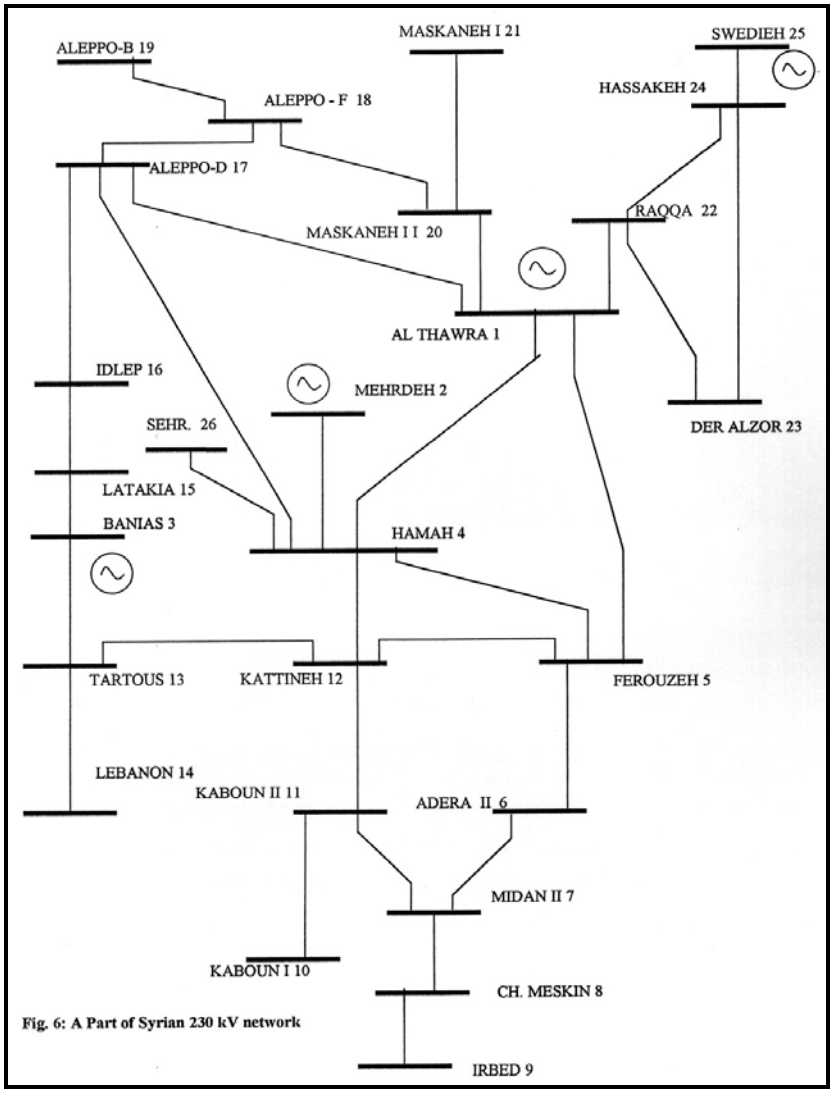


Fig. 6: A Part of Syrian 230 kV network

Line Data for Network No.20 32 Lines

No.	from	to	X (pu)	Sthermal(pu)
1	1	4	0.148	3.590
2	1	5	0.016	3.590
3	1	17	0.122	3.590
4	1	20	0.068	3.590
5	1	22	0.041	3.590
6	2	4	0.007	3.590
7	3	13	0.014	3.590
8	3	15	0.039	3.590
9	4	5	0.044	3.590
10	4	12	0.049	3.590
11	4	17	0.091	3.590
12	4	26	0.002	3.590
13	5	6	0.104	3.590
14	5	12	0.016	3.590
15	6	7	0.027	3.590
16	7	8	0.057	3.590
17	7	11	0.011	3.590
18	8	9	0.043	3.590
19	10	11	0.002	3.590
20	11	12	0.106	3.590
21	12	13	0.062	3.590
22	13	14	0.003	3.590
23	15	16	0.086	3.590
24	16	17	0.041	3.590
25	17	18	0.013	3.590
26	18	19	0.011	3.590
27	18	20	0.077	3.590
28	20	21	0.000	3.590
29	22	23	0.114	3.590
30	22	24	0.134	3.590
31	23	24	0.104	3.590
32	24	25	0.108	3.590

