مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (2) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (2) 2010

تقدير وثوقية نظام توليد الطاقة الكهربائية

الدكتور أحمد الحسن الناصر*

(تاريخ الإيداع 21 / 7 / 2009. قُبِل للنشر في 25/ 4 / 2010)

□ ملخّص □

تقدم هذه الورقة مدخلاً عاماً من أجل تحديد نموذج ماركوف للأنظمة المحيّطة، والذي على أساسه تم تحديد نموذج ماركوف للوثوقية من أجل محطات التوليد المزودة بوحدات توليد احتياطية جاهزة (احتياطي ساخن، ظاهر أو سري) redundant standby aparent or secret سواء كانت هذه الوحدات قابلة للإصلاح أو غير قابلة الإصلاحreparable or non- reparable.

وأخيرا تم تقديم تحليل كمي لوثوقية محطات التوليد المزودة بالاحتياطي المذكور redundant standby في كل من حالة النظام القابل للصيانة وحالة النظام غير القابل للصيانة، بحيث يظهر أثر الصيانات على رفع وثوقية محطات التوليد المذكورة.

الكلمات المفتاحية: التحييط، نظام التوليد، تقدير.

* أستاذ مساعد– قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة البعث– حمص– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (2) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (2) 2010

Evaluation Reliability of Power Generating System

Dr. Ahmad AL- Hasan AL- Naser*

(Received 21 / 7 / 2009. Accepted 25 / 4 / 2010)

□ ABSTRACT □

In this paper, a general approach to establishing the Markov reliability model of the redundant systems is presented.

On the basis of this approach, the Markov reliability model of generating stations is determined, which are watered with non-repairable or repairable standby redundant generating units.

Finally, a quantitative reliability analysis of the two-component standby redundant units generating station is performed.

The analysis indicates that repairing has a very significant influence on the reliability increase of these stations.

Key words: redundant, generating system, evaluation.

***Associate Professor, Electric Power Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, AL-Baath University, Homs, Syria .**

مقدمة:

بشكل عام، يمكن تعريف الوثوقية بأنها احتمال عمل النظام بشكل مناسب لفترة زمنية محددة وضمن شروط معينة[1]. من خلال هذا التعريف للوثوقية يتضح أثر معيار القطع (بسبب الفشل) على الأسس التي يمكن من خلالها الحكم (وعند أية نقطة) بأن النظام لا يمكنه العمل بشكل مناسب.

وبشكل مماثل، إن استعراض شروط العمل للنظام تحتاج إلى فهم كُلٍّ من الأحمال الموصولة إلى النظام والظروف التي يعمل خلالها النظام. ويمكن للزمن أن يكون من أهم المتغيرات التي نربطه بالوثوقية.

يوجد معتقد أساسي من الناحية الهندسية أنه كلما زاد تعقيد النظام انخفضت بالنتيجة وثوقيته، ما لم يتم اتخاذ الإجراءات المناسبة لتعويض ذلك الانخفاض. وكثيراً ما يتم قياس التعقيد بعدد مكونات النظام، لذلك يجب زيادة وثوقية كل مركبة من مركبات النظام إذا زاد عدد مكوناته.

والاتجاه المعمول به لزيادة وثوقية المكونات هو استخدام الاحتياطي لجزء من النظام أو للنظام ككل. في الحقيقة توجد نماذج مختلفة للتحييط ويمكن اعتبار النظام الاحتياطي الجاهز redundant standby أحد تلك النماذج[2].

يمكن تحقيق فائدتين من جراء استخدام الأنظمة الاحتياطية الجاهزة redundant standby:

- الأولى أنه يجب أن تحدث أكثر من حالة فشل واحدة حتى يصبح النظام عاجز عن أداء المهمة المطلوبة منه (يتعطل النظام).
- والفائدة الثانية هي أنه يمكن صيانة المركبة المعطلة مع كون النظام في حالة عمل online (دون توقف عمل النظام).

