

## تأثير الإشباع المغناطيسي للقلوب على بارامترات المولدات التوافقية والحالات العابرة فيها

الدكتور طارق ابراهيم \*

الدكتور فيصل شعبان \*\*

(تاريخ الإيداع 15 / 11 / 2010. قُبِلَ للنشر في 21 / 12 / 2010)

### □ ملخص □

تتعلق الحالات العابرة في نظم القدرة الكهربائية ببارامترات الآلات الكهربائية، وبالتالي بكثافة استخدام المواد الفعالة فيها وبإشباع دائرة المغنطة.

يتناول البحث طريقة حساب اشباع الفولاذ على مسارات التدفق المغناطيسي الأساسي، وعلى مسارات تدفقات التسرب للحلقات كما يتطرق إلى تأثير الاشباع على البارامترات الأساسية لنظام العمل المستقر، وكذلك تأثيره على كل من حد الاستقرار الديناميكي وتخميد اهتزازات الآلة التوافقية .

**الكلمات المفتاحية:** نظم قدرة، مولدات توافقية، اشباع مغناطيسي، حالات عابرة .

---

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

## Studying The Effect of Magnetic Saturation of The Cores on The Parameters of Synchronous Generators and Transient Conditions Connected to Them

Dr. Tarek Ibrahim \*

Dr. Faisal Chaaban \*\*

(Received 15 / 11 / 2010. Accepted 21 / 12 / 2010)

### □ ABSTRACT □

The transient condition in the power systems are related to parameters of electrical machines, and consequently to density of using of active materials in it, and to saturation of magnetic circuit. So the research tackles a method to calculate saturation of steel on the path of basic magnetic flow, and on the paths leakage flows to lings. In addition, it searches the effect of saturation on the basic parameters of steady state system, and on the limit of dynamic stability, and damping vibration of synchronous machine.

**Key words:** Power system, Synchronous machine, magnetic saturation, transient condition.

---

\* professor, electrical power department, Tishreen university, Lattakia, Syria.

\*\* Associate professor, electrical power department, Tishreen university, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تعتبر المولدات التوافقية العنصر الأهم في نظم القدرة الكهربائية، ليس فقط لأنها العنصر المنتج للطاقة الكهربائية، بل أيضاً لأن الحالات العابرة في نظم القدرة الكهربائية تتعلق بشكل كبير ببارامترات الآلات الكهربائية والحالات العابرة فيها. كما أن صحة الحسابات التقنية للمنظومات الكهربائية تعتمد بدرجة كبيرة على النمذجة الرياضية للآلات الكهربائية وأجهزة التحكم بها [1]. [2]. [3].

إن المواد الفعالة المستخدمة في مولدات الطاقة الكهربائية تجعل بارامترات غير متلائمة مع شروط الاستقرار عند العمل على التوازي، والسمة المشتركة للآلات الكهربائية التي تستخدم فيها المواد الفعالة بكثرة، هي أن البارامترات الأساسية لأنظمة العمل تتعلق بإشباع دائرة المغنطة [4]. [5]. [6].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتبقى أهمية البحث من تناوله لحالة الإشباع التي تدخل فيها الآلات الكهربائية، ويتأثر بها أدائها، مما يؤثر على استقرار نظام القدرة، أما أهدافه فتتلخص بإيجاد طريقة لحساب الإشباع على مسارات التدفق الأساسي وتدفقات التسرب للحلقات، وكذلك تأثيره على نظام العمل المستقر وتخمين اهتزازات الآلة التوافقية .

**طرائق البحث ومواده:****طريقة حساب الإشباع على مسارات التدفق المغناطيسي الأساسي للآلة التوافقية ذات الأقطاب البارزة:**

عند تحليل أنظمة الاستمرار، حيث لا تتجاوز التيارات في بعض الدارات ضعفي قيمها الاسمية، فإن الأثر الأكبر في التدفق الناتج عن التحريض المتبادل يكون لإشباع أجزاء من الدارة المغناطيسية للآلة، ويعتبر حل معادلات الجهود لدارات الآلة، المكتوبة من خلال الفيض المغناطيسي المتشابه، والتي يتم تحديدها على أساس المخططات المكافئة للدارة المغناطيسية، الطريقة الأبسط لتحديد هذه التدفقات. إن إمكانية هذه الطريقة، والقائمة على استخدام المخططات المكافئة للدارة المغناطيسية، كبيرة جداً، وتزداد دقتها باقترابها من الحد الأدنى لعدد العناصر في المخطط المكافئ، وبالتالي من الشكل الأبسط له .

تكمن إمكانية التبسيط المنطقي لنموذج الآلة في القدرة على حساب الحقل المغناطيسي عند قيم معينة للتيارات في دارات الآلة، ويسمح عند حل مسائل الحالات العابرة بتقييم حالة الآلة على أساس المؤشرات التكاملية للبارامترات الأساسية، دون تحليل التوزع الدقيق للتحريض في الثغرة الهوائية، أو التوافقيات العليا للحقل، أو الضياعات الإضافية .

عند وضع المخطط المكافئ يجب حساب الخواص التركيبية للآلة ومجالات الأنظمة المدروسة، مع الأخذ بالاعتبار عند دراسة الحالات العابرة ضرورة تغيير بناء المخطط تبعاً للقيم الجارية للمتحويلات. يعتمد استخدام المخططات المكافئة للدارة المغناطيسية على أساليب قريبة من طرق حساب الدارة المغناطيسية تجريبياً، ويرتبط استخدامها بقبول الافتراضات التالية :

- المحافظة على جيبيية الحقول المغناطيسية للملفات

- المحافظة على معاملات التحويل للحقول.

