أجهزة القياس

قسم الاجهزة الطبيـــــــة

المرحلة الثانيـــة

إعداد المدرس

حيدر فاضـــــل

2023-2022

أجهزة القياس الكهربائية ذات المؤشر

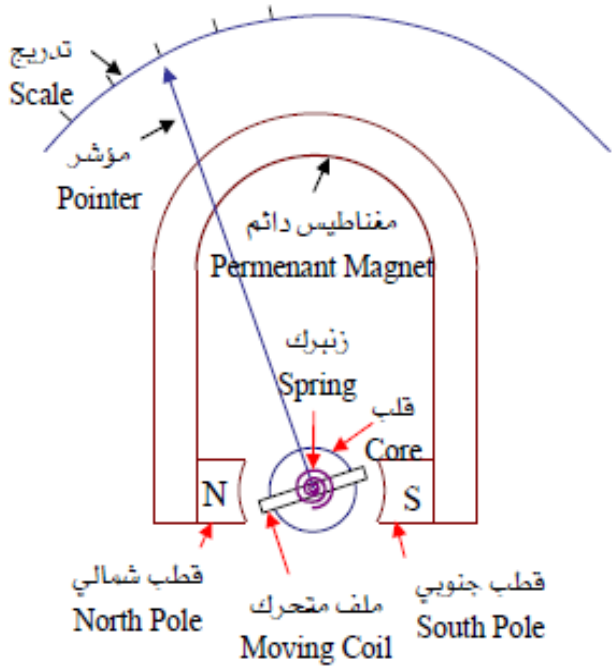
اجهزة قياس التيار المستمر والتيار المتردد

٢ -٢ جهاز دارسونفال للقياس ذو الملف المتحرك D'Arsonval Meter Movement (الكلفانومتر)

ما يزال جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك يستخدم على نطاق واسع في عمليات القياس الكهربائية حتى الآن، ولذلك سوف ندرس بالتفصيل: تركيبه ونظرية عمله.

٢ -٢ -١ تركيب جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك Construction of D'Arsonval Meter

يتكون جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك، كما هو مبين بشكل رقم (٢ -١)، من مغناطيس دائم على شكل حدوة الفرس (horseshoe)، ينتهي بقطبين مصنعين من الحديد المطاوع (soft iron)، ما بين القطبين الشمالي والجنوبي مثبت قلب أسطواني الشكل مصنع من الحديد المطاوع، حيث يتحد معه في المحور ملف كهربائي مصنع من أسلاك كهربائية دقيقة، وملفوف على إطار معدني خفيف مستطيل الشكل قابل للحركة على محور بقاعدة مصنعة من العقيق لتسهيل حرية الحركة. ومثبت على الإطار المعدني مؤشر خفيف يدور مع الملف حيث يؤشر على تدريج يبين مقدار الحركة التي قطعها الملف في حركته، وبعاكس حركة الملف زنبرك مثبت في الجهاز لموازنة حركة الملف و المؤشر.



شكل رقم (٢ -١) تركيب جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك.

٢ -٢ نظرية تشغيل جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك Operation of D'Arsonval Meter

عند توصيل التيار الكهربائي المراد قياسه إلى الجهاز، يمر تيار في الملف، ولذلك يتولد مجال مغناطيسي حول الملف، ويتداخل هذا المجال مع المجال المغناطيسي الناشئ عن المغناطيس الدائم مسبباً قوة بين المغناطيسين. وبما أن المغناطيس الدائم ثابتاً أيضاً في موقعه وليس فقط في قيمة مجاله، يؤدي ذلك إلى أن القوة المتبادلة بين المغناطيسين تقع كلها على الملف حيث إنه قابل للحركة حول محوره فتسبب له عزم انحراف، فينحرف الملف ويحرك معه المؤشر. ويتناسب عزم الانحراف مع شدة كل مجال من المجالين. وحيث إن المجال الناتج عن المغناطيس الدائم ثابت القيمة، فإن عزم الانحراف يتناسب مع المجال المغناطيسي الناشئ عن الملف، أي مع التيار المار في الملف، ولهذا فإن تدريج هذا الجهاز يكون منتظما من الصفر حتى نهاية التدريج.

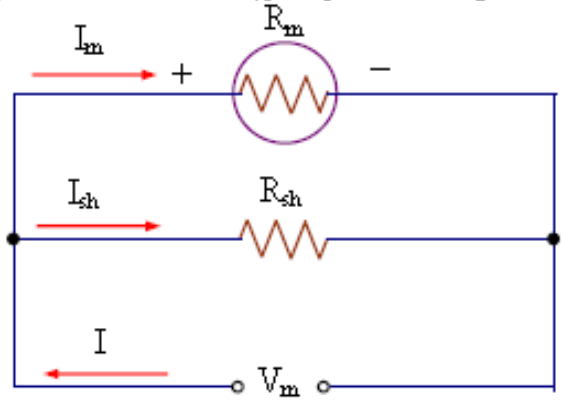
٢ -٣ استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك في دوائر التيار المستمر

D'Arsonval Meter in Direct Current Circuits

٢ -٣ -١ استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك لقياس التيار المستمر

D'Arsonval Meter as D.C Ammeter

يستخدم جهاز القياس ذو الملف المتحرك في الأساس كجهاز لقياس التيار المستمر، حيث مرور التيار في الملف يسبب حركة الملف والمؤشر. وبما أن الملف مصنع من أسلاك دقيقة للغاية، فإنه لا يتحمل إلا تيارات ذات شدة ضعيفة للغاية تتراوح قيمتها من صفر حتى ٥٠mA. وهذا يعني أن قدرة الجهاز على قياس التيار محدودة. وللتغلب على هذا العيب، ولاستخدام الجهاز لقياس تيارات عالية، يوصل على التوازي مع الملف مقاومة تسمى (R_{sh}) تعمل على تجزئة التيار، حيث يمر في الملف التيار الذي يستطيع تحمله ويمر الباقي في المقاومة المتوازية معه. يوضح شكل رقم (٢ -٢) الدائرة الأساسية لاستخدام مقاومة التوازي في جهاز القياس ذو الملف المتحرك لزيادة مدى القياس للتيار.



شكل رقم (٢ -٢) الدائرة الأساسية لزيادة مدى قياس التيار.

في معظم الدوائر يكون التيار I_{sh} أكبر بكثير جدا من التيار I_m الذي يمر في الملف المتحرك نفسه. ويمكن حساب قيمة مقاومة التوازي التي توصل مع الملف المتحرك عن طريق تطبيق قانون أوم على الدائرة في شكل رقم (٢ -٢)، بفرض أن:

R_{sh}: مقاومة التوازي

R_m: المقاومة الداخلية للجهاز (مقاومة الملف)

I_{sh}: التيار المار في مقاومة التوازي

I_m: أقصى تيار يتحمله الملف المتحرك وهو أيضاً التيار الدال على أقصى انحراف للمؤشر

I: التيار الكلي المراد قياسه

بالرجوع إلى شكل رقم (٢ -٢) نجد أن الجهد على طرفي الملف المتحرك يساوي:

$$V_m = I_m \cdot R_m \qquad (٢-١)$$

وبما أن المقاومة R_{sh} موصلة على التوازي مع الملف المتحرك، يكون الجهد على طرفيها يساوي الجهد على طرفي الملف المتحرك، أي أن:

$$V_m = V_{sh} \qquad (٢-٢)$$

وبما أن التيار الكلي هو مجموع التيار المار بالملف المتحرك مضافاً إليه التيار المار في المقاومة التوازية، إذن:

$$I = I_m + I_{sh} \qquad (٢-٣)$$

ويكون التيار المار في المقاومة R_{sh} يساوي التيار الكلي مطروحا منه التيار المار بالملف المتحرك، وبالتالي:

$$I_{sh} = I - I_m \qquad (٢-٤)$$

وبمعلومية التيار المار بالمقاومة التوازية I_{sh} والجهد على طرفيها V_m، يمكن حساب قيمة المقاومة R_{sh} كما يلي:

$$R_{sh} = \frac{V_{sh}}{I_{sh}} = \frac{I_m \cdot R_m}{(I - I_m)} \qquad (٢-٥)$$