ويمكن الحصول على وثوقية أعلى كلما كانت المركبة قابلة للبدء في الصيانة قبل حدوث أي عطل آخر، وذلك لأن النظام الاحتياطي يتميز باستقلالية المركبات عن بعضها بعضاً وعندها يمكن تحليل النظام بحسب طريقة ماركوف بشكل اكثر دقة[3،4].

أهمية البحث وأهدافه:

تعمل محطات التوليد المكونة من عدة وحدات توليد بحيث تقوم بتأمين الاستطاعة الكهربائية المطلوبة لتغذية الحمل الكهربائي ونتيجة للأعطال التي تحدث في عناصر محطة التوليد (عنفات – مراجل محولات – قواطع ...إلخ)، مما يؤدي إلى خروج هذه الوحدة أو تلك من الخدمة، لذلك يتم الأخذ بالاعتبار استطاعة احتياطية الغاية منها تغطية حالات نقص الاستطاعة الناتجة عن التوقفات بسبب نقص وثوقية عناصر المحطة.

يمكن أن تكون الاستطاعة الاحتياطية المذكورة إما ظاهرة (بمعنى وحدات توليد مستقلة خاصة بذلك) أو يلحظ خلال التصميم مسالة عمل الوحدات بحمولة أقل من استطاعتها الاسمية، مما يوفر احتياطي يسمى بالاحتياطي السري.

في كلتا الحالتين لابد من توفر مستوى مناسب لوثوقية عمل محطات التوليد، بحيث يتم تحقيق استمرارية توليد الاستطاعة من المحطة دون توقفات إجبارية ناتجة عن تعطل العناصر في المحطة بحيث تقل التكاليف المترتبة على كل من التوقف (خسارة استثمار المحطة) والتكاليف المترتبة على الصيانة.

يقدم هذا العمل تحليلا لوثوقية محطات التوليد المكونة من وحدات توليد أساسية(primary) ووحدات توليد احتياطية جاهزة (standby redundancy) التي تعدُّ أنظمة ثنائية المركبة على أساس طريقة ماركوف للوثوقية.

طرائق البحث ومواده:

عند تحليل وثوقية الأنظمة متعددة المركبات فإن الآلية الأكثر انتشارا في تقدير الوثوقية للنظام هي بالاستناد إلى تحديد وثوقية المركبات لذلك النظام. في مثل هذا التحليل غالباً ما يتم الافتراض أن خصائص كل من العطل والإصلاح مستقلة عن بعضها بعضاً، إلا أنه غالباً لا يكون كذلك. لذلك يجب استخدام نماذج وثوقية ، تأخذ بالاعتبار التأثير المتبادل بين كل من الأعطال والصيانات [5].

معظم تأثيرات العطل في المركبة، كما هو الحال بالنسبة إلى الأعطال المستقلة يمكن تمثيلها بشكل فعلي من خلال عمليات ماركوف[6،7]. شريطة أن نعدّ نماذج الصيانة والعطل[2] كتوابع للزمن.

الغاية من تحليل ماركوف هو حساب الوثوقية $p_i(t)$ ، التي تبين احتمال وقوع النظام في الحالة i خلال الزمن t، حيث تحدد حالات النظام بحالة **العمل الجزئي للنظام** وحالة **فشل مركبات النظام** . وهذا ما يعرف بوثوقية النظام الاحتياطي، ويمكن حسابها كتابع للزمن:

$$R(t)=\sum_i p_i(t) \qquad (1)$$

حيث $p_i(t)$ احتمال وقوع النظام في الحالة i خلال الزمن t، الموافقة لحالة عمل النظام.

تكون هذه العلاقة صحيحة من أجل كل حالات **عمل** النظام، أي من أجل الحالات **التي لا تحدث فيها أعطال.**

ومن جهة أخرى يمكن حساب الوثوقية من العلاقة[2]:

$$R(t)=1-\sum_i p_i(t) \qquad (2)$$

حيث $p_i(t)$ في هذه الحالة هي احتمال وقوع النظام في الحالة i وخلال الزمن t، الحالة الموافقة لفشل النظام (عدم قدرته على العمل) .

