

## تحسين شكل منحني جهد الخرج للمولد المتوافقت الأحادي الطور

الدكتور غسان حايك \*

(قبل للنشر في 2003/10/7)

### □ الملخص □

من المعلوم أن بعض قطاعات الصناعة والإنتاج تتطلب التغذية الكهربائية من منابع أحادية الطور. ونظراً لأهمية الحصول على جودة إنتاج عالية فإنه من الضروري أن يكون جهد الخرج المغذي لهذه الآليات الإنتاجية ذو شكل جيبي تماماً لكي يتحقق الأداء الأمثل. لكن الطرق التقليدية المستخدمة للحصول على جهد خرج عالي الجودة ومستقر من منابع أحادية الطور لا تسمح بالحصول على معامل تشوه أقل من 10 % ، وبالتالي تحدث اضطرابات تقلل من جودة التغذية الكهربائية .

سنقدم في هذه الدراسة اقتراح لطريقة جديدة تسمح بالحصول على جهد خرج محسن من المولدات المتوافقة الأحادية الطور بحيث لا يتجاوز معامل التشوه والانحراف القيمة 5 % . وهذا يتوافق مع الحدود القياسية المسموحة عالمياً ، بحيث نحصل على كفاءة عالية وصفات مميزة لموجات الجهد والتيار ، الأمر الذي يسمح بدوره بتحسين جودة الإنتاج وزيادة المردود في قطاع الصناعة وغيره من القطاعات التي تتطلب تغذية أحادية الطور بجودة عالية .

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

## Improving the Output Voltage Curve of Single-Phase Synchronous Generator

Dr. Ghassan Hayek \*

(Accepted 7/10/2003)

### □ ABSTRACT □

Many industrial sections require single phase feeding, with a high quality of output voltage, according to desired production characteristics.

The classical methods used to obtain such a stable voltage from single-phase sources, do not allow to get a distortion factor less than (10 % ), which causes a drop in the electrical feeding quality .

In this study, we try to introduce a new method for getting rid of the previous disadvantages, improve the output voltage of single-phase synchronous generators, and obtain a distortion coefficient that does not exceed (5 % ). This is in agreement with the internationally allowed standards.

So we do not only have a high quality of output voltage of these sources, but also an increase in the efficiency of the industrial sectors, which require such a high quality of single-phase electrical feeding.

---

\* Lecturer At Electrical Power Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

## مقدمة:

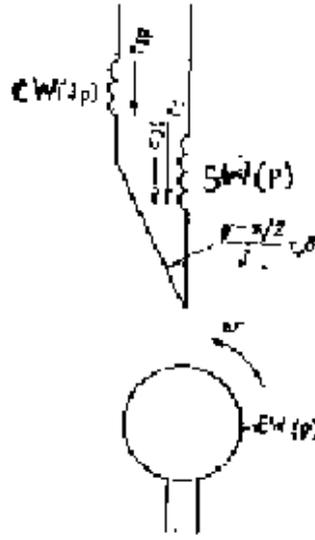
تعتمد الطرق التقليدية المعروفة لتأمين نوعية جهد خرج للمولدات الأحادية الطور بمواصفات عالية على استخدام دارات إخماد بتصاميم مختلفة وحجوم مقبولة، أو على استخدام نظام مؤلف من مبدلة أنصاف نواقل داخل الآلة المراد التحكم بتهيجها أو تنظيم سرعتها. لكن هذه الطرق المذكورة لا تؤمن الحصول على جهد الخرج المطلوب بمعامل تشوه أقل من 5% بالإضافة إلى سوء المواصفات الديناميكية والنوعية لها. كما أن الطريقة التي تعتمد على تغذية الأحمال الأحادية الطور بنوعية جهد خرج عالي الجودة من منابع (مولدات متوافقة) ثلاثية الطور غير مناسبة أيضاً بسبب صعوبة تحقيق الاتزان (التناظر) في تحميل أطوار هذه المولدات ، وبالتالي استخدامها بشكل غير كامل .

سنقدم في هذا البحث طريقة لتحسين منحنى جهد الخرج للمولدات الأحادية الطور عن طريق إجراء تغيير في البنية التركيبية لهذه المولدات الأحادية الطور .

## طريقة البحث:

كما هو معروف فإن تشوه شكل منحنى جهد الخرج في المولدات المتوافقة (المتزامنة) يكون ناتجا عن المدروجات الفردية الزمنية العليا في منحنى الق.م.ك المتحرضة ، الناشئة في ملف الثابت (stator - SW - winding) بسبب وجود المركبة المتناوية المتوافقة العكسية لرد فعل المتحرض وعدم تناظر أو تماثل عناصر ملف الدائر المتعامد (الطولاني - العرضاني) . عندئذ فإن تشوه منحنى جهد الخرج ينشأ عملياً بسبب المدروج الزمني الثالث (Third time harmonic - TTH) للقوة المحركة الكهربائية ( $e_{3t}$ ) الذي يملك قيمة كبيرة. ومن الجدير ذكره أن قيمة معامل التشوه لمنحنى جهد الخرج في المولد المتوافق الأحادي الطور (SG - synchronous generator) عند عدم وجود ملف إخماد تصل إلى 25% . إن فكرة الطريقة المقترحة الجديدة لتحسين منحنى جهد الخرج للمولد المتوافق الأحادي الطور تكمن في تعويض المدروج الزمني الثالث (TTH) للقوة المحركة الكهربائية ( $e_{3t}$ ) في دارة الملف (SW) وذلك عن طريق استخدام ملف تعويض (compensation - CW winding) يتوضع في مجاري الثابت بشكل مشترك مع الملف (SW) ويولد جهد بتردد مساوي إلى تردد المدروج الثالث للحقل المغناطيسي الموزع فراغياً (Third space harmonic - TSH) .