ويمكن هنا اعتبار أن وجود المقاومة التوازية مع الملف ما هي إلا وسيلة لتكبير قدرة الجهاز على قراءة التيار، ولهذا يمكن تعريف n بأنه معامل تكبير التيار، ويعرف هذا المعامل n رياضياً بأنه:

$$n = \frac{I}{I_m} \qquad (٢-٦)$$

ولهذا يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (٢ -١) كالآتي:

$$R_{sh} = \frac{(I_m \cdot R_m)/I_m}{(I - I_m)/I_m} = \frac{R_m}{(n-1)} \qquad (٢-٧)$$

مثال رقم (٢ -١)

جهاز قياس دارسونفال ذو الملف المتحرك بالمواصفات التالية:

مقاومة الملف R_m قيمتها $100\ \Omega$ وأقصى تيار يتحمله الملف $I_m = 1\,mA$. احسب مقاومة التوازي المطلوبة لكي يتمكن الجهاز من قراءة تيار $I = 10\,mA$.

الحل:

بتطبيق المعادلة (٢ -٥):

$$R_{sh} = \frac{I_m \cdot R_m}{(I - I_m)} = \frac{1\times10^{-3}\times100}{9\times10^{-3}} = 11.11\ \Omega$$

أو يتم أولاً حساب معامل التكبير n بتطبيق المعادلة (٢ -٦) كما يلي:

$$n = \frac{10\times10^{-3}}{1\times10^{-3}} = 10$$

ثم يتم تطبيق المعادلة (٢ -٧) كما يلي:

$$R_{sh} = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{100\Omega}{10-1} = \frac{100}{9} = 11.11\ \Omega$$

٢ -٢ -٣ -١ -١ دائرة توازي آيرتون The Ayrton shunt

في الجزء السابق ناقشنا كيف أمكن زيادة نطاق القياس لجهاز الأميتر ذي النطاق الواحد باستخدام مقاومة R_{sh} موصلة على التوازي مع الملف المتحرك.

وللحصول على أميتر متسع النطاق فإننا نستخدم ما يسمى بتوازي آيرتون أو التوازي العام حيث تقسم المقاومة R_{sh} إلى مجموعة من المقاومات الموصلة على التوالي ويمكن تغيير النطاق بتغيير وضع مفتاح اختيار النطاق (range selector switch) الذي يحدد قيمة المقاومة التي تدخل في الدائرة. ويبين شكل رقم (٢ -٣) دائرة التوازي لأيرتون حيث قسمت المقاومة R_{sh} إلى ثلاث مقاومات Ra , R_b ، R_c.

ولحساب قيمة كل مقاومة على حده فإننا نبدأ بحساب مجموع المقاومات الثلاثة R_{sh}:

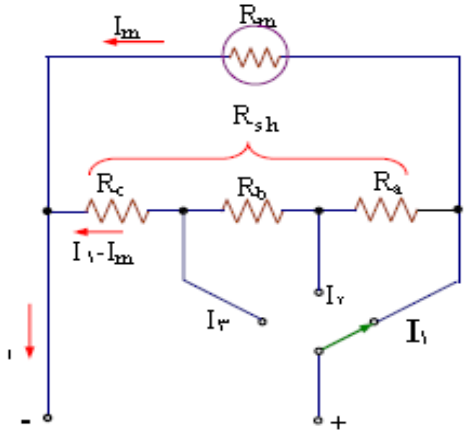
$$R_{sh} = R_a + R_b + R_c \qquad (٣-٨)$$

ويمكن حساب R_{sh} من المعادلة (٣-٧) كما يأتي:

$$R_{sh} = R_m / (n-1) \qquad (٣-٩)$$

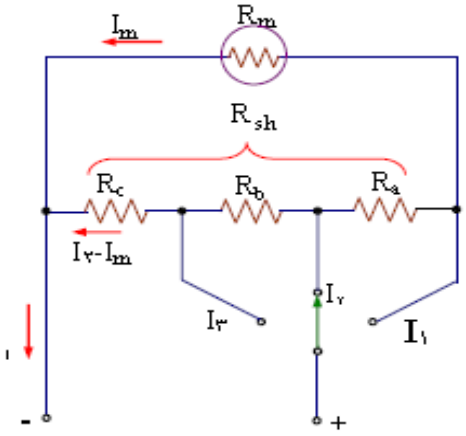
حيث:

$$n = I_1/I_m \qquad (٣-١٠)$$



شكل رقم (٣-٣) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I١].

ولإيجاد المعادلات اللازمة لحساب قيم المقاومات R_c , R_b , R_a نستعين بالدائرة المبينة في شكل رقم (٣-٤).



شكل رقم (٣-٤) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I٢].

حيث النطاق التالي هو [I٢] وعلى هذا النطاق فإن المقاومة Ra تخرج من التوالي مع Rb+Rc وتدخل توالي مع Rm وبذلك تكون المقاومة Rb + Rc على التوازي مع المقاومة Rm+ Ra وحيث إن الجهد يكون ثابت على التوازي فإن:

$$V_{R_b+R_c} = V_{R_a+R_m} \qquad \textbf{(١١- ٣)}$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كما يلي:

$$(R_b + R_c)(I_2 - I_m) = I_m(R_a + R_m) \qquad (١٢- ٣)$$

وبفك هذه المعادلة، نحصل على:

$$I_2(R_b + R_c) - I_m(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_m) \qquad (١٣- ٣)$$

وبنقل $I_m(R_b + R_c)$ إلى الطرف الأيمن من المعادلة نحصل على:

$$I_2(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_b + R_c + R_m) = I_m(R_{sh} + R_m) \qquad \textbf{(١٤- ٣)}$$

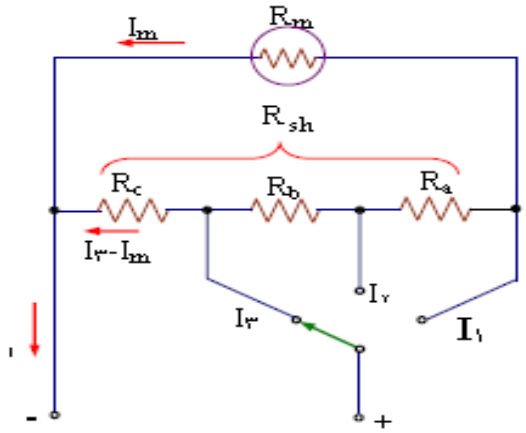
وبالتالي فإن قيمة المقاومة $(R_b + R_c)$ تعطى بالعلاقة الآتية

$$R_b + R_c = \frac{I_m(R_{sh} + R_m)}{I_2} \qquad (١٥- ٣)$$

وبمعلومية قيمة مقاومة التوازي الكلية R_{sh} وقيمة المقاومة $(R_b + R_c)$ يمكن حساب قيمة المقاومة R_a من العلاقة:

$$R_a = R_{sh} - (R_b + R_c) \qquad (١٦- ٣)$$

وباختيار النطاق [I٢] وبالرجوع إلى شكل رقم (٣ -٥):



شكل رقم (٣ -٥) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I٢].

فإن المقاومة Rb تخرج من التوالي مع Rc وتدخل على التوالي مع Ra+Rm وبذلك تكون المقاومة Rc على التوازي مع المقاومة Rm+ Ra+ Rb وحيث إن الجهد يكون ثابتاً على التوازي فإن:

$$V_{R_C} = V_{R_m+R_a+R_b} \qquad (٣-١٧)$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات و المقاومات كالآتي:

$$R_c(I_3 - I_m) = I_m(R_a + R_b + R_m) \qquad (٣-١٨)$$

وبفك هذه المعادلة:

$$I_3R_c - I_mR_c = I_m(R_a + R_b + R_m) \qquad (٣-١٩)$$

وبنقل R_cI_m إلى الطرف الأيمن من المعادلة:

$$I_3R_c = I_m(R_a + R_b + R_c + R_m) = I_m(R_{sh} + R_m) \qquad (٣-٢٠)$$

وبالتالي فإن قيمة المقاومة (R_c) تعطى بالعلاقة الآتية

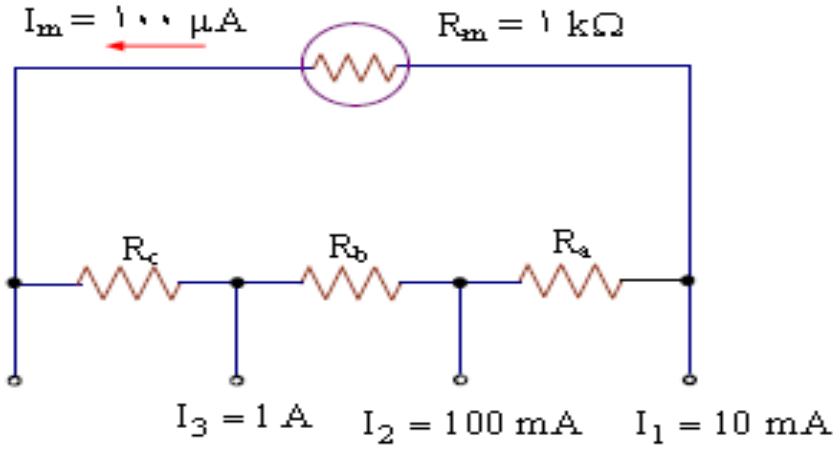
$$R_c = \frac{I_m(R_{sh} + R_m)}{I_3} \qquad (٣-٢١)$$

وهكذا يمكن حساب قيمة المقاومة R_b من العلاقة الآتية:

$$R_b = R_{sh} - (R_a + R_c) \qquad (٣-٢٢)$$

مثال رقم (٣ -٢)

للدائرة المبينة بشكل رقم (٣ -٦)، التي تمثل دائرة توازي آيرتون، احسب قيم المقاومات المجهولة.



شكل رقم (٣ -٦) تمثل دائرة توازي آيرتون للمثال رقم (٣ -٢).

الحل:

نسبة التكبير للمدى الخارجي:

$$n = 10\ mA/100\ \mu A = 100$$

يمكن حساب مجموع المقاومات الثلاثة كالآتي:

$$R_{sh} = R_a + R_b + R_c = R_m/(n-1)$$
$$R_{sh} = 1\ k\Omega/(100-1) = 10.1\ \Omega$$

ثم نحسب قيمة $R_b + R_c$ كالآتي:

$$R_b + R_c = \frac{I_m (R_{sh} + R_m)}{I_2}$$

$$R_b + R_c = \frac{100\ \mu A\ (10.1 + 1000)}{100\ mA} = 1.01\ \Omega$$

إذن:

$$R_a = R_{sh} _ (R_b + R_c) = 10.1 - 1.01 = 9.09$$

ثم نحسب قيمة R_c كالآتي:

$$R_c = \frac{I_m (R_{sh} + R_m)}{I_3}$$

$$R_c = \frac{100\ \mu A\ (1010.1\ \Omega)}{1\ A} = 0.101\ \Omega$$

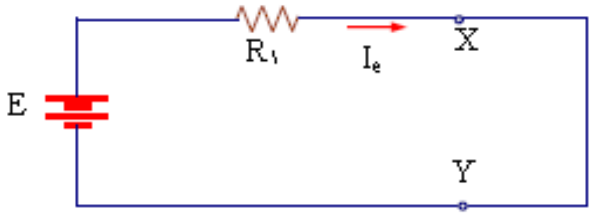
وبالتالي يمكن حساب R_b كالآتي:

$$R_b = R_{sh} - (R_a + R_c) = 10.1 - (9.09 + 0.101) = 0.909\ \Omega$$

تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز الملف المتحرك كجهاز قياس للتيار

Ammeter Loading Effect

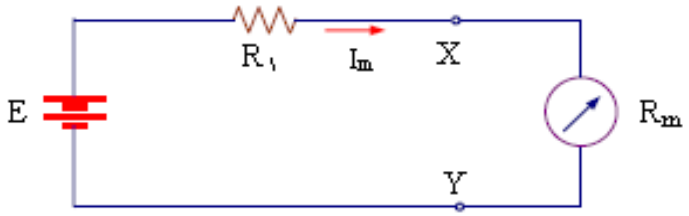
ينبغي أن تتخذ الاحتياطات عند قياس قيمة التيار في الدوائر الإلكترونية و إلا قد تتغير مقاومة جهاز القياس من قيمة تيار الدائرة، لذا يجب أن تكون مقاومة جهاز الأميتر مقاومة صغيرة ما أمكن حيث إن المقاومة الكبيرة تؤثر على عمل الدائرة، وهذا ما يسمى بتأثير الحمل. والمثال التالي يوضح تأثير الحمل على قيمة التيار المار بالدائرة، ففي الدائرة الموضحة في شكل رقم (٣ -٧) نجد أن القيمة الفعلية للتيار المار في الدائرة (I_e) تساوي: $I_e = E / R_1$



شكل رقم (٣ -٧) قياس القيمة الفعلية للتيار بدون أميتر.

فإذا أردنا قياس هذا التيار بواسطة جهاز أميتر له مقاومة داخلية (R_m)، كما هو موضح في شكل رقم (٣ -٨)، فسوف تتغير قيمة التيار، وبتطبيق قانون أوم نجد أن:

$$I_m = E / (R_1 + R_m) \qquad (٣-٣٣)$$



شكل رقم (٣ -٨) قياس القيمة الفعلية للتيار باستخدام أميتر.

فإذا فرضنا أن جهد البطارية $E = ١٠V$، والمقاومة $R_1 = ١٠\ k\Omega$، فإن القيمة الفعلية للتيار في شكل رقم (٣ -٧) هي:

$$I_e = E / R_1 = 10V / 1k\Omega = 10\ mA$$

وإذا كانت المقاومة الداخلية لجهاز الأميتر في شكل رقم (٣ -٨) تساوي $٢k\Omega$، فإن التيار الذي يشير إليه المقياس هو:

$$I_m = E / (R_1 + R_m) = 10\,V / (1\,k\Omega + 2\,k\Omega) = 3.33\,mA$$

حيث R_m هي مقاومة الملف المتحرك بالجهاز ، وتصبح القيمة التي يشير إليها الجهاز أقل بمقدار ٦٧٪ من القيمة الصحيحة.

ولكي لا يؤثر الأميتر في قراءة التيار بالدائرة، ينبغي كما ذكرنا سابقا أن تقل مقاومته بكثير جدا عن مقاومة أجزاء الدائرة. وفي المثال الموضح عاليه ، فمن الأفضل أن تكون مقاومة الأميتر المستخدم، قد اتخذت قيمة أكبر من حوالي Ω ١٠.