تكون هذه العلاقة صحيحة من أجل جميع الحالات التي **يتعطل فيها النظام**(يتوقف عن العمل)، عندها سيكون مجموع احتمالات الحالات التي يمكن أن تحدث للنظام محققا للعلاقة:

$$\sum_i p_i(t)=1 \qquad (3)$$

لتحديد $p_i(t)$ نشتق جملة معادلات kolomogrov التفاضلية [6] من أجل كل حالة من حالات النظام. لذلك من أجل n حالة من حالات النظام يأخذ الصف $p(t)$ الشكل كما مبين في العلاقة(4):

$$p(t)=(p_i(t)), i=1,2,.....,n \qquad (4)$$

أو بالشكل:

$$p(t)=\begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t)] \\ p_3(t) \\ ,.., \\ p_i(t) \\ ,...., \\ p_n(t) \end{bmatrix} \qquad (5)$$

ولتمثيل حالات النظام يتم التعبير عنها بالمشتق $p'(t)$ ، الذي يعبر عنه كما هو مبين في العلاقة(6):

$$\boldsymbol{p'(t)=(p'_i(t)),i=1,2,.....,n} \qquad (6)$$

أو بالشكل:

$$p'(t)=\begin{bmatrix} p'_1(t) \\ p'_2(t) \\ p'_3(t) \\ ,.., \\ p'_i(t) \\ ,..., \\ p'_n(t) \end{bmatrix} \qquad (7)$$

مصفوفة الانتقال $\boldsymbol{Q}$ من حالة إلى أخرى لحالات النظام (حالة العمل ، حالة العمل الجزئي ، حالة العطل) تأخذ الشكل المبين في العلاقة(8)،و العلاقة(9):

$$\boldsymbol{Q[q_{ij}],i,j=1,2,....n} \qquad (8)$$

أو بالشكل:

$$Q=\begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & .... & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & .... & q_{2n} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & .... & q_{3n} \\ .... & & & & \\ ... & & & & \\ q_{m1} & q_{m2} & q_{m3} & .... & q_{mn} \end{vmatrix} \qquad (9)$$

حيث $\mathbf{q_{11}}$,....$\mathbf{q_{mn}}$ هي معدلات الانتقال بين حالات النظام المختلفة.

عندها يمكن تحديد احتمال وقوع النظام في حالة ما من الحالات بحل جملة المعادلات التفاضلية لـ kolomogrov بالشكل المصفوفي، العلاقة (10)، والعلاقة(11):

$$\mathbf{p'(t)=p(t).Q} \qquad (10)$$

أي :

$$\begin{bmatrix} p_1'(t) \\ p_2'(t) \\ p_3'(t) \\ .., \\ p_i'(t) \\ ,, \\ p_n'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \\ ,.., \\ p_i(t) \\ ,, \\ p_n(t) \end{bmatrix} \times \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \ldots . q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \ldots . q_{2n} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & \ldots . q_{3n} \\ \ldots . & & & \\ \ldots & & & \\ & & & \\ q_{m1} & q_{m2} & q_{m3} & \ldots . q_{mn} \end{vmatrix} \qquad (11)$$

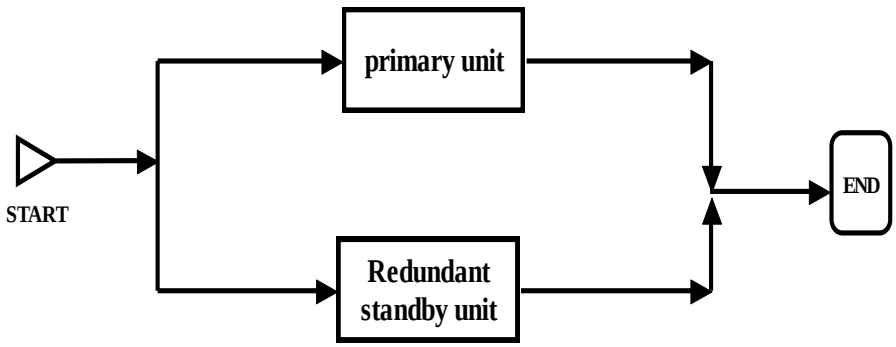
تطبيق ماركوف على محطات التوليد كنظام ثنائي المركبة:

يقصد بالنظام ثنائي المركبة، ذلك النظام الذي يتكون من مركبة أساسية (عنصر أساسي)،على سبيل المثال وحدة توليد كهربائية (رئيسية) تعمل في المحطة بحيث تأخذ على عاتقها توليد الاستطاعة الكهربائية اللازمة طيلة الفترة الزمنية المخصصة للتوليد (بحسب منحني الحمل للمحطة).

والمركبة الثانية هي عبارة عن مركبة احتياطية تعمل فقط في حال تعطل المركبة الأولى (الأساسية) ، كما هو الحال بالنسبة إلى وحدة التوليد الاحتياطية (إن وجدت في المحطة بشكل مستقل) أو وحدة توليد أخرى يمكن الاستفادة منها للعمل خلال تعطل المركبة الأولى على حساب زيادة التحميل شريطة أن تغطي الحمل المطلوب (وهذا ما يعرف بالاحتياطي السري) حيث يلحظ ذلك في محطات التوليد (لأن الوحدات لا تعمل بالحمل الكامل) وذلك لضرورة تأمين احتياطي طواريء باستطاعة التوليد للنظام الكهربائي.

يُعدُّ نموذج الاحتياطي الجاهز(الساخن) redundant standby ذا استخدام واسع لتحييط الأنظمة سريعة العطل[5] (معدل الأعطال كبير نسبيا)، وتعدُّ الأنظمة الاحتياطية الجاهزة بطبيعتها ذات مركبات متعلقة ببعضها بعضاً ويمكن تحليلها بشكل واضح باستخدام طريقة ماركوف (markov method)[5].

إذاً النظام ثنائي المركبة في هذه الحالة يتكون من وحدة التوليد الأساسية ووحدة التوليد الاحتياطية المركبة (إذا كان الاحتياطي ظاهر) أو وحدة التوليد المجاورة العاملة في نفس المحطة (إذا كان الاحتياطي سري) ، يمكن تمثيل النظام الثنائي من وجهة نظر الوثوقية بالشكل(1):



الشكل(1) نمذجة عمل وحدات التوليد العاملة والاحتياطية (نظام ثنائي المركبة).

يمكن لهذا النظام الثنائي أن يكون في إحدى الحالات الاتية:

1. الحالة الأولى: تكون فيها الوحدة الأساسية (primary unit) في حالة عمل الوحدة الأخرى الجاهزة (redundant standby unit) في حالة احتياط.

2. الحالة الثانية: توافق حالة تعطل الوحدة الأساسية (primary unit fails) والوحدة الاحتياطية (redundant standby unit) يتم ربطها إلى الشبكة لتعمل(redundant standby unit operates).

3. الحالة الثالثة: وتوافق حالة تعطل كل من الوحدة الأساسية (primary unit fails) والوحدة الاحتياطية (redundant standby unit fails) ، أي أن النظام ثنائي المركبات في حالة فشل (fails)، عندها يحصل لدينا عجز في استطاعة التوليد من المحطة.