Bus Data for Network No. 20 S base = 100 MVA

Bus No.	P GEN	P LOAD
1	500.0	
2	300.0	
3	300.0	
4		-100.0
5		-50.0
6		-80.0
7		-80.0
8		-80.0
9	0.0	
10		-80.0
11		-80.0
12	60.0	
13		-100.0
14		-50.0
15		-120.0
16		-60.0
17		-70.0
18		-60.0
19		-80.0
20		-20.0
21		-20.0
22		-50.0
23		-50.0
24		-50.0
25	80.0	
26		-20.0

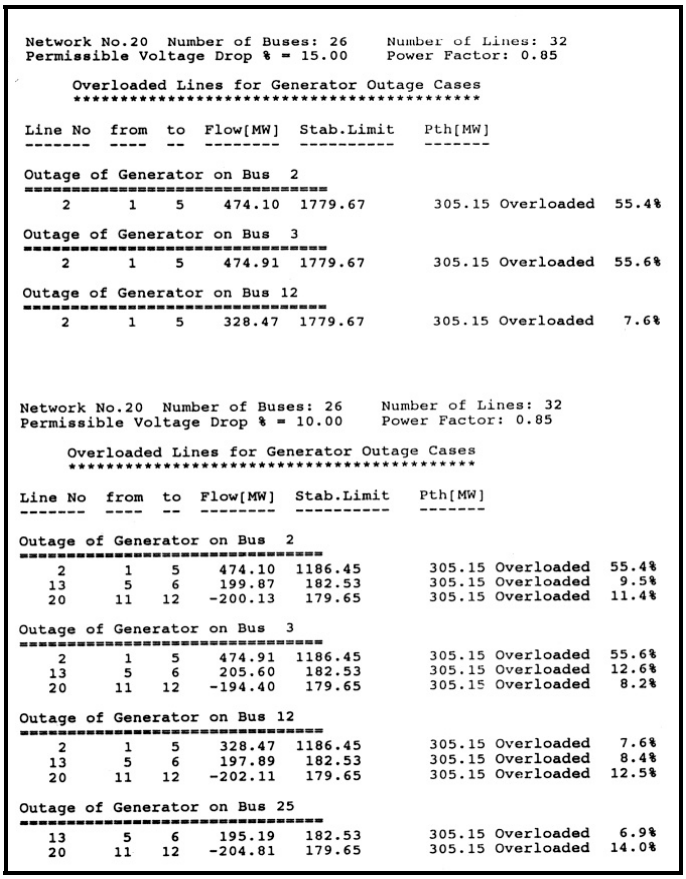
الشكل 7:ملف الدخل للباسات والخطوط

Network No.20 Number of Buses: 26 Number of Lines: 32
Permissible Voltage Drop % = 15.00 Power Factor: 0.85

DC Load Flow for Base Case

Line No	from	to	Flow[MW]	Stab.Limit	Pth[MW]
1	1	4	17.62	192.40	305.15
2	1	5	281.64	1779.67	305.15
3	1	17	88.28	233.40	305.15
4	1	20	102.47	418.75	305.15
5	1	22	70.00	694.51	305.15
6	2	4	299.99	3863.60	305.15
7	3	13	150.45	2033.91	305.15
8	3	15	149.54	730.12	305.15
9	4	5	43.16	647.15	305.15
10	4	12	64.75	581.12	305.15
11	4	17	89.70	312.91	305.15
12	4	26	20.00	14237.37	305.15
13	5	6	195.19	273.80	305.15
14	5	12	79.61	1779.67	305.15
15	6	7	115.19	1054.62	305.15
16	7	8	80.00	499.56	305.15
17	7	11	-44.81	2588.61	305.15
18	8	9	-0.00	662.20	305.15
19	10	11	-80.00	15997.05	305.15
20	11	12	-204.81	269.47	305.15
21	12	13	-0.45	459.27	305.15
22	13	14	50.00	9491.58	305.15
23	15	16	29.55	331.10	305.15
24	16	17	-30.45	694.51	305.15
25	17	18	77.53	2190.36	305.15
26	18	19	80.00	2588.61	305.15
27	18	20	-62.47	369.80	305.15
28	20	21	20.00	59076.23	305.15
29	22	23	22.39	249.78	305.15
30	22	24	-2.39	212.50	305.15
31	23	24	-27.61	273.80	305.15
32	24	25	-80.00	263.66	305.15