إن توضيح الفكرة الجديدة بشكل دقيق سيتم من خلال الدارة الأساسية للمولد التزامني الأحادي الطور المبين على الشكل (1) .



شكل (1) الدارة الأساسية للمولدة المتوافقة الأحادية الطور (SG) ذات جهد الخرج المحسن

- . SW . ملف القوى (الثابت) .
- . CW . ملف التعويض .
- . EW . ملف التهيج .

من أجل توليد جهد من المدروج الثالث للحقل المغناطيسي لملف التعويض الإضافي (CW) يكون مناسباً تنفيذ المولد الأحادي الطور (SG) بعدد أقطاب أكبر بثلاث مرات (أي مضاعفة عدد الأقطاب ثلاث مرات) ، وباعتبار أن قيمة المدروج الثالث الزمني لد.ق.م.ك للملف (SW) تتناسب طردياً أي خطياً مع تيار الحمولة للمولد وتساوي الصفر عند العمل على فراغ فإنه للحصول على تعويض كامل لهذا المدروج في كل مجالات الحمولة ، أي من حالة العمل على فراغ وحتى القيمة الأسمية عندئذ يتوجب أن نحصل على علاقة تناسب طردي بين توزع المدروج الثالث للحقل المغناطيسي وتيار الحمولة .

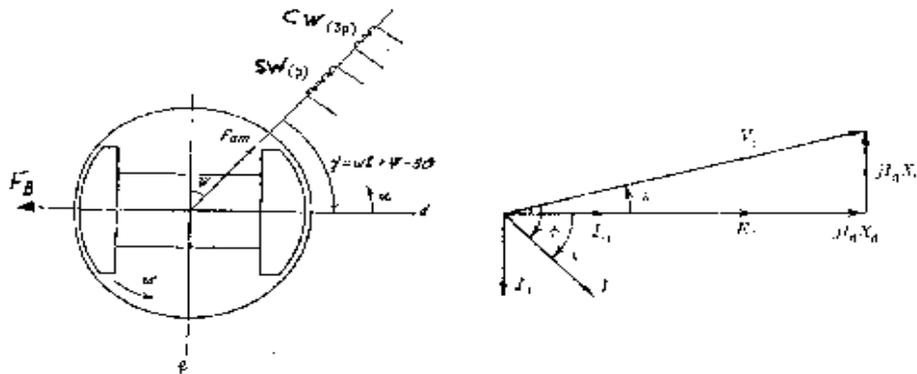
كما هو معروف من [3] أن العلاقة بين المدروج الثالث للحقل المغناطيسي والحمولة يمكن تأمينها من أجل معامل تغطية قطبية تساوي تقريباً  $a = 2/3$  والتي تكون عندها المركبة التوافقية الثالثة لحقل التهيج مساوية للصفر . وبشكل عام فإنه من أجل التعويض الكلي (الكامل) للمدروج الثالث الزمني في المولد المتوافقت الأحادي الطور يجب تحقيق الشرطين التاليين :

1. تأمين تعاكس طوري بين الد.ق.م.ك المعوّضة والمعوّضة في دارة القوى للمولد.
2. تساوي القيم المطلقة للقيم المشار إليها في البند الأول.

في الحالة العامة وتبعاً لنظام العمل ولبارامترات الأطوار في المولد (SG) فإن الد.ق.م.ك للملفين (SW) و (CW) وكذلك السيالة المغناطيسية التي تسبب نشوء هذه الد.ق.م.ك تكون مختلفة وبالتالي وبهدف تحقيق التعويض لنظام عمل معين للمولد (SG) يكون ضرورياً التحديد الصحيح للتوضع المتبادل بين الملفات (SW) و (CW) وذلك بهدف تأمين التعاكس الطوري للقوى المحركة الكهربائية  $e_{3t}$  و  $e_{3p}$  وكذلك التحديد الصحيح لعدد

