

الآلات الكهربائية الصغيرة

مولدات التاكو

الوحدة الثالثة : مولادات التاكو

الجذارة: معرفة تركيب وأنواع مولادات 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 الجذارة: احتياز مقرري آلات التيار المستمر والمحولات وآلات التيار المتردد.

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 المولدة، العلاقة العامة لخرج مولد التاكو هي:

$$V_a = K_g \cdot \omega \quad [1-3]$$

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

حيث ω هي سرعة الدوران بالراديان في الثانية V_a 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 حثية أو تزامنية.

٣- المتطلبات الرئيسية لمولدات التاكو :

هناك متطلبات يجب مراعاتها عند تصميم التاكومترات وهي:

- أ. أقل خطأ ممكن في القيمة العددية للجهد المولدة (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 للmotor.
- هـ. أقل ثابت زمني للنظام الكهروميكانيكي.

يعرف الخطأ في القيمة العددية للجهد (ΔV)، بأنه الفرق بين الجهد المولدة 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 متوجه جهد الخرج عن اتجاه المجال عن نفس الزاوية في العلاقة المثالية.



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

مولادات التاكو للتيار المستمر، هي في الأساس مولادات للتيار المستمر صغيرة الحجم، فتركت فيها ونظرية عملها تماماً 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 لمولادات التاكو للتيار المستمر، هي العلاقة بين الجهد على أطراف المنتج

$$V_a \propto \omega \cdot R_{load} \quad (2-3)$$

$$E_a \propto N \cdot \phi$$

$$E_a \propto \omega \cdot \phi = K \cdot \omega \cdot \phi$$

but $\phi = \text{constant}$

$$E_a \propto \omega$$

$$E_a = K_E \cdot \omega \quad (2-3)$$

where

$$K_E = K \cdot \phi$$

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

$$V_a = E_a - I_a R_{ac} \quad (3-3)$$

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

$$I_a = \frac{V_a}{R_{load}} \quad (3-4)$$

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

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

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

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

٥-٣

المعادلة (٣-٥) تبين أن تاكومترات التيار المستمر لها علاقة خطية بين V_a و 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.

$$\phi_{load} = \phi - \Delta\phi_r$$

٦-٣

where

$$\Delta\phi_r = K_r \cdot I_a$$

حيث ϕ هي الفيض المغناطيسي عند اللاحمel، $\Delta\phi_r$ 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.

$$E_{a load} = K \cdot \omega \cdot \phi_{load}$$

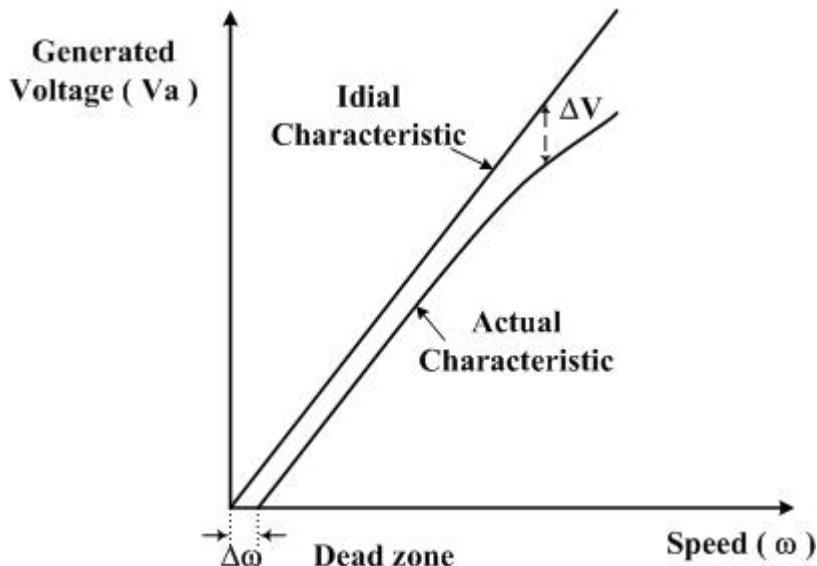
٧-٣

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

في الواقع أن جهد التلامس V_{brush} هو الذي يظل ثابتاً وليس مقاومة التلامس، مما يستدعي تصحيح المعادلة (٣-٢) لتصبح كالتالي:

$$V_a = E_a - I_a \cdot R_a - V_{brush}$$

$$V_a = \frac{K_E \cdot \omega - V_{brush}}{1 + \frac{(K \cdot K_r \cdot \omega + R_a)}{R_{load}}} \quad ٨-٣$$



شكل ٣-١ العلاقة بين الجهد المولود 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 أيضاً أن المنحنى 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 المولود يكون أقل من جهد التلامس، فعند ازدياد السرعة وبالتالي ازدياد الجهد المولود عن جهد التلامس يبدأ الجهد بالظهور على أطراف المنتج. هذا يعني أن هناك منطقة ميتة (Dead Zone = $\Delta\omega$)، لا يظهر فيها أي جهد على أطراف مولد التاكو. الشكل (٣-١) يوضح العلاقة بين الجهد المولود وسرعة الدوران لتاكومترات التيار المستمر حسب المعادلة ٣-٨.

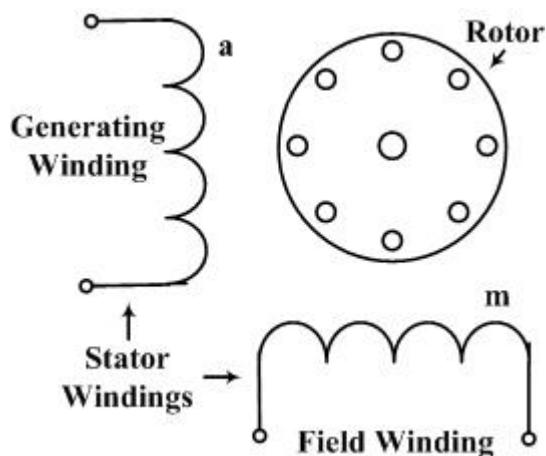
٣ - ٢ - ١ كيفية التقليل من الخطأ في قراءة تاكومترات التيار المستمر:

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

ثانياً: 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 غالباً 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 يوصل 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 الدائري ذو قفص سنجابي ويفضل أن يكون على شكل كأس رفيع من النحاس (Drag-Cup Rotor) للحفاظ على أصغر قصور ذاتي وأصغر ثابت زمن ميكانيكي للدوران لسرعة الوصول لحالة الاستقرار، وهي من أهم متطلبات نظم التحكم، الشكل (٣ - ٢) يبين رسمياً توضيحياً لمولد تاكو حثي.



شكل ٣ - ٢ رسم توضيحي لمولد تاكو حثي

٣- نظرية عمل التاكومترات الحثية:

لشرح نظرية عمل مولادات 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، ممثلاً في أسطوانة العضو الدوار. الفيصل المغناطيسي الناتج عن ملف المجال يقطع العضو الدوار فيولد به جهداً كما في المحولات ويسمى بجهد التحويل، يتسبب جهد التحويل المولد في توليد تيار وفيصل مغناطيسي يعاكس الفيصل الأصلي لملف المجال طبقاً لقاعدة لنز، المحصلة الكلية للفيصل المغناطيسي (Φ_f) هي الفرق بين المجالين وفي نفس اتجاه الفيصل الأصلي لملف المجال وبنفس التردد. محصلة الفيصل 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 الفيصل (Φ_f) السابق ذكرها، يتاسب مع سرعة الدوران (ω) وله نفس تردد جهد ملف المجال ويكون متعامداً مع اتجاه الفيصل المغناطيسي (Φ_f) المسبب له، بينما يبقى جهد التحويل كما هو.

$$E_{rot} = K \cdot \omega \cdot \Phi_f$$

٩-٣

الجهد الدوراني (E_{rot}) المولد في العضو الدوار، ينتج تياراً وفيصل مغناطيسيأً (Φ_g) في اتجاه محور ملف التوليد، الفيصل المغناطيسي الناتج (Φ_g) يولد جهداً (E_a) في ملف التوليد، الجهد المولد (E_a) يكون متاسباً 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

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

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

$$E_a = K_g \times \omega$$

حيث إن ملف التوليد موصل مع معاوقة خارجية كبيرة جداً، فيمكننا اعتباره مفتوح الدائرة ويولد على أطرافه جهد، في الحالة المثلثية لمولد التاكو الحثي يكون الجهد المتولد متناسباً تتناسباً طردياً 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 للجهد والتردد وملفه المساعد مفتوح، إذا يمكن استخدام الدائرة المكافئة لمحرك أحادي الوجه لحساب الجهد المتولد على الملف المساعد (أو ملف التوليد في حالة التاكومترات الحثية). حيث إن الجهود على كل من ($0.5 Z_f$, $0.5 Z_b$) هي الجهود المتولدة في الملف الرئيسي بواسطة المجال الأمامي والمجال الخلفي على الترتيب، نفس هذه المجالات الدوارة ستولد جهوداً أيضاً 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 مضروباً في المعامل (n)، بحيث إن (E_{af}) يسبق (E_{mf}) بتسعين درجة، إذا:

$$E_{af} = jn E_{mf} = jn I_1 \cdot (0.5 Z_f) \quad 10-3$$

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

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

$$E_{ab} = -jn E_{mb} = -jn I_1 \cdot (0.5 Z_b) \quad 11-3$$

الجهد الكلي المتولد على الملف المساعد

$$\bar{E}_a = \bar{E}_{af} + \bar{E}_{ab} \quad 12-3$$

$$= j0.5 \times n I_1 \cdot (Z_f - Z_b) \quad 13-3$$

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

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 فيزيادة الفرق بين القيمتين، ويزيد الجهد المتولد على ملف التوليد بما يتاسب مع الزيادة في السرعة تناسباً طردياً.

مثال ٣ - ١

إذا استخدم المحرك أحادي الوجه المشار إليه في المثال ١ - ٥ كمولد تاكو حتى 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

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

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

- ٤ مولدات التاكو والتزامنية 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 ثلاثة متماثلة.

عند دوران العضو الدوار يتولد جهد متعدد في الملف الثابت يتاسب مع سرعة الدوران في القيمة والتردد، يزداد الجهد والتردد معاً 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 يتتأثر بتغير ممانعة الدائرة المغناطيسية أو كثافة المجال المغناطيسي، ولا يتتأثر أيضاً بتغير الحمل أو تأثيرات درجة الحرارة.

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 الإستروبوسکوب، 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؟

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

تمرين ٣ - ٢ : أثبت أن الجهد المترد على ملف التوليد في مولدات التاكو الحثية يتاسب طرديا مع سرعة الدوار وبنفس تردد جهد ملف المجال.

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