- صحة فرضية وجود تدفق مغناطيسي وحيد للتحريض المتبادل بين دارات الثابت والدائر وتدفقات التسرب للقسمين مستقلة بعضها عن بعض .

- يمكن تمثيل الدارة المغناطيسية للآلة بجملة من المقاومات المغناطيسية المركزة والتي يتم تحديد قيمها عن طريق مميزات المغنطة للأجزاء المختلفة .

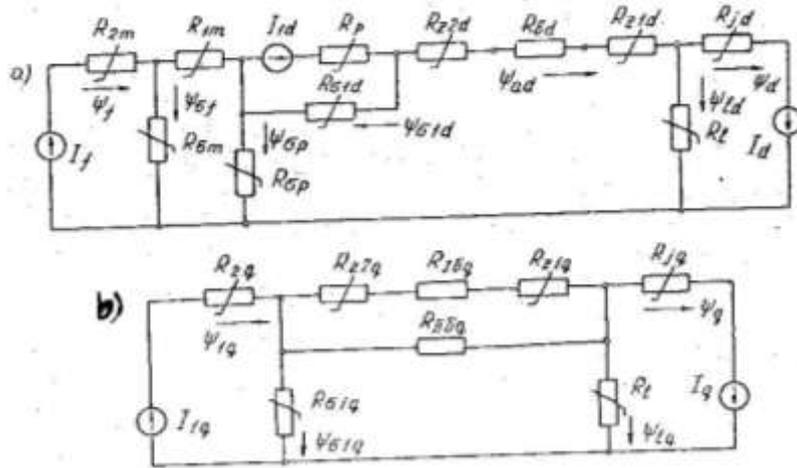
- يمكن أن ينعكس التأثير المتبادل بين الحقول المتجهة وفق محاور مختلفة على أساس دراسة التحاريز الناتجة بمساعدة مميزات المغنطة أيضاً .

تقسم الدارة المغناطيسية للآلة إلى الأجزاء التالية: القلب والمنطقة السنية للثابت، الثغرة الهوائية، العضو الدائر ورأس القطب. ويمكن إنشاء منحنى المغنطة لكل من هذه الأجزاء، والذي يمثل علاقة التدفق بقوة المغنطة. كل جزء يمثل بالمقاومة المغناطيسية الخاصة به  $R_{mi}$  التي تحدد بالعلاقة  $F_i/\Phi_i$  نظراً لأن بنية الدارة المغناطيسية للآلات ذات الأقطاب البارزة تختلف عنها في ذات الأقطاب غير البارزة، فستتم دراسة طرق حساب إشباع المولدات الهيدروليكية والمولدات التوربينية كلاً على حدة .

المخطط المكافئ للدارة المغناطيسية للآلات المتزامنة ذات الأقطاب البارزة بالمحور الطولاني مبينة في الشكل (1,a) ، حيث تم النظر إلى المقاومات المغناطيسية للقلب  $R_{ja}$  وللمنطقة السنية للثابت  $R_{21d}$  ، وأجزاء القطب المشغولة بقضبان ملف التخامد  $R_{22a}$  ، أجزاء رأس القطب  $R_p$  ، الثلث العلوي من قلب القطب  $R_{im}$  والثلثين الباقيين  $R_{2m}$  ، على أنها عناصر مستقلة .

وينفق التقسيم الوارد أعلاه لأجزاء الدارة المغناطيسية بشكل جيد مع الطريقة الموجودة لحساب الدارة المغناطيسية للآلات المتزامنة ذات الأقطاب البارزة .

إن جميع المقاومات باستثناء  $R_{sa}$  تتعلق بالإشباع المغناطيسي ، وطريقة حساب تغير المقاومات المغناطيسية للتسرب في الثابت  $R_1$  ، ولدارة تخامد الاهتزازات  $R_{s1a}$  ولرأس القطب  $R_{op}$  وقلب القطب  $R_{om}$  مبينة لاحقاً .



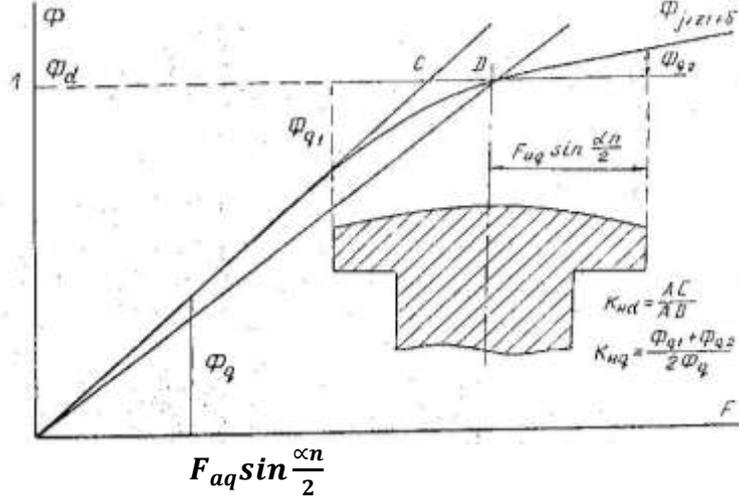
الشكل (1) - الدارة المكافئة لآلة تزامنية ذات أقطاب بارزة في حالة الإشباع

-a وفق المحور الطولاني ؛ -b وفق المحور العرضاني.

-b

يبين الشكل (1,b) المخطط المكافئ للدارة المغناطيسية لآلة تزامنية ذات أقطاب بارزة وفق المحور العرضاني ، حيث  $R_{21q}$  ،  $R_{jq}$  هي المقاومات المغناطيسية لقلب وأسنان الثابت بالمحور العرضاني ، والتي تحدد مع

الأخذ بالاعتبار تأثير الحقل الطولاني. يمكن بتحليل عملية توزيع التدفق المغناطيسي لرد فعل المتحرض العرضاني الاستنتاج بأن التحريض المغناطيسي الأقوى بوجود حقل عرضاني يحصل بالقرب من حواف حذاء القطب الكهربائي . لتحديد المقاومات المغناطيسية لأسنان وقلب الثابت في الجهات المختلفة لرأس القطب ، يمكن استخدام الطريقة التقريبية المبينة على الشكل (2).



الشكل (2) تحديد عوامل الإشباع وفق المحورين العرضاني والطولاني .

يتم تحديد مستوى الإشباع بالمحور الطولاني بقيمة التدفق المغناطيسي الطولاني  $\Phi d$  (بالوحدات النسبية ) قيمة المركبة العرضانية للقوة المحركة الكهربائية للشغرة الهوائية  $E_{iq}$  أو المركبة الطولانية للغيض المغناطيسي التشابكي للتحريض المتبادل  $\Psi ad$ . طالما أن الحديث يدور حول إشباع عناصر العضو الثابت ، ينبغي من أجل تحديد المقاومات المغناطيسية  $R_{1d}, R_{21d}, R_{1q}$  استخدام ميزة المغنطة لقلب الثابت -لأسنان الثابت -الشغرة الهوائية ، وعن طريق وضع قيم القوى المحركة المغناطيسية لرد فعل المتحرض العرضاني على يمين ويسار النقطة  $D$  ، نقوم بتحديد التدفقات المغناطيسية لرد فعل المتحرض العرضاني  $\Phi_{q2}, \phi_{q1}$  على الحواف المختلفة لحذاء القطب .

يمكن كتابة المعادلات التالية من أجل المقاومات المغناطيسية :

$$R_{q1} = \frac{Faqs \sin \frac{\alpha \pi}{2}}{\Phi_{q1}} \frac{\Phi_1}{F\delta} R\delta q \frac{1}{kq} , \quad (1)$$

$$R_{q2} = \frac{Faqs \sin \frac{\alpha \pi}{2}}{\Phi_{q2}} \frac{\Phi_1}{F\delta} R\delta q \frac{1}{kq} , \quad (2)$$

حيث :  $-kq$  عامل الشكل للحقل وفق المحور العرضاني

$\Phi_1$  - الفيض المغناطيسي للآلة

$F\delta$  - القوة المحركة المغناطيسية للشغرة الهوائية ، الموافقة للفيض  $\Phi_1$  .

إن نصف مجموع المقاومات المبينة أعلاه يحدد مجموع المقاومتين  $R_{21q}$  و  $R_{1q}$  ، أي

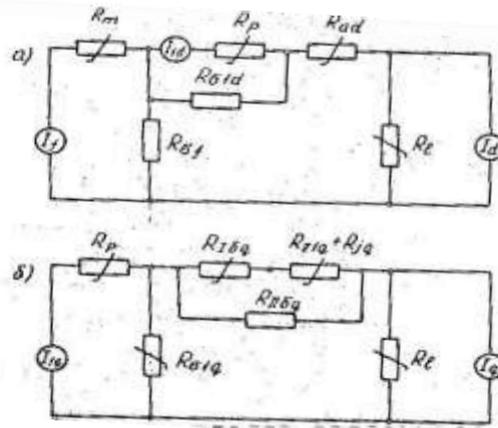
$$R_{jq} + R_{21q} = \frac{R_{q1} + R_{q2}}{2} , \quad (3)$$

إن عدم تناظر المقاومات المغناطيسية المتوسطة على حواف حذاء القطب يحدد تأثير الحقل العرضاني على الطولاني، الأمر الذي يمكن أخذه بالاعتبار عن طريق إدراج القوة المحركة المغناطيسية الاضافية على المحور الطولاني :

$$\Delta Faq = \frac{\sqrt{\Phi_{q1}} - \sqrt{\Phi_{q2}}}{\sqrt{\Phi_{q1}} + \sqrt{\Phi_{q2}}} Faq \text{ Sim} \frac{\alpha\pi}{2} , \quad (4)$$

تشكل القيمة  $\Delta Faq$  بالنسبة المفروضة لعمل المولدات الهيدروليكية ما لا يزيد عن (0.3-0.5%)، وبالتالي يمكن إهمالها دون خطأ كبير. من الضروري التنويه أيضاً إلى ان قسماً صغيراً فقط من التدفق العرضاني ينغلق في الفراغ بين أقطاب الآلات المتزامنة ذات الأقطاب البارزة، وأن التحريض هناك يكون دائماً صغيراً.

إن هذا الجزء من التدفق المغناطيسي يقابل المقاومة المغناطيسية المستقلة عن الإشباع  $R_{\eta bq}$ ، الموصولة مع الدارة على التفرع، والمكونة من  $R_{1bq}, R_{22q}, R_{z1q}$ ، وهي عبارة عن المقاومة المغناطيسية للثغرة الهوائية في المحور العرضاني، المحسوبة مع الأخذ بالاعتبار استخلاص المركبة المتعلقة بالحقل في الفراغ بين الأقطاب لإيجاد الطرق المبسطة لحساب الإشباع، والتي يستعان بها في برامج حساب الاستقرار الديناميكي، يمكن اختصار عدد عناصر المخطط المكافئ للدارة المغناطيسية وبالتالي من الممكن توحيد جميع المقاومات المغناطيسية الموافقة لعناصر الناقل المغناطيسي للثابت  $(R_{jd}, R_{z1d}, R_{jq}, R_{z1q})$  مع المقاومات المغناطيسية للثغرة الهوائية بالمحورين الطولاني والعرضاني والمقاومات  $R_{z2d}, R_{z2q}$  الملاصقة للثغرة من جهة رأس القطب، كذلك تخضع لبعض التبسيط جملة المقاومات المغناطيسية المميزة لجملة أقطاب الآلة. يبين الشكل (3) المخططات المكافئة للدارة المغناطيسية وفق التبسيط المشار إليه، ويتم اللجوء إلى الاختصار في عدد عناصر الدارة المكافئة عند تحليل تأثير الإشباع على بارامترات نظام العمل المستقر للآلات المتزامنة.



الشكل (3) المخططات المكافئة المبسطة للدارة المغناطيسية لآلة تزامنية ذات أقطاب بارزة .

a- وفق المحور الطولاني

b- وفق المحور العرضاني

عند إعداد طريقة لحساب إشباع قلوب الآلات التزامنية ذات الأقطاب غير البارزة، من المنطقي الاستفادة من نفس الأساليب الخاصة بالآلات التزامنية ذات الأقطاب البارزة، حيث يمكن استخدام المخططات المكافئة للدائرة المغناطيسية والمخططات المبسطة، المبينة في الشكل (3).

ومن الضروري في المخطط المكافئ بالنسبة للمحور العرضاني حذف المقاومة المغناطيسية المرتبطة بالتدفق المغناطيسي في الفراغ بين الأقطاب .

يتم تحديد المقاومات المغناطيسية للثابت بالمحور الطولاني بواسطة مميزة المغنطة لقلب الثابت -الأسنان- الثغرة الهوائية وفقاً لقيمة المركبة الطولية للتدفق في الثغرة الهوائية ( التدفق المتشابه  $\psi_{ad}$  ).

يتم إيجاد تيار التهيج مع الأخذ بالاعتبار الفيض المتسرب لملفات التهيج، والذي يكون عادة كبيراً جداً في المولدات التوربينية .

بعد تحديد الفيض المتشابه وتيار التهيج الموافق له يتم إيجاد القيمة المتناسبة طرداً مع التدفق الكلي للدائر. من السهل إنشاء مميزة المغنطة بحيث يمكن الاستفادة المباشرة من قيمة التدفق المغناطيسي لحلقة التهيج .

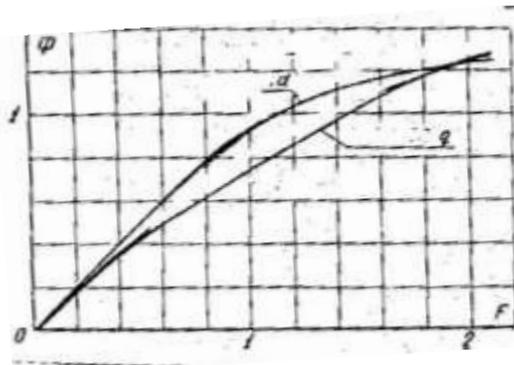
يتم تحديد مقاومات المخطط المكافئ بالمحور العرضاني بواسطة مميزة المغنطة الموافقة لكل منها . ويتم إنشاؤها عندما تكون المغنطة من جهة الثابت .

ويعتبر تحديدها على أساس الحساب العددي للحقول المغناطيسية هو الأكثر دقة .

يبين الشكل (4) مميزات المغنطة الخاصة بالمولدات التوربينية ذات الاستطاعة الكبيرة .

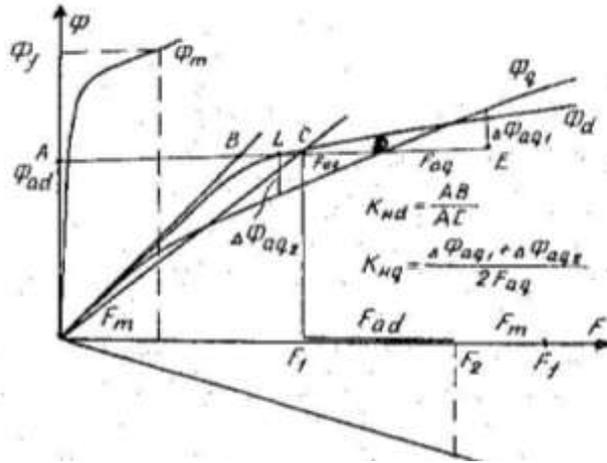
ويظهر من الشكل أن الميزة على المحور العرضاني تسير بميل بسيط بالنسبة لمحور السينات (نظراً للثغرة الهوائية الكبيرة المكافئة بالمحور العرضي) .

يفسر الانكسار الأول لهذه الميزة بإشباع أسنان العضو الدائر، الأمر الذي يؤدي إلى تراص منحنى التحريض، الثغرة الهوائية، والخروج المستقيم للميزة قبيل التقاطع مع مميزة المغنطة على المحور الطولاني .



الشكل ( 4 ) مميزات المغنطة للمولدات التوربينية وفق المحور العرضاني q والطولاني d

يوضح الشكل(5) طريقة حساب إشباع المولدات التوربينية، حيث تستخدم مميزة المغنطة وفق المحور الطولاني لتحديد قيمة الإشباع للمقاومة المغناطيسية للتحريض المتبادل .



الشكل (5) طريقة حساب إشباع المولدات التوربينية

بعد ذلك يتم تحديد القوة المحركة المغناطيسية للتهييج مع الأخذ بالاعتبار رد فعل المتحرض الطولاني .  
والفيض المتشابك لتسرب حلقة التهييج، الفيض المتشابك لحلقة التهييج والقوة المحركة المغناطيسية للتهييج :

$$Radh = \frac{AC}{AB} R\delta d$$

$$F2 = F1 + Fad$$

$$\Phi_{\sigma f} = F2 \cdot \lambda \sigma f$$

$$\phi f = \phi_{ad} + \phi_{\sigma f} \quad (5)$$

$$Ff = F2 + Fm$$

يتم إيجاد المقاومات المغناطيسية بالمحور العرضاني بواسطة مميزة المغنطة الموافقة . تعتبر النقطة D ، النقطة العاملة المحددة بقيمة التدفق المغناطيسي الطولاني ، و تحسب المقاومات المغناطيسية للمخطط المكافئ وفق المحور العرضاني من خلال العلاقة :

$$Ragh = \frac{2Fa q}{\Delta \phi a q 1 + \Delta \phi a q 2} \cdot R\delta q \quad , \quad (6)$$

#### حساب الإشباع على مسارات تدفقات التسرب للحلقات:

من أجل التحديد السليم لتيارات وطبيعة حركة العضو الدوار، من الضروري عند حساب الحالات العابرة أن نأخذ بالاعتبار إضافة إلى إشباع القلوب بالتدفق المغناطيسي الأساسي، الإشباع على المسارات المغناطيسية للتدفقات التسريية لحلقات الثابت والدائر. إن التحديد الدقيق لذلك هو مسألة غاية في التعقيد، حيث أن المقاومات التحريضية تحدد بالحقل المغناطيسي الكلي، المتعلق بالتيارات في جميع حلقات الآلة. أن التدفقات التسريية تتغلق جزئياً بنفس العناصر للدائرة المغناطيسية التي يمر فيها التدفق المغناطيسي الأساسي، ويتعلق مستوى الإشباع على مسارات التدفقات التسريية بقيمة التدفق المغناطيسي الأساسي. في الوقت ذاته وخلال الحالات العابرة من نمط القصر المفاجئ فإن التأثير الأكبر يكون للإشباع على مسارات التسرب للثابت. تم في [7] صياغة فرضية عن إمكانية إنشاء معادلة تقريبية خاصة بالممانعة التحريضية لتسرب الحلقة، والمتعلق فقط بتيار الحلقة المفروض، كما أن تأثير الإشباع على

الممانعة التحريضية للثابت نوقش بشكل واضح في [8] ، و قد أمكن على أساس صياغة حسابات الحقل المغناطيسي الحصول على المعادلة التقريبية التالية

$$X_{CH} = Xe \left[ (1 - K_n) + k_n \left( B_n^* + B_z^* \cdot e^{-\alpha I^2} \right) \right] \quad (7)$$

حيث I - التيار الكلي للثابت ( المطال ) ؛  $B_n^*$  - العرض النسبي للمجرى ؛  
 $B_z^*$  - العرض النسبي للسنت ؛ Kn معامل يشير إلى نسبة التسرب بالمجرى إلى القيمة الإجمالية لتسرب الثابت ،. في الآلات الضخمة يكون :

$$= 0.05 - 0.06 \alpha , \quad Kn = 0.6 - 0.8$$

تمت في [7] دراسة تأثير الإشباع على تغير الممانعة التحريضية التسريبية ملف التهيج ، الخاصة بالآلات التزامنية ذات الأقطاب البارزة اعتماداً على حسابات الحقل المغناطيسي ، أن دراسة علاقات التدفق التسريبي لمجموعة الأقطاب بتيار التهيج مكنت من الوصول إلى المعادلة التالية

والتي تحدد القيمة الإشباعية للمقاومة التحريضية التسريبية لحلقة التهيج كتابع للتيار :

$$X \delta_{Fn} = X_{\delta f} \left[ 0.25 + 0.75 \left( 0.45 + 0.55 e^{-0.033 I_f^2} \right) \right] , \quad (8)$$

إن القيم العددية للعوامل معطاة بالنسبة لمولد هيدروليكي محدد ، إلا أنها عند الغالبية العظمى من الآلات ذات الأقطاب البارزة ، وذات الاستخدامات الكثيرة ، متقاربة .

بناء على حسابات مشابهة لما سبق ، تم الحصول على علاقة الممانعة التحريضية التسريبية لملفات التهيج بتيار التهيج :

$$X \delta_{Fn} = X_{\delta f} \left[ 0.25 + 0.75 \left( 0.39 + 0.61 e^{-0.018 I_f^2} \right) \right] , \quad (9)$$

استناداً إلى نتائج حسابات الحقول المغناطيسية لبارامترات محددة للمولد ، يمكن إنشاء علاقات تقريبية للممانعات التحريضية التسريبية لحلقات تخميد اهتزازات المولد ، بشكل مطابق للعلاقة الخاصة بممانعة التسرب لحلقة التهيج :

$$X \delta_{FiH} = X_{\delta fi} \left[ 0.2 + 0.8 \left( 0.65 + 0.35 e^{-0.04 I^2} \right) \right] , \quad (10)$$

$$I^2 = I_{ld}^2 + I_{lq}^2 ; \quad i=d,q \text{ حيث:}$$

تمت صياغة طريقة مشابهة خاصة بحساب الإشباع على مسارات التسرب لنظام تخميد الاهتزازات للمولدات التوربينية ، تجب الإشارة إلى أن الحلول التصميمية ، التي تؤمن المتانة الميكانيكية المفروضة والأنظمة الحرارية للعضو الدائر ، تؤدي إلى رسم صورة معقدة جداً لتوزيع التيارات الدوامية (تيارات فوكو) ، كما ان استخدام المخططات المكافئة المبينة على أساس حساب الخواص التصميمية للمولدات ، يتطلب حجماً كبيراً من المعلومات وينتج خوارزميات ضخمة ، ولذلك فمن الطبيعي استخدام البارامترات العامة ، التي تؤمن دقة مقبولة في الحسابات بالاستناد إلى حسابات الحقول الكهرومغناطيسية اللامستقرة ، أثناء عملية من نمط القصير المفاجئ ثلاثي الطور ، تم الحصول على العلاقة التالية للممانعة التحريضية التسريبية لحلقات تخميد الاهتزازات المكافئة بالتيار :

$$X \delta_{FiH} = X_{\delta fi} \left[ \left( 0.84 + 0.16 e^{-0.04 I^2} \right) \right] , \quad (11)$$

$$I^2 = I_{1d}^2 + I_{1q}^2 \quad \text{حيث: } i=d,q \text{ ، النسبية بالمكافئة بالوحدات النسبية ،}$$

### النتائج والمناقشة:

\* تأثير الإشباع على البارامترات الأساسية لنظام العمل المستقر : أدرجت في الجدول ( 1 ) نتائج حسابات الأنظمة المستقرة لمولد هيدروليكي وآخر توربيني وتجدر الإشارة إلى انخفاض قيم الممانعات التحريضية بالمحور الطولاني بنسبة % ( 18 ÷ 12 ) ، وبالمحور العرضاني % ( 30 ÷ 25 ) ، وتقليل الزاوية وسطياً بـ 12% ، وزيادة تيار التهيج بنسبة % ( 8 ÷ 7 ) .

الجدول ( 1 ) - بارامترات المولدات في نظام العمل المستقر: 1. بدون أخذ الإشباع بالاعتبار، 2. مع أخذ الإشباع بالاعتبار.

نوع المولد		$X_d$	$X_q$	$\delta$	$\frac{I_f}{I_{f\delta}}$	$E'_q$	$X_e$	$X'_d$
هيدروليكي	1	2.093	1.019	29.25	2.7	1.247	0.22	0.44
	2	1.717	0.625	21.6	2.8	1.28	0.21	0.42
توربيني	1	2.56	2.58	42.7	3.2	1.079	0.242	0.366
	2	2.17	1.75	37.6	3.42	1.117	0.235	0.345

إن التغيرات المذكورة في الممانعات التحريضية والتيار التهيج والزاوية الداخلية ، وكذلك علاقة البارامترات بنظام عمل الآلة ، تؤثر على مميزات الاستطاعة، مؤشرات الاستقرار، وسريان الحالات العابرة.

\*\* تأثير الإشباع على حد الاستقرار الديناميكي: إن تأثير الإشباع على بارامترات ومميزات المولدات بشكل واضح يؤكد ضرورة إجراء الدراسات لتحديد تأثيره على مستوى الاستقرار الديناميكي للعمل المتوازي، ويعتبر حد الاستقرار الديناميكي المحسوب من المخطط الأبسط لنقل القدرة الكهربائية القيمة المميزة الأكثر وضوحاً لهذا العامل.

يمكن من الناحية البحثية المنهجية إجراء حساب الحالة العابرة بعدة طرق، إلا أن الأكثر ملائمة هو تعيين الحد بوجود التغيرات في الاستطاعة المقررة للمحطة، ومن ثم مقارنة القيم الحسابية النظرية للاستطاعة الحدية مع قدرة التمرير الخاصة بخط نقل القدرة الذي يصل محطة التوليد مع منظومة توليد القدرة ذات الاستطاعة العالية.

في أي نظام يخضع لاختبار الاستقرار تعتبر استطاعة محطة التوليد مساوية لاستطاعتها العاملة، ومعامل الاستطاعة مساوياً للقيمة الاسمية أو المفروضة على حساب اختيار استطاعة منظومات التعويض، وعند تغير استطاعة محطة توليد القدرة أثناء البحث عن الحد يبقى نظام عمل المولدات ثابتاً. في الجدول ( 2 ) تم إدراج قيم الحدود المحسوبة مع أخذ الإشباع بالاعتبار وبدون ذلك، حيث اعتبرنا أن عامل مضاعفة التهيج (تسريعه)  $K_\phi$  يتغير ضمن المجال (1-3).

الجدول ( 2 ) قيم حدود الاستقرار الديناميكي بدون أخذ الإشباع بالاعتبار . 2- مع أخذ الإشباع بالاعتبار.

نوع المولد		$K_\phi$		
		1	2	3
هيدروليكي	1	0.579	0.665	0.731
	2	0.623	0.718	0.779
توربيني	1	0.530	0.570	0.607
	2	0.544	0.590	0.630

تمت دراسة القصر ثنائي الطور مع الأرض بزمن قصير 0.12 see في بداية خط نقل القدرة، تبين معطيات الجدول أن الإشباع عموماً يؤثر إيجاباً على الاستقرار الديناميكي للعمل المتوازي، حيث يشكل عند استخدام مضاعف اعتيادي  $K\phi$  احتياطاً ضمن مجال 4-13% وتفسر زيادة الحدود بالشروط الأولية السليمة ( قيم أولية أقل للزاوية الداخلية، وقيمة كبيرة للفيض المتشابك لمفات التهييج)، مضاعف كبير لتسارع التهييج، تيار ثابت كبير نوعاً ما بسبب انخفاض الممانعات التحريضية التسريية للثابت وملف التهييج .

لتحليل تأثير إشباع عناصر محددة من الدارة المغناطيسية على حدود الاستقرار الديناميكي تم إجراء الحسابات الخاصة لمولد هيدروليكي ولآخر توربيني وقد أدرجت نتائج الحسابات في الجدول ( 3 ) إن الاختلافات المبينة في الجدول في حالة إشباع عناصر مختلفة من الدارة المغناطيسية تم أخذها بالاعتبار عند حساب أنظمة العمل المستقرة لما قبل العطل، وعند حل معادلات الحالات العابرة. وتبين معطيات الجدول (3) أنه عند تقييم حد الاستقرار الديناميكي في التآرجح الأول للزاوية يظهر بشكل ملموس تأثير إشباع الثابت على مسار التدفق المغناطيسي الأساسي.

الجدول ( 3 ) قيم حدود الاستقرار الديناميكي عند حسابات مختلفة للإشباع جدول  
أ - لمولد توربيني . ب - لمولد هيدروليكي

نوع الحساب	ب			آ		
	$K\phi$			$K\phi$		
	1	2	3	1	2	3
دون اعتبار الإشباع						
دون اعتبار إشباع الثابت	0.530	0.570	0.907	0.579	0.665	0.731
دون اعتبار إشباع الدائر	0.530	0.575	0.938	0.587	0.680	0.753
دون حساب إشباع $X_e$	0.544	0.587	0.625	0.623	0.714	0.776
دون حساب إشباع $X_{\sigma}$	0.542	0.587	0.627	0.611	0.700	0.756
دون حساب إشباع $X_{\sigma}$	0.540	0.588	0.628	0.917	0.705	0.763
الاعتبار الكلي للإشباع	0.544	0.590	0.590	0.623	0.718	0.776

إن إشباع الثابت يظهر فقط عند المضاعفات الكبيرة لتسارع التهييج، وانطلاقاً من هذا المفهوم فإن نتائج حساب حدود المولد الهيدروليكي الضخم أثناء حساب الإشباع تعد مؤشرات لمميزات مغنطة الآلة النموذج، والتي تمتاز بإشباع ضعيف للثابت وقوي جداً لقلب القطب .

يظهر الإشباع على مسارات تسرب الدائر في النظام المستقر بشكل طفيف نظراً لأنه عند التناقص الناجم عن إشباع الممانعة التحريضية التسريية لمف التهييج تنخفض قيمة الفيض المتشابك لحققة التهييج، والتي تحدد القوة المحركة الكهربائية المكافئة على أساسها.

\*\*\* تأثير الإشباع على تخميد اهتزازات الآلة المتزامنة المعيرة عند وجود تشويشات صغيرة وحدية.

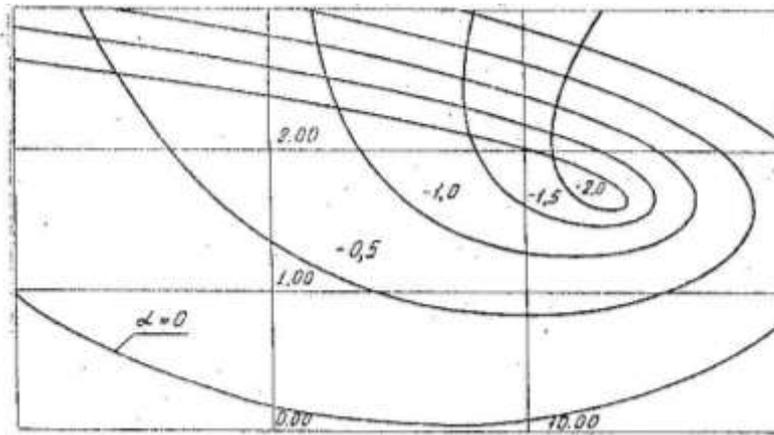
يغير إشباع القلوب خصائص الآلة المتزامنة كغرض تعبير، وتفضل دراسة التأثير النوعي للإشباع على عوامل تخميد الآلة المتزامنة المعيرة في المخطط الأبسط لنظام نقل القدرة الكهربائية ( مولد - خط - نظام باستطاعة لا نهائية)

تم إجراء الحسابات الخاصة بذلك لمولد هيدروليكي وآخر توربيني وكانت المقاومات التحريضية للمحول ولخط نقل القدرة  $X_L = 0.5$  الزاوية بين شعاع جهد الاستقبال والمحور العرضاني للمولد تساوي تقريباً  $X_T = 0.12$

(60) درجة للمولد الهيدروليكي و ( 70 ) درجة للمولد التوربيني ( دون حساب الإشباع ) يمثل الشكلان ( 6-7 ) مجالات الاستقرار المحسوبة من أجل حالات اعتبار وعدم اعتبار إشباع المولد الهيدروليكي، وتبين المقارنة بينها أن تأثير إشباع القلوب في الحالة المدروسة على وضعية مجالات الاستقرار في مستوي معاملات التنظيم يكون كبيراً . تتميز وضعية النقطة المسؤولة عن أكبر درجة استقرار بقيم المكافئات  $K1w=1.66$  ,  $Kow=13$  وعند حساب الإشباع تكون القيم المذكورة  $K1w= 8.7$  ,  $Kow = 1.96$ . في هذه الحالة يتم بلوغ درجة استقرار  $= 3.6\alpha$  وبدون اعتبار الإشباع تكون  $= 3.7\alpha$ .

\*\*\*\* يؤثر التغيير في بارامترات الآلة التزامنية والنتائج عن حساب الإشباع بشكل ملموس على قيم تيارات الصدم في حالات القصر، ويبين الجدول (4) المعطيات المميزة لتغير القيمة الحسابية لتيارات القصر في المولدات التوربينية ذات الاستخدام الكبير.

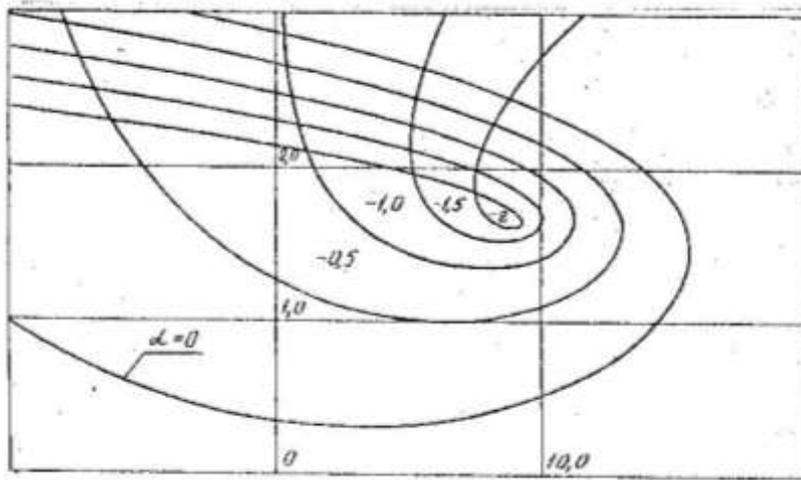
إن طريقة احتساب الإشباع المقترحة، والتي تحسب الإشباع على مسارات تسرب الحلقات تتفق بشكل جيد مع طريقة الحساب المصنعية للمقاومات التحريضية فوق العابرة، بحيث تؤمن قيمة قريبة من القيمة التجريبية لتيار القصر ثلاثي الطور على مرابط المولد .



الشكل ( 6 ) منحنيات درجة الاستقرار لمولد هيدروليكي دون اعتبار الإشباع.

الجدول(4)- تأثير الإشباع على تيار الصدم في حالات القصر.

نوع الحساب	نوع المولد			
	توربيني		هيدروليكي	
	$I_y$	$X_d''$	$I_y$	$X_d''$
دون اعتبار الإشباع				
مع اعتبار الإشباع على مسار التدفق الأساسي	8.52	0.306	9.8	0.276
مع التدفق الأساسي وتدفق التسرب للثابت	9.45	0.303	10.3	0.268
مع التدفق الأساسي وتدفق التسرب للثابت وملف التهيج	10.34	0.290	11.7	0.228
مع التدفق الأساسي وتدفق التسرب للثابت وملف التهيج	10.57	0.247	11.9	0.205
الاعتبار الكلي للإشباع	10.85	0.242	12.3	0.193
قيمة وفق الحسابات المصنعية	-	0.242	-	0.190
قيمة وفق المميزات الترددية	-	0.306	-	0.278



الشكل (7) منحنيات درجة الاستقرار لمولد هيدروليكي مع اعتبار الإشباع.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- يمكن من خلال ما سبق التأكيد على النقاط التالية:
- 1- ضرورة أخذ الإشباع بالاعتبار عند دراسة مسائل الاستقرار.
  - 2- أهمية وأفضلية استخدام المخططات المكافئة للدائرة المغناطيسية.
  - 3- إمكانية اللجوء إلى استخدام الدائرة المغناطيسية المبسطة.
  - 4- تأكيد تأثير الإشباع على البارامترات الأساسية لنظام العمل المستقر.
  - 5- تغيير قيم تيارات القصر (تيارات الصدم في حالات القصر) كنتيجة لتغيير بارامترات الآلة بتأثير الإشباع.

### المراجع:

- 1-ي، ب. كريتشوكوف، ب، أ. ستار شينوف - الحالات العابرة في أنظمة الطاقة الكهربائية - معهد الطاقة (الجامعة التقنية) موسكو - 376، 2008.
- 2-ف. أ. ستروف وآخرون - دراسة الحالات العابرة والاستقرار في الأنظمة الكهربائية المعقدة بوجود المنظمات - معهد الطاقة (الجامعة التقنية) موسكو - 538، 2003.
- 3-ي، ن. بابوف وآخرون - الحماية الزاجلية، المعتمدة على التحكم بالحالات العابرة، موسكو - 248، 1986.
- 4-غولديبرغ، و. د. تصميم الآلات الكهربائية . 430، 2006.
- 5-ي. ب. كابيلوف وآخرون - تصميم الآلات الكهربائية . 767، 2005.
- 6-ي، ن. شاكارين - الآلات الكهربائية - الآلات المتوائمة 469، 1990.
- 7-ف. دامبروفسكي - طرق حساب الحقل الكهرومغناطيسي في الآلات الكهربائية - 266، 1983.
- 8-ن.ي. جوتشكوف وآخرون. حساب الحقل المغناطيسي وبارامترات المولدات الهيدروليكية 1976، 99.