الشكل 8: نتائج جريان الحمولة في الحالة النظامية



```
Network No.20  Number of Buses: 26     Number of Lines: 32
Permissible Voltage Drop % = 15.00     Power Factor: 0.85

      Overloaded Lines for Generator Outage Cases
      *******************************************

Line No  from  to  Flow[MW]  Stab.Limit   Pth[MW]
-------  ----  --  --------  ----------   -------

Outage of Generator on Bus  2
================================
    2      1    5    474.10  1779.67       305.15 Overloaded  55.4%

Outage of Generator on Bus  3
================================
    2      1    5    474.91  1779.67       305.15 Overloaded  55.6%

Outage of Generator on Bus 12
================================
    2      1    5    328.47  1779.67       305.15 Overloaded   7.6%



Network No.20  Number of Buses: 26     Number of Lines: 32
Permissible Voltage Drop % = 10.00     Power Factor: 0.85

      Overloaded Lines for Generator Outage Cases
      *******************************************

Line No  from  to  Flow[MW]  Stab.Limit   Pth[MW]
-------  ----  --  --------  ----------   -------

Outage of Generator on Bus  2
================================
    2      1    5    474.10  1186.45       305.15 Overloaded  55.4%
   13      5    6    199.87   182.53       305.15 Overloaded   9.5%
   20     11   12   -200.13   179.65       305.15 Overloaded  11.4%

Outage of Generator on Bus  3
================================
    2      1    5    474.91  1186.45       305.15 Overloaded  55.6%
   13      5    6    205.60   182.53       305.15 Overloaded  12.6%
   20     11   12   -194.40   179.65       305.15 Overloaded   8.2%

Outage of Generator on Bus 12
================================
    2      1    5    328.47  1186.45       305.15 Overloaded   7.6%
   13      5    6    197.89   182.53       305.15 Overloaded   8.4%
   20     11   12   -202.11   179.65       305.15 Overloaded  12.5%

Outage of Generator on Bus 25
================================
   13      5    6    195.19   182.53       305.15 Overloaded   6.9%
   20     11   12   -204.81   179.65       305.15 Overloaded  14.0%
```

الشكل 9: تحليل الأمان في حالة انقطاع التوليد

Network No.20 Number of Buses: 26 Number of Lines: 32
Permissible Voltage Drop % = 15.00 Power Factor: 0.85

Overloaded Lines for Line Outage Cases

Line No	from	to	Flow[MW]	Stab.Limit	Pth[MW]		
Line 3 is opened							
2	1	5	326.82	1779.67	305.15	Overloaded	7.1%
Line 4 is opened							
2	1	5	328.96	1779.67	305.15	Overloaded	7.8%
Line 7 is opened							
2	1	5	362.11	1779.67	305.15	Overloaded	18.7%
Line 13 is opened							
20	11	12	-400.00	269.47	305.15	Overloaded	48.4%
Line 15 is opened							
20	11	12	-320.01	269.47	305.15	Overloaded	18.8%
Line 20 is opened							
13	5	6	400.00	273.80	305.15	Overloaded	46.1%
15	6	7	320.00	1054.62	305.15	Overloaded	4.9%
Line 27 is opened							
2	1	5	310.47	1779.67	305.15	Overloaded	1.7%

الشكل 10-آ: تحليل الأمان في حالة انقطاع خطوط عند هبوط توتر مسموح 15%

Network No.20 Number of Buses: 26 Number of Lines: 32
Permissible Voltage Drop % = 10.00 Power Factor: 0.85

