

## استخدام معطيات اللوحة الاسمية لتحديد خواص القصر الثلاثي للمولد المتواقت أسطواني الدائر

الدكتور زيد بدر\*

(تاريخ الإيداع 5 / 12 / 2006 . قبل للنشر في 14 / 5 / 2007)

### □ الملخص □

يتمحور البحث حول إمكانية رسم منحنى القصر ثلاثي الطور للمولد المتواقت ذي الدائر الأسطواني من دون إجراء التجربة، اعتماداً على أربع من معطيات اللوحة الاسمية. لتحقيق هذه الغاية تم كتابة برنامج معتمداً على الأسس الرياضية لتشكيل مثلثات القصر للمولدات المتواقتة. يتوقف الحساب في هذا البرنامج عندما يمرر المتحرض تياراً نسبياً مساوياً للواحد الصحيح بتقريب (0.05%) أثناء التهييج بالتيار ( $I_{fsh}$ ) في حالة القصر. في كل مرحلة من مراحل الحساب، يجب أن يكون تيار التهييج الاسمي ( $I_{fn}$ ) مساوياً للمجموع الهندسي لتياري التهييج عند القصر ( $I_{fsh}$ ) وعند العمل على فراغ ( $I_{fb}$ ). تظهر نتائج البحث الدور الأساسي لعامل الاستطاعة في رسم مثلثات القصر للمولدات المتواقتة وأيضاً في رسم منحنى نسبة الدارة القصيرة (S.C.R) ومنحنيات أخرى أثناء التشغيل : عامل التحميل الزائد (K)، زاوية الحمولة ( $\theta$ ) وتياري التهييج الاسمي وعند القصر بالوحدات النسبية ( $I_{fn}^*$ ), ( $I_{fsh}^*$ ) في حين لا تتأثر هذه المنحنيات ببرامترات اللوحة الاسمية الثلاث الأخرى المدروسة في البحث.

**كلمات مفتاحية:** المولدات المتواقتة اسطوانية الدائر - اللوحة الاسمية - خصائص القصر ثلاثي الطور.

\* أستاذ مساعد في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Using Data of Nominal Nameplate for Determination of the Characteristics of the Short Circuit of Three -Phase Non-Salient-Poles Synchronous Generators

Dr. Zeid Bader \*

(Received 5 / 12 / 2006. Accepted 14/5/2007)

### □ ABSTRACT □

This paper studies the possibility of drawing curve of three phase short circuit of synchronous generator without a laboratory experiment depending on only four data at nominal Nameplate. To do that, software has been built up depending on mathematical bases for making short triangles.

This software will stop from calculation when the relative current of the armature becomes nearly equivalent to one by error with (0.05%). In addition to that, the nominal ( $I_{fn}$ ) must be equal to geometrical total of excitation current at short circuit ( $I_{fsh}$ ) and open circuit ( $I_{fb}$ ) in each step from calculation steps in the software.

Results show the main role of power factor in drawing the short triangles of synchronous generators, the curve (S.C.R) and other curves, and two exciting ( $\theta$ ) curves during work: over loading factor (K), loading angle currents for nominal and short circuit systems ( $I_{fn}^*$ ), ( $I_{fsh}^*$ ). On the other hand, these curves are not affected with the three parameters considered in the paper of the Nominal Nameplate.

**Keywords:** Synchronous Generators, Nominal Nameplate, Characteristics of Three Phase Short Circuit.

---

\*Associate Professor, Department of electrical energy, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## المقدمة:

يستخدم القصر ثلاثي الطور في تحليل خواص المولد المتواقت لا سيما في تعيين منحنيات الأداء لهذه الآلات التي تلعب دوراً مهماً في قبول المولد أو رفضه عند اختيار مجموعة التوليد المناسبة. نستطيع بوساطة مثلث القصر ثلاثي الطور الحصول على أهم برامترات الآلة لاسيما مفاعلة التواقت ( $X_d$ ) ونسبة الدارة القصيرة (S.C.R) ورد فعل المتحرض وميزة القصر التي بدورها تحدد تيارات القصر عند مختلف أنظمة تهيج المولد المستخدم. يتم عادة، الحصول على مميزة القصر الثلاثي عن طريق إجراء تجربة القصر عملياً على المولد، فعند تغير تيار التهيج ( $I_f$ )، نحصل على قيم مختلفة لتيار المتحرض / القصر/ ويتشكل لدينا التابع الخطي  $I_k=f(I_f)$  بشرط تثبيت سرعة الدوران الاسمية. يتم في هذا البحث الحصول على هذه الميزة بطريقة أسهل بكثير وبدون إجراء التجربة، معتمداً على أربع فقط من معطيات اللوحة الاسمية للمولد المتواقت. تم إجراء هذا البحث في العام الدراسي 2005-2006 في جامعة تشرين، مستخدماً كمبيوترات مخبر البحث العلمي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