وبما أن وحدات التوليد التي تركب في المحطات تكون متماثلة فإن معدلات الفشل لكل من وحدة التوليد الأساسية (primary unit) والوحدة الاحتياطية (redundant standby unit) اللتين تعتبران مركبتي النظام الثنائي متساوية ، أي :

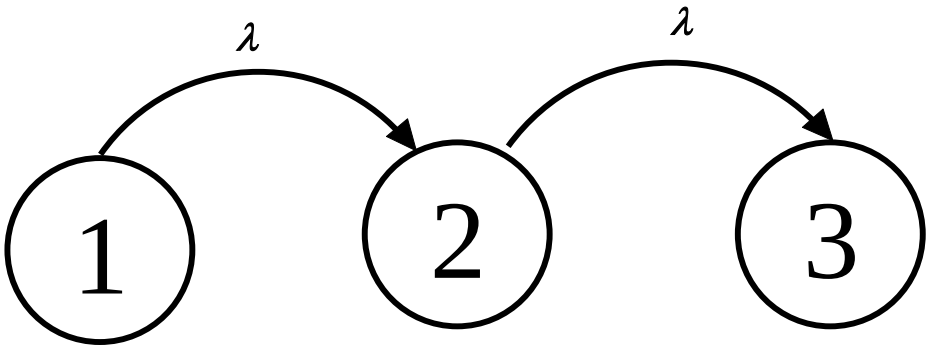
$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda \qquad (12)$$

بعد ذلك لنوجد النماذج الرياضية بحسب ماركوف للنظام المدروس آخذين بالاعتبار حالات النظام وانتقال النظام من حالة إلى أخرى، وذلك في الحالتين التاليتين:

- ❖ عندما تكون الوحدة الأساسية غير قابلة للإصلاح.
- ❖ عندما تكون الوحدة الأساسية قابلة للإصلاح .

أولا: إذا كانت الوحدة الأساسية غير قابلة للإصلاح:

لنفترض أن الوحدة الأساسية(primary unit) للنظام غير قابلة للصيانة بعد حدوث العطل، (لسبب ما) في هذه الحالة يكون معدل الانتقال من الحالة (1) للنظام إلى الحالة (2) ومن الحالة (2) إلى الحالة (3) هي λ ومعدل الانتقال من الحالة(2) إلى الحالة (1) ، ومن الحالة (3) إلى الحالة (2) يكون مساوياً للصفر. مخطط الانتقال للنظام بين الحالات المختلفة المذكورة أعلاه يمكن تمثيله بالشكل(2)[5]:



الشكل(2) مخطط الانتقال لنظام ثنائي المركبة غير قابل للإصلاح

بالاستناد إلى مخطط الحالة للنظام المدروس ، الشكل(2) ، تكون مصفوفة الانتقال للحالة المذكورة هي من الشكل الآتي:

$$Q=\begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ 0 & -\lambda & \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (13)$$

وجملة المعادلات التفاضلية الموافقة حسب kolomogrov من الشكل الآتي:

$$\begin{bmatrix} p_1'(t) \\ p_2'(t) \\ p_3'(t) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \end{bmatrix}\times\begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ 0 & -\lambda & \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (14)$$

وبما أن الحالة (1) والحالة(2) هي حالات عمل للنظام والحالة (3) هي حالة فشل فإن المعادلة الرياضية لوثوقية النظام هي من الشكل التالي:

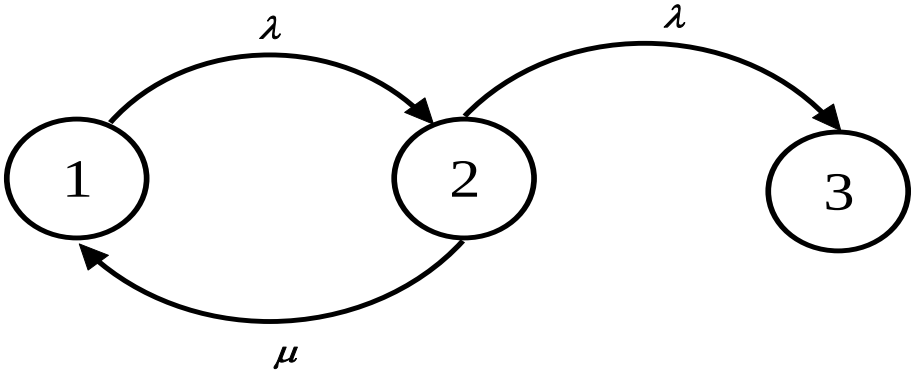
$$\boldsymbol{R(t)=p_1(t)+p_2(t)} \qquad (15)$$