$$\text{لفات الملف (CW) انطلاقاً من شرط المساواة: } E_{3t} = E_{3p}$$

من أجل هذا لابد من دراسة زوايا الـ ق.م.ك المشار إليها سابقاً عند توضع معين للملفات (SW) و (CW) وذلك تبعاً لبارامترات ونظام عمل المولد (SG) ، عدا عن ذلك فإنه من الضروري معرفة قيمة  $E_{3t}$  وكذلك مطال التوافقية الثالثة لحقل التحريض (Third field harmonic – TFH) من أجل اختيار عدد لفات (CW) للنظام الذي يتحقق فيه التعويض الكلي (عادة يكون النظام الأسمي) . وتجدر الملاحظة إلى أنه حتى يومنا هذا فإن مسائل دراسة وحساب المدرجات العليا للـ ق.م.ك في المولدة المتوافقة الأحادية الطور (SG) لم تنال قسطاً كافياً من الأهمية ، فمثلاً في المرجع [1] درست هذه المسائل بشكل نوعي وفي المراجع [2] و [4] تم إعطاء طرق حسابية معقدة وغير دقيقة بينما في المرجع [7] لم يؤخذ بالاعتبار تأثير الإشباع ولم يتم تحديد الوضع الزاوي للـ ق.م.ك الناتجة عن التوافقية الزمنية الثالثة (TTH). لندرس الآن الـ ق.م.ك الناشئة عن المدرج الثالث أو التردد  $3f$  الناشئة في الملفات (SW) و (CW) وذلك عند تساوي أو تطابق الـ ق.م.م للملفات (SW) و (CW) كما هو مبين على الشكل (2) .



شكل (2) يوضح كيفية نشوء المدرج الزمني الثالث للـ ق.م.ك في الملف SW (e3t) والـ ق.م.ك للملف CW. وكيفية استخراج معادلاتهما .

إن إسقاط ق.م.م للملف (SW) على محاور الدائر،  $q$   $d$  تساوي إلى:

$$t \text{ Cos} \gamma \quad \quad \quad W_{F_{adm}} = F_{am} \text{ Cos} \quad \quad \quad (1)$$

$$t \text{ Sin} \gamma \quad \quad \quad W_{F_{aqm}} = F_{am} \text{ Cos}$$

حيث أن  $g = \frac{\omega}{c} \omega t + y - \frac{p}{2} \frac{\ddot{\theta}}{\theta}$  هي الإحداثي الفراغي للمحور  $d$  للدائر الذي يدور بالنسبة للمحور الساكن للملف (SW) .

إن معادلات هذه الـ ق.م.م بعد الأخذ بعين الاعتبار توزيعها الفراغي بالنسبة للدائر تمتلك الشكل التالي :

$$t W_{F_{ad}} = F_{am} \text{ Cos} \text{ Cos} \gamma \text{ Cos} \alpha \quad \quad \quad (2)$$

$$t \text{ Sin} \gamma \text{ Sin} W_{F_{aq}} = F_{am} \text{ Cos} \alpha$$

حيث أن  $a$  هي الأحداثي الفرعي بالنسبة لمحور الدائر الطولاني .

**ملاحظة:** تم الاقتراح في أن يكون الملف (SW) في المولد (SG) ثنائي الأطوار بإزاحة زاوية مقدارها  $120^\circ$ .  
إذا ضربنا المعادلة (2) بسلسلة السماحيات للتفرجة الهوائية :

$$I(a) = I_0 + I_2 \cos a + I_4 \cos a + \dots$$

عندها فإنه يمكننا الحصول على معادلات التحريض المغناطيسي بحسب المحاور  $q, d$  ونكتفي فقط بالمدرجات الفراغية الاثنتين الأوليتين :

$$B_{ad} = F_{am} \cos \omega t \cos \frac{e}{\delta} \cos a \left[ I_0 + \frac{I_2}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} + \cos 3a \frac{\ddot{\phi}}{\phi} + \frac{I_4}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} \right] = B_{ad1} + B_{ad3} \quad (3)$$

$$B_{aq} = -F_{am} \cos \omega t \sin \frac{e}{\delta} \sin a \left[ I_0 - \frac{I_2}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} + \sin 3a \frac{\ddot{\phi}}{\phi} - \frac{I_4}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} \right] = B_{aq1} + B_{aq3}$$

ويمكننا إيجاد الفيض المغناطيسي للملف (SW) الناتج عن حقل الاستقطاب الأساسي لـ  $B_{ad1}, B_{aq1}$  بعد أن نضع في المعادلة (3) القيمة التالية :

$$a = -y = \frac{p}{2} - \omega t - y \dots \dots \dots (4)$$

فنحصل على المعادلة التالية :

$$- \frac{I_2}{4} \cos(3\omega t + 2y) \frac{\ddot{\phi}}{\phi} \dots \dots \dots (5)$$

حيث أن:

$$C_1 = \frac{2}{p} t \times l \times W \times K_w \dots \dots \dots (6)$$

و  $t$  هي الخطوة القطبية.

$W, K_w$  - على الترتيب عدد اللفات ومعامل اللف للمدروج الأساسي للملف SW في المولد المتواقت (SG) .  
-  $l$  الطول الحسابي للألة .  
أما الق.م.ك الناتجة عن التحريض الذاتي للملف (SW) بعد الأخذ بعين الاعتبار المعادلة (5) تساوي إلى :

$$e_{sw} = - \frac{dy_{sw}}{dt} = C_1 F_{am} \cdot w \frac{e_0}{e} \sin wt - \frac{I_2}{4} \sin(wt + 2\gamma) - 3C_1 F_{am} w \frac{I_2}{4} \sin(3wt + 2\gamma) \dots \dots \dots (7)$$

وما يهمنا هنا هو الحد الثالث من المعادلة [7] الذي يعبر عن المدرج الزمني الثالث للـ ق.م.ك  $e_{3t}$  للملف (SW) والتي تسبب نشوء حقل متغير (نبضي) ، فقط في حال عدم التناظر بين الملفات (الطولاني \_ العرضاني) لملف الدائر، والذي ينشأ بسبب القيمة الأعظمية للتوافقية الثانية للسماحية  $I_2$  والتي تساوي بحسب المرجع [5] :

$$I_2 = \frac{m_0}{d \cdot K_d} \cdot (K_d - K_q) \dots \dots \dots (8)$$

حيث أن:  $K_d$  ،  $K_q$  هي معاملات شكل الحقل الناتج عن رد فعل المتحرض الطولاني (حسب المحور d) والعرضاني (المحور q)، وبحسب المرجع [1] فإن :

$$K_d = \frac{B_{ad1m}}{B_{adm}} , K_q = \frac{B_{aq1m}}{B_{aqm}}$$

وبهذا الشكل نستطيع الحصول على المدرج الثالث الزمني (أو التوافقية الزمنية الثالثة). للـ ق.م.ك للملف (SW) في المولدة المتوافقة الأحادية الطور (SG) بدون الأخذ بعين الاعتبار تيارات ملفات الدائر:

$$e_{3t} = - 3C_1 F_{am} w \frac{I_2}{4} \sin(3wt + 2\gamma) = - E_{3tm} \sin(3wt + 2\gamma) \dots \dots \dots (9)$$

حيث أن :

$E_{3tm}$  هي مطال (القيمة الأعظمية) لـ  $e_{3t}$  .

- والقيمة الفعالة للـ ق.م.ك  $e_{3t}$  تساوي:

$$E_{3t} = \frac{3w}{4\sqrt{2}} C_1 F_{am} \cdot I_2 \dots \dots \dots (10)$$

وكما نعلم بأن  $w = 2\pi f$  ، و  $f$  هو تردد المولدة (SG) .

- إذا أخذنا بعين الاعتبار المعادلات (6)، (8) والمساواة  $w = 2\pi f$  ، فإن المعادلة المعبرة عن القيمة الأعظمية للـ ق.م.ك تكون بالشكل التالي:

$$F_{am} = \frac{2\sqrt{2}}{\rho} \cdot \frac{W \times K_w}{P} \cdot I$$

والمعادلة (10) تأخذ الشكل التالي:

$$E_{3t} = \frac{6 \times f \times W^2 \times K_w^2 \times m_0 \cdot t \cdot l}{\rho \cdot P \cdot d \cdot K_d} \cdot (K_d - K_q) I \dots \dots \dots (11)$$

فإذا أردنا التعبير عن المعادلة (11) من خلال المفاعلات التحريضية الطولانية والعرضانية  $X_{aq}$  ،  $X_{ad}$  للملف (SW) حيث أن هذه المفاعلات تساوي:

$$X_{ad} = \frac{4 \cdot f \cdot W^2 \times K_w^2 \cdot m_0 \cdot t \cdot l}{\rho \cdot P \cdot d \cdot K_d} \cdot K_d$$

$$X_{aq} = \frac{4 \cdot f \cdot W^2 \times K_w^2 \cdot m_0 \cdot t \cdot l}{\rho \cdot P \cdot d \cdot K_d} \cdot K_q$$

عندئذ فإن المعادلة (11) نكتب بالشكل التالي:

$$E_{3t} = 1.5 (X_{ad} - X_{aq}) I \dots \dots \dots (13)$$

تسمح المعادلة الناتجة (13) بحساب قيمة المدروج الزمني الثالث لا ق.م.ك (SW) في المولدة (SG) عن طريق الد.ق.م.م المتغيرة (النبضية) للملف (SW) وذلك في حالة ملفات الدائر مفتوحة .  
وتعتبر المعادلة (13) عن الحالة الفيزيائية لظهور  $e_{3t}$  ، الذي يعتبر السبب الأول لظهورها هو عدم التناظر المغناطيسي (عدم التماثل أو التساوي) لملف الدائر الطولاني . العرضاني . إذا اعتبرنا انه في الآلات المتواقتة الأحادية الطور الحقيقية (SG) تلعب ملفات الدوار بحسب المحاور  $d$  ,  $q$  دور ملفات الإخماد بالنسبة للمركبات المتموجة (النبضية) المتغيرة للسيالة المغناطيسية للملف SW بحسب هذه المحاور  $d$  ،  $q$  . عندئذ فإنه عند حساب المدروج الزمني الثالث لا ق.م.ك في الملف SW في الآلات الحقيقية ، يجب علينا أن نضع في المعادلات (13) المفاعلات التحريضية المكافئة والمناسبة لكل حالة مكان  $X_{ad}$  ،  $X_{aq}$  فنحصل على:

$$E_{3t} = 1.5 (X_{ad} - X_{aq}) I; \dots \dots \dots (13,a)$$

. بالنسبة للآلات التي تحوي دارة إخماد (ملفات إخماد) طولانية:

$$E_{3t} = 1.5 (X_{ad} - X_{aq}) I; \dots \dots \dots (13,b)$$

. وبالنسبة للآلات التي تحوي على ملفات إخماد عرضانية :

$$E_{3t} = 1.5 (X_{ad} - X_{aq}) I; \dots \dots \dots (13,c)$$

. وبالنسبة للآلات التي تحوي على ملف إخماد متعامد (طولاني - عرضاني) أي قفص إخماد كامل:

$$E_{3t} = 1.5(X_{ad} - X_{aq})I \dots\dots\dots (13,d)$$

حيث أنه في المعادلات [(13a), (13d)] :

$$X_{ad} = X_d - X_{oa} ; X_{ad} = X_d - X_{oa} ; X_{aq} = X_q - X_{oa}$$

علما أن  $X_d, X_q, X_{oa}$  هي المفاعلة التحريضية العابرة وفوق العابرة الطورية للملف في المولدة (SG) بحسب المحاور (q,d) على الترتيب .

$-X_{oa}$  المفاعلة التحريضية التسريية للملف (SW) والناشئة بسبب تسرب المجاري الجبهي (المتغير) .

. وتجدر الملاحظة أنه في المعادلات (13.d) ÷ (13.a) يكون ضروريا وضع القيم المشبعة للبارامترات الموافقة

لنظام عمل المولد المتوافق الأحادي الطور (SG) الذي نحسب من أجله قيمة  $E_{3t}$  .

- الآن سنقوم بدراسة نشوء أو ظهور الد.ق.م.ك ذات التردد الثلاثي المضاعف  $3f$  في الملف (CW) الذي يمتلك

عدد اقطاب ثلاثي الأضعاف بالنسبة للمدروج الثالث للحقل الفراغي

(TFH)، وذلك عند تطابق محاور مجموعات اللف الأولية للملفات (SW)، (CW) الشكل (2) عندما

$a \gg 2/3$  وكذلك عند غياب (عدم وجود) المركبة التوافقية الثالثة لحقل التهيج .

يمكننا إيجاد قيمة الفيض المغناطيسي عبر الملف (CW) والناشئة عن حقل التحريض المغناطيسي للتوافقية الثالثة

$B_{ad3}, B_{aq3}$ ، وذلك بعد الأخذ بالاعتبار تعويض المعادلة (4) في المعادلة (5) فنحصل على :

$$y_{k.o} = C_3 \left[ (B_{ad3})_{a=-y} + (B_{aq3})_{a=-y} \right] = - C_3 F_{am} \frac{eI}{g} \frac{2}{4} \cos (wt + y)$$

$$+ \frac{I}{4} \cos (3wt + 2y) - \frac{I}{4} \cos (3wt + 4y) - \frac{I}{4} \cos (5wt + 4y) \dots\dots\dots (14)$$

$$C_3 = \frac{2}{p} \cdot \frac{t}{3} I \cdot W_{ko} \times K_{ko} \quad \text{حيث أنه:}$$

$K_{ko}, W_{ko}$  . على الترتيب هي عدد اللفات ومعامل اللف للملف (CW) للمدروج الثالث للحقل الفراغي .

- ما يهمنا في المعادلة (14) فقط مركبات التردد الثلاثي (المدروج الثالث)، أي بمعنى الحد الثاني والثالث من

القوس، ولهذا السبب سنأخذهم فقط في الحسابات اللاحقة بعين الاعتبار .

وبحسب المرجع [5] لدينا :

$$I_2 = \frac{m_o}{d \cdot K_d} (K_{d3} + K_{q3}) ; \dots\dots\dots (15)$$

$$I_4 = \frac{m_o}{d \cdot K_d} (K_{d3} + K_{q3}) ;$$

حيث أن :

$$K_{q3} = \frac{B_{aq3m}}{B_{aqm}}; K_{d3} = \frac{B_{ad3m}}{B_{adm}}$$

معاملات المدروج الثالث للحقل الناتج عن رد فعل

المتحرض بحسب المحور الطولاني والمحور العرضاني .

. إذا أخذنا المعادلة (15) بعين الاعتبار، فإن المعادلة (14) ستأخذ الشكل التالي :

$$y_{k.o} = -C_3 \frac{m_0}{d.K_d} \cdot F_{am} \frac{K_{d3}}{2} \sin \sin y (3wt + 3y) +$$

$$+ \frac{K_{q3}}{2} \cos y \cos (3wt + 3y) \dot{y} =$$

$$= -y_{ad3} \sin(3wt + 3y) - y_{aq3} (3wt + 3y) \dots \dots \dots (16)$$

وحيث أن :

$$y_{ad3} = C_3 F_{am} \cdot \frac{m_0}{d.K_d} \cdot \frac{K_{d3}}{2} \cdot \sin y$$

$$y_{aq3} = C_3 F_{am} \cdot \frac{m_0}{d.K_d} \cdot \frac{K_{q3}}{2} \cdot \cos y$$

وال ق.م.ك المتولدة في الملف (CW) تساوي :

$$e_{3q} = - \frac{dy_{ko}}{dt} E_{ad3m} \cos 3(wt + y) - E_{aq3m} \sin 3(wt + y) =$$

$$= \sqrt{E_{ad3m}^2 + E_{aq3m}^2} \cos 3(wt + y + b) \dots \dots \dots (17)$$

حيث أن :

$$b = \frac{1}{3} \arctg \frac{E_{aq3m}}{E_{ad3m}} \dots \dots \dots (18)$$

علماً أن :

