الآلات الكهربائية الصغيرة

مولدات التاكو

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوحدة الثالثة : مولدات التاكو

الجدارة: معرفة تركيب وأنواع مولدات التاكو.

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على معرفة:

١. أنواع التاكومترات والتمييز بينها.

٢. أسباب الخطأ في قراءة التاكومترات وطرق تلافيها.

٣. كيفية معايرة التاكومترات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرري آلات التيار المستمر والمحولات وآلات التيار المتردد.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

مولدات التاكو أو التاكومترات هي أجهزة لقياس السرعة الدورانية، وهي عبارة عن مولدات صغيرة القدرة تعمل على تحويل السرعة الدورانية إلى إشارة كهربائية متناسبة معها يمكن قياسها. تعتمد علاقة التحويل، على العلاقة بين سرعة الدوران والقوة الدافعة الكهربائية المتولدة، العلاقة العامة لخرج مولد التاكو هي:

$$V_a = K_g \cdot \omega \qquad [٣-١$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

حيث ω هي سرعة الدوران بالراديان في الثانية و K_g هو ثابت توليد الجهد أو ميل الخط الذي يمثل العلاقة بين ω و V_a .

تصنف مولدات التاكو حسب تصميمها ونظرية عملها من حيث إنها مولدات للتيار المستمر أو مولدات حثيه أو تزامنية.

٣- ١ المتطلبات الرئيسية لمولدات التاكو :

هناك متطلبات تجب مراعاتها عند تصميم التاكومترات وهي:

أ. أقل خطأ ممكن في القيمة العددية للجهد المتولد (ΔV).ويقصد به أقل انحراف لخصائص المولد عن العلاقة الخطية.

ب. أقل خطأ ممكن في زاوية الوجه$(\Delta\beta)$.

ج. أكبر معامل تكبير ممكن K_g.

د. أقل قصور ذاتي للمحرك.

ه. أقل ثابت زمني للنظام الكهروميكانيكي.

يعرف الخطأ في القيمة العددية للجهد (ΔV)، بأنه الفرق بين الجهد المتولد بالفعل عند سرعة معينة والجهد المعطى من العلاقة المثالية لجهد الخرج عند نفس السرعة.

يعرف الخطأ في زاوية الوجه لجهد الخرج $(\Delta\beta)$، بأنه الفرق بين الزاوية β التي ينحرف بها متجه جهد الخرج عن اتجاه المجال عن نفس الزاوية في العلاقة المثالية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣- ٢ مولدات التاكو للتيار المستمر : Direct Current Tacho-Generators

مولدات التاكو للتيار المستمر، هي في الأساس مولدات للتيار المستمر صغيرة الحجم، فتركيبها ونظرية عملها تماما كما في آلات التيار المستمر، إلا أنها يجب أن تكون، إما ذات تغذية مستقلة لملفات المجال أو ذات مغناطيسات طبيعية دائمة لتوليد المجال المغناطيسي.

خصائص الخرج لمولدات التاكو للتيار المستمر، هي العلاقة بين الجهد على أطراف المنتج V_a وسرعة الدوران ω ، عند ثبات الفيض المغناطيسي ϕ ، وثبات مقاومة الحمل R_{load}

$$E_a \alpha N \phi$$
$$E_a \alpha \omega \phi = K \omega \phi$$
$$\text{but } \phi = \text{constant}$$
$$E_a \alpha \omega$$
$$E_a = K_E \cdot \omega \qquad ٣-٢$$
$$\text{where}$$
$$K_E = K \cdot \phi$$

المعادلة(٣- ٢) تمثل العلاقة بين الجهد المتولد E_a وسرعة الدوران ω عند اللاحمل وهي علاقة خطية، ولكن عند توصيل أطراف المنتج لأي جهاز له مقاومة داخلية R_{load} فإن فرق الجهد على الأطراف يصبح:

$$V_a = E_a - I_a R_{ac} \qquad ٣-٣$$

حيث I_a هو تيار المنتج، R_{ac} هي مقاومة المنتج وتشتمل على مقاومة التلامس بين مبدل التيار(الموحد) والفرش الكربونية.