بحل المعادلة(14) من اجل $\boldsymbol{p_1(t)}$ و $\boldsymbol{p_2(t)}$ مع العلم أن $\boldsymbol{p_1(0)=1, p_2(0)=0, p_3(0)=0}$ (النظام في اللحظة الزمنية $\boldsymbol{t=0}$ في حالة واحدة فقط ، هي حالة العمل) يصبح شكل معادلة الوثوقية للنظام كما في العلاقة(16):

$$\boldsymbol{R(t)=(1+\lambda t)e^{-\lambda t}} \qquad (16)$$

ثانيا: إذا كانت الوحدة الأساسية قابلة للإصلاح:

لنفترض أن الوحدة الأساسية(primary unit) بعد توقفها بسبب العطل يتم إصلاحها بمعدل وسطي للإصلاح $\boldsymbol{\mu}$ في هذه الحالة معدل الانتقال بين الحالة الأولى والثانية للنظام يكون مساوياً $\boldsymbol{\mu}$ والمخطط الموافق للانتقال بين حالات النظام مبين في الشكل(3):



الشكل(3) حالة الانتقال لنظام قابل للإصلاح ثنائي المركبة

مصفوفة الانتقال لهذه الحالة هي من الشكل:

$$Q=\begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ \mu & -(\mu+\lambda) & \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (17)$$

ومعادلات kolomogrov تكون من الشكل:

$$\begin{bmatrix} p_1'(t) \\ p_2'(t) \\ p_3'(t) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \end{bmatrix}\times\begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ \mu & -(\mu+\lambda) & \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (18)$$

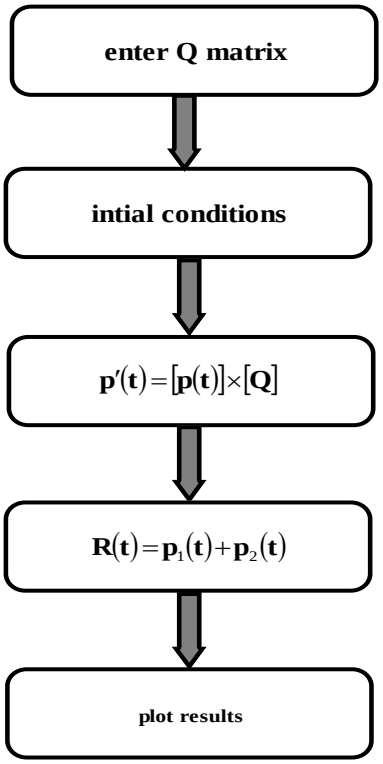
بحل المعادلة(18) ، كما هو الحال بالنسبة إلى الحالة السابقة، عندها يكون النموذج الرياضي لوثوقية النظام من الشكل الآتي:

$$R(t)=\frac{s_1e^{-s_2t}-s_2e^{-s_1t}}{s_1-s_2} \qquad (19)$$

حيث :