## الهدف من البحث:

توجد علاقة وطيدة بين معطيات اللوحة الاسمية للمولد المتواقت مثل : الاستطاعة الظاهرية الاسمية، التوتر الاسمي، تيار التهيج الاسمي وعامل الاستطاعة الاسمي وبرامترات المولد التصميمية الإنشائية والتحليلية [1,2] وبذلك يمكن الاعتماد على هذه المعطيات في تحديد هذه البرامترات التي بدورها تلعب دوراً أساسياً في تحديد مميزات المولد المتواقت لا سيما ميزة القصر ثلاثي الطور ورسم مختلف منحنيات القصر وعلاقة هذه المنحنيات ببرامترات العمل الاسمي.

## أهمية البحث:

تكمن أهمية نتائج البحث فيما يلي:

- 1-الحصول على منحنيات القصر من دون إجراء التجربة، معتمداً على بعض من معطيات اللوحة الاسمية.
- 2- تابة برنامج حاسوبي يربط بين بعض من معطيات اللوحة الاسمية وخواص القصر ثلاثي الطور للمولدات المتواقتة .
- 3-إمكانية اكتشاف عيوب في صنع المولد المتواقت عند عدم المساواة بين تيار التهيج الاسمي المدون على اللوحة الاسمية ( $I_{fn}$ ) والمجموع الهندسي لتياري التهيج عند العمل على فراغ ( $I_{fb}$ ) وعند القصر ( $I_{fsh}$ ) وفقاً للمعادلة (10) في سياق البحث.

**طريقة البحث:**

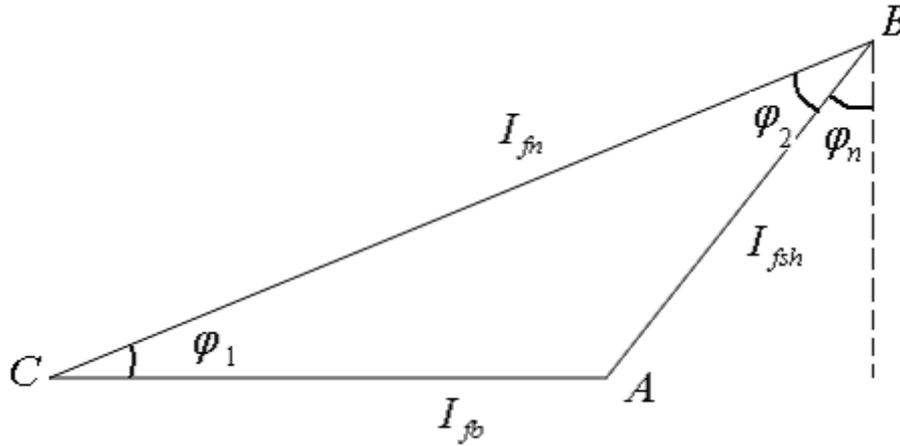
تم اعتماد المنهجية التحليلية في البحث ويتلخص بما يلي:

- 1- تم استنتاج الصيغ الرياضية للعلاقات بين تيارات التهيج للمولدات المتواقتة عند العمل الاسمي وفي حالتى العمل على فراغ والقصر ثلاثى الطور وربطها مع خصائص القصر لهذه المولدات.
- 2- تم كتابة برنامج حاسوبى لإجراء البحث والتوصل إلى النتائج.

**تحليل العلاقة بين تيارات التهيج الموافقة للعمل على فراغ وعند القصر وأثناء العمل الاسمي للمولد المتواقت****أسطوانى الدائر:**

عند العمل المستقر للمولد المتواقت، فإن القوة المحركة المغناطيسية الكلية فى الثغرة الهوائية هي المجموع الهندسى للقوتين المحركتين المغناطيسيتين عند العمل على فراغ وعند التحميل.