$E_{ad3m}$ ،  $E_{aq3m}$  - هي القيم الأعظمية للمدروج الثالث لد.ق.م.ك الناتجة عن رد فعل المتحرض بحسب المحور الطولاني والعرضاني على الترتيب

$$E_{ad3m} = \frac{4\sqrt{2}m_0 \times \times l}{p.d.K_d} \cdot \frac{W^2_{k.o.} K^2_{k.o}}{P} K_{d3} \cdot I \cdot \sin y \quad \dots\dots(19)$$

$$E_{aq3m} = \frac{4\sqrt{2}m_0 \times \times l}{p.d.K_d} \cdot \frac{W^2_{k.o.} K^2_{k.o}}{P} K_{q3} \cdot I \cdot \cos y$$

إن الدراسة والتحليل الفيزيائي للمعادلات (17 ÷ 3) ، تبين لنا بأن ال ق.م.ك  $e_{3p}$  تنشأ فقط عن التوافقية الثالثة (المدرج الثالث) للحقل الفراغي للمركبة المتوافقة لرد فعل المتحرض للملف (SW). وتبعاً لمواصفات

الحمولة للمولدة المتوافقة الأحادية الطور (SG) فإن الزاوية  $b$  يمكن أن تقع في المجال  $\frac{\pi}{6} \leq \frac{p}{\phi} \leq \frac{\pi}{3}$ .

مثلاً عند حمولة تحريضية صرفة وعند غياب المركبة العرضانية لرد فعل المتحرض فإن:  $B_{aqm3} = 0$  و  $E_{aqm3} = 0$  ، فإن  $b = 0$ .

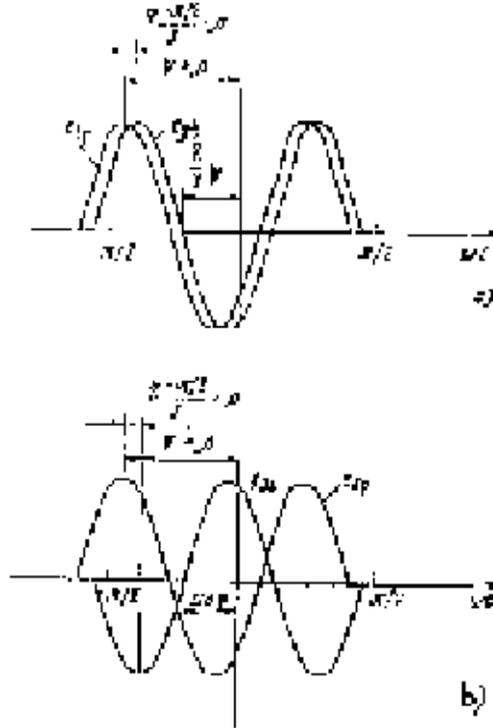
أما عند افتراض غياب المركبة الطولانية لرد فعل المتحرض ( $E_{adm3} = 0$  ،  $B_{adm3} = 0$ ) ، فإن:  $b = p/6$ .

- بهذا الشكل فإن المعادلة الناتجة (7) و(17) لل ق.م.ك  $e_{3t}$  الناشئة في (SW) وكذلك ل  $e_{3p}$  الناشئة في (CW) تكون من أجل توافق أو تطابق المحاور المغناطيسية لمجموعات اللف الأولية أو الأساسية لها .

- من دراسة وملاحظة المعادلة (13,d) → (13,a) و(7) فإننا نلاحظ ، بأنه تبعاً لقيمة إشارة الفرق بين البارامترات المكافئة (المفاعلات التحريضية) بحسب المحور الطولاني والعرضاني فإن ال ق.م.ك  $e_{3t}$  تأخذ قيمة مختلفة. وبدقة أكثر فإنها تمتلك زوايا طورية متعكسة .

. في الآلات المتوافقة الأحادية الطور (SG) الموافقة للحالات المعبر عنها بالمعادلات (13,d) (13,b) و(13,a) وعندما تكون إشارة الفرق المشار إليها أعلاه للبارامترات سالبة فإن منحنيات ال ق.م.ك،  $e_{3p}$  و  $e_{3t}$  تمتلك الاتجاه المتعاكس المبين على الرسم (3,a) ، هذه المنحنيات تعبر عملياً عن حالة خاصة استثنائية لعمل (SG) المعبر عنها بالمعادلة (13,b) وذلك عند كون  $X_{ad} \neq X_{aq}$  (حالة وجود ملفات إخماد طولانية فقط) .

- من الشكل (3) يمكننا ملاحظة وتحديد التوضع المتعاكس (الاتجاه المتعاكس) للملفات (SW),(CW) وكذلك طريقة وصلها ، الأمر الذي يحقق الشرط الأول من شروط التعويض الكلي (الكامل) ل  $e_{3t}$  وهو شرط التعاكس الطوري (الزاوي) ل  $e_{3p}$  ،  $e_{3t}$ .