Overloaded Lines for Line Outage Cases

Line No	from	to	Flow[MW]	Stab.Limit	Pth[MW]		
Line 1 is opened							
13	5	6	195.52	182.53	305.15	Overloaded	7.1%
20	11	12	-204.48	179.65	305.15	Overloaded	13.8%
Line 3 is opened							
2	1	5	326.82	1186.45	305.15	Overloaded	7.1%
13	5	6	196.76	182.53	305.15	Overloaded	7.8%
20	11	12	-203.24	179.65	305.15	Overloaded	13.1%
Line 4 is opened							
2	1	5	328.96	1186.45	305.15	Overloaded	7.8%
13	5	6	196.84	182.53	305.15	Overloaded	7.8%
20	11	12	-203.17	179.65	305.15	Overloaded	13.1%
Line 7 is opened							
2	1	5	362.11	1186.45	305.15	Overloaded	18.7%
13	5	6	201.31	182.53	305.15	Overloaded	10.3%
20	11	12	-198.69	179.65	305.15	Overloaded	10.6%
Line 8 is opened							
13	5	6	189.09	182.53	305.15	Overloaded	3.6%
20	11	12	-210.91	179.65	305.15	Overloaded	17.4%
Line 9 is opened							
13	5	6	193.58	182.53	305.15	Overloaded	6.1%
20	11	12	-206.42	179.65	305.15	Overloaded	14.9%
Line 10 is opened							
13	5	6	198.72	182.53	305.15	Overloaded	8.9%
20	11	12	-201.28	179.65	305.15	Overloaded	12.0%
Line 11 is opened							
13	5	6	194.59	182.53	305.15	Overloaded	6.6%
20	11	12	-205.41	179.65	305.15	Overloaded	14.3%
Line 13 is opened							
20	11	12	-400.00	179.65	305.15	Overloaded	122.7%
Line 14 is opened							
13	5	6	212.10	182.53	305.15	Overloaded	16.2%
20	11	12	-187.02	179.65	305.15	Overloaded	4.6%
Line 15 is opened							
20	11	12	-320.01	179.65	305.15	Overloaded	78.1%
Line 17 is opened							
13	5	6	239.90	182.53	305.15	Overloaded	31.5%
Line 20 is opened							
13	5	6	400.00	182.53	305.15	Overloaded	119.1%
15	6	7	320.00	703.08	305.15	Overloaded	4.9%
Line 21 is opened							
13	5	6	195.20	182.53	305.15	Overloaded	6.9%
20	11	12	-204.80	179.65	305.15	Overloaded	14.0%
Line 23 is opened							
13	5	6	193.98	182.53	305.15	Overloaded	6.3%
20	11	12	-206.02	179.65	305.15	Overloaded	14.7%
Line 24 is opened							
13	5	6	196.43	182.53	305.15	Overloaded	7.6%
20	11	12	-203.57	179.65	305.15	Overloaded	13.3%
Line 25 is opened							
13	5	6	193.94	182.53	305.15	Overloaded	6.3%
20	11	12	-206.06	179.65	305.15	Overloaded	14.7%
Line 27 is opened							
2	1	5	310.47	1186.45	305.15	Overloaded	1.7%
13	5	6	196.19	182.53	305.15	Overloaded	7.5%
20	11	12	-203.81	179.65	305.15	Overloaded	13.5%
Line 29 is opened							
13	5	6	195.19	182.53	305.15	Overloaded	6.9%
20	11	12	-204.81	179.65	305.15	Overloaded	14.0%
Line 30 is opened							
13	5	6	195.19	182.53	305.15	Overloaded	6.9%
20	11	12	-204.81	179.65	305.15	Overloaded	14.0%
Line 31 is opened							
13	5	6	195.19	182.53	305.15	Overloaded	6.9%
20	11	12	-204.81	179.65	305.15	Overloaded	14.0%

الشكل 10-ب: تحليل الأمان في حالة انقطاع خطوط عند هبوط توتر مسموح به 10%

7- ملخص واستنتاجات:

يبدأ البحث بمقدمة تشرح مفهوم وأهمية أمان نظام القدرة الكهربائية، يلي ذلك النموذج الرياضي الـذي بني استناداً إلى تقانتي جريان الحمولة الخطي وعوامل الحساسية لأهم الأحداث التي يمكن أن يتعرض لها نظام القدرة مثل انقطاع خط و/أو انقطاع توليد. وقد صممت خوارزمية تحليل الأحداث المحتملـة بحيث يمكن تقويم أمان أي نظام قدرة كهربائية (مهما كانت عدد باساته ومستويات توتراته) من حيـث جريان الاستطاعة الفعلية. واستناداً إلى هذه الخوارزمية فقد تم تصميم نظام برامجي بلغة توربو باسكال بحيث يتيح للمستخدم الحوار السهل مع الحاسوب أثناء التشغيل، وقد تم التثبت مـن صـحة البرنـامج بتطبيقه على شبكات عملية اختبارية كما استخدم لتحليل الأمان لجزء من الشبكة السورية لتوتر 230 ك ف. وتبين من خلال النتائج أن البرنامج ذو كفاءة عالية ويصلح لتقدير أمان الشبكة بدقة مقبولة وسرعة قياسية ، على الرغم من استخدام طرق التحليل الخطية. ومن خلال تحليل نتائج تطبيق البرنامج علـى شبكات كهربائية مختلفة فقد توصلنا للاستنتاجات التالية:

- لدى مقارنة نتائج جريان الحمولة الخطي مع نتائج جريان الحمولة المنفذ بطريقـة نيوتـون-رافسون تبين أن نسبة الخطأ لا تتجاوز 5% في حساب الاسـتطاعة الفعليـة الجاريـة فـي الخطوط، مما يؤكد إمكانية الاعتماد على الطرق الخطية في تقدير أمان الشبكة.
- تعطي طريقة عوامل الحساسية نتائجَ مقبولة الدقة وبسرعة قياسية للجريانـات الفعليـة فـي الخطوط كافة عند حدوث انقطاعات طارئة لخط أو توليد.
- يقوم البرنامج بشكل آلي بتمثيل الأحداث المحتملة للخطوط ولمحطات التوليد جميعهـا بحيـث يستنتج الخطوط المحملة تحميلاً زائداً مع إظهار نسبة الزيادة في التحميل، مما يعطي المشغل في مركز التنسيق صورة مسبقة عن وضع الشبكة في حالة الأعطال قبل حدوثها فعلاً.
- يمكن استخدام النظام البرامجي المنجز لتقويم أمان أي نظـام قـدرة كهربائيـة إذا تـوافرت معلومات الدخل الضرورية.
- النظام البرامجي المنجز قابل للتطوير وفق الاتجاهات التالية :
  - تحليل الأمان بالطرق الخطية لأجل أحـداث محتملـة متعـددة متزامنـة Multiple Contingencies وفق النموذج الرياضي المنجز في هذا البحث.
  - تطوير خوارزمية لحسابات تقدير الأمان بحيث يؤخذ في الحسـبان الجريـان الـردي وحساب توترات العقد.

- تطوير خوارزمية لاقتراح الإجراءات التصحيحية لاستراتيجية التوليد بهدف التخفيف ما أمكن من حالات التحميل الزائد للخطوط في حالات الطوارئ.

المراجع

1- Wood A. ,Wollenberg B. , Power Generation, Operation, and Control, John Wiley , 1996

2- Grainer + Stevenson , Power Systems Analysis, MacGraw Hill, 1994

3- د. علي حمزة، نظم القدرة الكهربائية 1 و2 1987.

4- مشاريع تخرج بإشراف الدكتور علي حمزة في قسم الطاقة الكهربائية.

5- مشاريع تخرج بإشراف الدكتور نبيل الفقيه في قسم الطاقة الكهربائية.

. تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 1999/5/29.

Design And Implementation Of Program Package Security 1 For Power System Security Analysis Using Linear Models

Ali Hamzeh **Nabil Fakih**

Department of Electrical Engineering

Damascus University

Abstract

The paper begins with an introduction that describes the concept and importance of power system security. The mathematical model is built depending on both the linear load flow technique and the sensitivity factors for line and generation outages. The algorithm has been designed so that a power system of arbitrary bus number and voltage levels can be studied. This algorithm has been programmed in Borland Pascal in interactive mode, and the developed program has been tested on several test systems. The Program has been used for security assessment of a part of the Syrian 230 kV network. The obtained results have shown the validity and effectiveness of the program in spite of using linear models. It is worth saying that the developed program is the first one for security assessment in Syria so far.

For the paper in Arabic Language see the pages ( ).