

دراسة حالة ارتفاع الجهد للمولدات المتواقتة في المحطة الحرارية لمصفاة بانياس

الدكتور زيد بدر*

(تاريخ الإيداع 5 / 5 / 2010. قُبل للنشر في 9 / 1 / 2011)

□ ملخص □

درسنا الحالة غير الطبيعية لارتفاع الجهد للمولدات المتواقتة في المحطة الحرارية بمصفاة بانياس وتبين أن ذلك لا يعود للظروف الاستثمارية فقط وإنما يتعلق بالناحية التصميمية لهذه المولدات أيضاً ، لا سيما من حيث نسبة الدارة القصيرة (S.C.R) .

يعتبر نزع الحمولة الفجائي عن هذه المولدات السبب الأساسي لارتفاع الجهد على أقطابها ، إذ تم تحديد هذا النزع بطريقتين :

الأولى : بوساطة التغيير القسري للعزم الخارجي للمولد المتواقت (تغيير في كمية البخار الداخلة إلى التوربين لسبب ما) والثانية بوساطة نزع حمولة بعض المغذيات الفجائي لسبب ما ، فقد تم رسم منحنيات وتشكيل جداول تغطي هذه الأسباب.

في نهاية البحث تم اقتراح حلول عملية من شأنها التخفيف قدر الإمكان من احتمال ارتفاع الجهد عند نزع الحمولات الفجائي بهاتين الطريقتين .

الكلمات المفتاحية: المولدات المتواقتة في مصافي النفط - ارتفاع الجهد

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

A Study of the Voltage Rise of the Synchronous Generator in the Baniyas Refinery Thermal Power Station

Dr. Zaid Bader*

(Received 5 / 5 / 2010. Accepted 9 / 1 / 2011)

□ ABSTRACT □

In the present work, reasons for the voltage rise in the synchronous Baniyas refinery thermal power station are studied. These reasons are not only due to the investment reasons, but to the designing of these generators which is related to the short-circuit (S.C.R).

Sudden load removing-off these generators could be considered as the main reason of that voltage-rise on its poles. This could be determined by two methods: firstly by the Sudden variation of an external torque of the synchronous generator load, and secondly by the load removing of some Sudden feeding.

Formation tables covering analysis of these reasons are drawn. My research concludes with recommending some experimental solutions to reduce the voltage-rise possibility during the Sudden load withdrawing using the above two mentioned methods .

Key words : Synchronous generators in refineries thermal power station- voltage rise

* Associate professor, Dept of electrical energy, Faculty of electrical and mechanical engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria

مقدمة:

تنتهي الأحمال الكهربائية لمصافي النفط تصنيفاً من الدرجة الأولى نظراً لأهمية إنتاج هذه المصافي من الناحية الاقتصادية . تقود المحركات الكهربائية غير المتواقة جميع أنواع المضخات العاملة في مصفاة بانياس التي تؤمن بدورها مختلف مستلزمات الإنتاج فعند تعطل هذه المحركات أو انقطاع التغذية الكهربائية عنها والمنتجة من قبل المولدات المتواقة في المحطة الحرارية في المصفاة يتوقف إنتاج هذه المضخات وبالتالي يتوقف إنتاج المصفاة بشكل جزئي أو كلي مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة ، لا سيما أن إعادة تأهيل المولدات المتواقة البخارية للإنتاج مرة أخرى يستغرق وقتاً طويلاً قد يصل إلى ثلاث ساعات أو أكثر كما هو الحال في مصفاة بانياس .

لوحظ أن أكثر الأعطال التي يتم بموجبها فصل المولدات المتواقة عن العمل وبالتالي انقطاع التغذية عن الأحمال الكهربائية للمصفاة ، تنجم عن ارتفاع الجهد (تم فصل المولدات بحماية ارتفاع الجهد في سنة 2009 أكثر من مرتين) ، لذلك تم التركيز في هذا البحث على دراسة حالة ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات المتواقة في المحطة الحرارية في مصفاة بانياس وذلك بعد التعرف إلى خصائص هذه المولدات التصميمية من خلال تقرير الاختبارات لهذه المولدات [1] .

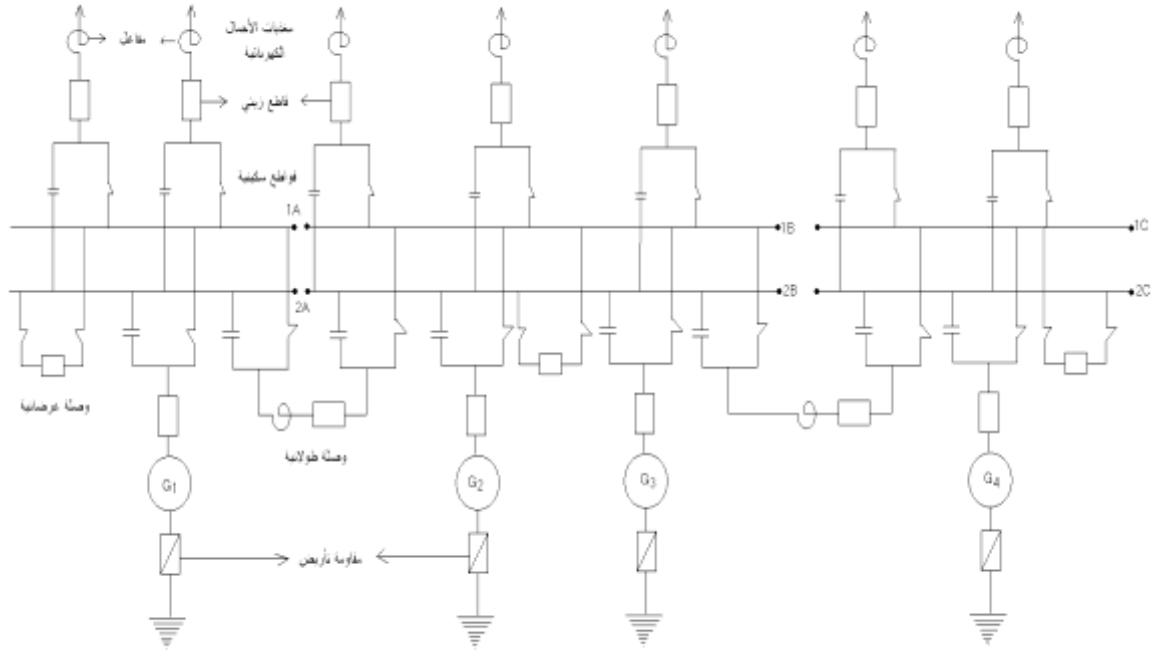
تحتوي المحطة الحرارية في المصفاة على أربع مولدات متواقة اسطوانية الدائر تعمل على الطاقة البخارية . الاستطاعة الظاهرية لكل منها (15 MVA) وبعامل استطاعة (0.8) متأخر و توتر اسمي (6.3 Kv). ترتبط هذه المولدات على التوازي من خلال زوج من البارات المنفصلة . أحدها رئيسي والأخر احتياطي، إذ تتصل هذه البارات عرضانياً وطولانياً بوساطة وصلات خاصة بذلك، الشكل (1) .

البارات الأساسية في المحطة هي البارات 1A, 1B, 1C ، بينما البارات 2A, 2B, 2C هي بارات الاحتياط. تغذي المحطة الحرارية الحمل الكهربائي للمصفاة و المقدر بين (18 – 28) M W من خلال مغذيات منفصلة (أكثر من عشرة مغذيات) الشكل (1) وبالتالي يمكن القول إن المولدات المتواقة في هذه المحطة تغذي شبكة كهربائية محدودة الاستطاعة . لذلك فإن توتر هذه المولدات و ترددها يتغيران تبعاً لظروف الاستثمار [2,3,4] على عكس توتر و تردد المولدات المتواقة المرتبطة على التوازي مع الشبكة العامة (شبكة لا نهائية الاستطاعة) فتتميز بثباتها عند الاستثمار.

لا يمكن في الظروف الحالية الاعتماد على محولة الربط الموجودة في العراق ما بين المحطة الحرارية في المصفاة و الشبكة العامة في تغذية الأحمال الكهربائية للمصفاة عند خروج المولدات عن العمل لسبب ما، وإنما يمكنها لعب دور التغذية الاحتياطية لجزء من حمل المصفاة عند توقف مولد أو مولدين عن العمل على الأكثر، كما يمكن بوساطة هذه المحولة إعطاء الشبكة العامة جزءاً من الطاقة المولدة في المصفاة.

بسبب الظروف الفنية للاستثمار في المصفاة و المتمثلة بوجود الحصول على مستويين من الضغط: (6) Bar ، (16) Bar ، إذ يستخدم المستوى الأول من الضغط لتزوير مادة الفيول للمراجل وذلك لزيادة الاحتراق ، أما المستوى الأخر للضغط فيستخدم لأغراض ثانوية أخرى في المصفاة.

بناءً على ذلك ، يعمد إلى زيادة استطاعة إحدى المنوبات إلى 8.5 MW على الأقل لإمكانية الحصول على المستوى الأول من الضغط ويقال أن هذه المنوبه هي المنوبه المستنزفة ، بينما تكون استطاعة المنوبات الأخرى أقل من استطاعة المنوبه المستنزفة بحوالي المثلين أو أقل، مما يخلق ظروفاً صعبة في أثناء الاستثمار و خاصة بما يتعلق بارتفاع الجهد على أقطاب هذه المولدات كما سنرى لاحقاً.



الشكل(1)المخطط المبسط للمحطة الحرارية في مصفاة بانباس

أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية البحث و هدفه بما يلي:

- 1- تحليل العيوب التصميمية و الاستثمارية المسببة لارتفاع الجهد على أقطاب المولدات المتوائمة في المحطة الحرارية في مصفاة بانباس .
- 2- رسم منحنى ارتفاع الجهد لمولدات مصفاة بانباس بدلالة نزع الحمولة المفاجئ بطرق مختلفة.
- 3- اقتراح الحلول لاستقرار الجهد على مرابط هذه المولدات عند التشغيل.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التحليلية الرياضية والفيزيائية لرسم مختلف المنحنيات في البحث بناءً على خصائص المولدات المتوائمة في المحطة الحرارية في مصفاة بانباس وعلى الظروف الاستثمارية التي يتم التعامل بها في المحطة الحرارية ، حيث تم التعرف إلى ذلك من خلال زيارات ميدانية متكررة للمصفاة.

- نسبة الدارة القصيرة للمولدات المتوائمة في مصفاة بانباس و مفاعلاتها التوافقية النسبية

لنسبة الدارة القصيرة للمولدات المتوائمة (S.C.R) أهمية استثمارية كبيرة ، فهي تشير إلى إمكانية تحميل المولد المتوائمة وإلى استقراره أثناء الربط على التوازي و تغلب دوراً كبيراً في تحديد ثمنه [5].

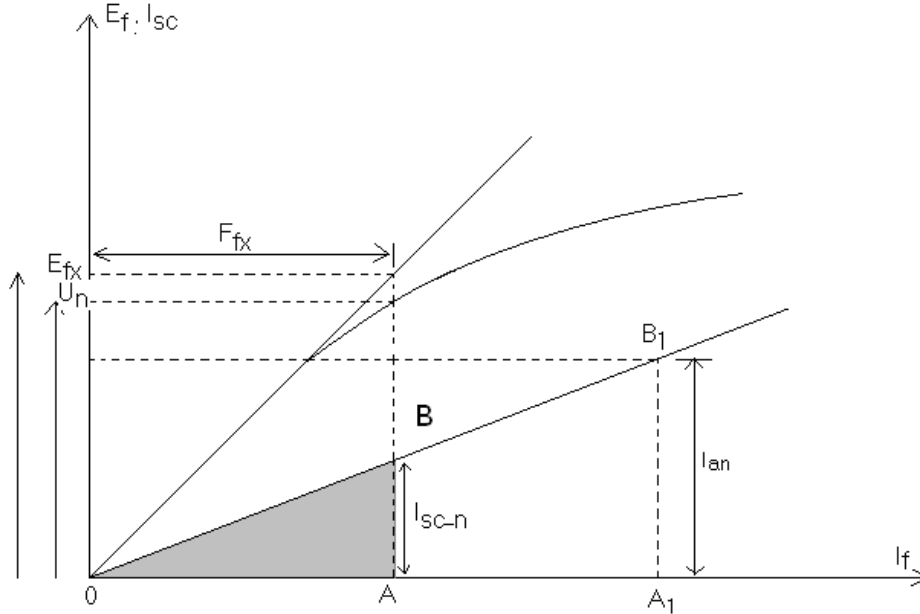
تبلغ قيم هذه النسبة في المراجع العلمية ضمن المجال $[0.4 \div 1]$ [2,5,6] للمولدات المتوائمة اسطوانية الدائر كما هو الحال للمولدات المتوائمة في المحطة الحرارية في مصفاة بانباس.

نسبة الدارة القصيرة بالتعريف عبارة عن نسبة تيار القصر الاسمي ($I_{sc.n}$) إلى تيار الحمل الاسمي (I_{an}) ، يمكن كتابة علاقة (S.C.R) بالشكل التالي [2] :

$$S.C.R = \frac{I_{sc.n}}{I_{an}} = \frac{E_{fx}}{X_c \cdot I_{an}} = \frac{(1,06 \div 1,15)U_n}{X_c \cdot I_{an}} = \frac{1,06 \div 1,15}{X_c^*} \quad (1)$$

حيث $-F_{fx}$ القوة المحركة المغناطيسية (ق . م . م) التي يكون عندها توتر المولد عند العمل على فراغ مساوياً للتوتر الاسمي

E_{fx} - القوة المحركة الكهربائية (ق . م . ك) المقابلة لـ (ق . م . م) أثناء العمل على فراغ الشكل(2).



الشكل (2) منحنيات ميزات القصر والعمل على فراغ للمولدات المتوافقة

يمكن كتابة العلاقة (1) بالشكل التالي :

$$S.C.R = \frac{1.1}{X_c^*} \quad (2)$$

باستخدام المثلثات المتشابهة (OA1 B1) و (OAB) من الشكل (2) ، يمكن كتابة (S.C.R) بالشكل

$$S.C.R = \frac{I_{sc.n}}{I_{an}} = \frac{I_{fB}}{I_{fsc}} \quad (3) \quad \text{التالي:}$$

حيث : $I_{fB} = oA$ - تيار التهيج الأساسي عند العمل على فراغ والموافق للتوتر الاسمي ، $I_{fsc} = oA_1$ - تيار التهيج عند القصر ثلاثي الطور والذي يحرض (ق.م.ك) تمرر تيار الحمل الاسمي.

