الفصل الثاني

اجهزة قياس التيار المستمر

الكلفانومترات ومبدأ دي ارسونفال

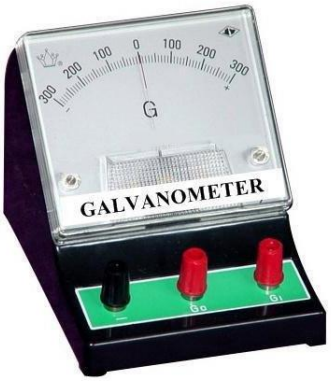
- على الرغم من امكانية استخدام التأثيرات الحرارية كوسيلة للكشف عن التيار او قياسه الا ان افضل وسيلة واسهلها استخداماً هي التأثيرات المغناطيسية.
- ان الاجهزة التي تستخدم التأثيرات المغناطيسية لغرض الكشف عن التيار المستمر تدى الكلفانومترات.
- تعتمد الكلفانومترات في تصميمها على مبدأ دي ارسونفال في الحركة الزاوية (D'Arsonval movement) . فعندما يوضع ملف مستطيل الشكل في مجال مغناطيسي ثابت المقدار والاتجاه ناشئ عن مغناطيس دائم ينشأ عزم مغناطيسي دوراني على الملف حال مرور تيار فيه, ومن الطبيعي يحدث انحراف زاوي للملف فيما لو ترك يدور بحرية. ان مقدار الانحراف الزاوي للملف الناتج عن مرور التيار في الملف يعد بمثابة قياس للتيار المار فيه هذا اذا هو الاساس الذي بموجبه تصمم الكلفانومترات التي تعمل على مبدأ دي ارسونفال.
- ان العزم المغناطيسي الدوراني المؤثر على ملف عدد لفاته (N) ومساحته (A) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم شدته (B) يعطى بالعلاقة:

$$\tau = \mathrm{NIAB}\sin\emptyset$$

من المعادلة يتبين ان الكميات (N,A,B) هي مقادير ثابتة وعليه فان مقدار العزم يعتمد على التيار (I) والزاوية (Ø) .

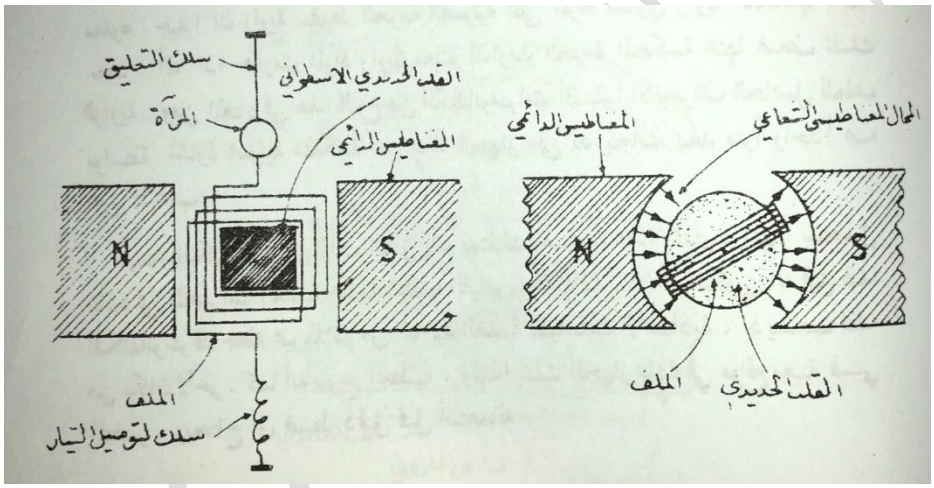
- لكي يبقى العزم كدالة للتيار يصنع المجال بشكل شعاعي حيث يكون مستوى الملف دائماً موازي لاتجاه المجال اي تكون الزاوية ($\emptyset = 90$) دائماً وهذا يعني ان العزم يساوي:

$$\tau = \mathrm{NIAB}$$



1- الكلفانومتر ذو الملف المعلق

- يتكون هذا الكلفانومتر من ملف مصنوع من سلك دقيق ملفوف على اطار خفيف مستطيل الشكل ومعلق بواسطة سلك بحيث يمكن ان يدور بحرية في الفجوة الهوائية المحصورة بين القلب الاسطواني وقطبي المغناطيس .
- يتكون الملف عادة من عدد يتراوح بين العشرة والعشرين لفة اما سلك التعليق فيصنع من سلك او شريط دقيق من مادة موصلة للتيار يقوم هذا السلك بتوصيل التيار الكهربائي الى الملف, كذلك يقوم بتوليد عزم دوراني مرجع عندما ينحرف الملف عن موضع الاتزان. وتربط النهاية الاخرى للملف بسلك لولبي مرتخ, تنحصر فائدته فقط بتوصيل التيار الى الدائرة الخارجية. وليس له دور في السيطرة على حركة الملف.
- عند مرور التيار في ملف الكلفانوميتر ينشأ في الحال عزم مغناطيسي دوراني ونتيجة لهذا العزم يدور الملف حول محور شاقولي لكنه ينشأ في الوقت نفسه عزم مضاد ناتج عن لي سلك التعليق وعليه سوف يقف الملف ويستقر عند موضع يتعادل فيه العزم المغناطيسي مع عزم اللي.



- لنفرض ان الزاوية التي انحرف فيها الملف تساوي (α) بوحدة الزاوية النصف القطرية وان ثابت اللي لسلك التعليق (k) وهو العزم الدوراني اللازم للي السلك زاوية نصف قطرية واحدة. عندئذٍ يصبح العزم المرجع عند هذا الانحراف مساوياً ($k\alpha$) .لذا فان شرط حدوث الاتزان هو:

$$NIAB = k\alpha$$

$$\therefore I = \left(\frac{k}{NAB}\right)\alpha$$

- بمعنى التيار المار في الكلفانومتر يتناسب طردياً مع الانحراف الزاوي الحاصل لملفه.
- يمتاز الكلفانومتر ذو الملف المعلق بأنه يمتلك حساسية عالية للتيار.

مثال:

كلفانومتر ذو ملف معلق يمتلك ملفاً مكوناً من (200 لفة) ملفوف على اطار مستطيل مساحة سطحه ($2\ cm^2$) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم شدته ($0.4\ T$) . اذا علم ان ثابت اللي لسلك التعليق ($4\times10^{-8}\ Nm/deg$) .احسب مقدار التيار الذي يمر فيه الملف اذا احدث انحرافاً مقداره ($20°$) .

الحل:

$$\tau = k\alpha$$

$$NIAB = k\alpha \Rightarrow I = \frac{k\alpha}{NAB}$$

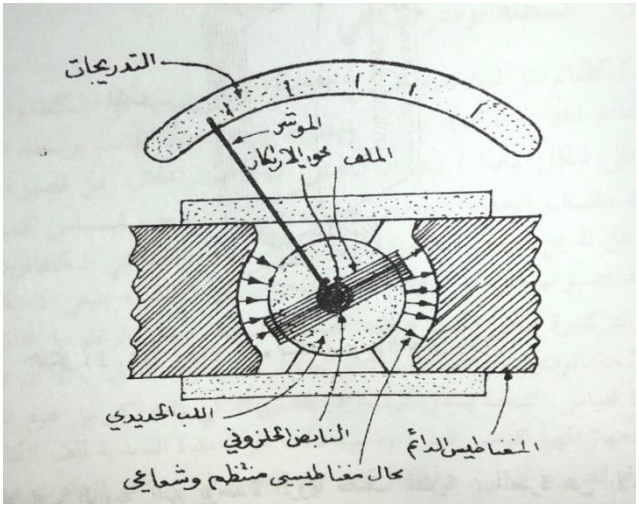
$$I = \frac{4 \times 10^{-8} \times 20}{200 \times 2 \times 10^{-4} \times 0.4}$$

$$I = 5 \times 10^{-5} A \Rightarrow 50\ \mu A$$

2- الكلفانومتر ذو الملف المرتكز

لا يختلف هذا الكلفانومتر من حيث المبدأ عن نظيره الكلفانومتر ذو الملف المعلق كثيراً, سوى في شيء واحد هو ان الملف غير معلق في المجال المغناطيسي الدائمي.

- الملف مرتكز على محوريين مخروطين من مادة صلبة جداً بحيث يمكن ان يدور بحرية داخل المجال ان هذا النوع من التكوين يجعل الجهاز اكثر متانة وملائم للاستعمال من الناحية العملية.
- يتصل بالملف نابضان حلزونيان فائدتهما توليد العزم المرجع بدلاً من سلك التعليق وتوصيل التيار من والى الملف.
- ثابت اللي للنابض اكبر من ثابت لي سلك التعليق للتغلب على عزم الاحتكاك عند نقطتي الارتكاز ولهذا السبب يكون هذا الجهاز اقل حساسية للتيار من الكلفانومتر ذو الملف المعلق.
- لا يتحسس عادة للتيار الذي تقل قيمته عن مايكرو امبير واحد , لاحظ الشكل التالي.



3- الكلفانومتر القذفي

ان الكلفانومتر المستخدم لقياس الشحنة الكهربائية يدعى بالكلفانومتر القذفي (Ballistic galvanometer).

- يشترط في الشحنة المقاسة ان تكون على شكل نبضة اي تمر في الكلفانومتر خلال زمن قصير مقارنة مع مدة ذبذبة ملف الجهاز، ولهذا يستخدم هذا الكلفانومتر في قياس كمية الشحنة الناتجة عن تفريغ متسعة مشحونة.
- الكلفانومتر القذفي مصمم خصيصاً لقياس الشحنة يمتاز بكون عزم القصور الذاتي لملفه اكبر من عزم القصور الذاتي لملف الجهاز المهيأ لقياس التيار, بسبب ان مدة ذبذبة ملف الكلفانومتر تعتمد على عزم قصوره الذاتي فكلما كان عزم القصور الذاتي اكبر ازدادت مدة الذبذبة.
- فعند ارسال نبضة من الشحنة في الكلفانومتر سيؤدي الى مرور تيار في ملفه ومن ثم حدوث انحراف فيه ولإيجاد العلاقة بين كمية الشحنة التي تمر فيه وذروة الانحراف التي تحصل للملف نأخذ كلفانومتراً قذفياً ونفرض ان عدد لفات ملفه (N) ومساحة وجه الملف (A) وعزم قصوره الذاتي (J) فان العزم المغناطيسي المؤثر على الملف عند اية لحظة من لحظات مرور التيار يساوي:

$$\tau = NiAB$$

وباستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية:

$$\tau = \mathrm{J}\frac{d\omega}{dt}$$

ω :السرعة الزاوية الانية للملف في اللحظة التي تكون فيه قيمة التيار (i).

$$\tau\,\mathrm{dt} = \mathrm{J}\,\mathrm{d}\omega$$

$$NiAB\,dt = J\,d\omega \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

لحظة بداية التفريغ للشحنة $(t = 0)$ فان $(\omega = 0)$.

وعندما $(t = t')$ انتهت عملية تفريغ الشحنة فان الملف يكتسب سرعة زاوية $(\omega = \omega')$ فعند اخذ التكامل لطرفي المعادلة (1) ينتج:

$$NAB \int_0^{t'} i\, dt = J \int_0^{\omega'} d\omega$$

ولكن الكمية $(\int_0^{t'} i\, dt)$ تعني كمية الشحنة (Q).

$$\therefore NABQ = J\omega'$$

$$\omega' = \frac{NAB}{J} Q \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ان المعادلة (2) تعني ان السرعة الزاوية التي يكتسبها ملف الكلفانومتر القذفي تتناسب طردياً مع كمية الشحنة التي تمر فيه عند كل لحظة.

اي ان عند مرور شحنة قدرها (Q) في الكلفانومتر يكتسب الملف طاقة حركية تساوي :

$$K.E. = \frac{1}{2} J\omega^2$$

$$\therefore K.E. = \frac{N^2A^2B^2}{2J} Q^2$$

وعندما يصل الملف الى ذروة انحرافه تتحول الطاقة الحركية بأكملها الى طاقة كامنة المتمثلة بطاقة التواء السلك. واذا فرضنا ان زاوية الانحراف القصوى للملف تساوي (α_o) فان:

$$P.E. = \frac{1}{2} k\alpha_o^2$$

$$\therefore \frac{N^2A^2B^2}{2J} Q^2 = \frac{k\alpha_o^2}{2}$$

$$Q = \frac{\sqrt{kJ}}{NAB} \alpha_o$$

المعادلة اعلاه تعني ان ذروة الانحراف الذي يحصل لملف الكلفانومتر القذفي تتناسب طردياً مع كمية الشحنة التي تمر فيه على شكل نبضة.

مثال:

شحنت متسعة ($1\mu F$) بواسطة بطارية (1.5 v) ثم افرغت الشحنة في كلفانومتر قذفي محدثتاً انحراف للملف بلغت قيمته القصوى (0.05 rad) واذا كانت عدد لفات ملف الكلفانومتر ($N = 20$) ومساحة مقطعه ($4\ cm^2$) وشدة المجال ($B = 0.1\ T$) وثابت اللي ($k = 6 \times 10^{-12}\ N.m/rad$) . احسب عزم القصور الذاتي للملف.

الحل:

$$Q = CV$$

$$= 1 \times 10^{-6} \times 1.5 = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$Q = \frac{\sqrt{kJ}}{NAB}\alpha_o$$

$$1.5 \times 10^{-6} = \frac{\sqrt{6 \times 10^{-10} \times J}}{20 \times 4 \times 10^{-4} \times 0.1} \times 0.05$$

$$2.4 \times 10^{-8} = \sqrt{6 \times 10^{-10} J}$$

$$5.76 \times 10^{-16} = 6 \times 10^{-10} \times J$$

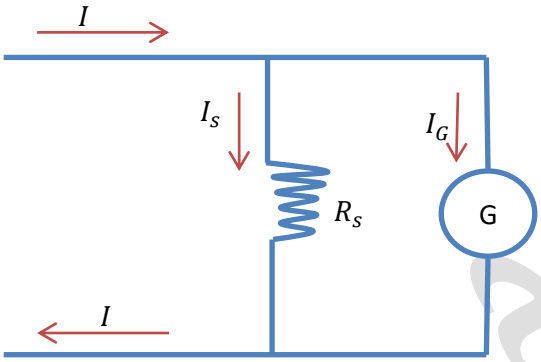
$$J = \frac{5.76 \times 10^{-16}}{6 \times 10^{-10}}$$

$$\therefore J = 9.6 \times 10^{-7}\ kg.m^2$$

اميتر التيار المستمر

ان اكثر انواع الاميترات المستعملة لقياس التيار المستمر مستمدة من الكلفانومتر ذو الملف المرتكز. حيث اذا ما تمت معايرة الكلفانومتر اصبح الجهاز صالحاً لقياس مدى محدود من التيارات الضعيفة والتي لا تتجاوز بضع ملي امبيرات.

ولغرض استعمال الكلفانومتر لقياس تيارات عالية يتم توصيل مقاومة صغيرة جداً على التوازي مع ملف الكلفانومتر كما في الشكل ادناه وتسمى هذه المقاومة بالمجزئ (shunt) ويرمز لها بـ (R_s) . وان قيمة المجزئ تعتمد على مقدار التيار المراد قياسه.



لإيجاد الصيغة الرياضية لمقاومة المجزئ نفرض ان :

I : القيمة العظمى لمدى التيار المراد قياسه بواسطة الاميتر.

I_G : تيار الانحراف الكلي للكلفانومتر.

R_G : مقاومة ملف الكلفانومتر.

I_s: تيار المجزئ .

R_s : مقاومة المجزئ.

بما ان مقاومة الكلفانوتر متصلة على التوازي مع مقاومة المجزئ.

$$\therefore I_s R_s = I_G R_G \Rightarrow R_s = \frac{I_G . R_G}{I_S}$$

$$I_S = I - I_G$$

$$\therefore R_s = \frac{I_G . R_G}{I - I_G}$$

مثال:

كلفانومتر ذو ملف مرتكز مقاومة ملفه (50Ω) وتيار الانحراف الكلي لملفه (500 μA) . احسب:

a) مقاومة المجزئ اللازم لتحوير هذا الكلفانومتر الى اميتر يمتد مداه بين الصفر وخمسة امبيرات.
b) مقاومة الاميتر.

الحل:

: a

$$R_s = \frac{I_G . R_G}{I - I_G}$$

$$R_s = \frac{500 \times 10^{-6} \times 50}{5 - 500 \times 10^{-6}}$$

$$R_s = 0.005\Omega \Rightarrow R_s = 5 \times 10^{-3}$$

في الحالات التي يكون فيها I_G اصغر بكثير من (I) فان:

$$R_s = \frac{I_G . R_G}{I}$$

$$\frac{500 \times 10^{-6} \times 50}{5} \Rightarrow R_s = 5 \times 10^{-3}\Omega$$

: b

تتكون مقاومة الاميتر من مقاومتين متصلتين على التوازي هما R_G , R_s حيث ان:

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_s}$$

$$\frac{1}{R_A} = \frac{R_G + R_s}{R_G . R_s}$$

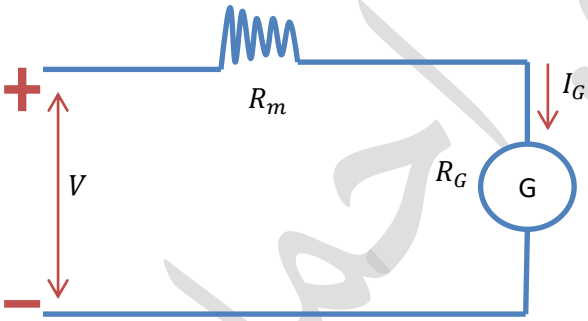
$$R_A = \frac{R_G . R_s}{R_G + R_s}$$

بما ان مقاومة المجزئ اصغر بكثير من مقاومة الكلفانومتر فان:

$$R_A = \frac{R_G . R_s}{R_G} \Rightarrow R_A = R_s = 0.005\Omega$$

فولتميتر التيار المستمر

الفولتميتر هو الجهاز الذي يقيس فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربائية وذلك بتوصيل طرفي الجهاز بالنقطتين المعنيتين. ان استعمال الكلفانومتر بوضعه الاعتيادي لقياس فرق الجهد يكون غير مجدي من الناحية العملية لأنه لا يمكنه قياس فولتيات عالية وانما يقتصر على الفولتيات الواطئة. ولغرض استعمال الكلفانومتر لقياس فرق الجهد يتم توصيل مقاومة ذات قيمة عالية على التوالي مع ملف الكلفانومتر تسمى بالمضاعف multiplier ورمزها (R_m) لاحظ الشكل.



لحساب مقدار مقاومة المضاعف (R_m) نفرض ان:

V : القيمة العظمى لمدى فرق الجهد المراد قياسه بواسطة الفولتميتر.

I_G : تيار الانحراف الكلي لملف الكلفانومتر.

R_G : مقاومة ملف الكلفانومتر.

R_m : مقاومة المضاعف.

$$V = I_G(R_m + R_G)$$

$$R_m = \frac{V}{I_G} - R_G$$

مثال:

احسب مقاومة المضاعف اللازمة لتحوير كلفانومتر مقاومة ملفه (50Ω) وتيار انحرافه الكلي (500μA) الى فولتميتر ذو مدى اقصاه (50 v). وما قيمة المقاومة الكلية للفولتميتر؟

الحل:

$$R_m = \frac{V}{I_G} - R_G$$

$$R_m = \frac{50}{500 \times 10^{-6}} - 50$$

$$R_m = 99950\ \Omega$$

اما مقاومة الفولتميتر فتساوي مجموع المقاومتين R_G, R_m

$$R_V = R_G + R_m$$

$$50 + 99950$$

$$\therefore R_V = 100000\ \Omega$$

مسائل الفصل الثاني

س1:ما اقصى فرق جهد يمكن قياسه مباشرة اذا علمت ان مقاومة الكلفانومتر تساوي (1000 ohm) وتيار انحرافه الكلي ($50\mu A$) ما مقدار مقاومة المضاعف اللازم لتحويل الكلفانومتر الى فولتميتر مداه (500 v).

س2: احسب قيم المقاومات اللازمة لتحوير كلفانومتر مقاومته (50 ohm) وتيار انحرافه الكلي (1 mA) الى مايأتي :

a) اميتر ذو تدريج (0.1 A).
b) فولتميتر ذو مدى (0-100v) .