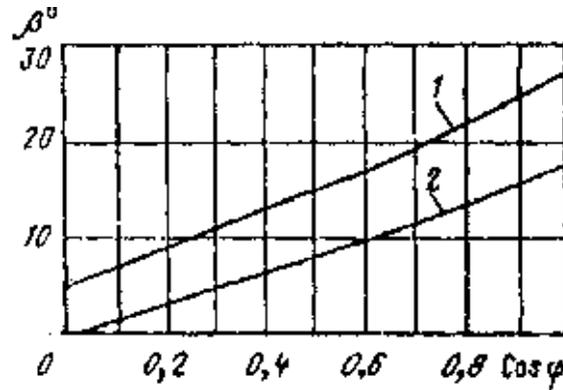
الشكل (3) يوضح التوضع المتبادل لمنحنيات المدروج الزمني الثالث لدق.م.ك (e<sub>3</sub>) في الملف SW وكذلك الدق.م.ك الناشئة عن المدروج الثالث للحقل الفراغي في CW وذلك من أجل تصاميم مختلفة لدارات الإخماد .  
 a . حالة وجود دائرة إخماد طولانية فقط على الدائر .  
 b. جميع الحالات الأخرى .

. في حالة وجود ملفات إخماد طولانية فقط (رسم 3,a) أي عندما تكون  $X_{ad} \approx \tilde{n} X_{aq}$  ، فإن تحقيق هذا الشرط المبين أعلاه (شرط التعاكس الطوري) يتطلب إزاحة الملف (CW) (محور مجموعة الملفات الأولية) بالنسبة للملف SW ، باتجاه دوران الدائر بزواوية  $\frac{y - \frac{p}{2}}{3} + b \gg 10^\circ$  وتوصيله بشكل معاكس للملف (SW) .

. من أجل حالات أخرى لتصميم أو أشكال دارات الإخماد، التي تشكل الحالات الأعظمية الشكل (3,b) فإنه من الضروري إجراء إزاحة مشابهة للملف (CW) بالنسبة للملف (SW) ، ولكن توصيل الملفات يكون متوافقاً (نفس الاتجاه) .

- يمكننا تحديد الزاوية  $y$  عن طريق حسابات معروفة أو بطرق تجريبية (مخبرية) . يمكننا إيجاد الزاوية  $b$  من المنحنيات المبينة على الشكل (4) ، والتي تم الحصول عليها تجريبياً عند العمل الطبيعي للمولدة المتواقتة الأحادية الطور SG بوجود ملفات إخماد (المنحني 1) وبدون مخمدات أو ملفات إخماد الشكل (2) .

إن تأثير ملف الإخماد على الزاوية  $b$  ينشأ عن اختلاف الزاوية  $y$ ، وبالتالي ستتبع لقيم المقادير  $E_{ad3m}$ ,  $E_{aq3m}$  عند وجود ملفات إخماد أو عدم وجودها



الشكل (4) يبين المنحنيات المستخدمة لتحديد الزاوية  $b$  في حالة العمل الطبيعي (النظامي) للمولدة المتواقتة (SG) :

المنحني 1 . حالة وجود دارات إخماد .  
المنحني 2 . حالة عدم وجود دارات إخماد .

. يمكننا بالطبع حساب الزاوية  $b$  وبدقة كافية تقريباً بعد أخذ المعادلات (18) و(19) بعين الاعتبار من العلاقة :

$$b = \frac{1}{3} \arctg \frac{\frac{\alpha K_{q3}}{e K_{d3}} \operatorname{tg} y}{\frac{\delta}{\phi}}$$

حيث أن :

$K_{d3}$ ,  $K_{q3}$  - يمكن أخذها من المرجع [6] وقد تم الإشارة إليها فيما سبق (أو من المراجع المختلفة).

. كما يمكن تحقيق الشرط الثاني للتعويض الكلي لا ق.م.ك للملف  $e_{3t}$  SW ( $E_3 = E_{3t}$ ) في حال معرفة قيمة  $E_{3t}$  عن طريق الاختيار لعدد لفات الملف CW الذي يساوي:

$$W_{k.o} = \frac{E_{3t}}{4.44 f_3 K_{ko} f_3};$$

حيث أن:

$f_3 = 3f$  هو التردد المضاعف الثلاثي (تردد المدرج الثالث) .

$f_3$  السيالة الناتجة من المدرج الثالث للحقل بالنسبة للنظام المحسوب (المدرس) .

يمكننا بسهولة تحديد سيالة المدرج الثالث للحقل الفراغي (TSH) للنظام المدرس  $f_3$  تجريبياً (مخبرياً) مثلاً عن طريق ملف قياس يوضع في الآلة، أو باستخدام الطريقة الدقيقة لحساب الحقل، مثلاً باستخدام طريقة العناصر النهائية وغيرها. وهذا طبعاً سيزيد من تعقيد المسألة المدروسة. كما يمكننا تحديد المدرج الثالث الزمني لا ق.م.ك للملف SW تجريبياً (مخبرياً) باستخدام طريقة التعويض (الدارة المكافئة) عن طريق استخدام

منبع ق.م.ك متزامن (متوافق) مع المولدة SG، وهذا المنبع يكون بتردد مضاعف ثلاثي 3f وباستخدام التنظيم الطوري . المطالي. بهذا الشكل وعند الاختيار الصحيح لعدد لفات الملف (CW) فإنه يكون بالإمكان عملياً تأمين عدم تشويبه منحني جهد الخرج للمولدة (SG) في كل مجالات الحمل (التحميل).