بالاعتماد على العلاقتين (2,3) وعلى نتائج تجارب العمل على فراغ والقصر ثلاثي الطور الخاصة بالمولدات المتوافقة في مصفاة بانباس [1] ، يمكن إيجاد نسبة الدارة القصيرة لهذه المولدات حسب معطيات الاختبارات

$$I_{fsc} = 296a \quad I_{fB} = 162a \quad \text{حيث}$$

وفق العلاقة (2) نجد (S.C.R) لهذه المولدات كما يلي :

$$S.C.R = \frac{162}{296} = 0.547 \quad (4)$$

نلاحظ أن نسبة الدارة القصيرة لهذه المولدات صغيرة نسبياً وهذا سينعكس على قدرتها على الاستقرار بشكل جيد . في الفقرة اللاحقة سلاحظ أن جهد هذه المولدات سيرتفع عند نزع الحمولة الفجائي بشكل أكبر من مثيلاتها التي تمتلك نسب دارة قصيره قريبه من الواحد الصحيح.

النتائج والمناقشة:

- دراسة أثر نسبة الدارة القصير (S.C.R) للمولدات المتوافقة على ارتفاع الجهد أثناء نزع الحمولات

المفاجئ

سنوضح في هذه الفقرة أثر نسبة الدارة القصيرة (S.C.R) أو مفاعلة التوافق النسبية (X_c^*) للمولدات المتوافقة على ارتفاع الجهد على أقطابها عند نزع الحمولة بشكل مفاجئ وذلك عند عمل هذه المولدات بشكل منفصل (غير مرتبطة على التوازي) .

أن سرعة استجابة المولد المتوافق مع تغير مفاجئ للحمل (نزع الحمولة الفجائي) تتوقف على سلسلة من العمليات التي تخضع كل منها لعوامل التأخير الناشئة بفعل القصور الذاتي أو العطالة بالنسبة للحركة الميكانيكية للأجزاء الدوارة و عن تأثير ثابت الزمن بالنسبة للدارات الكهربائية والمغناطيسية في المولد ، حيث كل تغيير في تيار الحمل ينعكس تأثيره في تغيير تيار التهيج وذلك للحفاظ على ثبات الجهد على أقطاب المولد من العلاقة التالية:

$$\Phi_{Tot} = \Phi_f + \Phi_a$$

حيث: Φ_{Tot} - الفيض المغناطيسي الكلي في الثغرة الهوائية ، المتناسبة طرماً مع جهد المولد المتوافق

Φ_f - فيض التهيج ويتناسب طرماً مع تيار التهيج

Φ_a - فيض رد فعل المتحرض ويتناسب طرماً مع تيار الحمل

الإشارة (-) تعبر عن التيار المتأخر للحمل (رد فعل المتحرض مزيل للمغطة)

الإشارة (+) تعبر عن التيار المتقدم للحمل (رد فعل المتحرض الممغنط)

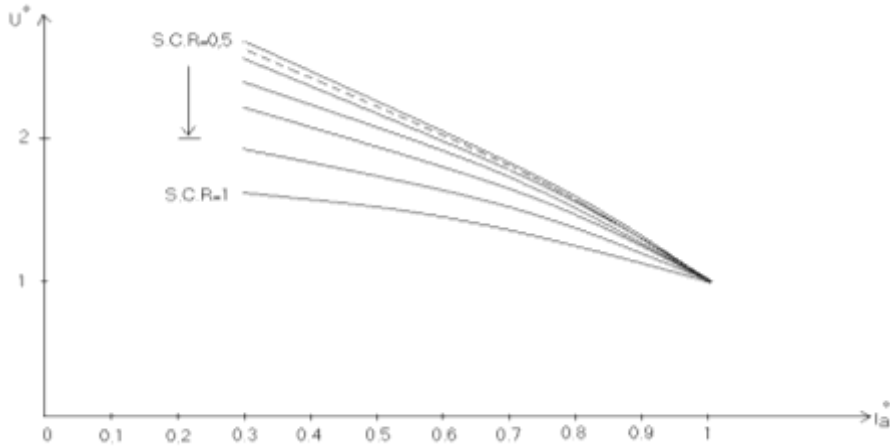
فإذا نزع حمل كهربائي بعامل استطاعة متأخر كما هو الحال للاحمال الكهربائية في مصفاة بانياس ، فإن قيمة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية تميل نحو الزيادة بنتيجة انخفاض الفيض المغناطيسي للحمل. بنتيجة تغير الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية تتحرض تيارات إحصارية في الأجزاء الحديدية الصماء للمولد المتوافق حسب فرادي و كذلك في ملفات التهيج . الفيض المغناطيسي الناتج عن هذه التيارات يعاكس هذه الزيادة في الثغرة الهوائية و يعمل على تأخيرها وكذلك يفعل معامل التحريض الذاتي لملفات التهيج . عند ذلك تعمل هذه الزيادة البطيئة على تحريض (ق.م.ك) مضادة بالتأثير في ملفات التهيج مما يؤدي إلى خفض في قيمة تيار التهيج حتى ولو ظل توتر التهيج ثابتاً . هذا يعني أن أي نزع للحمولة بشكل مفاجئ يرافقه تأخير في تجاوب دارة التهيج بتقليل تيار التهيج لمواجهة تأثير رد فعل المتحرض المضاد (المزيل للمغطة) وذلك للحفاظ على ثبات جهد الأقطاب للمولد المتوافق . تبلغ قيمة ثابت الزمن للمولدات التوربينيه (البحارية) أي مجموع قيمتي ثابتي الزمن الكهربائي والمغناطيسي حوالي sec [3] (5÷6).

$$E_{fn}^* = \sqrt{(eos \varphi_n)^2 + (\sin \varphi_n + X_c^*)^2} \quad (7)$$

إذا كان المولد محملاً بحمولة مغايرة لحمولته الاسمية و بالتالي (I_a^*) و بعامل استطاعة ($\cos \varphi$) ، فإن المعادلتين (5) و (6) تحافظان على شكلهما ولكن تستبدل البرامترات الموافقة للعمل الاسمي ببرامترات التشغيل، في حين المعادلة (7) تصبح على الشكل التالي:

$$E_f^* = \sqrt{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi + I_a^* . X_c^*)^2} \quad (8)$$

حيث : $-U_2^* = U_n^* + \Delta U^*$ مطال الجهد المرتفع على أقطاب المولد المتوافق بسبب نزع الحمولة. اعتماداً على الشكل (3) و على المعادلات السابقة ، يمكن رسم منحنيات ارتفاع الجهد للمولدات المتوافقة بدلالة نزع الحمولة وتبعاً لقيم مختلفة لنسبة الدارة القصيرة الشكل (4) . من الشكل نجد أن المولدات المتوافقة ذات نسب الدارة القصيرة القريبة من الواحد الصحيح يكون تغير الجهد على أقطابها أصغر من تغير الجهد على أقطاب مولدات أخرى ذات نسب دارة صغيرة نسبياً وعند قيم نزع الحمولة نفسها. أن المولدات في مصفاة بانباس لا تتمتع باستقرار نسبي جيد من ناحية ارتفاع الجهد أثناء نزع الحمولة الفجائي وذلك بسبب أن منحنى ارتفاع الجهد لهذه المولدات بدلالة نزع الحمولة يوافق نسبة للدارة القصيرة بعيدة عن الواحد الصحيح و تبلغ (0.547) (المنحني بالخط المنقط على الشكل (4)) .



الشكل (4) منحنيات ارتفاع الجهد للمولدات المتوافقة ذات نسب دارة قصيرة مختلفة بدلالة نزع الحمولة

هنا لا بد من التنويه ، إلى أنه كلما كان نزع الحمولة كبيراً يرتفع الجهد على أقطاب المولد بشكل أكبر ، وأن أكبر ارتفاع للجهد يظهر عندما تكون المولدات في حالة التشغيل وتتفصل فجأة قواطع تغذية الأحمال الكهربائية لسبب ما وهذا نادر الحدوث ، إذ يرتفع الجهد على أقطاب المولد بمقدار الجهد الداخلي (E_f) وذلك من المعادلة التالية:

$$\overline{E_f} = U + I_a X_c \quad (9)$$

عند ($I_a=0$) ، فإن الجهد الخارجي (U) يرتفع إلى قيمة الجهد الداخلي (E_f) والذي يكون أكبر من الجهد الداخلي بمقدار الضعف تقريباً و حسب ظروف الاستثمار .

دراسة ارتفاع الجهد لمولدات مصفاة بانباس عند نزع الحمولة باعتبار الربط المتوازي لهذه المولدات:

تتصل المولدات المتوافقة الأربعة في المحطة الحرارية في مصفاة بانياس على التوازي من خلال بارات التجميع الأساسية A1, B1, C1 (الشكل 1) حيث تتصل هذه البارات مع بعضها بعضاً بواسطة وصلتين طولانيتين، حيث المفاعلة النسبية لكل وصله (4%) [8] . لذلك ، فإن ملفات الثابت لهذه المولدات تشكل دائرة كهربائية مؤلفة من أربعة أفرع متوازية ، فعند ارتفاع الجهد على أحد الأفرع سيرتفع الجهد على الأفرع الثلاثة الأخرى ، خاصة إنه يمكن إهمال مفاعلات الوصلات الطولية (4%) أمام مفاعلة كل مولد على حدة وبالغة 201% [1] .

أن نزع حمولة المولد المتواقت يتم بطريقتين أساسيتين:

1 - بواسطة التغيير القسري للعزم الخارجي لكل مولد (التغيير القسري لكمية البخار الداخلة إلى التوربين)

2 - بواسطة نزع حمولة أحد المغذيات أو أكثر لسبب طارئ.

أن نزع حمولة أحد المولدات المتوافقة بالطريقة الأولى سيؤدي إلى أن كمية الحمولة المنزوعة عن هذا المولد ستوزع على المولدات الثلاثة الأخرى وفق تناسب عكسي مع مفاعلات المولدات المتوافقة وطرداً مع استطاعتهم التحميلية [2,3] .

أما نزع الحمولة بالطريقة الثانية فستحملها المولدات الأربعة ويتوزع هذا النقص بالحمل بالطريقة الأولى نفسها سندرس ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات بالطريقة الأولى من خلال مثال عملي (واقعي) عندما فصلت المولدات بحماية ارتفاع الجهد بتاريخ 2009/10/6 .

سنعرض أولاً مجريات حادثة الفصل ثم نرسم منحنى تغير الجهد ونبين أسباب تأرجح الاستطاعات الفعلية والتردد قبل حادثة الفصل بثواني معدودة.

1 - 1 - مجريات حادثة فصل المولدات الأربعة في المحطة الحرارية بحماية ارتفاع الجهد

قبل الفصل ، كانت المنويات الأربع تعمل على التوازي مع بعضها بعضاً لتغذية حمل المصفاة بحده الأدنى والمقدر (18 M W) ودون الربط مع الشبكة العامة من خلال محولة الربط المذكورة . عند ذلك كانت استطاعة المنويات على الشكل التالي:

$$P_1=P_2=3Mw, \cos \varphi_1=\cos \varphi_2=0.75; P_3=9.4Mw, \cos \varphi_3=0.818$$

$$P_4=2.6Mw, \cos \varphi_4 =0.73$$

عند الساعة (17.25) فصل المرجل الأول بسبب توقف مروحة الغاز الخاصة به ، عند ذلك طلب كونترول التشغيل الحراري من كونترول التوليد الكهربائي وصل المحطة مع الشبكة العامة على التوازي من أجل استقرار كمية من الطاقة الكهربائية لتعويض كمية البخار التي تم فقدها بسبب فصل المرجل المذكور ، عند ذلك قام رئيس وردية التوليد الكهربائي بتشغيل جهاز التوافق مع الشبكة العامة و لاحظ أن مؤشر التوافق سريع ومن الصعب التحكم بحركته، عند ذلك طلب من كونترول التشغيل الحراري إعطاءه إمكانية التحكم بالمنوية الرابعة فقط، إذ قام بالضغط على زر التحكم بصمام البخار لهذه المنوية (تغير العزم الخارجي) بغية تعديل التردد ومواءمته مع تردد الشبكة ، إذ تم تخفيض العزم الخارجي إلى النصف تقريباً على نحو أصبحت استطاعة المنوية الرابعة 1.5 M W بدلاً من 2.6 M W ، رغم ذلك لم ينجح بتحقيق التوافق . مرة أخرى طلب رئيس الوردية من غرفة كونترول التشغيل الحراري إمكانية إعطائه التحكم بالمنوية الثالثة ونظم عزمها أيضاً ولم ينجح بتحقيق التوافق. في هذه الأثناء كانت حمولة المنويات الأربعة تتأرجح و كذلك التردد إلى أن فصلت المنويات الأربع بحماية ارتفاع الجهد.

1 - 2 دراسة تغيرات الجهد و التردد و الاستطاعات الفعلية للمولدات في أثناء حادثة الفصل المذكورة :

في أثناء استثمار المولدات المتوافقة ، يجب تحقيق التوازن بين الاستطاعتين الفعلية والردية بين التوليد والاستهلاك بغاية الحصول على التردد والتوتر الاسميين ، إذ إن المسؤول عن تنظيم الاستطاعة الفعلية هو التردد أي التحكم بصمام البخار الداخل إلى التوربين ، بينما المسؤول عن تنظيم الاستطاعة الردية هو تيار التهيج أي التحكم بتوتر المهيج [9,10].

بفعل التغيير القسري للعزم الخارجي للمنوبة الرابعة يدوياً من قبل رئيس وردية التوليد الكهربائي ، تم تخفيض تيار متحرضها من (I_{a4}) الموافق للاستطاعة 2.6 M W إلى (I'_{a4}) الموافق للاستطاعة (1.5 MW) ، وبذلك وبالاستعانة بالشكل (3) والعلاقات (5) ، (6) ، (8) يمكن حساب ارتفاع الجهد النسبي (U_2^*) على أقطاب المولدة الرابعة وبالتالي على أقطاب جميع المولدات الأخرى بسبب الربط المتوازي لكافة المولدات ، حيث بلغ هذا الارتفاع 16.8 % من التوتر الاسمي وهذه القيمة أكبر من قيمة الجهد المعيرة عليها حماية ارتفاع الجهد والبالغة 14 % من التوتر الاسمي و بزمن فصل قدره (8 sec) . لذلك سيبدأ العد التنازلي من هذه اللحظة إلى نهايته زمن الفصل (8 sec) التي عندها تفصل المولدات ، ما لم تجري تغيرات أخرى على هذه المولدات من شأنها منع فصل المولدات أو عدم إمكانية منع فصل المولدات.

ندرس توزيع الحمل على المولدات المتبقية عند التغيير القسري للعزم الخارجي لأحد المولدات بالتسلسل التالي:

1- نحسب الاستطاعة المنزوعة من المولد الذي تغير عزمه الخارجي قسرياً

$$\Delta p = p_o - p_l \quad (10)$$

حيث P_0 الاستطاعة الفعلية للمولد قبل تغير العزم الخارجي

P_1 الاستطاعة الفعلية للمولد بعد تغير العزم الخارجي

2- نحسب الاستطاعة الظاهرية المنزوعة:

$$\Delta S = \frac{\Delta p}{\cos \varphi} \quad (11)$$

حيث : φ - زاوية عامل استطاعة للمولدة التي تم تغيير عزمها الخارجي

3- نحسب التيار الموافق للاستطاعة المنزوعة

$$I = \frac{\Delta S}{\sqrt{3}U_n} \quad (12)$$

4- نحسب التيار النسبي المنزوع (ΔI^*) بالنسبة للمولدات المتبقية الأخرى :

$$\Delta I^* = \frac{I.e^{j\varphi}}{\sum_{k=2}^{k-1} I_{(k-1)}.e^{j\varphi_{(K-1)}}} \quad (13)$$

حيث : K- العدد الكلي للمولدات المربوطة على التوازي

5- نجد نصيب كل مولد من الحمل المنزوع :

$$\Delta I_{(k-1)} = \Delta I^* . I_{(k-1)} \quad (14)$$

6- نجد تيار كل مولدة بعد التغيير القسري للعزم الخارجي لأحد المولدات :

$$I'_{(k-1)} = I_{(k-1)} + \Delta I_{(k-1)} \quad (15)$$

7- نجد التيار النسبي لكل مولد

$$I'_{(k-1)} = \frac{I'_{(k-1)}}{I_{an}} \quad (16)$$

8- نحسب الاستطاعة الفعلية لكل مولد بالعلاقة التالية

$$P_{(k-1)} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{(k-1)} \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

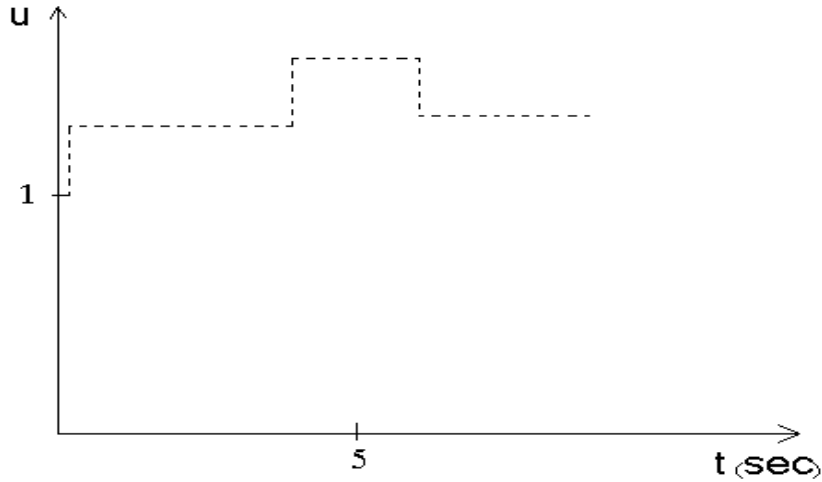
هنا لا بد من التنويه إلى أن الدليل (K-1) هو عدد المولدات المتبقية من مجموع المولدات المرتبطة على التوازي بعد تغيير العزم الخارجي لأحدها . بالعودة إلى مجريات حادثة الفصل المذكورة ، فإنه يمكن القول إن المولدات الأربعة خضعت إلى ثلاث مراحل أساسية حتى لحظة فصل المولدات، في كل منها تغير الجهد والاستطاعة والتردد ونحدد هذه المراحل على الشكل التالي:

المرحلة الأولى : تغيير العزم الخارجي قسرياً للمولدة الرابعة إذ أصبحت استطاعتها (1.5 M W)
المرحلة الثانية : بدأت بعد أربع ثوانٍ من المرحلة الأولى و تم فيها تغير العزم الخارجي للمولدة الثالثة إذ أصبحت استطاعتها (8.5 M W)
المرحلة الثالثة : وبدأت بعد ست ثوانٍ من المرحلة الأولى وهذا الزمن هو زمن الثابت الزمني للمولد المتواقت اللازم لاستجابة دارة التهييج للمولدة الرابعة و بذلك استطاع منظم التهييج الآلي لهذه المنوبة تخفيض الجهد بمقدار ارتفاعه في المرحلة الأولى (في أثناء التغير القسري للعزم الخارجي لهذه المنوبة)، الشكل (5) .
 في كل مرحلة من المراحل السابقة ، يتغير التردد وفق توازن الاستطاعات الفعلية المولدة والمستهلكة في أحمال المصفاة ، فإذا كانت استطاعة التوليد أكبر من استطاعة الاستهلاك ، فإن التردد سيكبر والعكس صحيح كما في الجدول (1)، حيث f_L - التردد في أثناء تساوي استطاعة التوليد مع استطاعة الحمل .
 نشير إلى أنه تم حساب قيم الجهود والاستطاعات الفعلية للمولدات الأربعة بالمراحل الثلاث باستخدام العلاقات السابقة وتدوينها وفق الجدول (1) .

الجدول (1) : قيم الجهود والاستطاعات والتردد أثناء حادثة فصل المولدات في مصفات بانياس بتاريخ 2009/10/6

التردد	(استهلاك) $\sum P$	(توليد) $\sum P$	P ₄ (MW)	P ₃ (MW)	P ₂ (MW)	P ₁ (MW)	U ₂ [*]	رقم المرحلة
f _L <f ₁	18	21	1.75	11.77	3.75	3.75	1.168	الأولى
f ₁ <f ₂	18	24.35	2.74	9.85	5.88	5.88	1.354	الثانية
f ₂ >f ₃	18	21.33	2.4	8.63	5.15	5.15	1.186	الثالثة

بعد الزمن (6sec) لم يستطع فنيو غرفة التوليد الكهربائي فعل أي شيء، حيث استمرت الاستطاعات والتردد بالتأرجح إلى أن تم الفصل ، وهذا ما يؤكد الجدول (1) .



الشكل (5) تغيرات الجهد في أثناء فصل المولدات في مصفاة بانياس (الخط المنقط)

(1 - 2) دراسة ارتفاع الجهد عند نزع حمولة أحد المغذيات

ندرس ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات عند نزع حمولة أحد المغذيات لسبب ما كالقصر مثلاً (نزع حمولة أحد المغذيات 380 A) عن بارات المولدات في يومين منفصلين ، إذ تم تدوين معطيات التشغيل لهذه المولدات من غرفة التوليد الكهربائي مباشرة ، فقد كانت المولدات في اليوم الأول تعمل بشكل مستقل عن الشبكة العامة لتغذية حمل المصفاة ، أما في اليوم الثاني فقد كانت المولدات متصلة مع الشبكة بوساطة محولة الربط وتعطيتها جزءاً من الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى تغذية حمل المصفاة الكهربائي.

1-1-2) عند العمل المستقل للمولدات عن الشبكة العامة و قبل حادثة الفصل بتاريخ 2009/10/6

لقد دونت معطيات التشغيل في هذه الحالة بالفقرات السابقة وكان حمل المحطة الكهربائي في حده الأدنى (M (18 W) . عند نزع حمولة المغذي (380 A) السابق الذكر، يتوزع هذا النقص على حمولة المولدات الأربعة بنفس طريقة تصدي المولدات المربوطة على التوازي لزيادة الحمل وبالتالي يتوزع هذا النقص بالحمل عكساً حسب مفاعلات التوافق للمولدات وطرذاً مع استطاعتهم التحميلية.

بما أن المفاعلات المتوائمة للمولدات الأربعة متماثلة ، إذن يتم توزيع النقص بالحمل حسب استطاعة التحميل لهذه المولدات .

يتم توزيع نقص الحمل على المولدات وفق التسلسل التالي:

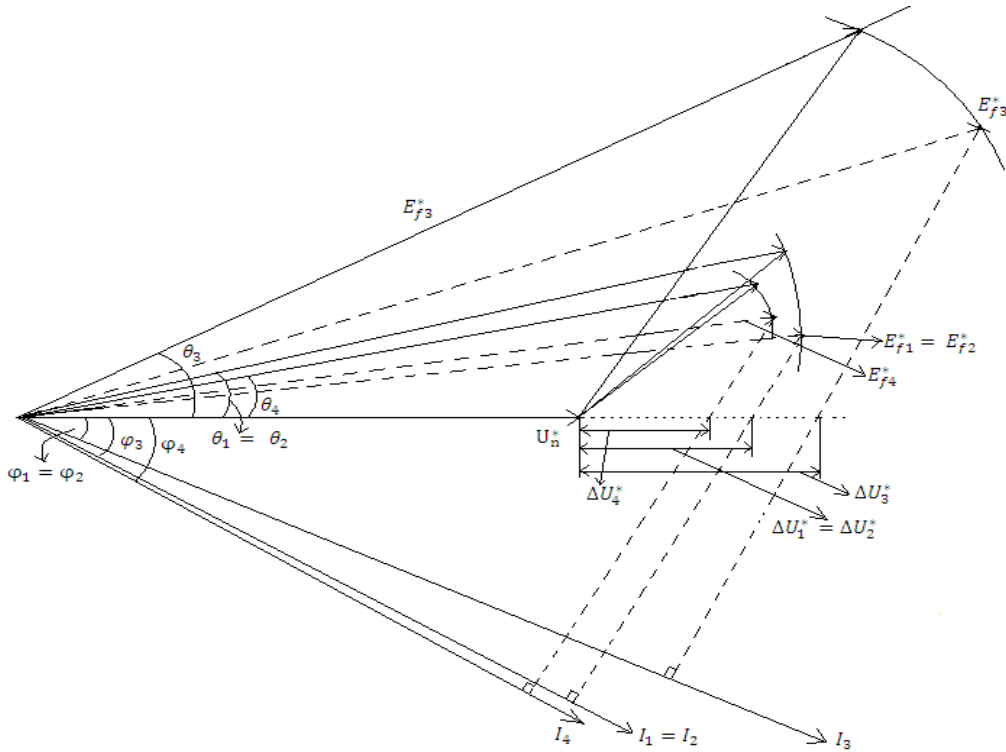
1- نحسب التيار النسبي المنزوع بالنسبة للمولدات الأربعة (ΔI_1^*)

$$\Delta I_1^* = \frac{I_{L0} e^{j\varphi}}{I_1 e^{j\varphi_1} + I_2 e^{j\varphi_2} + I_3 e^{j\varphi_3} + I_4 e^{j\varphi_4}} \quad (18)$$

حيث I_{L0} - قيمة تيار المغذي المنزوع ، φ - زاوية الطور للحمل ، $I_1, I_2, I_3, I_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - تيارات وزوايا الطور للمولدات أثناء التشغيل على التوالي

2- نحسب التيار المنزوع (I') من المولدة ذات التحميل الأكبر وذلك لينتشي حساب ارتفاع الجهد على أقطابها وفق العلاقات (5) و(6) ، حيث المولدة ذات التحميل الأكبر يرتفع جهدها أكثر من ارتفاع الجهد على

المولدات ذات التحميل الأقل في أثناء نزع حمولة أحد المغذيات وذلك لسببين : **الأول** الكبر النسبي لشعاع (E_f^*) بالنسبة للتوتر الاسمي (U_n^*) **الثاني** يكون توزيع نقص الحمولة على المولدة ذات التحميل الأكبر أكثر من نصيب بقية المولدات الأخرى كل على حدة في أثناء نزع حمولة أحد المغذيات .
لذلك لا توجد ضرورة لحساب ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات الأخرى ذات التحميل الأقل المرتبطة على التوازي مع المولدة ذات التحميل الأكبر (الشكل (6)) . يظهر هذا الشكل أن ارتفاع الجهد للمولدة الثالثة (ΔU_3^*) ذات التحميل الأكبر عند نزع حمولة المغذي (380A) أكبر من ارتفاع الجهد على المولدات الأخرى :
 $\Delta U_4^* > \Delta U_1^* > \Delta U_3^*$.



الشكل(6)تناسب ارتفاع الجهد للمولدات المتوافقة في المحطة الحرارية في مصفاة بانياس مع زيادة تحميل هذه المولدات في أثناء نزع حمولة أحد المغذيات

نحصل على التيار (I') من العلاقة التالية:

$$I' = I - \Delta I_1^* . I = I(1 - \Delta I_1^*) \quad (19)$$

ننوه هنا ، إلى أنه لا داعي لإكساب التيار (I) أي دليل وذلك لأنه من المحتمل أن تكون أية مولدة محملة بحمولة أكبر من المولدات الأخرى.

3- نحسب التيار النسبي للمولدة ذات التحميل الأكبر (I'^*) :

$$I'^* = \frac{I'}{I_{an}} \quad (20)$$

4- نطبق العلاقات (8) و (5) و (6) لحساب ارتفاع الجهد على أقطاب المولدة ذات التحميل الأكبر .

الآن نشكل جدولاً من احتمالات توزيع حمل المصفاة يوم 2009/10/6 والمقدر (18 M W) على المولدات الأربعة وذلك بغية التوصل إلى الاحتمال الأفضل بتوزيع الحمل على هذه المولدات الذي من شأنه يكون ارتفاع الجهد بحده الأدنى عند نزع حمولة أحد المغذيات الفجائي الجدول (2) .

الجدول (2) يبين ارتفاع الجهد على المولدة ذات التحميل الأكبر عند توزيع حمل المصفاة على المولدات والموافقة لاحتمالات متعددة بما فيه التشغيل الحقيقي

رقم الاحتمال	استطاعة المولدات (MW)	التيار النسبي للمولدة المستنزفة	E_f^*	ΔI_1^*	I'^*	θ_2	U_2^*
التشغيل الحقيقي	$P_1 = P_2 = 3, P_3 = 9.4, P_4 = 2.6$	0.766	2.267	0.181	0.626	27	1.298
1	$P_1 = P_2 = P_3 = 6$ $\sum P = 18$	0.513	1.83	0.181	0.42	21	1.182
2	$P = 6, P_1 = P_2 = P_3 = 4$ $\sum P = 18$	0.475	1.715	0.181	0.379	22	1.179
3	$P_1 = 9, P_2 = P_3 = P_4 = 4.5$ $\sum P = 18$	0.707	2.126	0.181	0.58	28	1.268
4	$P_1 = 9, P_2 = P_3 = P_4 = 3$ $\sum P = 18$	0.707	2.126	0.181	0.58	28	1.268
5	$P_1 = 10, P_2 = P_3 = 4$ $\sum P = 18$	0.782	2.26	0.181	0.64	29	1.305
6	$P_1 = 10, P_2 = 8$ $\sum P = 18$	0.782	2.26	0.181	0.64	29	1.305

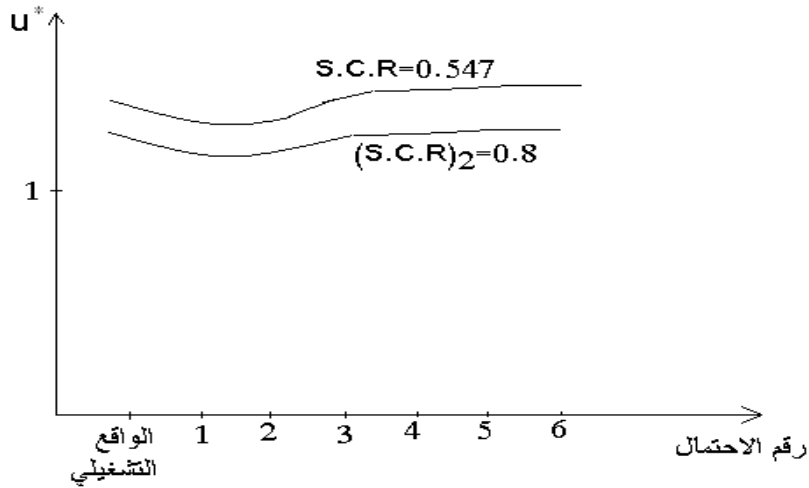
الآن نبين أن قيم ارتفاع الجهد في الجدول (2) عند نزع حمولة أحد المغذيات ، ينخفض إلى قيم ملموسة فيما لو كانت هذه المولدات في مصفاة بانياس تملك نسبة للدائرة القصيرة أكبر من نسبة الدائرة القصيرة الحالية لهذه المولدات و لتكن $(S.C.R)_2 = 0.8$ وبالتالي مفاعله التوافق لكل مولده تصبح حسب العلاقة (2) $(X_c^* = 1.375)$ وهي أقل من مفاعلة التوافق الحقيقية $(X_c^* = 2.01)$.

عند إجراء الحساب كما في الجدول (2) لكل احتمال من احتمالات توزيع الحمولة على المولدات، تتغير فقط البرامترات التالية $(U_2^*), (\theta_2), (E_f^*)$ ، بينما تحافظ البرامترات الأخرى على ثباتها لكل احتمال . ندون البرامترات المتغيرة بالجدول (3) كما يلي :

الجدول (3) يبين انخفاض الجهد على أقطاب المولدات كما هو عليه في الجدول (2) فيما لو كانت المولدات في مصفاة بانياس تمتلك نسبة للدارة القصيرة أكبر من نسبة الدارة القصيرة الحقيقية

رقم الاحتمال	(S.C.R)	E_f^*	O_2	U_2^*
التشغيل الحقيقي	0.8	1.822	22.77	1.182
1	0.8	1.54	17.12	1.114
2	0.8	1.46	17.49	1.111
3	0.8	1.723	23.14	1.163
4	0.8	1.723	23.14	1.163
5	0.8	1.81	24.5	1.187
6	0.8	1.81	24.5	1.187

الآن نرسم منحني تغير الجهد على أقطاب المولدات أثناء نوع حمولة المغذي (380 A) بدلالة رقم الاحتمال لتوزيع الحمولة على المولدات وفقاً لنسب للدارة القصيرة مختلفة الشكل (7) .



الشكل (7) منحنيات تغير الجهد على أقطاب المولدات في مصفاة بانياس بدلالة رقم احتمال توزيع الحمل في أثناء نزع المغذي 380 ووفقاً لنسب داره قصيرة مختلفة

(2-1-2) - عند الربط المتوازي للمولدات مع الشبكة العامة وينفس الوقت تغذي أحمال المصفاة الكهربائية

ندون معطيات تشغيل المولدات المرتبطة على التوازي مع حمل المصفاة الكهربائي و الشبكة العامة على الشكل

التالي:

$$P_1 = 10.7Mw, \cos \varphi_1 = 0.818; P_2 = 5.3Mw, \cos \varphi_2 = 0.805; P_3 = 5,2Mw, \cos \varphi_3 = 0.79;$$

$$P_4 = 5.8Mw, \cos \varphi_4 = 0.83.$$

الاستطاعة المعطية للشبكة كانت بحدود 3 M W وكان مجموع التيار الصادر عن المولدات بحدود (3038 A) . هذه المعطيات كانت بتاريخ 2010/1/13 . ندرس ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات عند نزع حمولة المغذي (380A) .

بالطريقة نفسها كما في الفقرة السابقة نشكل الجدول (4) المماثل للجدول (3) من احتمالات توزيع حمولة المولدات عند وصلهم على التوازي لكن نضيف إليه خانة أخرى تعبر عن نسبة أعلى استطاعة إلى أصغر استطاعة للمولدات العاملة على التوازي (P_L^*) .

الجدول (4) - يبين ارتفاع الجهد للمولدة المستنزفة عند ربط المولدات مع الشبكة وحمل المصفاة و الموافق لاحتمالات مختلفة لتوزيع حمولة المولدات بما فيهم التشغيل الحقيقي

P_l^*	U_2^*	θ_2	I^*	ΔI_1^*	E_f^*	التيار النسبي للمولدة المستنزفة	استطاعة المولدات (Mw)	رقم الاحتمال
2.06	1.243	58	0.764	0.125	2.469	0.873	$P_1 = 10.7; P_2 = 5.3;$ $P_3 = 5.2;$ $P_4 = 5.7 \sum P = 27$	التشغيل الحقيقي
2.4	1.256	35	0.793	0.125	2.448	0.904	$P_1 = 12.0; P_2 = P_3 = P_4 = 5$ $\sum P = 27$	1
1.75	1.21	33	0.665	0.125	2.18	0.756	$P_1 = 10; P_2 = P_3 = P_4 = 5.666$ $\sum P = 27$	2
1.5	1.182	31	0.597	0.125	2.05	0.683	$P_1 = 9; P_2 = P_3 = P_4 = 6;$ $\sum P = 27$	3
1.6	1.256	35	0.793	0.125	2.448	0.904	$P_1 = 12.0; P_2 = P_3 = 7.5;$ $\sum P = 27$	4
1.176	1.21	33	0.665	0.125	2.18	0.756	$P_1 = 10; P_2 = P_3 = 8.5;$ $\sum P = 27$	5
1.38	1.168	30	0.564	0.125	1.98	0.645	$P_1 = 8.5; P_2 = P_3 = P_4 = 6.166;$ $\sum P = 27$	6

يتضح من الجدول (4) أنه كلما كانت النسبة (P_L^*) صغيرة ، كلما كان أفضل لاستثمار المولدات من ناحية ارتفاع الجهد، إذ يشير الاحتمال (6) إنه الأفضل من بقية الاحتمالات لاستثمار المولدات من ناحية التخفيف من ارتفاع الجهد عند نفس قيمة الطاقة المنزوعة عن بارات التجميع لبقية الاحتمالات. كما يشير الجدول إنه من الأفضل تشغيل كافة المولدات لتغطية الحمل بالكامل وذلك لأن ارتفاع الجهد يبقى ثابتاً رغم أن النسبة (P_L^*) تختلف من احتمال إلى آخر (الاحتمالات (4,1) و (5,2)) .

ننوه إلى أن للربط على التوازي للمولدات مع الشبكة العامة أثناء تغذية أحمال المصفاة الكهربائية فوائد كبيرة من ناحية التحكم بتوزيع الاستطاعة الكلية بين المولدات و بالتالي إمكانية التحكم بالنسبة (P_L^*) وجعلها أصغر ما يمكن مما ينعكس إيجاباً على التخفيف من ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات عند نزح الحمولة المفاجئ بشرط الإبقاء على استطاعة إحدى المولدات توافق قيمة الاستطاعة المستنزفة لتأمين الضغط (16 Bar) .

من أسوأ شروط استثمار المولدات من ناحية ارتفاع الجهد على أقطابها عند نزع الحمولة المفاجئ أن تعمل هذه المولدات بشكل مستقل عن الشبكة العامة و لاسيما إذا كانت حمولة المصفاة الكهربائية بحدودها الدنيا (الفقرة السابقة) ، إذ يمكن ملاحظة هذا الأمر من مقارنة نتائج الجدولين (3) و(4) .

ضمن هذه الظروف التشغيلية يمكن تحسين شروط الاستثمار للمولدات من ناحية ارتفاع الجهد ولو كانت حمولة المصفاة بحدودها الدنيا وذلك بربط هذه المولدات على التوازي مع الشبكة العامة وبذلك يمكن زيادة استطاعة المولدات كافة ، حيث زيادة استطاعة المولدات عن استطاعة حمل المصفاة تذهب إلى الشبكة العامة ولكن بنفس الوقت نكون قد قمنا بتصغير النسبة (P_L^*) التي تنعكس إيجاباً على التخفيف من ظاهرة ارتفاع الجهد على أقطاب المولدات أثناء نزع الحمولة المفاجئ.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- لنسبة الدارة القصيرة (S.C.R) دور مهم في تحديد ارتفاع الجهد للمولدات المتوازية عند نزع الحمولة المفاجئ ، إذ يوجد تناسب عكسي بين نسبة الدارة القصيرة وارتفاع الجهد فكلما كانت هذه النسبة قريبة من الواحد الصحيح كان ارتفاع الجهد عند نزع الحمولة المفاجئ أقل ما يمكن الشكل(4) . وفقاً لذلك ، فإن ميل منحنى ارتفاع الجهد يكون كبيراً للمولدات في مصفاة بانياس بدلالة نزع الحمولة المفاجئ لأن نسبة الدارة القصيرة لهذه المولدات صغيرة نسبياً (المنحني باللون المنقط على الشكل (4)) .

2- يخفف الربط المتوازي للمولدات المتوازية في مصفاة بانياس من دور نسبة الدارة القصيرة في تحديد ارتفاع الجهد عند نزع الحمولة المفاجئ مقارنة مع عمل كل مولد على حده مع الحمل ويعود ذلك إلى أن نزع الحمولة المفاجئ يتوزع على المولدات الأربعة المرتبطة على التوازي فتقل حصة النزع لكل مولد عنه فيما لو تحمل مولد بمفرده نزع الحمولة.

3- تم تحديد نزع الحمولة للمولدات المتوازية في مصفاة بانياس بطريقتين : الأولى بوساطة التغيير القسري للعزم الخارجي والثانية بوساطة نزع أحمال بعض المغذيات لسبب ما ، حيث ارتفاع الجهد في الطريقة الأولى يكون أكثر وضوحاً وخطورة من الطريقة الثانية.

4- التغيير القسري للعزم الخارجي للمولدات في مصفاة بانياس غير المتزامن يؤدي إلى تغيرات مختلفة بارتفاع الجهد لكل مولد الشكل (5) ، إذ لا تستطيع منظمات التهبيج الآلية للمولدات تثبيت الجهد في هذه الحالة، إذ يقوم منظم التهبيج لأول مولدة حدث على عزمها الخارجي تغيير قسري بإعادة الجهد إلى ما كان عليه بعد مرور زمن الثابت الزمني لمولد المتوازي المقدر (6 Sec) ولكن لا يستطيع منظم التهبيج لثاني مولده حدث على عزمها الخارجي تغيير قسري لاحق كما جرى في حادثة الفصل بتاريخ 2009/10/6 إعادة جهد هذه المولدة لأن زمن الفصل بحماية ارتفاع الجهد المقدر (8 Sec) يكون سابقاً لزمن الثابت الزمني لهذه المولدة ، علاوة على ذلك يحدث في هذه الحالة تذبذب سريع بالاستطاعات والتردد وفقاً لكل تغيير بالجهد الجدول (1) .

5- عند الربط المتوازي للمولدات في مصفاة بانياس بغض النظر إذا كانت متصلة مع الشبكة العامة أم لا ، فإن ارتفاع الجهد على المولدة المستتزة عند نزع حمولة بعض المغذيات المفاجئ هو الذي يحدد ارتفاع الجهد للمولدات الأربعة مجتمعة ، وكلما كان نزع الحمولة أكبر كلما انعكس على ارتفاع الجهد الجدول (2) و (4) .

- 6- كلما كانت النسبة (P_L^*) صغيرة كلما انعكس إيجاباً على التخفيف من ارتفاع الجهد عند نزع حمولة بعض المغذيات المفاجئ بشرط أن تعمل المولدات الأربعة معاً على التوازي لتغذية حمل المصفاة الكهربائي.
- 7- يلعب الربط المتوازي للمولدات الأربعة في المصفاة مع الشبكة العامة في أثناء تغذية حمل المصفاة الكهربائي دوراً مهماً في التخفيف من ارتفاع الجهد في أثناء نزع حمولة بعض المغذيات الفجائي ، إذ يمكن تصغير النسبة (P_L^*) إلى أقل ما يمكن ولو كان حمل المصفاة في حده الأدنى.
- 8 - العمل المستقل للمولدات المتوافقة في المصفاة عن الشبكة العامة أثناء تغذية حمل المصفاة الكهربائي يؤدي إلى ظروف استثمارية سيئة من ناحية ارتفاع جهد المولدات أثناء نزع حمولة بعض المغذيات الفجائي وذلك بسبب عدم إمكانية تصغير النسبة (P_L^*) إلى حد يسمح بتخفيض ارتفاع الجهد إلى حد مقبول لا سيما إذا كان حمل المصفاة الكهربائي في حدود دنيا
- 9- يفضل في أثناء الاستثمار أن لا تتجاوز استطاعة المولده المستتزة 8.5 M W وذلك لإمكانية التحكم بتصغير النسبة (P_L^*) بغاية التخفيف من ارتفاع الجهد عند نزع حمولة بعض المغذيات الفجائي ، كما يفضل أن تكون استطاعة المولدات الثلاثة الأخرى متساوية.

المراجع:

- [1] -TEST REPORT , No. 300122, *Alternator 12 Mw*, BUCAREST, 1977 and its modification, 2004, 47.
- [2] - IVANOF-SMOLANSKY, A.V. *Electrical machines*. 3rd.ed., Ezdatelsky Dom, MEIE, Moscow, 2006, 1186 .
- [3] - جبور ، الياس ؛ الجازي ، علي . الآلات التزامنية . منشورات جامعة دمشق ، 2008 ، 532 .
- [4] - KARAYAKA, H.B; KEYHANI, G. T.; HEYDT, B.L. ; AGRAWAL, D.A. *synchronous generator model identification and pparameter estimation from operating data*. I IEEE trans , on energy conrevsion, 18, No. 1, selin, 2003 PP. 121-126.
- [5]-KATSMAN,M.M. *Electrical Machines*.9nd.ed.,Ezdatelsky, Tsenter" Akademea", Moscow,2008,496.
- [6]-TIN,W.M.;MYO,M.A.*Simulation of Synchronous Machine in Stability Study for Power System*,Word Academy of Science, Engineering and Technology,39,2008,128-133.
- [7] - جبور، الياس ؛ الجازي ، علي . الآلات الكهربائية - 4- الآلات التزامنية- الجزء العملي . منشورات جامعة دمشق ، 2005 ، 381 .
- [8] - ELECTRO PUTERE, CRAIOVA-ROMANIA, no.055, *erection and operation instructions for reactance coil*, type B.R 6-10 kv., 1976,14.
- [9]-CUI,Y.; H.W.DOMMEL;W.XU(2004).A *Comparative Study of Two Synchronous Machine Modeling Techniques for EMTP Simulation* ,IEEE Trans on Energy Conversion ,19,No,2,pp.462-465
- [10]- DALLIRROOy FARD, R;KARRARI,O.P;MALIK-*Synchronous Generator Model Identification Using Volterra Series*, IEEE,PES-General Meeting , June 2004, 2,p.1344-1349