$$I_a = \frac{V_a}{R_{load}} \qquad ٣-٤$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_a = E - \frac{V_a}{R_{load}} . R_{ac}$$

$$V_a \left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right) = E_a$$

$$V_a = \frac{E_a}{\left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right)}$$

$$V_a = \frac{K_E . \omega}{\left(1 + \frac{R_{ac}}{R_{load}}\right)} \qquad ٥-٣$$

المعادلة (٣- ٥) تبين أن تاكومترات التيار المستمر لها علاقة خطية بين V_aو ω، طالما أن كل من R_{ac} و ϕ ثابتان في القيمة، كلما تغيرت قيمة R_{ac} أو قيمة ϕ ابتعدت هذه العلاقة عن العلاقة الخطية. أي أنه يمكن أن يحدث خطأ في قراءة السرعة وهذا يرجع لسببين:

أولاً: رد فعل المنتج، وهو يضعف من الفيض المغناطيسي للمولد.

$$\phi_{load} = \phi - \Delta\phi_r \qquad ٦-٣$$

where

$$\Delta\phi_r = K_r . I_a$$

حيث ϕ هي الفيض المغناطيسي عند اللاحمل، $\Delta\phi_r$ هو النقص في الفيض المغناطيسي، بسبب رد فعل المنتج، ويعتمد على قيمة تيار المنتج، K_r هو ثابت التناسب بين I_a و $\Delta\phi_r$ ، أي أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند الحمل ليست ثابتة، بل تعتمد على قيمة الفيض المغناطيسي عند الحمل.

$$E_{a\,load} = K . \omega . \phi_{load} \qquad ٧-٣$$

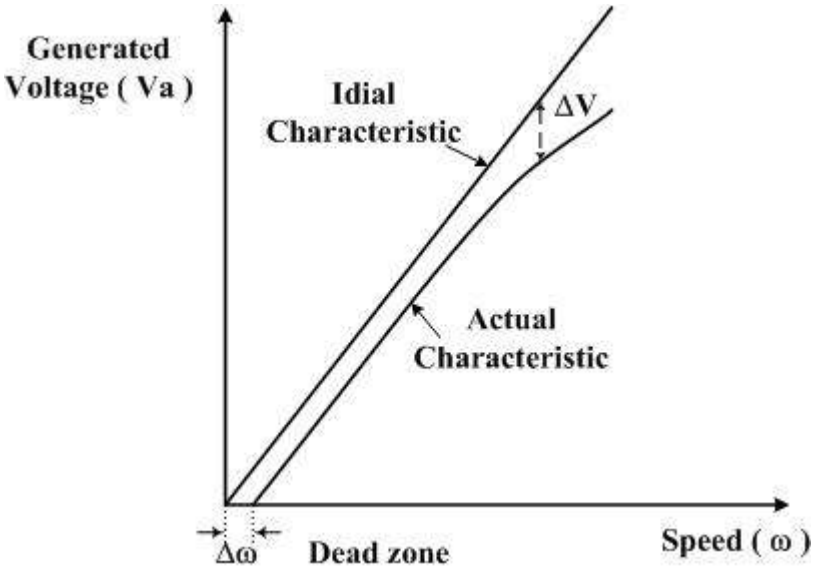
ثانيا: مقاومة التلامس بين المبدل والفرش الكربونية ليست ثابتة بل تتغير بتغير تيار الحمل، فهي من نوع المقاومات غير الخطية التي تتغير قيمتها بتغير التيار المار بها، وذلك بسبب التلامس بين مادتين مختلفتين هما النحاس والكربون.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

في الواقع أن جهد التلامس V_{brush} هو الذي يظل ثابتا وليس مقاومة التلامس، مما يستدعي تصحيح المعادلة (٣- ٣) لتصبح كالآتي:

$$V_a = E_a - I_a . R_a - V_{brush}$$

$$V_a = \frac{K_E . \omega - V_{brush}}{\left(1 + \frac{(K . K_r . \omega + R_a)}{R_{load}}\right)} \qquad ٨-٣$$