إن كل الحالات المبينة المدروسة تم تجربتها وتأكيدها على نموذج مخبري لمولدة متوافقة أحادية الطور (SG) ذات نموذج قياسي (GA2-O/230) تستخدم قفص إخماد كامل  $a = 2/3$  بمعطيات اسمية هي:  $0.8 \text{ Cos } j$  ;  $P_n = 2 \text{ kW}$  ;  $U_n = 220 \text{ V}$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$  ;  $n = 3000 \text{ rpm}$ .

وهذا النموذج المذكور يختلف عن المولدات القياسية المعروفة فقط بوجود الملف CW فيه، والذي يتوضع مكان الملف الإضافي المخصص لتأمين التهيج الذاتي في الآلة المتوافقة القياسية .

إن حساب المدرج الثالث الزمني TTH لا ق.م.ك  $E_{3t}$  للملف SW وفقاً للمعادلة (13,d) عند استخدام القيم التجريبية للبارامترات والزوايا  $y = 39^\circ$  نظام عمل يمتلك القيم :  $U = 230 \text{ V}$  و  $\text{Cos } j = 0.8$  و تيار  $10.9 \text{ A}$ ، قد اثبت التطابق والتوافق الكبير مع النتائج التجريبية، حيث أن  $E_{3t} = 23.4 \text{ V}$  (حسابي) و  $E_{3t} = 20.7 \text{ V}$  (تجريبي).

وفقاً لقيمة سيالة محددة تجريبياً للمدرج الثالث للحقل الفراغي، فإنه يمكننا وبالاتماد على الشرط الثاني للتعويض الكلي (الكامل) للمدرج الزمني TJH للملف SW تحديد المعطيات لملف (CW) سداسي الأقطاب، وبأثنتي عشرة مجموعة لف، وبخطوة لف  $Y=2$  و  $W_{ko} = 84$  و  $K_{ko} = 0.653$ .

ووفقاً للمقترحات الناتجة (المعطاة) لتنفيذ الشرط الأول للتعويض الكامل للمدرج الثالث الزمني TTH للملف SW، فإن الملف CW يكون متوضعاً بإزاحة زاوية بالنسبة للملف SW مقدارها خطوة سنوية واحدة للثابت أي  $15^\circ$  وباتجاه دوران الدائر عندما تكون  $10^\circ \gg \frac{y}{3} + \frac{p}{6} + b$ ، والملفات نفسها تكون موصولة بشكل متوافق (متماثل) أو غير متعكس.

نبين في الجدول التالي المبين قيم معاملات اللاجيبية، وقيمة (مستوى) المدرج الزمني الثالث لجهد المولدة المتوافقة الأحادية الطور TTH والذي تم اختباره عند تهيجه بشكل مستقل ومقارنته مع حالة فصل الملف CW.

البارامترات	حالة الملف			
	فصل الملف CW		وصل الملف CW	
Cosj معامل التشوه [%] $K_u$ $\frac{U_{3t}}{U} 100\%$	0.8	1.0	0.8	1.0
	10.5	8.7	3.1	2.6
	7.68	6.63	0.28	0.53

بهذا الشكل وكما هو واضح من الجدول أيضاً، فإن الطريقة المقترحة للتعويض الكامل (الكلي)، وكذلك المقترحات الناتجة عنها تسمح لنا عملياً بإنقاص التشوه في منحنى الجهد للمولدة SG وذلك عن طريق التعويض الكامل أو الكلي للمدروج الزمني TTH للا ق.م.ك  $e_{3t}$  .

## النتائج :

- 1) يسمح لنا استخدام (التوافقية) المدروج الثالث للحقل، لتعويض المدروج الثالث الزمني للا ق.م.ك ( $e_{3t}$ ) الناتج عن الحقل المتواقت العكسي في الملف SW للمولدة المتواقتة الأحادية الطور SG، بتحسين منحنى جهد الخرج لهذه المولدة بشكل كبير .
- 2) تعتبر المعادلات الحسابية الناتجة والمقترحات الأخرى أساسية عند تصميم المولدات المتواقتة SG مع ملف CW وذلك عند استخدام المدروج (التوافقية) الثالث للحقل من أجل تحسين منحنى جهد الخرج .
- 3) تم تأكيد صحة العلاقات والمقترحات الناتجة مخبرياً (تجريبياً) .
- 4) تم الحصول على تحسين في منحنى جهد الخرج عند وجود ملف التعويض مقداره 70% أي أن معامل التشوه لا يتجاوز 3%. وهذا ما يثبت فعالية الطريقة المقترحة.

## المراجع :

.....

- 1) Palastin .L.M: Electrical machines in dependent power systems .1992.
- 2) Zalmanov .G.A: Analyzing methods for studying the electromagnetic phenomena's in single - phase synchronous generators .1990.
- 3) Kostenko: Deduction of harmonics in silent synchronous machines .1989.
- 4) Antonov .M.V.: Using of reverse exciting filed and regulating of single – phase Synchro nous generators. 1980.
- 5) P.C.SEN: Principles of electrical machines and power electronics. 1995. Ontario – Canada.
- 6) G. Mueller: electric Machines Grundlage. 1998 Berlin .
- 7) Dillwyn Edwards: Guide to mathematical modeling. 1999 .