وبما أن نظام القصر للمولد المتواقت هو نظام تحميل من نوع خاص، ينتج عن هذا التحميل تيار تحريضي بحت تقريباً، ويكون رد فعل المتحرض طولانى مزيل للمغنطة وبذلك يمكن اعتبار تيار التهيج الاسمي ( $I_{fn}$ ) المجموع الهندسى لتيارى التهيج على فراغ ( $I_{fb}$ ) وعلى قصر ( $I_{fsh}$ ) [3,4,5]. يمكن رسم مخطط هذه التيارات على الشكل التالى:



الشكل (1) - مخطط تيارات التهيج أثناء العمل الاسمي للمولد المتواقت

حيث : OA - تيار التهيج على فراغ ( $I_{fb}$ ) ، AB - تيار التهيج عند القصر ( $I_{fsh}$ ) ،  
OB - تيار التهيج الاسمي.  
اعتماداً على الشكل (1) نكتب العلاقات التالية:

$$\frac{I_{fsh}}{\sin \varphi_1} = \frac{I_{fb}}{\sin \varphi_2} \quad (1)$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 90 - \varphi_n \quad (2)$$

يمكن كتابة العلاقة (1) بالشكل التالى:

$$\frac{I_{fb}}{I_{fsh}} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} \quad (3)$$

يمثل الكسر  $\frac{I_{fb}}{I_{fsh}}$  نسبة الدارة القصيرة للمولدات المتوافقة (S.C.R) ، هذه النسبة مستوحاة من ميزة القصر الثلاثي الطور للمولدات المتوافقة:

$$S.C.R = \frac{I_{kn}}{I_{an}} = \frac{I_{fb}}{I_{fsh}} \quad (4)$$

حيث،  $I_{kn}$  -تيار القصر الاسمي.

تتراوح قيمة النسبة (S.C.R) في المراجع العلمية [1,2] للمولدات المتوافقة أسطوانية الدائر ضمن المجال [0.4-1.2] وبالتالي يمكن كتابة العلاقة (3) بالشكل التالي:

$$[0.4 - 1.2] = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} \quad (5)$$

نفرض أن المتحول (B) يعبر عن جميع قيم المجال السابق أثناء إنشاء برمجية البحث ويتغير ضمن المجال السابق بخطوة حسابية صغيرة جداً وبالتالي :

$$B = [0.4 - 1.2] \quad (6)$$

بعد معالجة العلاقتين (5) و(2) نحصل على العلاقة التالية:

$$\text{tag } \varphi_2 = \frac{B \cdot \cos \varphi_n}{1 + B \cdot \sin \varphi_n} \quad (7)$$

تخولنا العلاقة (7) لإيجاد الزاوية ( $\varphi_2$ ) من الشكل (1) بدلالة عامل الاستطاعة ونسبة الدارة القصيرة، بعد ذلك نجد الزاوية ( $\varphi_1$ ) من نفس الشكل، اعتماداً على العلاقة (2) الآن بعد إيجاد الزاوية ( $\varphi_1$ )، يمكن إيجاد تيارات التهبيج ( $I_{fb}$ ) و( $I_{fsh}$ ) من الشكل (1) كما يلي:

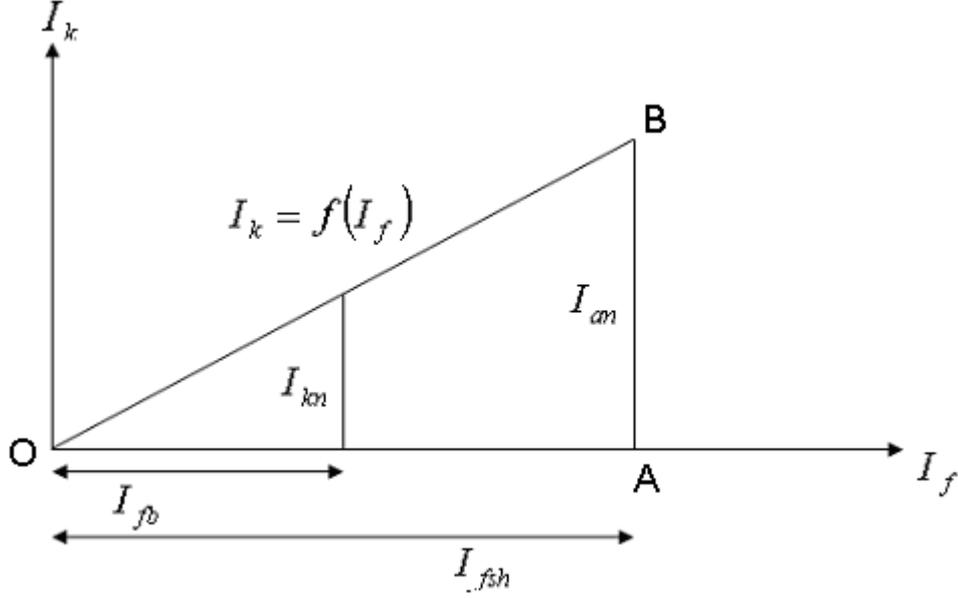
$$I_{fsh} = \frac{I_{fn} \cdot \sin \varphi_1}{\cos \varphi_n} \quad (8)$$

$$I_{fb} = I_{fn} \cdot \cos \varphi_1 - I_{fsh} \cdot \sin \varphi_n \quad (9)$$

أما تيار التهبيج الاسمي ( $I_{fn}$ ) فيمكن حسابه بالعلاقة التالية:

$$I_{fn} = \sqrt{(I_{fb} + I_{fsh} \cdot \sin \varphi_n)^2 + (I_{fsh} \cdot \cos \varphi_n)^2} \quad (10)$$

دراسة العلاقة بين برامترات اللوحة الاسمية للمولد المتواقت أسطواني الدائر وعناصر مثلث القصر الثلاثي الطور. يعتبر المثلث (OAB) على الشكل (2) المحدد الأساسي لمنحني مميزة القصر الخطية  $I_k=f(I_f)$  أو بالأحرى هذه المميزة تنطبق على وتر هذا المثلث.



الشكل (2) - مثلث القصر للمولد المتواقت

من الشكل السابق يتضح أنه عندما يمر في ملف التهييج بحالة القصر التيار  $/OA/-(I_{fsh})$  ، فإن المتحرض يمرر تيار الحمل الاسمي  $/AB/-(I_{an})$  ، لذلك المميزة الخطية  $I_k=f(I_f)$  تتحد بشنئيتين من النقاط ضمن الإحداثيات  $(I_k, I_f)$  وهما:

$$1-(0,0) \quad 2-(I_{an}, I_{fsh})$$

تلعب الثنائية الثانية الدور الأساسي في تحديد مثلث القصر وبذلك نحصل على نسبة الدارة القصيرة (S.C.R) التي بدورها تحدد مفاعلة التوافق النسبية  $(X_d^*)$  كما يلي:

$$S.C.R = \frac{1}{X_d^*} \quad (11)$$

نحصل بسهولة على الجزء الأول من المزدوجة الثانية  $(I_{an})$  من معطيات اللوحة الاسمية  $(S_n, U_n)$  ، بينما نحصل على الجزء الثاني من نفس المزدوجة بمساعدة العلاقات التالية: (7,2,8) على التوالي.

برامتر آخر من معطيات اللوحة الاسمية - عامل الاستطاعة الاسمي  $(\cos \varphi_n)$  - يلعب دوراً كبيراً في تحديد العلاقة (7) التي بدورها تلعب الدور الأكبر وبشكل غير مباشر في تحديد تيار التهيج  $(I_{fsh})$  حسب العلاقات (2,8) كما ورد أعلاه.

كما سنرى لاحقاً من نتائج برمجية البحث أنه بتغيير عامل الاستطاعة وفقاً للعلاقة (7) وأيضاً بتغيير خطوة الحساب ضمن مجال تغير نسبة الدارة القصيرة (B)، نحصل على قيم مختلفة للزوايا  $(\varphi_1, \varphi_2)$  من الشكل (1)، بنتيجة ذلك نستطيع حساب تيارات التهيج عند القصر  $(I_{fsh})$  لكل مرحلة من مراحل الحساب، آخذاً بالاعتبار البرامتر الرابع من اللوحة الاسمية - تيار التهيج الاسمي  $(I_{fn})$  - وفقاً للعلاقتين (8,9).