شكل ٣- ١ العلاقة بين الجهد المتولد وسرعة الدوران وتظهر فيها المنطقة الميتة

المعادلة (٣- ٨) تبين أن العلاقة بين V_a و ω ليست خطية إذا أخذنا في الاعتبار النقص في الفيض المغناطيسي الناشئ عن رد فعل المنتج وقيمة جهد التلامس V_{brush} . وتوضح المعادلة أيضا أن المنحني بين V_a و ω لا يبدأ من نقطة الأصل ، لأن الجهد على الأطراف لا يبدأ بالظهور إلا بعد تخطي سرعة معينة، هذا بسبب أن الجهد المتولد يكون أقل من جهد التلامس، فعند ازدياد السرعة وبالتالي ازدياد الجهد المتولد عن جهد التلامس يبدأ بعدها الجهد بالظهور على أطراف المنتج. هذا يعني أن هناك منطقة ميتة (Dead Zone =$\Delta\omega$)، لا يظهر عندها أي جهد على أطراف مولد التاكو. الشكل(٣- ١) يوضح العلاقة بين الجهد المتولد وسرعة الدوران لتاكومترات التيار المستمر حسب المعادلة ٣- ٨ .

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

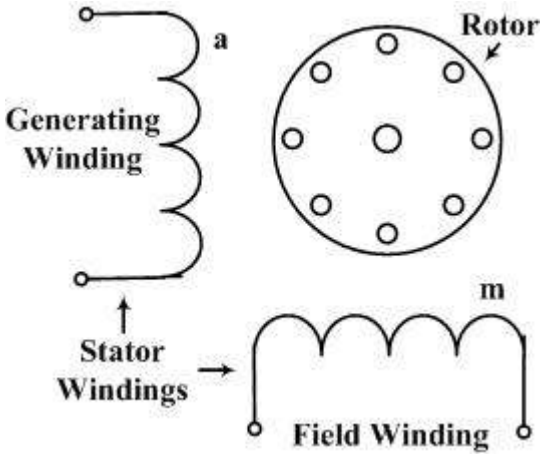
٣- ٢- ١ كيفية التقليل من الخطأ في قراءة تاكومترات التيار المستمر:

أولا: تستعمل مقاومة مادية كبيرة بقدر الإمكان لجهاز قياس الجهد المستعمل للقراءة للتقليل من تيار ورد فعل المنتج.

ثانيا: تستخدم فرش معدنية مصنوعة من الفضة للتقليل من جهد التلامس وبالتالي تقل المنطقة الميتة.

٣- ٣ مولدات التاكو الحثية: Induction Tacho-Generators .

جميع أنظمة التحكم غالبا ما تحتوي على مولد حثي لقياس السرعة الزاوية، وتوليد إشارة كهربائية متناسبة مع السرعة، يتكون مولد التاكو الحثي من ملفين، بينهما زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية، على عضوه الثابت، أحد الملفين يُوصل مع مصدر ثابت الجهد والتردد ويسمى ملف الجهد أو ملف المجال (Field winding) بينما يتولد جهد على الملف الآخر ويسمى ملف التوليد (Generating winding). العضو الدائر ذو قفص سنجابي ويفضل أن يكون على شكل كأس رفيع من النحاس (Drag-Cup Rotor) للحفاظ على أصغر قصور ذاتي وأصغر ثابت زمن ميكانيكي للدوار لسرعة الوصول لحالة الاستقرار، وهي من أهم متطلبات نظم التحكم، الشكل(٣- ٢) يبين رسماً توضيحياً لمولد تاكو حثي.



شكل ٣- ٢ رسم توضيحي لمولد تاكو حثي

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

٣- ٣ نظرية عمل التاكومترات الحثية:

لشرح نظرية عمل مولدات التاكو الحثية، نفترض أن ملف المجال موصل مع مصدر جهد ثابت القيمة والتردد وأن ملف التوليد مفتوح. عند سكون العضو الدوار، يمكن اعتبار مولد التاكو عبارة عن محول، ملفه الابتدائي هو ملف المجال وملفه الثانوي مقصور على نفسه، ممثلا في أسطوانة العضو الدوار.

الفيض المغناطيسي الناتج عن ملف المجال يقطع العضو الدوار فيولد به جهداً كما في المحولات ويسمى بجهد التحويل، يتسبب جهد التحويل المتولد في توليد تيار وفيض مغناطيسي يعاكس الفيض الأصلي لملف المجال طبقا لقاعدة لنز، المحصلة الكلية للفيض المغناطيسي (ϕ_f) هي الفرق بين المجالين وفي نفس اتجاه الفيض الأصلي لملف المجال وبنفس التردد. محصلة الفيض المغناطيسي (ϕ_f) لا تولد أي جهد في ملف التوليد لأنها متعامدة معه.