$$s_1=-\frac{2\lambda+\mu}{2}+\frac{\sqrt{\mu^2+4\lambda\mu}}{2} \qquad (20)$$

$$s_2=-\frac{2\lambda+\mu}{2}-\frac{\sqrt{\mu^2+4\lambda\mu}}{2} \qquad (21)$$



الشكل(4) المخطط الصندوقي لبرنامج الحساب

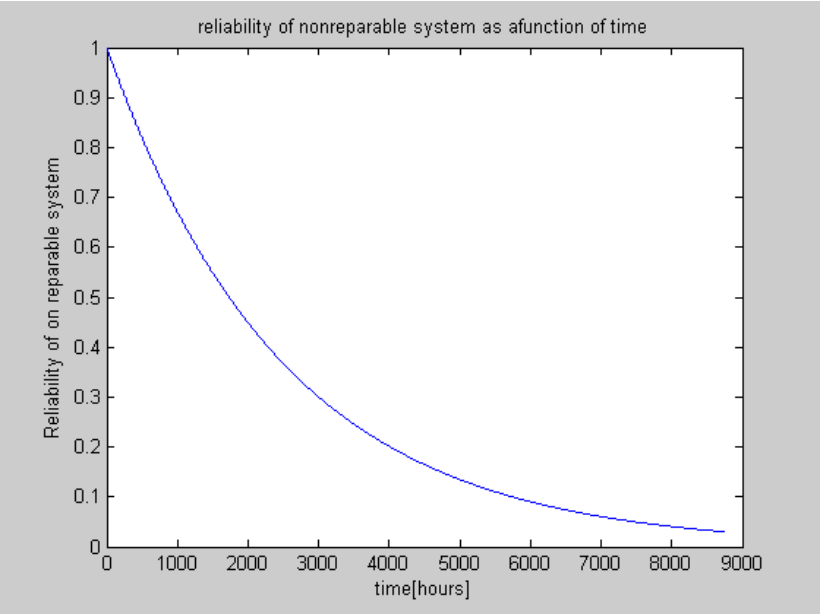
النتائج والمناقشة:

في محطة التوليد التي تحوي على احتياطي ساخن (ظاهر apparent على شكل وحدة توليد مربوطة لتعمل من دون حمولة في نظام التعويض أو على شكل احتياطي سري secret، وهذا في حالة كون وحدات التوليد محملة بأقل من الحمولة الاسمية أو في حالة إمكانية زيادة تحميل تلك الوحدات) عندها فإن أي وحدة توليد أساسية تشكل مع الوحدة الأخرى (حالة الاحتياطي السري) أو مع الوحدة العاملة في نظام التعويض نظام ثنائي المركبات يمكن دراسة وتحليل وثوقية عمله باستخدام الطريقة المذكورة أعلاه.

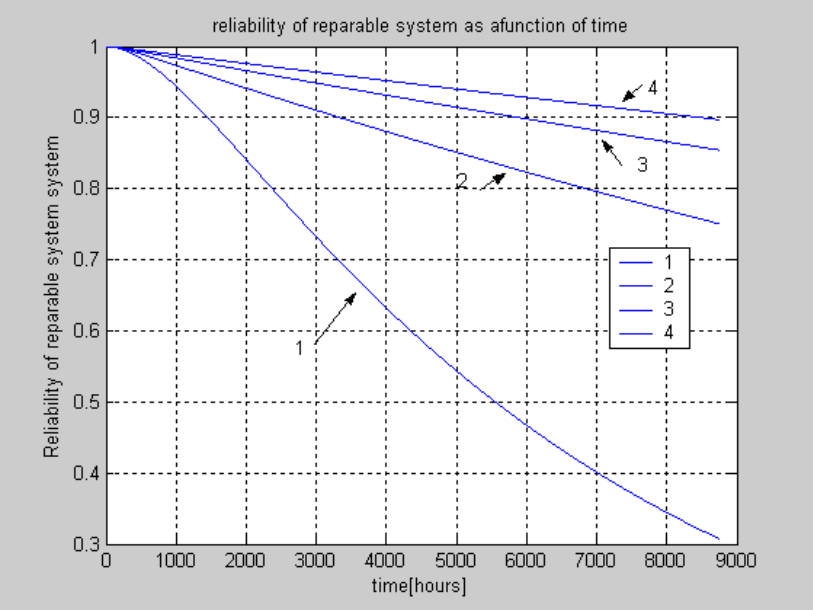
تعدُّ الوحدة العاملة كمركبة أساسية على حين أن الوحدة الأخرى تعدُّ مركبة احتياطية أو داعمة للوحدة الأولى في المحطة المذكورة. فإذا كان معدل العطل الوسطي لكل من وحدة التوليد الرئيسة(primary unit) ووحدة التوليد الاحتياطية الجاهزة (redundant standby unit) هو λ ، وكانت الوحدة الأساسية غير قابلة للإصلاح (لسبب ما) عندها يكون تابع الوثوقية كما هو مبين في المعادلة (16).