عندما يبلغ تيار المتحرض  $(I_a)$  أثناء تشغيل برمجية البحث تيار المتحرض الاسمي  $(I_{an})$  أثناء التهيج بالتيار  $(I_{fsh})$  تتوقف برمجية البحث عن الحساب لتتشكل لدينا الثنائية الثانية لمميزة القصر المحدد الرئيسي لمثلث القصر. من الجدير ذكره أن تيار التهيج الاسمي  $(I_{fn})$  في كل مرحلة من مراحل الحساب في برمجية البحث، يجب أن يساوي المجموع الهندسي لتياري التهيج على فراغ  $(I_{fb})$  وعند القصر  $(I_{fsh})$ .

#### أسس تشكيل برمجية البحث للحصول على مثلث القصر بدون إجراء التجربة:

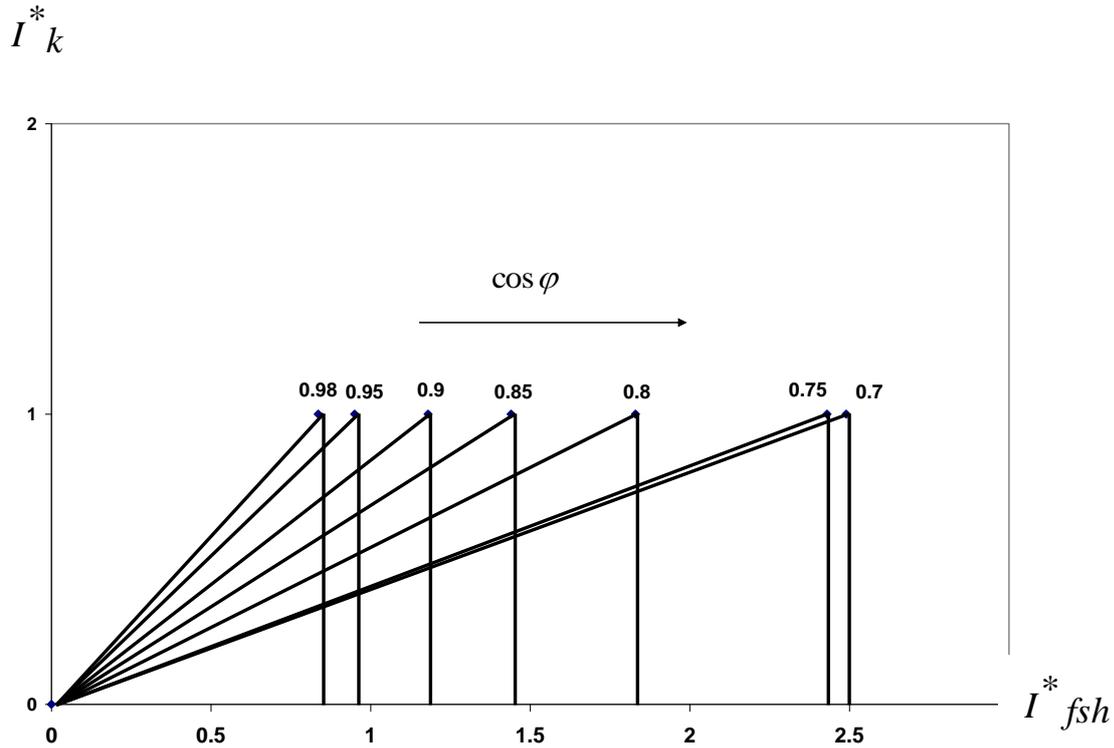
إنشاء برمجية البحث يعتمد على الأسس التالية:

- 1- معرفة أربع معطيات من اللوحة الاسمية للمولد المتواقت أسطوانتي الدائر: -الاستطاعة الاسمية الظاهرية  $(S_n)$  -التوتر الاسمي  $(U_n)$  - عامل الاستطاعة الاسمي  $(\cos \varphi_n)$  وتيار التهيج الاسمي  $(I_{fn})$ .
  - 2- إيجاد تيار التهيج عند القصر  $(I_{fsh})$  وعند العمل على فراغ  $(I_{fb})$  تبعاً لكل خطوة حسابية في برمجية البحث، اعتماداً على تغير كلاً من عامل الاستطاعة الاسمي ونسبة الدارة القصيرة ضمن الحدود المسموح بها، حيث نسبة الدارة القصيرة تتغير بخطوة حسابية صغيرة جداً مفترضة.
  - 3- حساب القوة المحركة الكهربائية النسبية  $(E_f^*)$  الناتجة عن ظروف التهيج ومقارنتها مع القوة المحركة الكهربائية النسبية  $(E_{f1}^*)$  الناتجة عن ظروف التحميل عند كل خطوة حسابية في برمجية البحث.
  - 4- عند تساوي القوى المحركة السابقة بخطأ قدره (0.05%)، نحسب هبوط الجهد النسبي  $(I_a^*.X_c^*)$  ونقارنه مع مفاعلة التواقت النسبية  $(X_c^*)$  التي تحسب في كل خطوة حسابية فعندما يتساويان بنفس الخطأ السابق، يتوقف الحساب في البرنامج لأننا نكون قد حصلنا على تيار نسبي للمتعرض  $(I_a^*)$  مساوياً بالتقريب السابق للواحد الصحيح، أي أن المتعرض يمرر تياراً مساوياً لتيار المتحرض الاسمي  $(I_{an})$  عند تهيج المولد بحالة القصر بالتيار  $(I_{fsh})$  وبذلك يمكن الحصول على طرفي الثنائية الثانية المذكورة أعلاه المحدد الأساسي لمثلث القصر للمولد المتواقت.
- فيما يلي البرنامج الحاسوبي الذي يتضمن جميع المراحل السابقة أعلاه:

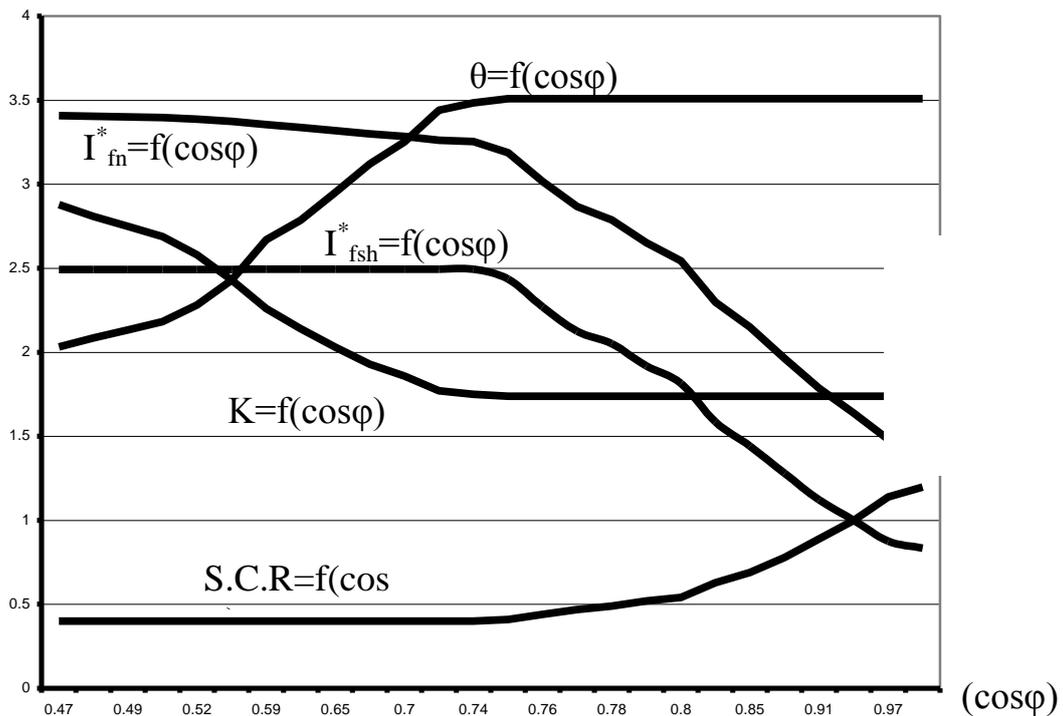
```

H:\FOR77\PROGRAM.FOR
PROGRAM BARAM1
REAL SN,UN,QN,IFN,Q,Y1,Y2,Y3,Q2,Q1,Q3,Q4,IAN,Q5,Q6,Q7,EF,EF1
REAL IFB,IFN1,B,R2,R3,X1,IKN,IFB1,X,X2,Pmax,K,EF2,IA,IFSC
WRITE(*,*)'SN=?','UN=?','QN=?','IFN=?'
READ(*,*) SN,UN,QN,IFN
OPEN(1,FILE='MER')
IAN=SN/(1.732*UN)
Y1=ACOS(QN)
Y2=(Y1*180.)/3.141
Q5=SIN(Y1)
Q=90.-Y2
DO 20 B=0.4,1.2,0.001
Y3=B*QN/(1.+B*Q5)
Q2=ATAN(Y3)
Q3=(Q2*180.)/3.141
Q1=Q-Q3
Q4=(Q1*3.141)/180
R2=SIN(Q4)
R3=COS(Q4)
IFN1=(IFN*R2)/QN
IFN1=(IFN*R2)/QN
IFB=(IFN*R3)-(IFN1*Q5)
EF=IFN/IFB
DO 40 K=1.74,2.92,0.001
Pmax=QN*K
X1=1./B
EF1=Pmax*X1
IF(EF1.GT.EF) GOTO 20
Q6=ASIN(1./K)
Q7=(Q6*180.)/3.141
IF(EF1.GE.0.997*EF.AND.EF1.LE.1.002*EF) GOTO 9
GOTO 40
9 X=SQRT((EF**2+1)-2*EF*COS(Q6))
IA=X/X1
IFSC=IFN1/IFB
IKN=B*IAN
IF(X.GE.0.997*X1.AND.X.LE.1.002*X1)THEN
GOTO 10
ENDIF
40 CONTINUE
GOTO 40
9 X=SQRT((EF**2+1)-2*EF*COS(Q6))
IA=X/X1
IFSC=IFN1/IFB
IKN=B*IAN
IF(X.GE.0.997*X1.AND.X.LE.1.002*X1)THEN
GOTO 10
ENDIF
40 CONTINUE
20 CONTINUE
10 WRITE(*,30)IFN1,IFB,K,X,X1,EF,EF1
30 FORMAT(1X,'IFN1=',F8.3,1X,'IFB=',F8.3,1X,'K=',F6.3)
*,1X,'X=',F5.3,1X,'X1=',F5.3,1X,'EF=',F5.3,1X,'EF1=',F5.3)
WRITE(*,36)IAN,IKN,IA,B
36 FORMAT(1X,'IAN=',F8.3,1X,'IKN=',F8.3,1X,'IA=',F5.3,1X,'B=',F4.2)
WRITE(*,37)IFSC,Q7,QN
37 FORMAT(1X,'IFSC=',F5.3,1X,'Q7=',F6.3,1X,'QN=',F4.2)
END

```



الشكل (3) - تأثير عامل الاستطاعة على ميل مثلثات القصر للمولد المتواقت



الشكل (4) - تغيير البرامترات :  $I_{fn}^*$ ,  $I_{fsh}^*$ ,  $\theta$ ,  $K$ ,  $S.C.R$  بدلالة عامل الاستطاعة  $(\cos \varphi)$  حيث  $S.C.R$  -نسبة الدارة القصيرة،  $K$  -عامل التحميل الزائد،  $\theta$  - زاوية الحمل للمولد المتواقت ،  $I_{fn}^*$  -تيار التهيج الاسمي،  $I_{fsh}^*$  -تيار التهيج بحالة القصر .

## مناقشة وتحليل نتائج برمجية البحث:

تشير نتائج برمجية البحث إلى مايلي:

- 1- عند رسم مثلثات القصر ضمن الإحداثيات  $(I_a^*; I_{fsh}^*)$  الشكل (3)، اتضح أن ميل ميزة القصر يرتفع كلما كبر عامل الاستطاعة، في حين هذا الميل لا يتغير عند تغير بقرية برامترات اللوحة الاسمية المذكورة أعلاه.
- 2- تتأثر بعض المنحنيات المبينة على الشكل (4) بعامل الاستطاعة، خاصة بعد أن يبلغ 75% من قيمته، بينما هذا الكلام لاينطبق على جميع المنحنيات.
- 3- تم مقارنة نتائج برمجية البحث بما يخص قيمة نسبة الدارة القصيرة وقيمة تيارى التهبيج على فراغ  $(I_{fb})$  وعند القصر  $(I_{fsh})$  أثناء العمل الاسمي مع نتائج التجارب التي أجراها الخبراء الرومان على بعض المولدات المتواقتة التي تملك نفس معطيات اللوحة الاسمية المدروسة في البحث عند القصر وعلى فراغ أثناء العمرة عام 2004 في مصفاة بانياس [6]، واتضح أن الخطأ بالنتائج لا يتجاوز (2%).