عند دوران العضو الدوار سرعة مقدارها ω يتولد جهد دوراني في العضو الدوار (E_{rot})، نتيجة لدوران الدوار في محصلة الفيض (ϕ_f) السابق ذكرها، يتناسب مع سرعة الدوران ω وله نفس تردد جهد ملف المجال ويكون متعامداً مع اتجاه الفيض المغناطيسي (ϕ_f) المسبب له، بينما يبقى جهد التحويل كما هو.

$$E_{rot} = K \cdot \omega \cdot \phi_f \qquad ٩-٣$$

الجهد الدوراني (E_{rot}) المتولد في العضو الدوار، ينتج تياراً وفيضاً مغناطيسياً (ϕ_g) في اتجاه محور ملف التوليد، الفيض المغناطيسي الناتج (ϕ_g) يولد جهداً E_a في ملف التوليد، الجهد المتولد E_a يكون متناسباً مع سرعة دوران العضو الدوار وله نفس تردد ملف المجال.

E_{rot} directly proportional to ω

ϕ_g directly proportional to E_{rot}

therefore ϕ_g is directly proportional to ω

$$\phi_g = \text{const.} \times \omega$$

$$E_a = \text{const.} \times \phi_g$$

$$E_a = K_g \times \omega$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث إن ملف التوليد موصل مع معاوقة خارجية كبيرة جدا ، فيمكننا اعتباره مفتوح الدائرة ويتولد على أطرافه جهد ، في الحالة المثالية لمولد التاكو الحثي يكون الجهد المتولد متناسبا تناسبا طرديا مع سرعة دوران الدوار ويصنع زاوية ثابتة مع جهد المصدر. يجب توخي الدقة عند تصميم وتركيب مولدات التاكو الحثية بحيث يكون ملف المجال وملف التوليد متعامدين في الفراغ بشكل دقيق، حتى لا يتولد أي جهد في ملف التوليد في حالة سكون الدوار نتيجة للمجال المغناطيسي المتسرب من ملف الجهد.

مما سبق شرحه عن تركيب مولد التاكو الحثي، يتضح أنه يمكن اعتباره مكافئاً لمحرك حثي أحادي الوجه ملفه الرئيسي موصل مع مصدر ثابت الجهد والتردد وملفه المساعد مفتوح، إذا يمكن استخدام الدائرة المكافئة للمحرك أحادي الوجه لحساب الجهد المتولد على الملف المساعد (أو ملف التوليد في حاله التاكومترات الحثية). حيث إن الجهود على كل من ($0.5\ Z_b$, $0.5\ Z_f$) هي الجهود المتولدة في الملف الرئيسي بواسطة المجال الأمامي والمجال الخلفي على الترتيب، نفس هذه المجالات الدوارة ستولد جهودا أيضا في الملف المساعد. إذا افترضنا أن (n)تمثل النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي، فإن الجهد المتولد على الملف المساعد يساوي الجهد المتولد على الملف الرئيسي مضروبا في المعامل (n)، وحيث إن (E_{af}) يسبق (E_{mf}) بتسعين درجة، إذا:

$$E_{af} = jnE_{mf} = jnI_1.(0.5Z_f) \qquad ١٠-٣$$

$$\text{where} \quad n = \frac{N_a}{N_m}$$

وأن (E_{ab}) يتأخر عن (E_{mb}) بتسعين درجة، إذا

$$E_{ab} = -jnE_{mb} = -jnI_1.(0.5Z_b) \qquad ١١-٣$$

الجهد الكلي المتولد على الملف المساعد

$$\overline{E}_a = \overline{E}_{af} + \overline{E}_{ab} \qquad ١٢-٣$$

$$= j0.5\times n\ I_1.(Z_f - Z_b) \qquad ١٣-٣$$

عند بدء الحركة ($s = 1$) فإن ($Z_f = Z_b$) و ($E_a = 0$)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الجهد المتولد على ملف التوليد (E_a) يعتمد على الفرق بين قيمتي Z_f و Z_b فإذا تساوت القيمتان تلاشى الجهد المتولد، وكلما ازدادت السرعة وقلت قيمة الانزلاق، تزداد قيمة Z_f وتقل قيمة Z_b فيزداد الفرق بين القيمتين، ويزداد الجهد المتولد على ملف التوليد بما يتناسب مع الزيادة في السرعة تناسبا طرديا.