في الحالة الثانية نفترض أن وحدة التوليد الأساسية يمكن صيانتها بعد العطل خلال العمل ، وللتبسيط نفترض أن أعطال الوحدة الاحتياطية (standby unit) التي يمكن أن تحدث عند الوصل أو في وضع الاستعداد مهملة. فإذا كان معدل العطل لكل منهما هو λ ومعدل الصيانة هو μ ، عندها يكون تابع الوثوقية للنظام ثنائي المركبة كما هو مبين في المعادلة (19).

لرسم تغيرات الوثوقية في الحالات المختلفة المذكورة أعلاه تم كتابة برنامج باستخدام الماتلاب بحيث يأخذ بالاعتبار الحالتين المذكورتين أعلاه .النتائج مبينة على شكل منحنيات ، كما هو مبين في الشكلين (5)، (6).



الشكل(5) تغير وثوقية النظام غير القابل للصيانة



الشكل(6) تغير وثوقية النظام قابل للصيانة: $1-\mu=\lambda, 2-\mu=10\lambda, \mu=20\lambda, \mu=30\lambda$

يلاحظ من الشكل(5) أن الوثوقية لحالة النظام غير القابل للصيانة تتناقص بسرعة ، أي كما لو لم يكن في المحطة أي نوع من الاحتياطي.

أما الشكل(6) فيبين تغير وثوقية النظام القابل للصيانة خلال العمل ومنه يلاحظ أن الوثوقية أعلى بكثير من الحالة السابقة ويكون تغيرها مع الزمن بطيء وتزداد بزيادة معدلات الصيانة (قيمة μ).

الاستنتاجات والتوصيات:

1. في الحالة العامة تزداد وثوقية المحطات إذا زادت وثوقية عناصرها، والاتجاه نحو زيادة وثوقية التوليد يمكن أن يكون باستخدام نظام داعم standby على شكل احتياطي سري أو ظاهر.
2. ويتم عادة استخدام الأنظمة الاحتياطية الجاهزة standby في حالة كون النظام الأساسي قابلاً للصيانة، وهذا حال وحدات التوليد في المحطات .
3. إن نظام التحييط standby ذا المركبات القابلة للصيانة يزيد وثوقية النظام بشكل ملحوظ.
4. يجب أن يكون معدل الصيانة μ لمركبات النظام (وحدات التوليد في هذه الحالة) أكبر من معدل العطل λ لتلك المركبات.
5. يمكن الاستفادة من وحدات التوليد العاملة في المحطات المائية التي تعمل في قمة منحتي الحمل أو وحدات التوليد الغازية أو البخارية التي تكون محملة بحمل أقل من الحمل الاسمي لتشكل احتياطي سري.
6. تعدُّ طريقة ماركوف مناسبة من أجل نمذجة وتحليل وثوقية التوليد.

المراجع:

1. IEC 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary-Chapter 191: "Dependability* and quality of service", 2002,13.
2. EBELING, C. E. "*An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*", New York, McGraw-Hill, 1997,486.
3. HOYLAND, A. ROUSAND, M. *"System Reliability Theory: Models and Statistical Methods"*, New York, John Wiley & Sons, 1994, 370.
4. PUKITE, J.; PUKITE, P. "*Modeling for Reliability Analysis"*, New York, IEEE Press 1998, 278.
5. BENDJEGHABA1,O.; OHAHDI1, D. *Abdelkader ZABLAH2-Hybrid "Approach for Redundancy Optimization of Multi-State Power System", Leonardo Journal of Sciences, Issue 10,* January-June 2007, 115-130.
6. ROSS, S. M.,*" Stochastic Processes*", New York, John Willey & Sons, 1983,98.
7. BENTLEY, J.P. "*Introduction to Reliability and Quality Engineering", Harlow,* Addison-Wesley, 1999, 186.