## الاستنتاجات:

- 1- استنتاج علاقة بين نسبة الدارة (S.C.R) وعامل الاستطاعة  $(\cos \varphi)$  وبين زوايا المثلث، المعبر عن المخطط الشعاعى لتيارات التهبيج، العلاقة (7) - الشكل (1) .
- 2- استنتاج علاقات لحساب تيارات التهبيج عند العمل على فراغ  $(I_{fb})$  وأثناء القصر ثلاثى الطور  $(I_{fsh})$  بدلالة عامل الاستطاعة  $(\cos \varphi)$  وتيار التهبيج الاسمي  $(I_{fn})$ ، العلاقات (8,9) .
- 3- تحديد العلاقة بين برامترات اللوحة الاسمية وميزة القصر الثلاثى الطور للمولد المتواقت أسطوانى الدائر .
- 4- إمكانية رسم مثلث القصر لأي مولد متواقت، اعتماداً على أربع معطيات من اللوحة الاسمية:- الاستطاعة الاسمية الظاهرية  $(S_n)$  - التوتر الاسمي  $(U_n)$  - تيار التهبيج الاسمي  $(I_{fn})$  - عامل الاستطاعة الاسمي  $(\cos \varphi_n)$  بدون إجراء التجربة وبمساعدة الحاسب.
- 5- تغير عامل الاستطاعة للمولد المتواقت يلعب دوراً مفصلياً في تغير بنية مثلث القصر، في حين تغير البرامترات الثلاثة الأخرى المدروسة أعلاه من اللوحة الاسمية لا يلعب هذا الدور .
- 6- تم رسم عدة منحنيات بدلالة عامل الاستطاعة  $(\cos \varphi)$  :- منحنى نسبة الدارة القصيرة (S.C.R) - منحنى تيار التهبيج النسبي عند القصر الثلاثى الطور  $(I_{fsh})$  - منحنى تيار التهبيج الاسمي النسبي  $(I_{fn}^*)$  - منحنى التحميل الزائد (K) للمولد المتواقت أثناء التشغيل \_ منحنى زاوية الحمولة  $(\theta)$  للمولد المتواقت أسطوانى الدائر عند التشغيل الشكل (4)، عند رسم هذا المنحنى، تم اعتبار أن كل تدريجة على محور العينات يمثل 10 درجات من زوايا الحمولة.

## المراجع:

- 1- WEEBER K.,MEMBER,IEEE - *Determination of Dynamic Parameters of Large Hydro-Generators by Finite-Element Simulation of Three Phase Sudden Short - Circuit Tests*, GE Hydro,Generator Engineering, Pererborough, ONK9J7B5, Canada, 1997. P.MCI-1.MCI-3.
- 2- General Electric Company,*Generator Protection Panel*, 1501 Roanoke Blvd.Salem,VA 24153-6492 USA, 4-2006 , web - URL,2001-04-1,p-6.  
<[www.geindustrial.com/products/applications/GEI-100478.pdf](http://www.geindustrial.com/products/applications/GEI-100478.pdf)>
- 3-OCEN E.L, SHAKAREN U.G. -*Electrical Machienes –Synchronous Machienes -* Moscco, Veshia Shkola ,1990. P.304
- 4-TOKAREF B.V. -*Electrical Machienes -Mosccow*, Enegoatmoezdat ,1990. P.624
- 5- ب.ل.تيراجا - مسائل محلولة في الهندسة الكهربائية - منشورات دار الفجر - حلب - 1982 - ترجمة وإعداد المهندس عبد الله البزاعي. ص.616.
- 6- Test Report, No: 300122, ALTERNATOR 12 Mw, Bucarest, 1977 and its Modification 2004.P.47