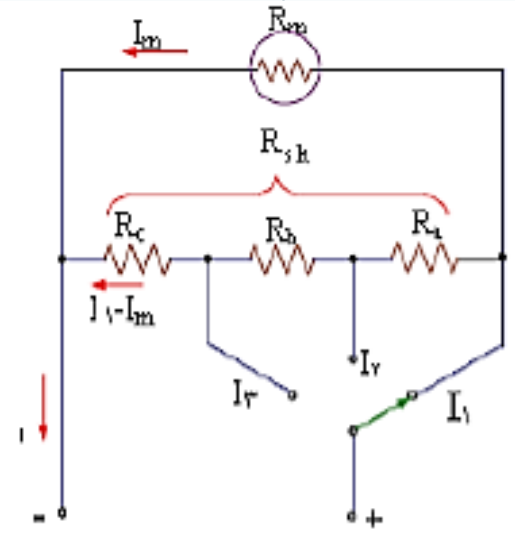
جامعة الفرات الأوسط
المعهد التقني / نجف
قسم تقنيات الالكترونيك والاتصالات
المادة : أجهزة قياس
أستاذ المادة : م.م. علي ناصر جمال الدين
المحاضرة 3

١ دائرة التوازي أيرتون The Ayrton shunt

في الجزء السابق ناقشنا كيف أمكن زيادة نطاق القياس لجهاز الأميترذي النطاق الواحد باستخدام مقاومة R_m موصلة على التوازي مع الملف المتحرك.

وللحصول على أميتر متعدد النطاق فإننا نستخدم ما يسمى بتوازي أيرتون 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 (٣ -٢) دائرة التوازي لأيرتون حيث قسمت المقاومة R_{sh} إلى ثلاث مقاومات R_a , R_b ، R_c.

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



شكل رقم (٣ -٢) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I1].

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

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

$$R_{sh} = R_m / (n - 1) \qquad (٣ -٩)$$

حيث:

$$n = I_1/I_m \qquad (٣ -١٠)$$

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

حيث النطاق التالي هو [I_2] وعلى هذا النطاق فإن المقاومة R_a تخرج من التوالي مع R_b+R_c وتدخل توالي مع R_m وبذلك تكون المقاومة $R_b + R_c$ على التوازي مع المقاومة $R_a + R_m$ وحيث إن الجهد يكون ثابت على التوازي فإن:

$$V_{R_b+R_c} = V_{R_a+R_m} \qquad (٢-١١)$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كما يلي:

$$(R_b + R_c)(I_2 - I_m) = I_m(R_a + R_m) \qquad (٢-١٢)$$

وبفك هذه المعادلة، نحصل على:

$$I_2(R_b + R_c) - I_m(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_m) \qquad (٢-١٣)$$

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

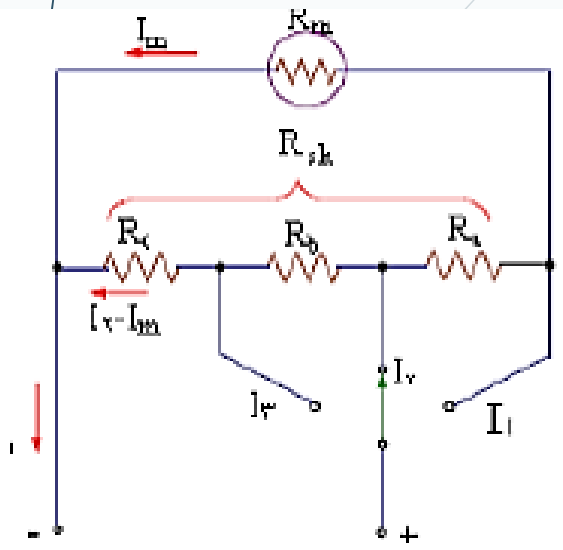
$$I_2(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_b + R_c + R_m) = I_m(R_{sh} + R_m) \qquad (٢-١٤)$$

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

$$R_b + R_c = \frac{I_m(R_{sh} + R_m)}{I_2} \qquad (٢-١٥)$$

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

$$R_a = R_{sh} - (R_b + R_c) \qquad (٢-١٦)$$



شكل رقم (٢-٤) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I_2].

وباختيار النطاق [I_3] وبالرجوع إلى شكل رقم (٣ -٥):

فإن المقاومة R_b تخرج من التوالي مع R_c وتدخل على التوالي مع R_a+R_m وبذلك تكون المقاومة R_c على التوازي مع المقاومة $R_m+R_a+R_b$ 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 والمقاومات كالآتي:

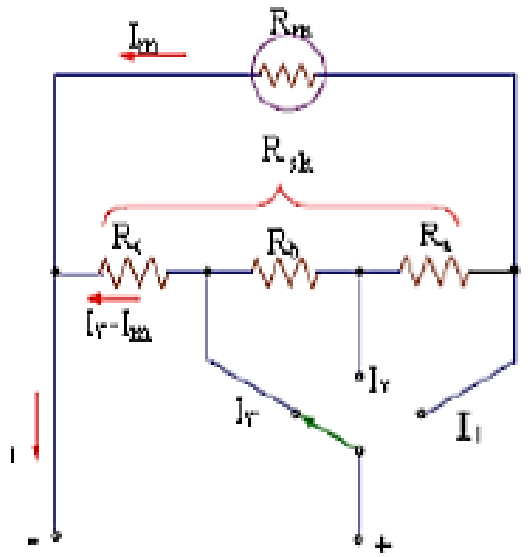
$$R_c(I_3 - I_m) = I_m(R_a + R_b + R_m) \qquad (٣ - ١٨)$$

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:

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



شكل رقم (٣ -٥) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار [I_3].

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 (٢ -٣)

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

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:

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

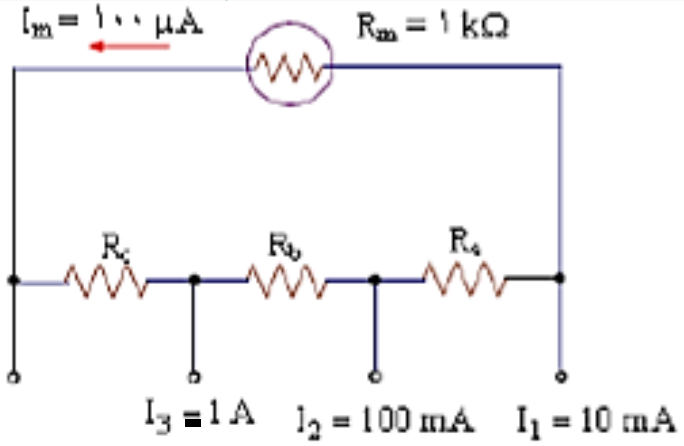
ثم نحسب قيمة R_c كالآتي:

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

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

وبالتالي يمكن حساب R_b كالآتي:

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

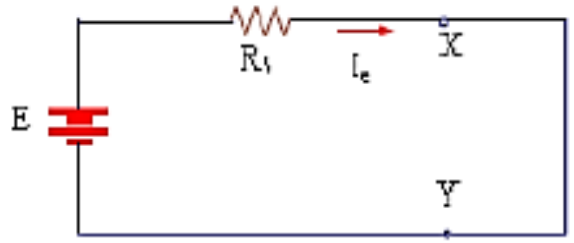


شكل رقم (٣ -٦) تمثل دائرة توازي أيرتون للمثال رقم (٣ -٢).

٢-٣-٢-١-٢ تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز الملف المتحرك كجهاز قياس للتيار

٨

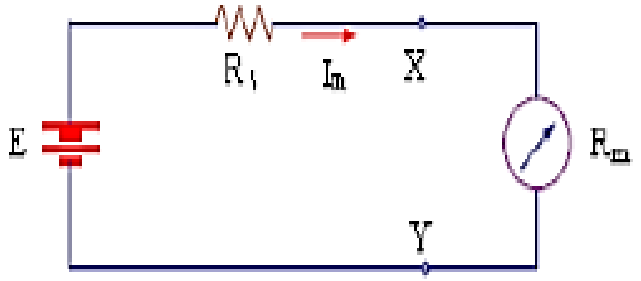
ينبغي أن تتخذ الاحتياطات عند قياس قيمة التيار في الدوائر الإلكترونية و إلا قد تغير مقاومة جهاز القياس من قيمة تيار الدائرة، لذا يجب أن تكون مقاومة جهاز الأميتر مقاومة صغيرة ما أمكن حيث إن المقاومة الكبيرة تؤثر على عمل الدائرة، وهذا ما يسمى بتأثير الحمل. والمثال التالي يوضح تأثير الحمل على قيمة التيار المار بالدائرة، ففي الدائرة الموضحة في شكل رقم (٢-٧) نجد أن القيمة الفعلية للتيار المار في الدائرة (I_e) تساوي: $I_e = E / R_1$



شكل رقم (٢-٧) 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 (٢-٨)، فسوف تتغير قيمة التيار، وبتطبيق قانون أوم نجد أن:

$$I_m = E / (R_1 + R_m) \qquad (٢-٢٣)$$



شكل رقم (٢-٨) قياس القيمة الفعلية للتيار باستخدام أميتر

فإذا فرضنا أن جهد البطارية $E = 10V$، والمقاومة $R_1 = 1\ k\Omega$، فإن القيمة الفعلية للتيار في شكل رقم (٢-٧) هي:

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

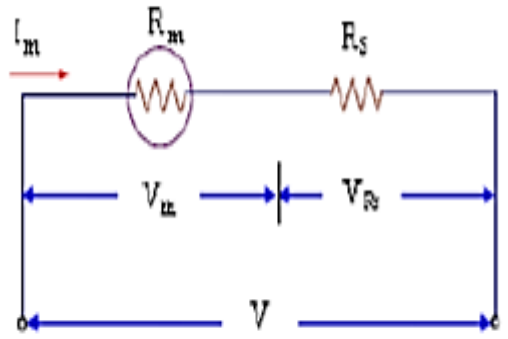
وإذا كانت المقاومة الداخلية لجهاز الأميتر في شكل رقم (٢-٨) تساوي $2k\Omega$، فإن التيار الذي يشير إليه القياس هو:

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

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

جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد المستمر

تعتمد الفكرة الأساسية لاستخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك لقياس الجهد الكهربائي على قانون أوم حيث مرور تيار كهربائي في مقاومة كهربائية يسبب جهد كهربائي يتناسب مع هذا التيار أو يساوي حاصل ضرب المقاومة في التيار. وبما أن جهاز دارسونفال ذا الملف المتحرك لا يشعر إلا بالتيار الكهربائي، ففي هذه الحالة يمكن تحويل الجهد الكهربائي إلى تيار كهربائي بواسطة تطبيقه على مقاومة كهربائية معروفة القيمة وبذلك يتناسب التيار الناتج مع الجهد المطبق، ويعاير الجهاز في هذه الحالة لقراءة الجهد مباشرة. وفي حالة الجهود الصغيرة (حتى ١٠ mV)، يمكن اعتبار مقاومة الجهاز كافية ويمكن للجهاز أن يقيس الجهود الكهربائية بدون إضافات، ولكن للجهود الكهربائية الأعلى من ١٠ mV، لابد من الاستعانة بمقاومة خارجية كبيرة متوالية مع الجهاز(R_S)، تكون مهمتها الأساسية احتلال الجزء الأكبر من الجهد القاس كمقسم للجهد، كما هو موضح بشكل رقم (٣-٩).



شكل رقم (٣-٩) دائرة جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد الكهربائي.

ويمكن حساب قيمة المقاومة R_S، تبعاً لقيمة الجهد القاس V كالآتي:

$$I_m = V/(R_m + R_S) \qquad (٣-٢٤)$$

$$R_S = (V/I_m) - R_m \qquad (٣-٢٥)$$

وتعرف حساسية الجهاز (Sensitivity (S)) للقراءة كالآتي:

$$S = 1/I_{FS} \qquad (٣٦-٣)$$

حيث:

I_{FS} : أقصى تيار يستطيع الجهاز تحمله وهو في ذات الوقت التيار الناظر لأقصى انحراف للمؤشر.

وحدات S هي:

$$S \equiv \frac{1}{\text{Ampere}} = \frac{1}{\text{volt/ohms}} = \text{ohm / volt} = \Omega/V \qquad (٣٧-٣)$$

وبالتالي يمكن حساب المقاومة R_S كالآتي:

$$R_S = S \cdot V - R_m \qquad (٣٨-٣)$$

، ولهذا فمن المنطقي أنه لكل V تتناسب مع قيمة الجهد المقاس R_S ويلاحظ هنا أن قيمة المقاومة المتوالية تناسب هذا النطاق.

مثال رقم (٣-٢) تيار أقصى انحراف R_S يوجد مقاومة متوالية V نطاق قياس جهد احسب قيمة $1\ k\Omega$ ، ومقاومته الداخلية قدرها $100\ \mu A$ لجهاز قياس دارسونفال ذي الملف المتحرك هو I_{FS} $50\ V$. المقاومة المتوالية مع الجهاز المطلوبة لتمكين الجهاز من قراءة جهد كهربائي حتى

الحل

من المعادلة رقم (٣-٣٨)

$$R_S = SV - R_m$$

ونبدأ بحساب حساسية الجهاز S كما يلي:

$$S = 1/I_{FS} = 1/100\ \mu A = 10\ k\Omega/V$$

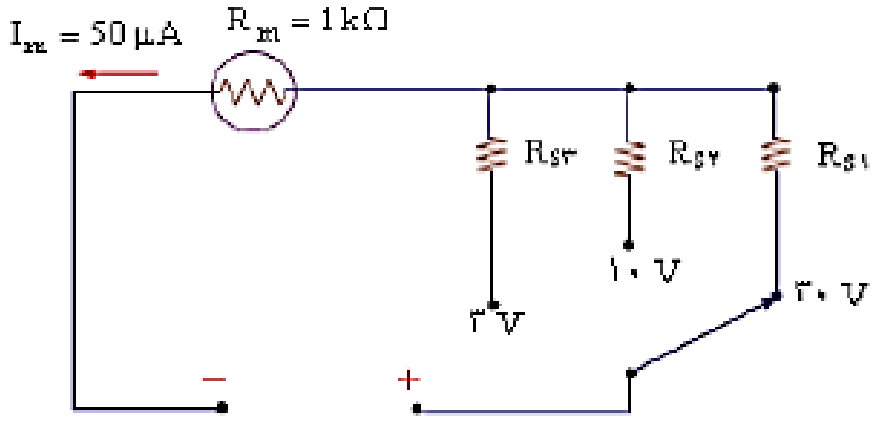
وبتطبيق S في معادلة R_S:

$$R_S = (10\ k\Omega/V \times 50\ V) - 1\ k\Omega = 499\ k\Omega$$

ويمكن استخدام نظام مقاومات منفصلة أو نظام مقاومات متصلة للحصول على أكثر من مدى لقياس الجهد كما هو مبين بالشكلين الآتيين:

مثال رقم (٣ -٤)

احسب قيم للمقاومات المجهولة R_{S1}, R_{S2}, R_{S3} في نظام جهاز قياس الجهد المبين بشكل رقم (٣ -١٠).



شكل رقم (٣ -١٠) دائرة قياس الجهد الكهربائي للمثال رقم (٣ -٤).

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز S:

$$S = 1/I_{FS} = 1/50\ \mu A = 20\ k\Omega/V$$

لحساب R_{S1} نعتبر نطاق القياس الأول ٣ V:

$$R_{S1} = S \cdot V_1 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 3V - 1\ k\Omega = 59\ k\Omega$$

لحساب R_{S2} نعتبر نطاق القياس الثاني ١٠ V:

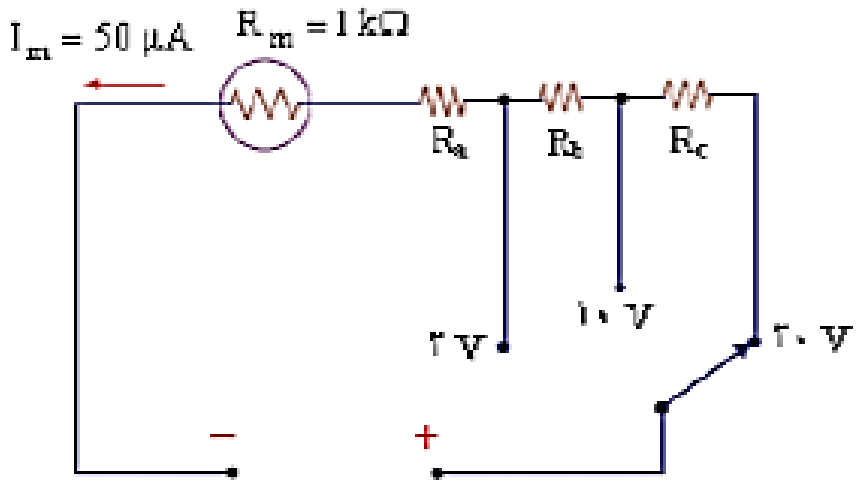
$$R_{S2} = S \cdot V_2 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 10V - 1\ k\Omega = 199\ k\Omega$$

لحساب R_{S3} نعتبر نطاق القياس الثالث ٣٠ V:

$$R_{S3} = S \cdot V_3 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 30V - 1\ k\Omega = 599\ k\Omega$$

مثال رقم(٢ -٥)

احسب قيم المقاومات المجهولة R_a، R_b، R_c في نظام جهاز قياس الجهد المبين بشكل رقم (٢ -١١).



شكل رقم (٢ -١١) دائرة قياس الجهد الكهربائي للمثال رقم (٢ -٥).

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز S:

$$S = 1/I_{fs} = 1/50\ \mu A = 20\ k\Omega/V$$

لحساب R_a نعتبر نطاق القياس الأول ٣ V:

$$R_a = S \cdot V_1 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 3V - 1\ k\Omega = 59\ k\Omega$$

لحساب R_b نعتبر نطاق القياس الثاني ١٠ V:

$$R_a + R_b = S \cdot V_2 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 10V - 1\ k\Omega = 199\ k\Omega$$

$$R_b = 199\ k\Omega - R_b = 199\ k\Omega - 59\ k\Omega = 140\ k\Omega$$

لحساب R_c نعتبر نطاق القياس الثالث ٣٠ V:

$$R_a + R_b + R_c = S \cdot V_3 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 30V - 1k\Omega = 599\ k\Omega$$

$$R_c = 599\ k\Omega - (R_a + R_b) = 599\ k\Omega - 199\ k\Omega = 400\ k\Omega$$