مثال ٣- ١

إذا استخدم المحرك أحادي الوجه المشار إليه في المثال ١- ٥ كمولد تاكو حثي لقياس السرعة، احسب الجهد المتولد على الملفات المساعدة وزاوية طوره مع جهد الملف الرئيسي عند انزلاق $s=0.05$. إذا كانت النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي $n = 0.8$.

الحل: الجهد المتولد على الملف المساعد

$$E_a = j0.5 \times n\ I_1\ .\ (Z_f - Z_b)$$
$$= j0.5 \times 0.8 \times 3.59\angle -51.7^\circ (31.9 + j40.3 - 1.98 - j2.12)$$
$$= j(1.436\angle -51.7^\circ) \times (48.5\angle 51.92^\circ)$$
$$= 69.65\angle 90.22^\circ \quad \text{volt}$$

الجهد المتولد في الملف المساعد 69.65 ومتقدم عن جهد الملف الرئيسي بزاوية مقدارها 90.22°

٣- ٤ مولدات التاكو التزامنية Synchronous Tacho-generators

هي عبارة عن مولدات تزامنية صغيرة الحجم، يتم الحصول على المجال المغناطيسي بواسطة مغناطيسات دائمة على العضو الدوار، العضو الثابت يتكون من ملف أحادي الوجه أو من ملفات ثلاثية متماثلة.

عند دوران العضو الدوار يتولد جهد متردد في الملف الثابت يتناسب مع سرعة الدوران في القيمة والتردد، يزداد الجهد والتردد معا بنفس المعدل مع ازدياد سرعة الدوار. فيمكن قياس السرعة، أما بقياس قيمة الجهد المتولد أو بقياس تردد هذا الجهد. قياس السرعة بواسطة قياس التردد يكون عادة أكثر دقة، وسبب ذلك، أن التردد لا يتأثر بتغير ممانعة الدائرة المغناطيسية أو كثافة المجال المغناطيسي، ولا يتأثر أيضا بتغير الحمل أو تأثيرات درجة الحرارة.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

٣- ٥ معايرة التاكومترات :

حيث إن التاكومترات تعتبر من أجهزة القياس، فيجب الحرص على دقة قياس السرعة بواسطتها، ذلك يستلزم معايرتها كل فترة زمنية محددة للتأكد من صحة قراءة السرعة المقاسة بواسطتها. ذلك يتحقق بمقارنة نتائجها مع نتائج وسيلة أخرى دقيقة لقياس السرعة، مثل الإستروبوسكوب، وتصحيح ثابت توليد الجهد كلما لزم الأمر.

أسئلة وتمارين متنوعة :

س ٣- ١: ما هي المتطلبات الواجب مراعاتها في تصميم مولدات التاكو ؟

س ٣- ٢: ما هي أسباب الخطأ الذي يمكن أن يحدث في قراءة السرعة المقاسة بواسطة تاكومترات التيار المستمر؟ وما هي الإجراءات المتخذة عند التصميم للتقليل من هذا الخطأ ؟

س ٣- ٣: كيف تتم معايرة التاكومترات؟

تمرين٣- ١: أثبت العلاقة الرياضية التي تربط بين الجهد المتولد على أطراف مولدات التاكو للتيار المستمر وسرعة الدوران المراد قياسها (المعادلة ٣- ٨) . ارسم هذه العلاقة ووضح أنها غير خطية.

تمرين٣- ٢: أثبت أن الجهد المتولد على ملف التوليد في مولدات التاكو الحثية يتناسب طرديا مع سرعة الدوار وبنفس تردد جهد ملف المجال.

تمرين٣- ٣: إذا استخدم المحرك أحادي الوجه المشار إليه في التمرين ١- ٦ كمولد تاكو حثي لقياس السرعة، احسب الجهد المتولد على الملفات المساعدة وزاوية الطور مع جهد الملف الرئيسي عند انزلاق s=0.04. إذا كانت النسبة بين عدد لفات الملف المساعد إلى عدد لفات الملف الرئيسي n=0.9

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM