

المادة : اجهزة قياس / التلي

لمعهد التلي / العمارة

المدرس : م.م كريم قسم سنخيل

قسم التقنيات الالكترونية

اجهزة التاشير والاسس المعتمدة عليها

**الكلفانوميتر المعلق : Suspension Galvanometer**

هو عبارة عن جهاز ملف متحرك ويعتبر الاساس لمعظم اجهزة التيار المستمر المستعملة حاليا ، يعلق ملف مصنوع من سلك رفيع في مجال مغناطيسي لمغناطيس دائم عندما يمر تيار كهربائي في الملف المعلق وبالاستناد الى القانون الاساسي للقوة المغناطيسية يتولد عزم كهرومغناطيسي يحاول لتدوير الملف المعلق ويستمر الملف المعلق بالانحراف الى ان يتعادل عزمه الكهرومغناطيسي مع عزم التعليق الميكانيكي المعاكس وبذلك يكون انحراف الملف قياسا لقيمة التيار المار فيه

ان الكلفانوميتر المعلق يستعمل لحد الان في بعض القياسات المختبرية عالية الدقة عندما تكون هشاشة الجهاز غير مرفوضة وعدم وجود حاجة الى نقل الجهاز ظما ان الهشاشة بسبب تركيب الجهاز

**الانحراف حالة الاستقرار Steady State Deflection**

ان الكلفانوميتر المعلق ليس جهاز عملي ولا سهل نقله مع ذلك ما زالت استبيات التحكم في عمله مطلوبة لحد الان في الانواع الحديثة جدا منه والمتمثلة بتركيبه الملف المتحرك ذي المغناطيس الدائم ( PMMC ) Permanent Magnetic Moving Coil هو عبارة عن ملف معلق في مجال مغناطيسي لمغناطيس دائم يكون على شكل حلقة الفرس بحيث يتم تعليق الملف بطريقة تجعله حر الحركة في المجال المغناطيسي

عندما يمر تيار كهربائي في الملف المتحرك يتولد عزم حول الملف نتيجة للقانون خطوط هذا العزم مع خطوط العزم المغناطيسي للمغناطيس الدائم يتولد عزم كهرومغناطيسي يسمى عزم الدوران بسبب هذا العزم يوزن الملف المتحرك ويتم معاكسة هذا العزم بواسطة عزم التوازن وهو العزم الميكانيكي لتوازن السيطرة المتصلة بالملف المتحرك والذي يقوم بحواربه عزم الدوران او عزم الانحراف ويعد توازن هذين العزمين يكون الانحراف الزاوي للمؤشر المثبت على الملف المتحرك مقياس انحراف المؤشر يمثل قيمة التيار الكهربائي المار بالملف المتحرك حيث يتحرك المؤشر على مخرج او تدريج لثابت يسمى بالمقياس المدرج .

معادلة العزم الناتج والمشتقة من القانون الاساسي لعزم كهرومغناطيسي هي ..

$$T = A \cdot B \cdot N \cdot I$$

حيث :



T : العزم نيوتن / متر

A : مساحة الملف المعلق ( المساحة الفعالة ) متر تربيع

B : كثافة الفيض في الفجوة الهوائية وبيبر / متر ( اي كثافة الفيض للمغناطيس الدائم )

N : عدد لفات السلك الموجوده في الملف المتحرك

I : مقدار التيار الكهربائي المار في الملف المتحرك ( التيار المطلوب قياسه ) امبير

معادلة العزم اعلاه تبين ان العزم الناتج يتناسب طرديا مع مساحة الملف المتحرك وكذلك عدد لفات الملف المتحرك وكذلك مع كثافة الفيض للمجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم الذي يدور فيه الملف المتحرك اضافة الى ذلك يتناسب طرديا مع التيار المار بالملف المتحرك .

لو نظرنا الى معادلة العزم اعلاه بامعان نجد ما يلي : -

ان مساحة الملف المتحرك دائما تكون ثابتة لان كل حركه يتم تصنيعها يكون لها مساحة ملف معينه ، عدد لفات الملف المتحرك هي الاخرى ثابتة ايضا مصنعه بعدد معين ، اما كثافة الفيض المغناطيسي للمغناطيس الدائم صحيح ان كثافة الفيض تختلف من مغناطيس الى اخر لكن المغناطيس المستعمل في حركه معينه تكون له كثافة فيض ثابتة وبذلك يبقى لدينا التيار الكهربائي المطلوب قياسه فقط كميته متغيره وتعتبر باقي حدود معادلة العزم قيم ثابتة ( مساحة الملف المتحرك ، عدد لفات الملف المتحرك ، كثافة الفيض للمغناطيس المستعمل لحركه معينه وليس لكافة المغناط ) .

بما ان A , N , B كميات ثابتة لهذا السبب يكون العزم الناتج دلالة مباشره للتيار المار بالملف اي العزم الذي يدور الملف ويحرف المؤشر على التدرج يتناسب مع مقدار التيار المطلوب قياسه ويعمل هذا العزم على انحراف المؤشر الى موقع حالة الاستقرار حيث يتوازن فيها عزم الدوران مع عزم التوازن اي العزم الميكانيكي لنوابض السيطره المعاكس .

ان الكلفانوميتر عباره عن جهاز تاشير بسيط للتيار المستمر حيث يتناسب فيه انحراف المؤشر طرديا مع التيار المجهز للملف ، عندما تقطع التيار المجهز للملف بصوره مفاجئه يتأرجح الملف الى الخلف باتجاه الموضع صفر ونتيجه لعزم القصور الذاتي للملف يتأرجح المؤشر حول الصفر ذهابا وايابا لذلك يحتاج الى مضاعفه حتى يستقر المؤشر اخيرا في الموضع صفر .

### عزم التضاول

التضاول الميكانيكي : يتم بصوره رئيسيه بواسطة حركة الملف خلال الهواء المحيط به ولا يعتمد على التيار المار خلاله كذلك يساهم الاحتكاك في مواضع ارتكاز الملف .

ان ابسط احدى التقنيات الموجوده هي عباره عن ريشه من الالمنيوم مثبتة على عمود الملف المتحرك كلما دار الملف تحركت الريشه ( ريشة الالمنيوم ) في الحجره الهوائية وبذلك يتحكم جزء الحيز الموجود بين جدران الحجره والريشه الهوائية بدرجة التضاول بفعاليه كبيره .



## التضاؤل الكهرومغناطيسي

تستعمل بعض الاجهزه مبادي التضاؤل الكهرومغناطيسي حيث يتم لف الملف المتحرك على اطار مصنوع من الالمنيوم الخفيف ، بسبب دوران الملف في المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم تنشأ تيارات دورانية في الاطار المعدني الموصل منتجا بذلك عزم الاعاقه الذي يعاكس حركة الملف اي ان هذه الاعاقه تسبب تقليل سرعة حركة الملف المتحرك .

### حركة دي آرسونفال D Arsonval Movement

تسمى اسس حركة PMMC عادة بحركة دي آرسونفال نسبة الى مخترعها ، يبين هذا التصميم اكبر مغناطيس ممكن في فراغ معين ويستعمل عند الحاجة الى اعظم فيض في الفجوه الهوائية وبذلك يعطينا جهاز قياس ذو قدرة مستهلكه واطنه جدا وتيار واطي لانحراف المؤشر الكلي (  $I_{fsd}$  ) تيار انحراف المقياس الكامل .

المؤشر مثبت على الملف يتحرك المؤشر فوق مقياس مدرج ليبين الانحراف الزاوي للملف وبالتالي التيار المار خلال الملف والذي نحن نريد قياس هذا التيار .

تتم موازنة موازنة النظام المتحرك بصوره مستقره لجميع مواضع الانحراف بواسطة ثلاثة اثقال يطلق عليها اثقال الموازنة .

يجهز النابضان المصنوعان من مادة البرونز الفسفوري ( متساويان في المتانه ) يجهزان القوه المعاييره التي تعاكس عزم الملف المتحرك ، يكون ثابت اداء النابض ضروريا للحفاظ على دقة جهاز القياس . تتم السيطرة على سمك النابض في المصنع بدقه لتجنب التشوه الدائم للنوابض علما ان التيار يسري من والى الملف المتحرك خلال نوابض السيطرة .

### القلب المغناطيسي

يتكون من سبيكة من الالمنيوم - النيكل - الكوبلت - الحديد وبعض المواد المغناطيسيه الاخرى ، تمتلك هذه المغناط ميزه واضحه هي عدم تاثرها بالمجالات المغناطيسية الخارجية حيث عندما نستخدم القلب المغناطيسي المصنوع من هذه السبيكه لا حاجه الى العزل المغناطيسي الذي يكون بشكل علب حديديه لها وزن لذلك يكون القلب مفيد في تطبيقات الملاحة الجوية والفضاء الخارجي بسبب تخفيض الوزن وعدم الحاجه الى العزل بواسطة العلب الحديديه الثقيلة .

### حساسية الكلفانوميتر

حساسية الكلفانوميتر هي نسبة المدى الذي يتحركه المؤشر مقاسا بالملمتر الى قيمة القراءة الحقيقية سواء كانت تيارا او فولتية او غير ذلك من الكميات المقاسة .

$$S_1 = \frac{d}{I}$$

اذن حساسية التيار

حيث



ب. حساسية التيار ووحدها مشر لكل امبير او مايكروامبير

ك. قطر الحراف المؤشر

ا. قيمة التيار بالامبير او المايكروامبير

حساسية العزلية  $S_v$

$$S_v = \frac{d}{v}$$

ب. اذا كان قطر الحراف القصى الحراف مار في الملف يساوي 1.5 مايكروامبير . احسب حساسية التيار عندما يكون الحراف المؤشر 75 ملم او 150 ملم على التعاقب .

الحل

الحلة الاولى

$$S_{v1} = \frac{75}{1.5} = 50 \text{ mm} / \mu\text{A}$$

الحلة الثانية

$$S_{v2} = \frac{150}{1.5} = 100 \text{ mm} / \mu\text{A}$$

في اجهزة القياس من المواصفات الجيدة للجهاز اذا كان على الحساسية .



## مقاييس التيار المستمر DC Ammeters

## مقاومة التوازي Shunt Resistor

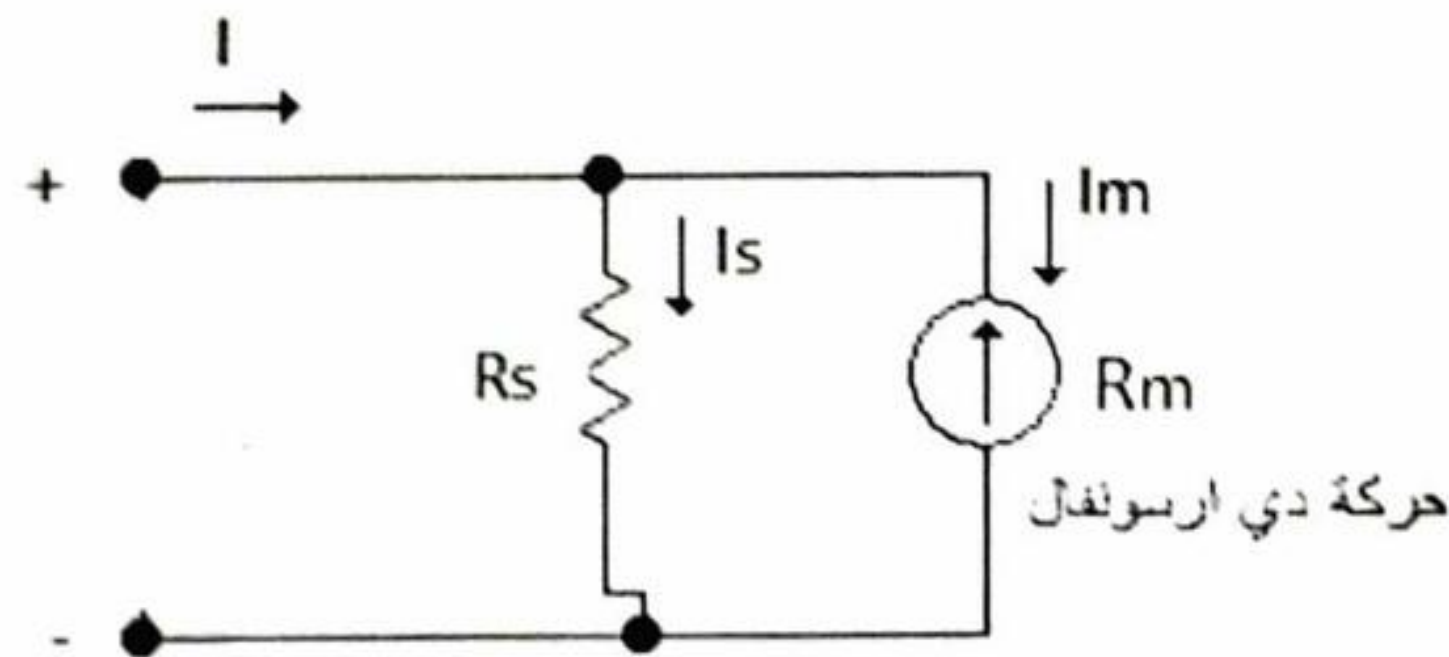
جهاز اميتر التيار المستمر ذو المدى الواحد

الحركة الاساسية لمقياس التيار المستمر هي الكلفانوميتر ذو الملف المتحرك والمغناطيس الدائم . PMMC

ان لفات الملف المتحرك الاساسي صغيرة وخفيفة لذلك فانها تتحمل تيارات صغيرة جدا .

عند قياس التيارات الكبيرة يكون من الضروري والمهم امرار الجزء الاكبر من التيار جانبيا خلال مقاومة تسمى مقاومة التوازي Shunt .

**تعريف مقاومة التوازي ( Shunt ) :** هي مقاومة ذات قيمة قليلة اقل من قيمة المقاومة الداخلية للملف المتحرك تربط بالتوازي مع الملف المتحرك الغرض منها او فاندتها امرار الجزء الاكبر من التيار خلالها لغرض المحافظة على الملف المتحرك من التلف .



الشكل رقم ( ١ )

الشكل رقم (١) اعلاه يمثل المخطط التوضيحي لجهاز اميتر التيار المستمر ذو مدى واحد .

حيث :

( Im ) : تيار انحراف الحركة .

( Rm ) : المقاومة الداخلية للحركة .

( Is ) : تيار التوازي .

( Rs ) : مقاومة التوازي .



( ١ ) : التيار الكلي الذي يساوي تيار انحراف المقياس مع تيار التوازي لكون مقاومة التوازي مربوطة على التوازي مع الحركة .

ان هبوط الفولتية عبر الحركة ومقاومة التوازي يكون متساويا ( مقاومتان على التوازي مقاومة الحركة ومقاومة التوازي ) ويمكن التعبير عن ذلك كما يلي :

$$V_{\text{movement}} = V_{\text{shunt}}$$

$$\text{فولتية التوازي} = \text{فولتية الحركة}$$

$$I_s R_s = I_m R_m$$

$$R_s = I_m R_m / I_s$$

حيث :

$$I_s = I - I_m$$

يمكن ان نكتب:

$$R_s = I_m R_m / I - I_m$$

حيث يمكن ايجاد قيمة مقاومة التوازي اللازمة لاية قيمة لتيار انحراف المقياس الكامل المطلوبة .

مثال ١ :

يراد تحويل حركة مقياس انحراف الكلي ( ١ ملي امبير ) ومقاومة الداخلية ١٠٠ اوم الى اميتر يقرأ من ( ٠ - ١٠٠ ملي امبير ) . احسب قيمة مقاومة التوازي اللازمة .

الحل :

$$I_s = I - I_m = 100\text{mA} - 1\text{mA} = 99\text{mA}$$

$$R_s = I_m R_m / I_s = 1\text{mA} \times 100 \Omega / 99\text{mA} = 1.01\Omega$$

اذن نحتاج الى مقاومة مقدارها 1.01 اوم نربطها بالتوازي مع الحركة كي نحصل على جهاز يقرأ الى حد 100mA .

تتألف مقاومة التوازي المستعملة مع الحركة الاساسية من قطعة من سلك ذي مقاومة ثابتة لدرجة الحرارة توضع ضمن غطاء الجهاز .

يمكن ان تكون مقاومة التوازي توازيا خارجيا ذا مقاومة واطنة جدا يتألف هذا التوازي من رقائق معدنية من مادة مقاومة تفصلها مسافات متساوية ملحومة مع بعضها بكتلة من النحاس الثقيل في كلا جانبيها .



يمكن ان تتألف مقاومة التوازي المستعملة مع الحركة الاساسية من قطعة من سلك ذي مقاومة ثابتة لدرجة الحرارة توضع بضمن غطاء الجهاز ، ويمكن ان تكون توازيا خارجيا ( سبيكة المنغائين او الكونستانتان ) ذات مقاومة واطنة جدا .

تستعمل التوازيات من هذا النوع عادة في قياسات التيارات العالية جدا .

مواصفات المعادن التي تستعمل في التوازيات الخارجية

- يكون المعامل الحراري للمعدن المستعمل في الرفائق واطنا جدا
- يكون التأثير الكهروحراري بين المعدن المقاوم والنحاس واطنا
- تستعمل التوازيات الخارجية من هذا النوع عادة في قياسات التيارات العالية جدا .

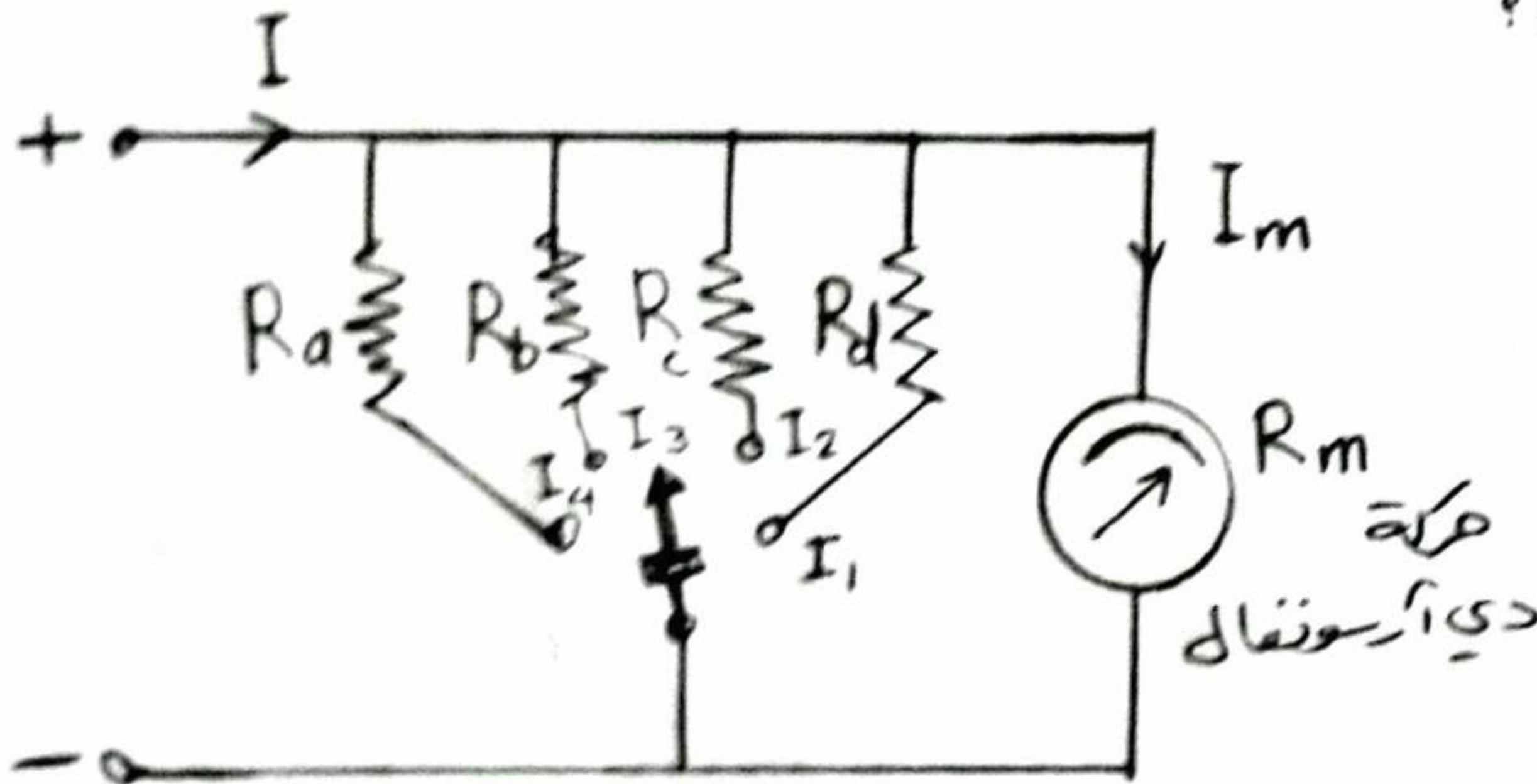
### مقياس التيار المستمر ( اميتر ) متعدد المدى

يمكن توسيع مدى التيار لمقياس التيار المستمر بواسطة ربط عدد من توازيات التيار التي يتم اختيارها بواسطة مفتاح المدى . يسمى مثل هذا المقياس بالمقياس المتعدد المدى .

يبين الشكل رقم ( ٢ ) الرسم التخطيطي للمقياس المتعدد المدى في الدائرة اربع توازيات  $R_a, R_b, R_c, R_d$  ويمكن وضعها على التوازي مع الحركة لتعطي اربع مدىات مختلفة للتيار .

المفتاح ( S ) هو عبارة عن مفتاح متعدد المواضع من نوع توصيل - قبل - القطع ، كي لا تتلف الحركة التي ليس لها حماية في الدائرة بدون التوازي قبل تغيير المدى .

مثال : في الشكل ادناه يراد تحويل حركة دي ارسونفال ذات مقاومة داخلية  $R_m = 100 \Omega$  وتيار انحراف المقياس الكامل  $I_{fsd} = 1 \text{ mA}$  الى اميتر تيار مستمر له المدى : ( 0 - 5 A )  
( 0 - 3 A ) ، ( 0 - 1 A ) ، ( 0 - 100 mA ) ، احسب مقاومات التوازي اللازمة لذلك  $R_a, R_b, R_c, R_d$  ؟



الشكل ( ٣ ) : جهاز اميتر متعدد المدى



الحل : ( ١ ) المدى : ( 0 - 100mA )

$$I_s = I - I_m = 100 \text{ mA} - 1 \text{ mA}$$

$$R_s = I_m R_m / I_s = 1 \text{ mA} \cdot 100 \Omega / 99 \text{ mA} = 1.01 \Omega$$

( ٢ ) المدى : ( 0 - 1 A )

$$I_s = I - I_m = 1 \text{ A} - 1 \text{ mA} = 1000 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 999 \text{ mA}$$

$$R_s = I_m R_m / I_s = 1 \text{ mA} \cdot 100 \Omega / 999 \text{ mA} = 0.1 \Omega$$

( ٣ ) المدى : ( 0 - 3 A )

$$I_s = I - I_m = 3 \text{ A} - 1 \text{ mA} = 3000 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 2999 \text{ mA}$$

$$R_s = I_m R_m / I_s = 1 \text{ mA} \cdot 100 \Omega / 2999 \text{ mA} = 0.03 \Omega$$

( ٤ ) المدى : ( 0 - 5 A )

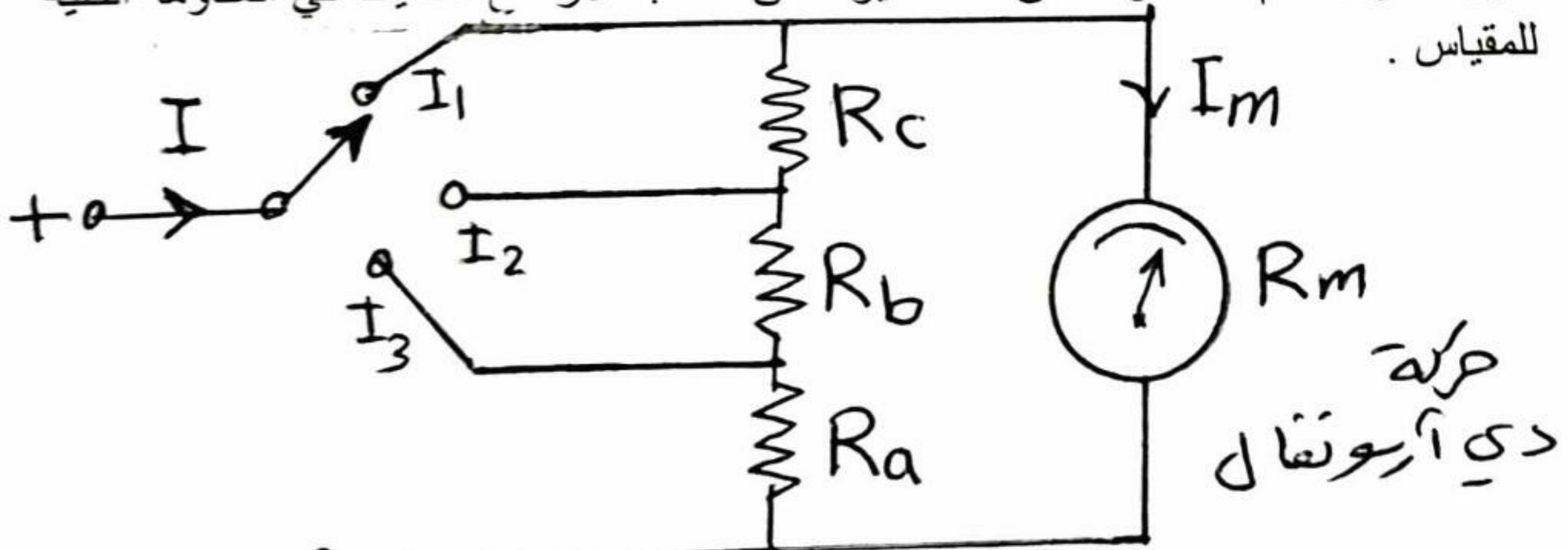
$$I_s = I - I_m = 5 \text{ A} - 1 \text{ mA} = 5000 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 4999 \text{ mA}$$

$$R_s = I_m R_m / I_s = 1 \text{ mA} \cdot 100 \Omega / 4999 \text{ mA} = 0.02 \Omega$$

### توازي آيرتون Ayrton shunt

ان اميتر التيار المستمر متعدد المديات الذي ذكرناه في اعلاه يعتمد في عمله على المفتاح ( S ) الذي هو مفتاح وصل قبل القطع وذلك لانه اذا كان المفتاح لا يوصل المدى المطلوب قبل قطع المدى السابق سوف يسري التيار خلال هذه الفترة الوجيزة الى الحركة ( حركة دي أرسونفال ) بشكل مباشر مما يؤدي الى تلف الحركة لانها لا تتحمل تيار عالي بسبب ملف الحركة لفاته قليلة ورقيقة لا تتحمل التيار العالي .

توازي آيرتون او مجزئ آيرتون المبين في الشكل ادناه يزيل احتمالية بقاء الحركة في الدائرة بدون مجزئ ، تم الحصول على هذه الميزة على حساب الارتفاع الطفيف في المقاومة الكلية للمقياس .

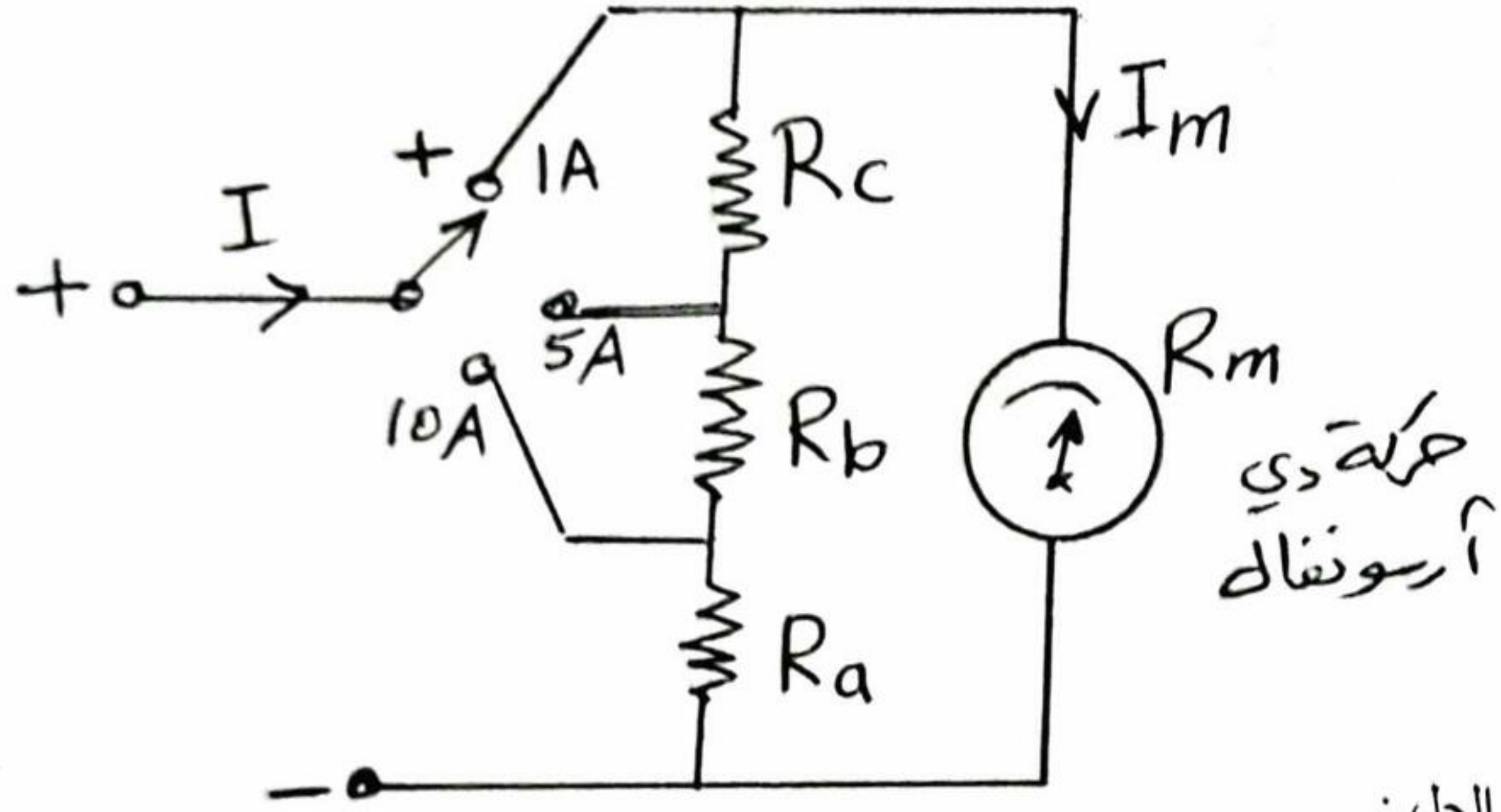


الشكل رقم ( ٤ ) توازي آيرتون



يعرض مجزئ أيرتون فرصة ممتازة لتطبيق نظرية الدوائر الأساسية في الدوائر العملية .

مثال : صمم توازي أيرتون للحصول على مقياس له مدىات التيار التالية : ( 1A , 5A , 10A )  
إذا تم استعمال حركة دي أرسونفال ذات مقاومة داخلية  $R_m = 50\Omega$  و تيار انحراف المقياس  
الكامل ( 1mA ) كما في دائرة الشكل رقم (٥) . أحسب قيم مقاومات التوازي اللازمة لذلك ؟



الحل :

المدى : ( 1A ) : عند هذا المدى تكون المقاومات  $R_a, R_b, R_c$  على التوازي مع الحركة حيث  
مقاومة الحركة  $50\Omega$  .

بما ان الحركة تحتاج الى 1mA لانحراف المقياس الكامل فانه يتطلب من التوازي امرار تيار  
مقداره :

$$I_s = I - I_m = 1A - 1 \text{ mA} = 999 \text{ mA}$$

باستخدام المعادلة :

$$R_s = I_m R_m / I_s$$

$$R_a + R_b + R_c = 1\text{mA} \cdot 50 \Omega / 999 \text{ mA} = 0.05005 \text{ } \text{-----} ( 1 )$$

المدى ( 5A ) : تكون المقاومتان  $R_a + R_b$  على التوازي مع  $R_c + R_m$

يوجد في هذه الحالة تيار مقداره ( 1 mA ) يسري خلال الحركة و المقاومة  $R_c$

أذن :

$$I_s = I - I_m = 5A - 1 \text{ mA} = 4999 \text{ mA}$$

$$R_a + R_b = 1\text{mA} \cdot (R_c + 50 \Omega) / 4999 \text{ mA} \text{-----} ( 2 )$$



بالتبسيط :

$$4999 R_a + 4999 R_b - R_c = 50 \text{ -----(2)}$$

المعدي (10A) : نعمل الآن المقاومة  $R_a$  كتوازي ونكون  $(R_b + R_c)$  على التوالي مع مقاومة الحركة

قيمة التيار المار خلال الحركة والمقاومتان  $(R_b + R_c)$  هو  $1 \text{ mA}$  ، اما التيار المنبقي يمر

$$I_s = I - I_m = 10A - 1 \text{ mA} = 9999 \text{ mA} \text{ : حيث تكون قيمته : بالتوازي } R_a$$

$$R_a = 1 \text{ mA} \cdot (R_b + R_c + 50 \Omega) / 9999 \text{ mA} \text{ -----(3)}$$

بالتبسيط :

$$9999 R_a - R_b - R_c = 50 \text{ -----(3)}$$

نحل المعادلات الأتية الثلاث : 1 , 2 , 3

نضرب طرفي المعادلة ( 1 )  $\times 4999$  تصبح المعادلة :

$$4999 R_a + 4999 R_b + 4999 R_c = 250 \cdot 2 \text{ -----(4)}$$

الآن نطرح معادلة رقم ( 2 ) من معادلة رقم ( 1 ) :

$$4999 R_a + 4999 R_b + 4999 R_c = 250 \cdot 2 \text{ -----(4)}$$

$$-4999 R_a - 4999 R_b + R_c = -50 \text{ -----(2)}$$

بالطرح

$$5000 R_c = 200 \cdot 2 \quad R_c = 0.04004 \Omega$$

نضرب معادلة ( 1 )  $\times 9999$  تصبح المعادلة

$$9999 R_a + 9999 R_b + 9999 R_c = 500 \cdot 45 \text{ -----(1)}$$

الآن نطرح المعادلة ( 3 ) من المعادلة ( 1 ) :

$$9999 R_a + 9999 R_b + 9999 R_c = 500 \cdot 45 \text{ -----(1)}$$

$$-9999 R_a + R_b + R_c = -50 \text{ -----(3)}$$

بالطرح



$$10000 R_1 + 10000 R_1 = 450.45$$

نعرض عن قيمة  $R_1$  من اعلاه  $R_1 = 0.04004 \Omega$  نحصل على :

$$10000 R_1 + 10000 \times 0.04004 = 450.45$$

$$R_1 = 0.005005 \Omega$$

نعرض عن قيمة  $R_1$  و  $R_2$  في معادلة ( ١ ) نحصل على :

$$R_1 = 0.005005 \Omega$$

الصلبات تثبت ان قيمة مقاومة التوازي تصبح صغيرة جدا للتيارات العالية .



المعهد التقني / العمارة

المادة : اجهزة قياس / الثاني

قسم التقنيات الالكترونية

المدرس : م.م كريم فاسم سدخان

فولتميتر التيار المستمر Dc Voltmeter

مقاومة المضاعف Multiplier Resistor

يتم تحويل حركة دي آر سونفال الاساسية الي فولتميتر التيار المستمر باضافة مقاومة توالي او مضاعف .

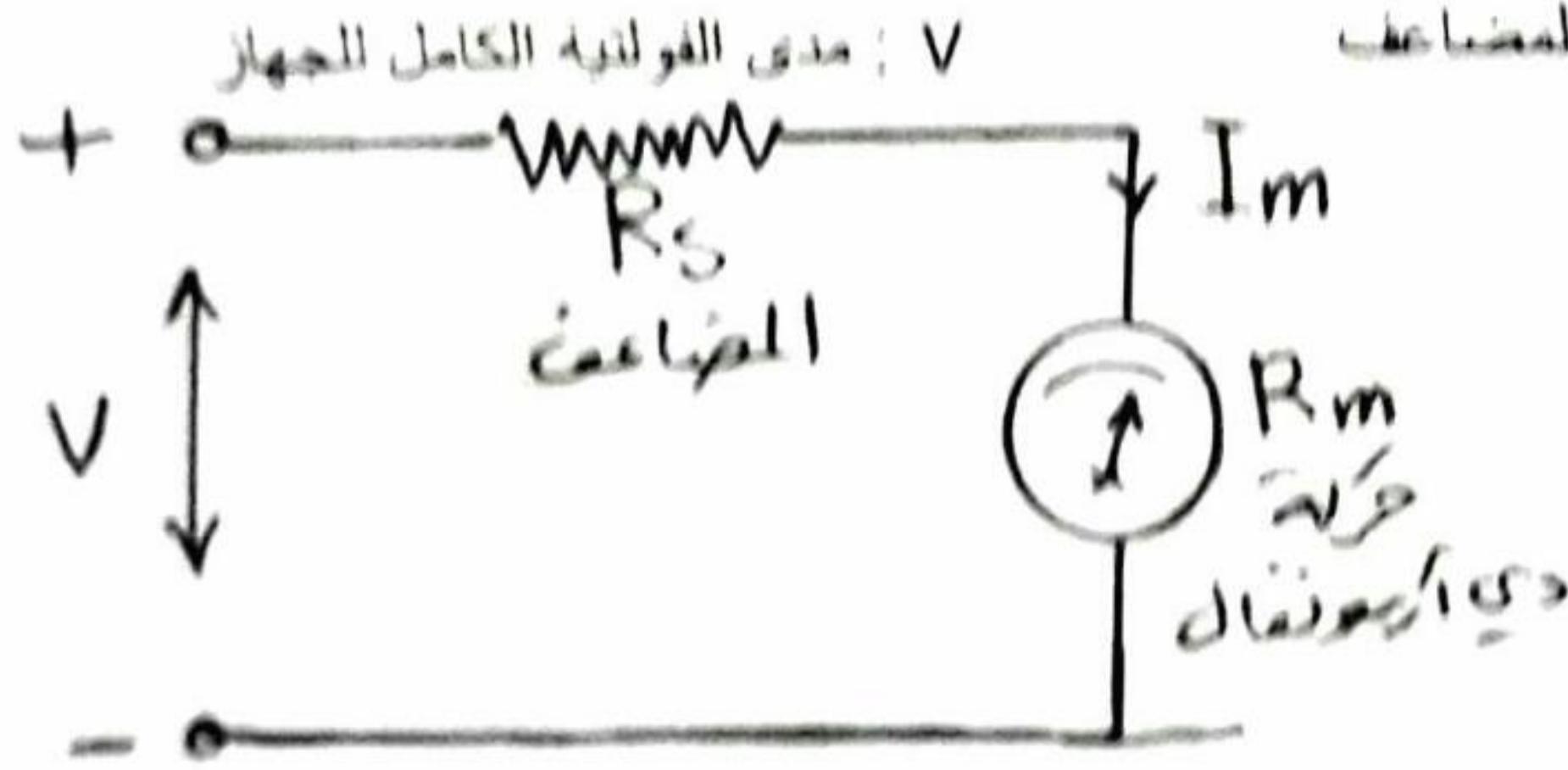
يعمل المضاعف على تحديد التيار المار خلال الحركة حتى لا يتجاوز قيمة تيار انحراف المقياس الكامل  $I_m$  .

يقاس فولتميتر التيار المستمر فرق الجهد بين نقطتين في دائرة التيار المستمر ولذلك يوصل عبر مصدر القوة الدافعة الكهربية ( بالتوازي ) او مكونات الدائرة ( يربط بالتوازي مع الجزء المراد قياس الجهد عليه ) حيث يوشر على نهايات المقياس بالسالب - والموجب + للتأكد من القطبية .

يمكن حساب قيمة المضاعف اللازمة لزيادة مدى الفولتية حيث :-

$R_m$  : المقاومة الداخلية للحركة  $I_m$  : تيار الانحراف الكامل للحركة

$R_s$  : مقاومة المضاعف



الشكل رقم ( ٦ ) فولتميتر تيار مستمر ذو مدى واحد

$$V = I_m ( R_s + R_m )$$

بحل المعادلة لاجاد  $R_s$  ينتج

$$V = I_m R_s + R_m I_m$$

$$I_m R_s = V - R_m I_m$$

$$R_s = V - R_m I_m / I_m = V / I_m - R_m$$



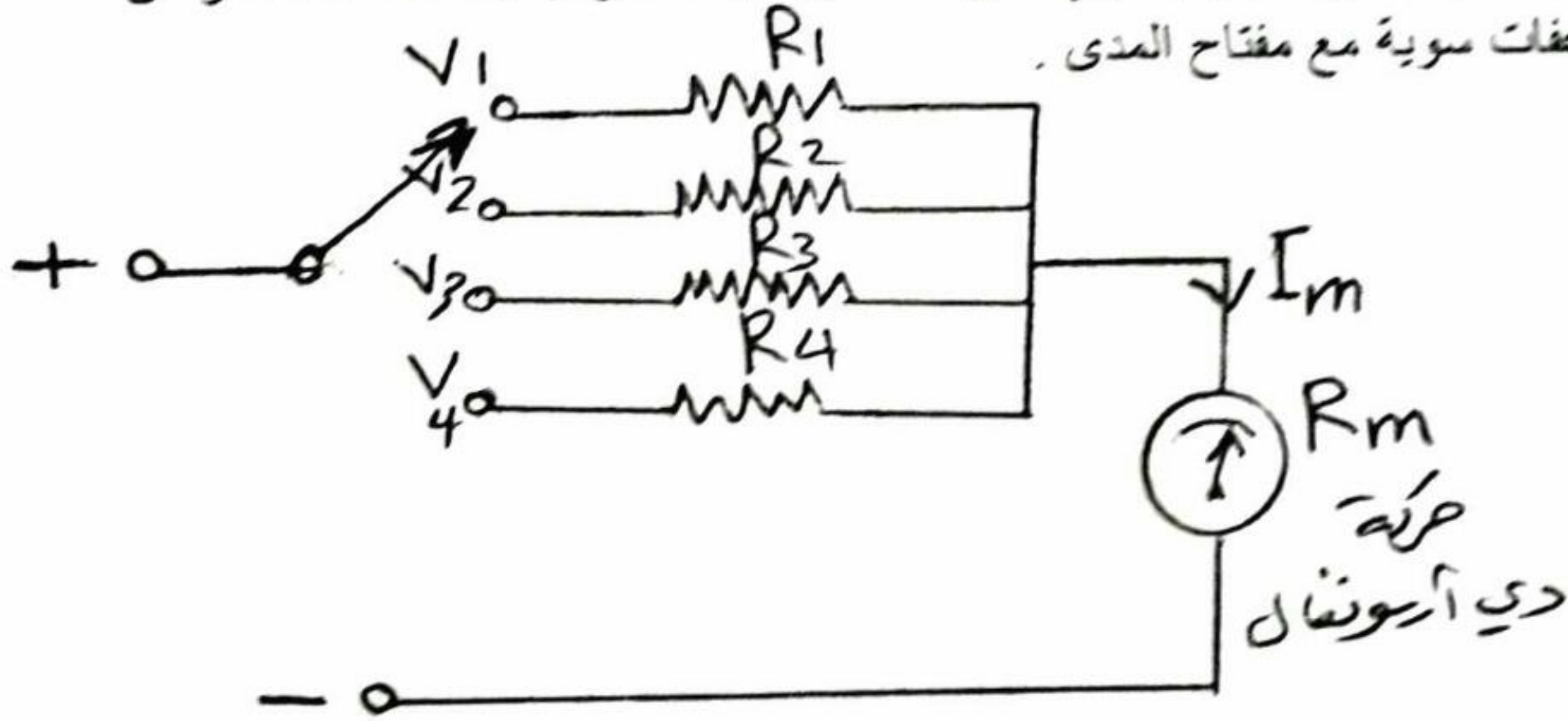
$$R_s = V / I_m - R_m$$

فيمكن تثبيت المضاعف خارج الجهاز على زوج من مرابط التوصيل الكهربائية لتجنب الحرارة الزائدة داخل الجهاز .

### Multirange Voltmeter

### الفولتميتر المتعدد المديات

يمكن الحصول على جهاز يحتوي على عدد من مديات الفولتية بإضافة عدد آخر من المضاعفات سوية مع مفتاح المدى .



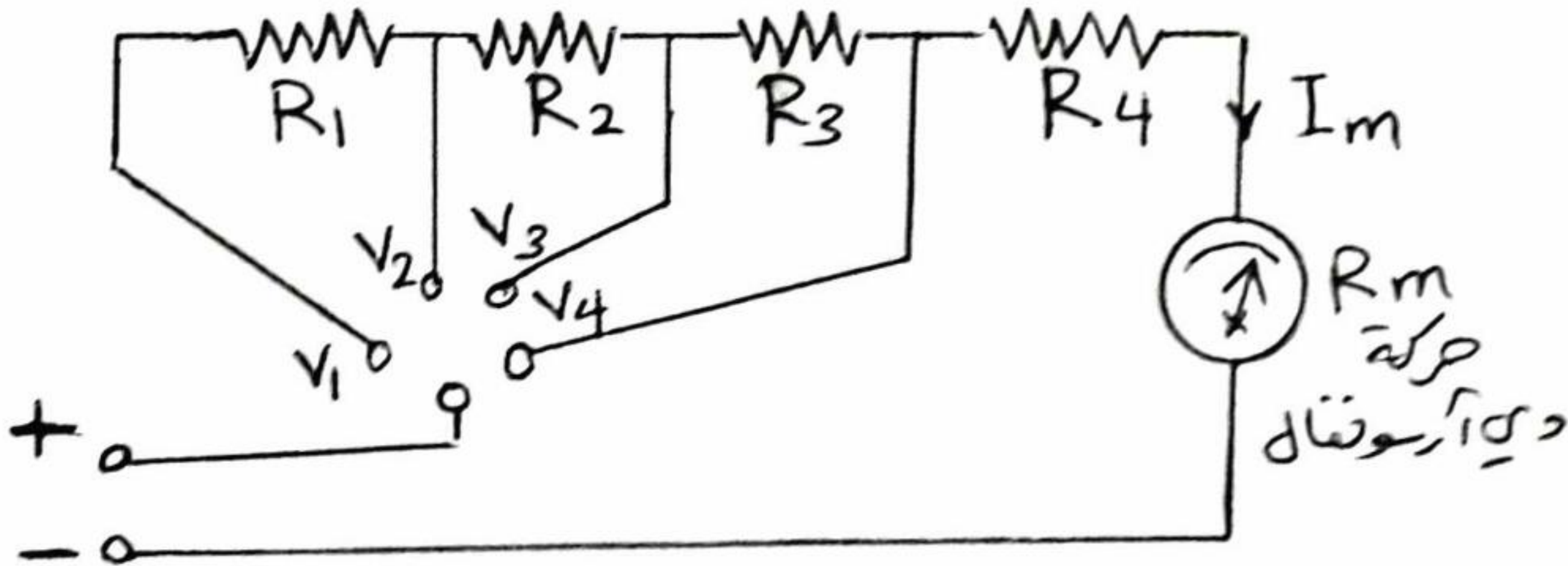
الشكل رقم ( ٧ ) فولتميتر متعدد المديات

التصميم اعلاه فولتميتر متعدد المديات باستعمال اربعة مواضع للمفتاح واربعة مضاعفات

$R_1, R_2, R_3, R_4$  لاربعة مديات للفولتية  $V_1, V_2, V_3, V_4$  على التوالي .

يمكن حساب قيم المضاعفات بنفس الطريقة السابقة او بطريقة الحساسية .

يوجد هنالك ترتيب عملي اكثر :-



الشكل رقم ( ٨ ) تصميم آخر افضل فولتميتر متعدد المديات



تم ربط المضاعف بسلسلة متوالية بينما يغير مختار المدى الكمية الملازمة للمقاومة على التوالي مع الحركة .

لهذا التصميم ميزة هي ان لجميع المضاعفات ( المقاومات ) ما عدا الاول قيم مقاومة قياسية يمكن الحصول عليها من الاسواق التجارية بالتفاوت المطلوب .

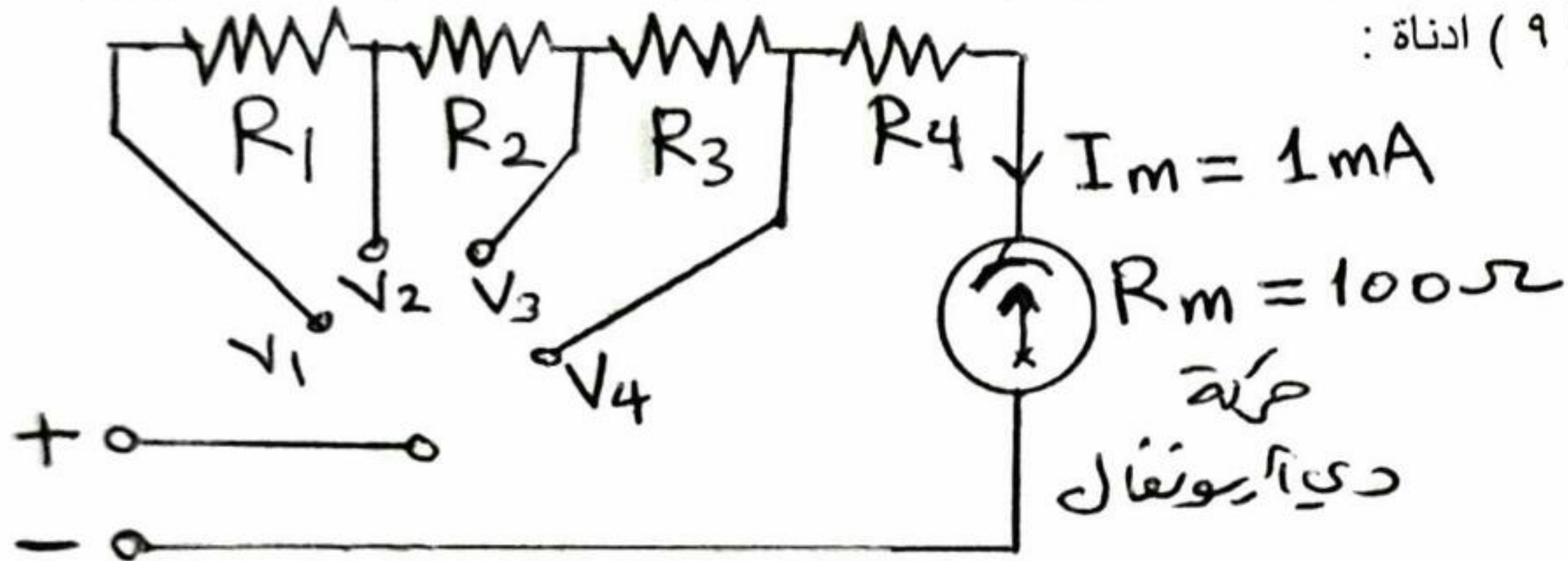
ان مضاعف المدى الواطئ  $R_4$  يعتبر المقاومة الخاصة .

مثال :

يراد تحويل حركة دي أرسونفال الاساسية ذات مقاومة داخلية  $R_m = 100 \Omega$  وتيار انحراف المقياس الكامل (  $I_{fsd} = 1 \text{ mA}$  ) الى فولتميتر تيار مستمر متعدد المدى له المدى التالية :

(  $0 - 10 \text{ V}$  ) , (  $0 - 50 \text{ V}$  ) , (  $0 - 250 \text{ V}$  ) , (  $0 - 500 \text{ V}$  ) باستعمال ترتيب الشكل

رقم ( ٩ ) ادناة :



الشكل رقم ( ٩ )

الحل :

المدى (  $0 - 10 \text{ V}$  )

موضع المفتاح  $V_4$  تكون المقاومة الكلية للدائرة :

$$R_T = V / I_m = 10 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = R_T - R_m \quad R_T = R_4 + R_m$$

$$R_4 = 10 \text{ k}\Omega - 100 \Omega = 9900 \Omega$$

المدى (  $0 - 50 \text{ V}$  ) موضع المفتاح  $V_3$

$$R_T = V / I_m = 50 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_T - ( R_4 + R_m )$$

$$= 50 \text{ k}\Omega - 10 \text{ k}\Omega = 40 \text{ k}\Omega$$



المصدر (0 - 250V) موضع المفتاح  $V_1$

$$R_1 = V / I_m = 250 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 250 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_1 - (R_3 + R_4 + R_m) = 250 \text{ k}\Omega - 50 \text{ k}\Omega = 200 \text{ k}\Omega$$

المصدر (0 - 500V) موضع المفتاح  $V_2$

$$R_1 = V / I_m = 500 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 500 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_1 - (R_3 + R_4 + R_m) = 500 \text{ k}\Omega - 250 \text{ k}\Omega = 250 \text{ k}\Omega$$



## حساسية الفولتميتر Voltmeter Sensitivity

وتسمى الاوم لكل فولت ohms per rating

يمكن الوصول الى تيار انحراف المقياس الكامل  $I_{fsd}$  لجميع مديات الفولتية عند تجهيز فولتية المقياس الكامل المناظرة .

ان حاصل قسمة المقاومة الكلية للدائرة  $R_T$  على مدى الفولتية المستعمل لجميع المديات دائما  $1000 \Omega / V$  يسمى هذا الرقم عادة بالحساسية او مقدار الاوم - لكل - فولت .

لاحظ ان الحساسية  $S$  هي اساسا مقلوب تيار انحراف المقياس الكامل للحركة الاساسية : -

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \frac{\Omega}{V}$$

يمكن استعمال حساسية الفولتميتر  $S$  كميزة لحساب قيمة مقاومة المضاعف في فولتميتر التيار المستمر وتسمى طريقة الحساسية .

$$S : \text{حساسية الفولتميتر } \frac{\Omega}{V}$$

$V$  مدى الفولتية كما يحدد بمفتاح المدى

$R_m$  : المقاومة الداخلية للحركة ( مضافا لها مقاومات التوالي )

$R_s$  : مقاومة المضاعف

$$S = \frac{R_T}{V}$$

$$R_T = S * V$$

$$R_T = R_s + R_m$$

$$R_s = S * V - R_m$$

مثال : اعد حل المثال السابق اعلاه بطريقة الحساسية

يراد تحويل حركة دي أرسونفال الاساسية ذات مقاومة داخلية  $R_m = 100 \Omega$  وتيار انحراف المقياس الكامل (  $I_{fsd} = 1 \text{ mA}$  ) الى فولتميتر تيار مستمر متعدد المديات له المديات التالية :

(  $0 - 10 \text{ V}$  ) , (  $0 - 50 \text{ V}$  ) , (  $0 - 250 \text{ V}$  ) , (  $0 - 500 \text{ V}$  ) . احسب مقاومات المضاعف اللازمة لذلك ؟



$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \frac{\Omega}{V} = \frac{1}{1mA} = 1000 \frac{\Omega}{V}$$

$$R_s = S * V - R_m$$

$$R_1 = 1000 \frac{\Omega}{V} * 10 V - 100 \Omega = 9900 \Omega$$

$$R_2 = S * V - (R_m + R_1)$$

$$R_2 = 1000 \frac{\Omega}{V} * 50 V - (100 \Omega + 9900 \Omega) = 40000 \Omega$$

$$R_3 = S * V - (R_m + R_1 + R_2)$$

$$R_3 = 1000 \frac{\Omega}{V} * 250 V - (100 \Omega + 9900 \Omega + 40000 \Omega) = 200000 \Omega$$

$$R_4 = S * V - (R_m + R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_4 = 1000 \frac{\Omega}{V} * 500 V - (100 \Omega + 9900 \Omega + 40000 \Omega + 200000 \Omega) \\ = 250000 \Omega$$



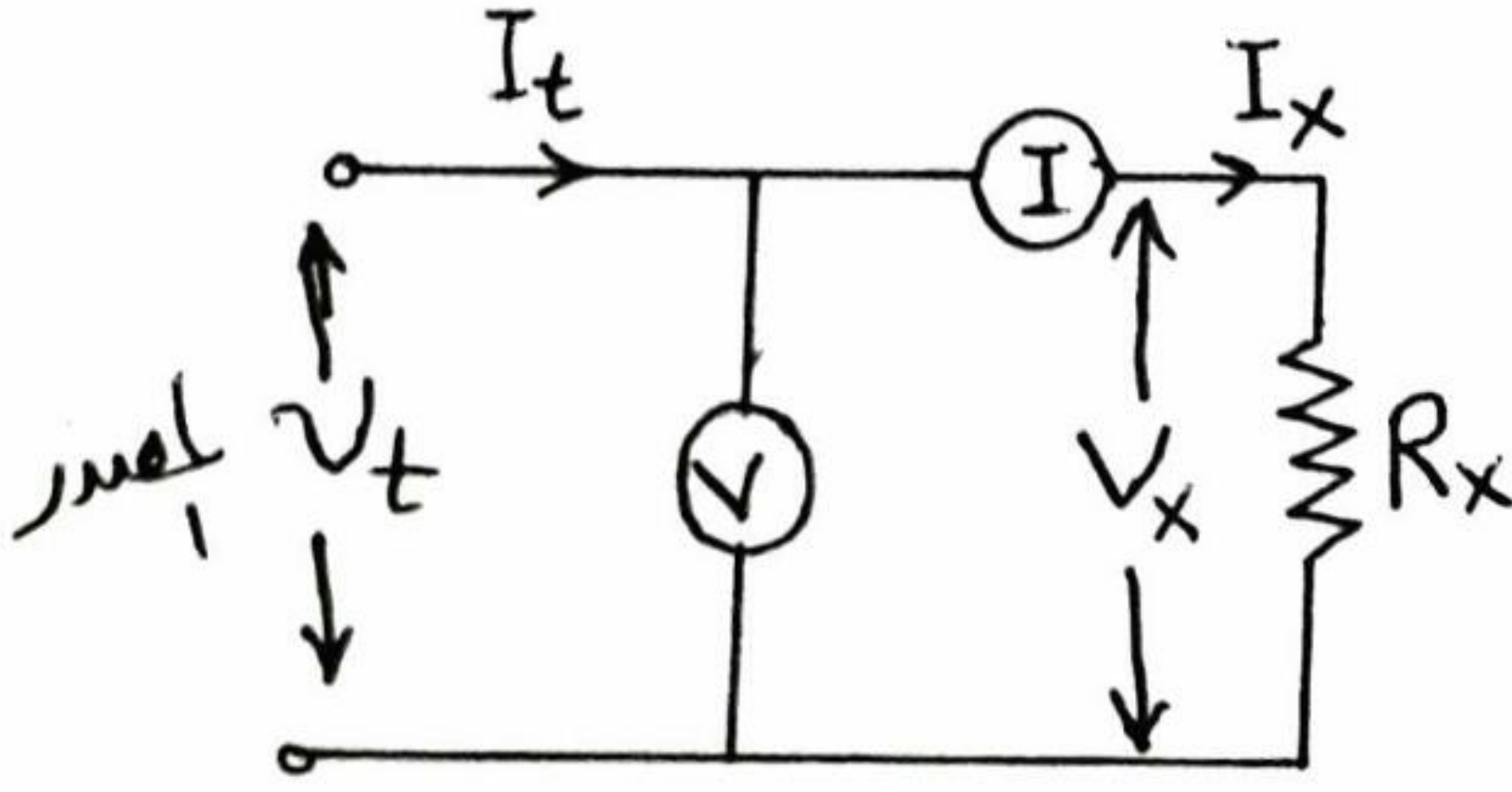
## قياس المقاومة Resistance Measurement

### ( ١ ) طريقة الفولتميتر - الاميتر

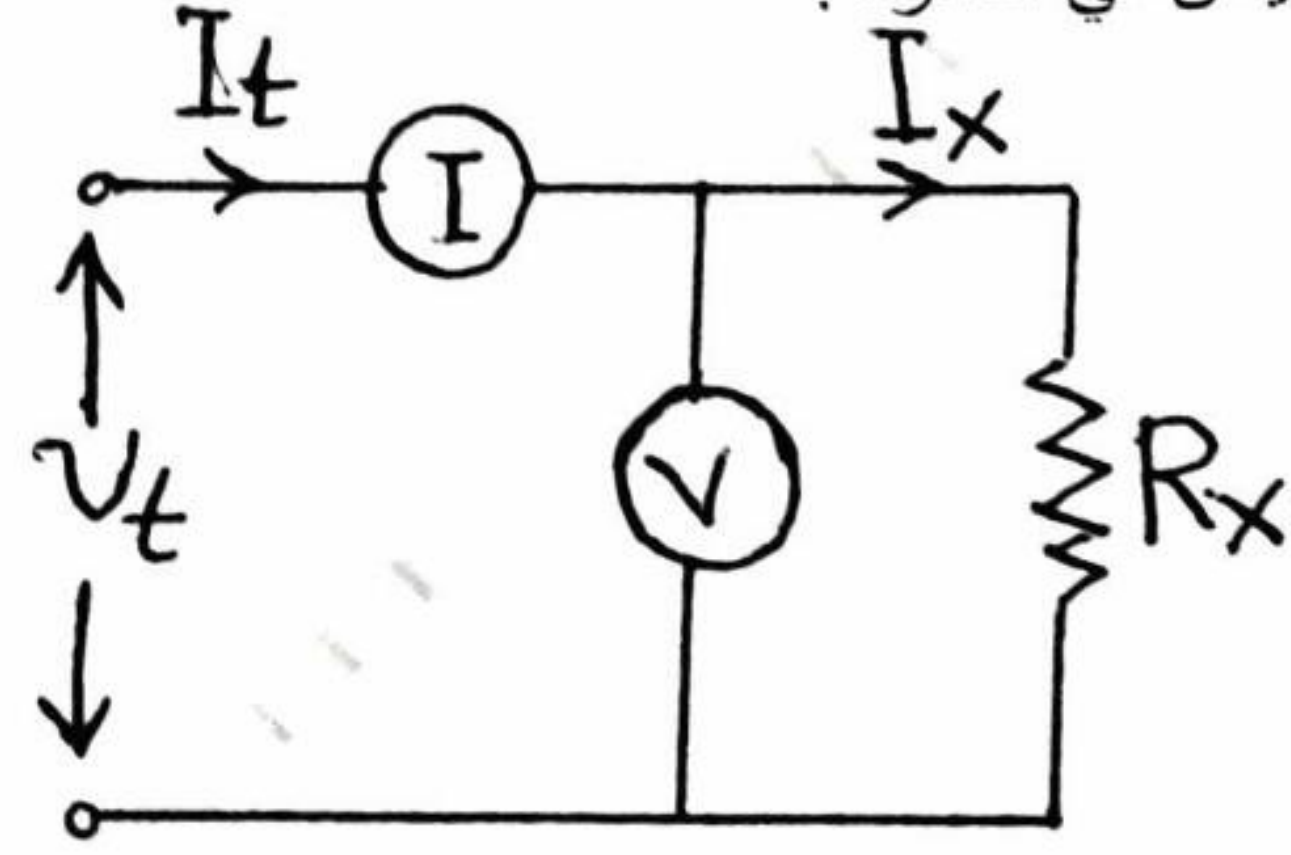
نستخدم هذه الطريقة في القياس لتوفر هذه الاجهزة في المختبرات ، اذا تم قياس الفولتية عبر المقاومة والتيار المار فيها نجد بواسطة تطبيق قانون اوم المقاومة المجهولة .

$$R_x = V / I$$

نعتبر كحالة مثالية مقاومة الاميتر صفر ومقاومة الفولتميتر ما لا نهاية لكي لا تتاثر حالة القياس في الدائرة .



الدائرة ( a )



الدائرة ( b )

الدائرة ( a ) :

يقيس الاميتر التيار الحقيقي المجهز للمقاومة المجهولة  $R_x$  المطلوب قياسها والـ فولتميتر يقيس فولتية المصدر بدلا عن الفولتية الحقيقية على المقاومة  $R_x$  .

لايجاد الفولتية الحقيقية على المقاومة  $R_x$  يجب طرح هبوط الفولتية على الاميتر من قراءة الفولتميتر .

الدائرة ( b ) :

الفولتميتر يقيس فولتية المقاومة  $R_x$  الحقيقية والاميتر تحت الخطا في هذه الحالة وبمقدار التيار المسحوب من قبل الفولتميتر لذلك يوجد خطأ في قياس المقاومة  $R_x$  في كلا الحالتين .

تعتمد الطريقة الصحيحة للقياس في الربط للجهازين على قيمة المقاومة  $R_x$  وقيمة مقاومة الفولتميتر والاميتر حيث تكون بصورة عامة مقاومة الاميتر واطنة ومقاومة الفولتميتر عالية.



يقراً الميتر في الدائرة ( a ) القيمة الحقيقية لتيار  $R_x$  الذي هو  $I_x$  ، بينما يقيس الفولتميتر فولتية المصدر  $V_t$  .

إذا كانت المقاومة  $R_x$  كبيرة مقارنة بمقاومة الاميتر الداخلية يكون الخطأ الناتج من اهمال هبوط الفولتية على الاميتر مهملاً لانه قليل جداً وتكون الفولتية  $V_t$  قريبة جداً من فولتية المقاومة المجهولة  $V_x$  لذلك يكون الربط في الدائرة ( a ) احسن دائرة لقياس قيم المقاومات العالية .

الدائرة ( b ) : الفولتميتر يقرأ القيمة الحقيقية لفولتية المقاومة  $R_x$  بينما يقرأ الاميتر تيار المصدر  $I_t$  .

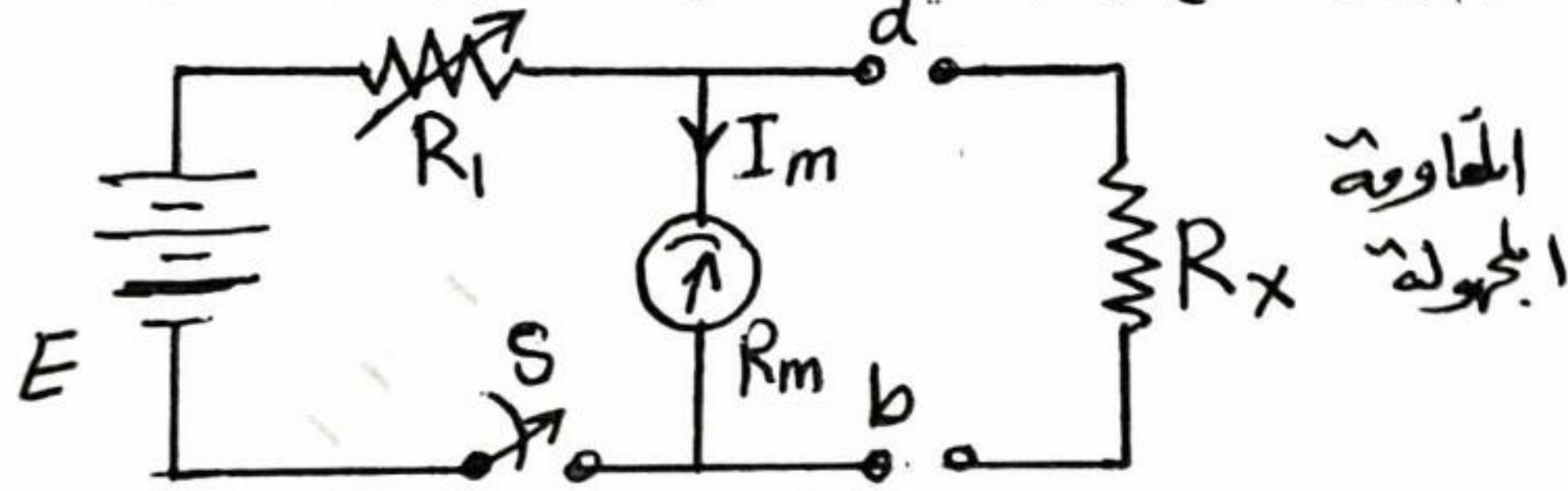
إذا كانت  $R_x$  صغيرة مقارنة بالمقاومة الداخلية للفولتميتر سوف لا يؤثر التيار المسحوب من قبل الفولتميتر بصورة واضحة على تيار المصدر الكلي .

يكون  $I_t$  قريباً جداً من القيمة الحقيقية لتيار المقاومة  $R_x$  والذي هو  $I_x$  وبذلك يكون الربط في الدائرة ( b ) احسن دائرة لقياس قيم المقاومات الواطئة .

## ( ٢ ) أوميتر نوع التوازي Shunt type ohmmeter

يتألف الجهاز من بطارية على التوالي مع مقاومة قابلة للضبط ( متغيرة ) هي  $R_1$  وحركة دي أرسونفال ، توصل المقاومة المجهولة  $R_x$  بين النهايتين  $a, b$  على التوازي مع حركة دي أرسونفال .

يكون من المهم وجود مفتاح توصيل في هذه الدائرة لفصل وتوصيل البطارية عند الاستعمال .



مقياس المقاومة اوميتر نوع توازي

يكون تيار الحركة او المقياس صفراً عندما تكون قيمة المقاومة المجهولة  $R_x$  صفراً ايضاً ، دائرة قصر بين  $a, b$  ( يمر التيار في دائرة القصر ) .

عندما تكون المقاومة بين  $a, b$  تساوي ما لا نهاية يجد التيار طريقة الوحيد خلال المقياس وباختيار مناسب لقيمة  $R_1$  يمكن جعل المؤشر يقرأ انحراف المقياس الكامل ( جميع التيار يمر في دائرة المقياس )

يكون تدرج الصفر في هذا المقياس من الجهة اليسرى من المقياس والسبب في ذلك ( لا يوجد تيار في المقياس ) .

تدرج ما لا نهاية من الجهة اليمنى للمقياس ( تيار انحراف المقياس الكامل ) .



يلانم هذا الجهاز قياس المقاومات الواطنة القيمة ولا يعتبر من اجهزة الاختبار الشائعة لكنه يوجد في المختبرات او لبعض التطبيقات الخاصة للمقاومات الواطنة القيمة ولايجاد قيمة المقاومة  $R_1$  :-

$$R_x = \infty \quad \text{عندما}$$

$$E = I_{fsd} (R_1 + R_m)$$

$$E = I_{fsd} R_1 + I_{fsd} R_m$$

$$I_{fsd} R_1 = E - I_{fsd} R_m$$

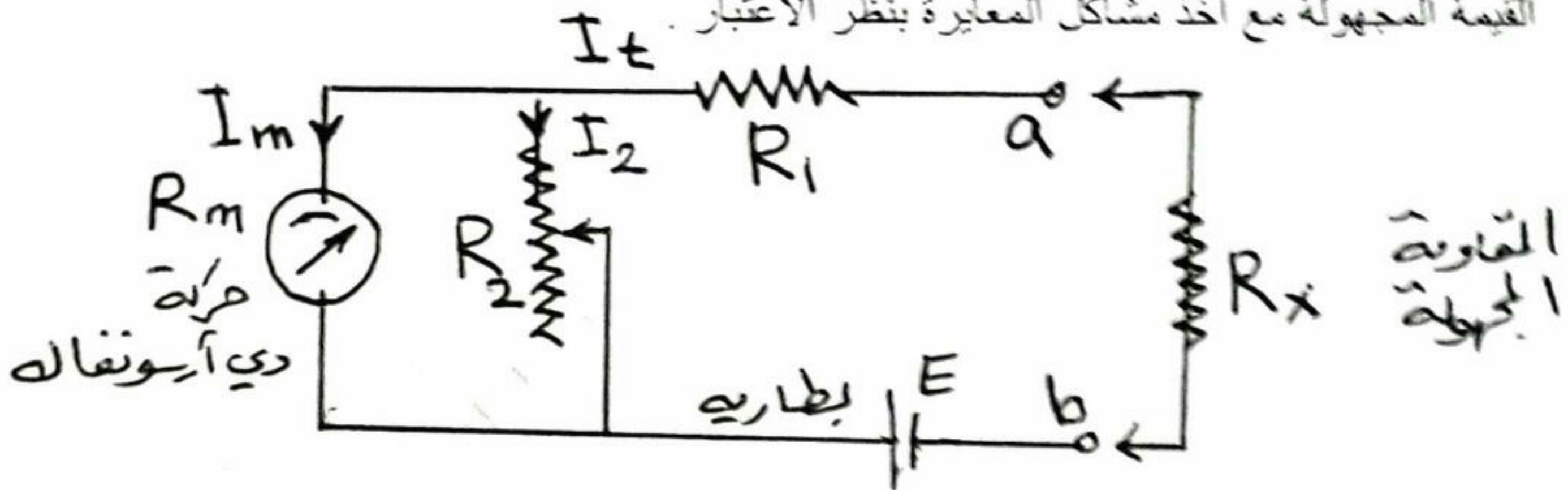
$$R_1 = E - I_{fsd} / R_m$$

$$R_1 = E / I_{fsd} - R_m$$

### ( ٣ ) جهاز اوميتر نوع التوالي Series -Type Ohmmeter

يتالف اوميتر نوع التوالي بصورة رئيسية من حركة دي ارسونفال موصولة على التوالي مع مقاومة وبطارية الى زوج من الاطراف التي يربط فيها العنصر المجهول .

يعتمد التيار المار خلال الحركة على مقدار المقاومة المجهولة وتتناسب تأشيرة المقياس مع القيمة المجهولة مع اخذ مشاكل المعايرة بنظر الاعتبار .



دائرة مقياس المقاومة اوميتر توالي البسيط نو المدى الواحد

عندما تكون المقاومة المجهولة ( $R_x = 0$ ) دائرة قصر بين  $a, b$  يسري اعظم تيار في الدائرة في هذه الحالة يتم ضبط مقاومة التوازي  $R_2$  حتى تؤثر الحركة على تيار انحراف المقياس الكامل  $I_{fsd}$  يرقم موضع تيار انحراف المقياس الكامل بالمقدار  $0\Omega$  على المقياس .

بنفس الاسلوب عندما تكون ( $R_x = \infty$ ) النهايات  $a, b$  تكون مفتوحة ( مقاومة الهواء ما لا نهاية ) يهبط التيار في الدائرة الى الصفر وتؤثر الحركة الى التيار صفرا والتي ترقم ( $\infty$ ) على المقياس .

يمكن وضع ارقام وسطية على المقياس بتوصيل قيم مختلفة معلومة للمقاومة  $R_x$  مع الجهاز .



تعتمد دقة هذه الترقيمات على الدقة المتكررة للحركة وعلى التفاوت المسموح للمقاومات المستخدمة في عملية انشاء التدرج .

حيث

$R_1$  : مقاومة تحديد التيار

$R_2$  : مقاومة ضبط الصفر المتغيرة

جهاز اوميتر نوع التوالي ذو تصميم شائع ويستعمل بصورة واسعة في الاجهزة النقالة للخدمات العامة فان له بعض المساوى واهمها البطارية الداخلية التي تتضائل فولتيتها مع الزمن والعمر بحيث ينخفض تيار انحراف المقياس الكامل ولا يقرأ المؤشر القيمة صفرا عند عمل دائرة قصر بين النهايتين  $a, b$  .

مقاومة التوازي  $R_2$  المتغيرة تجهز الضبط لمعاكسة التأثير الناتج من التغيير في البطارية .  
بالامكان جلب المؤشر الى انحراف المقياس الكامل ثانية بدون  $R_2$  وذلك بضبط المقاومة  $R_1$  ولكن هذا يسبب تغيير في التدرج على طول المقياس .

يعتبر ضبط  $R_2$  الحل الامثل لان مقاومة التوازي المكافئة للمقاومة  $R_2$  ومقاومة الملف  $R_m$  تكون دائما واطنة مقارنة مع  $R_1$  ولهذا السبب لا يؤثر تغيير  $R_2$  اللازم للضبط على التدرج بدرجة كبيرة لكنها لا تعوض عن تأثير البطارية بمرور الزمن كليا .

### تصميم الجهاز

الكمية الملائمة للاستعمال في تصميم جهاز اوميتر نوع التوالي هي قيمة  $R_x$  التي تسبب نصف انحراف المقياس الكامل وتعرف المقاومة عبر النهايتين  $a, b$  في هذا الموضع بانها مقاومة موضع نصف الانحراف  $R_h$  .

يمكن تحليل الدائرة اي معرفة قيم  $R_1, R_2$  من معرفة قيم تيار انحراف المقياس الكامل ( $I_{fsd}$ ) والمقاومة الداخلية للحركة ( $R_m$ ) وفولتية البطارية ( $E$ ) والقيمة المرغوبة لمقاومة نصف الانحراف  $R_h$  .

يمكن الوصول الى التصميم من توصيل  $R_h$  لانه يسبب هبوط تيار المقياس الى ( $\frac{1}{2} I_{fsd}$ )

وهذا يعني ان المقاومة المجهولة يجب ان تساوي المقاومة الداخلية الكلية للاوميتر اي :-

$$R_h = R_1 + \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

$$R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} \dots\dots\dots(1)$$



المقاومة الكلية الظاهرة للبطارية ( للدائرة ) تساوي (  $2R_h$  )  
تيار البطارية اللازم لتجهيز نصف انحراف المقياس عندئذ يساوي :-

$$I_h = \frac{E}{2R_h}$$

ولانتاج تيار انحراف المقياس يجب ان يتضاعف تيار البطارية

$$I_t = 2I_h - 2 \times \frac{E}{2R_h}$$

$$I_t = \frac{E}{R_h} \dots\dots\dots(2)$$

=

$$I_2 = I_t - I_{fsd} \dots\dots\dots(3)$$

الفولتية عبر التوازي (  $E_{sh}$  ) مساوية للفولتية عبر الحركة

$$E_{sh} = E_m$$

$$I_2 R_2 = I_m R_m$$

$$R_2 = I_m R_m / I_2 \dots\dots\dots(4)$$

بتعويض معادلة ( ٣ ) في معادلة ( ٤ )

$$R_2 = I_{fsd} R_m / I_t - I_{fsd}$$

بتعويض معادلة ( ٢ ) في هذه المعادلة نعوض عن  $I_t$

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{\frac{E}{R_h} - I_{fsd}} = \frac{I_{fsd} R_m}{\frac{E - I_{fsd} R_h}{R_h}}$$

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E - I_{fsd} R_h} \dots\dots\dots(5)$$

بهذه المعادلة رقم ( ٥ ) نجد قيمة المقاومة  $R_2$  بعد ذلك نعوض قيمتها في معادلة رقم ( ١ )  
لايجاد قيمة المقاومة  $R_1$  بعد ان تم ايجاد قيمة المقاومة  $R_2$ .

$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd} R_m^2 R_h}{E - I_{fsd} R_h} * \frac{E - I_{fsd} R_h}{I_{fsd} R_m R_h + R_m(E - I_{fsd} R_h)}$$



$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd} R_m^2 R_h}{I_{fsd} R_m R_h + R_m E - I_{fsd} R_m R_h}$$

$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E}$$

مثال : يستعمل الاوميتير نوع التوالي الحركة الاساسية ذات مقاومة (  $50 \Omega$  ) و تيار انحراف المقياس الكامل (  $1mA$  ) فاذا كانت فولتية البطارية الداخلية (  $3V$  ) وكانت قيمة المقاومة المرغوبة لانحراف نصف المقياس  $2000\Omega$  احسب :-

١ - قيم المقاومات  $R_1, R_2$

٢ - اعظم قيمة للمقاومة  $R_2$  للتعويض عن هبوط في فولتية البطارية بقدر  $10\%$

٣ - خطأ المقياس في موضع نصف الانحراف المرقم  $2000 \Omega$  عند وضع  $R_2$  كما مبين في b

الحل :

١ - التيار الكلي للبطارية لانحراف المقياس الكامل يساوي :

$$I_t = \frac{E}{R_h} = \frac{3V}{2000\Omega} = 1.5 \text{ mA}$$

عليه التيار المار في مقاوم ضبط الصفر  $R_2$  يساوي

$$I_2 = I_t - I_{fsd} = 1.5 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 0.5 \text{ mA}$$

وتكون قيمة مقاوم ضبط الصفر  $R_2$  تساوي

$$R_2 = I_m R_m / I_2 = 1 \text{ mA} \times 50 \Omega / 0.5 \text{ mA} = 100 \Omega$$

وتكون مقاومة التوازي المكافئة لمقاومة الحركة ومقاومة التوازي  $R_p$

$$R_p = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = \frac{50 \times 100}{150} = 33.3 \Omega$$

قيمة مقاومة تحديد التيار  $R_1$  تساوي :

$$R_1 = R_h - R_p = 2000 \Omega - 33.3 \Omega = 1966.7 \Omega$$

٢ - عند هبوط البطارية بمقدار  $10\%$

$$E = 3V - 0.3 = 2.7 V$$

يصبح تيار البطارية الكلي  $I_t$  :

$$I_t = \frac{E}{R_h} = 2.7 V / 2000 \Omega = 1.35 V$$



ويكون تيار مقاومة التوازي  $I_2$

$$I_2 = I_t - I_{fsd} = 1.35 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 0.35 \text{ mA}$$

اما مقاومة ضبط الصفر  $R_2$  تصبح

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{I_2} = \frac{1 \text{ mA} \cdot 50 \Omega}{0.35 \text{ mA}} = 143 \Omega$$

٣ - تصبح مقاومة التوازي المكافئة لمقاومة الحركة والقيمة الجديدة للمقاومة  $R_2$  مساوية للقيمة

$$R_p = \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = \frac{50 \cdot 143}{143 + 50} = 37 \Omega$$

بما ان مقاومة نصف انحراف المقياس الكامل  $R_h$  تساوي المقاومة الداخلية الكلية للدائرة ، لذا تزداد  $R_h$  الى : -

$$R_h = R_1 + R_p = 1966.7 \Omega + 37 \Omega = 2003.7 \Omega$$

اذن تصبح المقاومة الحقيقية لترقيم نصف انحراف المقياس على الجهاز (  $2003.7 \Omega$  ) بينما كانت القيمة الاصلية للترقيم (  $2000 \Omega$  ) لذا فان النسبة المنوية للخطا تساوي : -

$$\% \text{ Error} = \frac{2000 - 2003.7}{2003.7} * 100\% = -0.185 \%$$

تدل الاشارة السالبة على كون قراءة المقياس اوطأ من القراءة التي يسجلها ( القراءة الحقيقية اوطأ اقل نت القراءة التي يسجلها المقياس ) والسبب في ذلك هو هبوط البطارية بمقدار  $10 \%$  .

المادة : اجهزة قياس / الثاني

المعهد التقني / العمارة

المدرس : م.م كريم قاسم سدخان

قسم التقنيات الالكترونية

## قنطرة وتستون Wheatstone Bridge

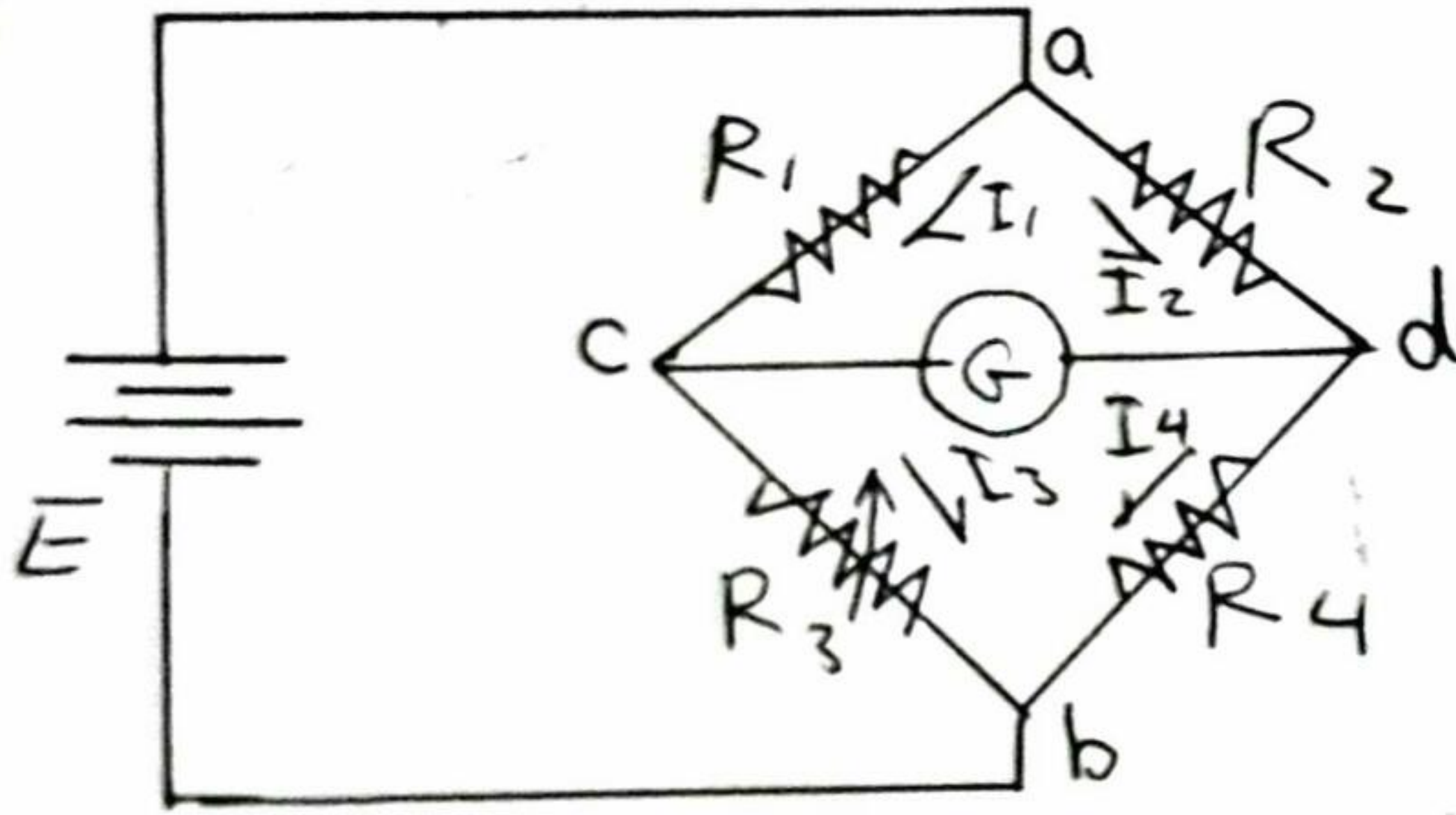
### مبدأ العمل الاساسي Basic Operation

تتكون القنطرة من اربع اذرع مقاومة ومصدر قوة دافعة كهربائية ( بطارية ) وكاشف صفري ويكون الكاشف عبارة عن كلفانوميتر او اي مقياس حساس للتيار الكهربائي .

يعتمد التيار المار في الكلفانوميتر على فرق الجهد بين النقطتين  $c, d$  ويقال عن القنطرة بانها متزنة عندما يكون فرق الجهد عبر الكلفانوميتر مساويا للصفر بحيث لا يسري اي تيار في



الكلفانوميتر ، تحدث هذه الحالة عندما تكون الفولتية من نقطة c الى نقطة a مساوية للفولتية من نقطة d الى نقطة a كذلك بالنسبة للطرف الآخر .



الرسم التخطيطي المبسط لدائرة قنطرة وتستون

أذن تتزن القنطرة عندما :-  $E_{ac} = E_{ad}$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \text{ ----- (1)}$$

عندما يكون تيار الكلفانوميتر مساويا للصفر فان الحالة التالية تكون صحيحة ايضا :-

$$I_1 = I_3 = \frac{E}{R_1 + R_3} \text{ ----- (2)}$$

وكذلك :-

$$I_2 = I_4 = \frac{E}{R_2 + R_4} \text{ ----- (3)}$$

بحل المعادلات ١، ٢، ٣ نعوض عن  $I_2, I_4$  من معادلة ٢، ٣ في معادلة ١

$$\frac{R_1 E}{R_1 + R_3} = \frac{R_2 E}{R_2 + R_4}$$

بضرب الوسطين = الطرفين

$$R_1 R_2 + R_1 R_4 = R_1 R_2 + R_2 R_3$$

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \text{ ----- (4)}$$

المعادلة رقم (٤) التعبير المعروف لاتزان قنطرة وتستون نفاذا كان قيم ثلاث مقاومات معروفة

يمكن ايجاد القيمة الرابعة من المعادلة (٤) .



المعادلة رقم (٤) التعبير المعروف لاتزان قنطرة وتستو نفاذا كان قيم ثلاث مقاومات معروفة يمكن ايجاد القيمة الرابعة من المعادلة (٤) .

اذا كانت المقاومة  $R_4$  هي المجهولة فيمكن التعبير عن مقاومتها  $R_x$  بدلالة المقاومات الباقية كما يلي :-

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

تسمى المقاومة  $R_3$  الذراع القياسي والمقاومتان  $R_1, R_2$  تسميان ذراعي النسبة .

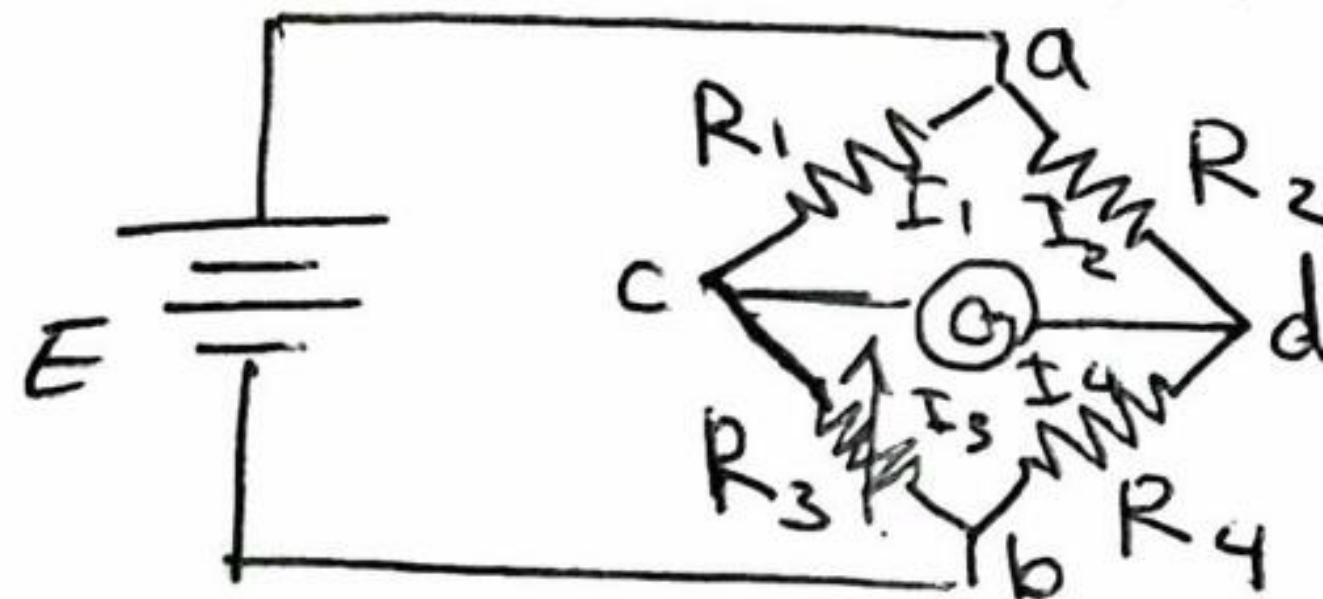
لا يعتمد قياس المقاومة المجهولة  $R_x$  على مميزات وتدرج الكلفانوميتر المستخدم للانحراف الصفري شرط ان تكون للكاشف الصفري الحساسية الكافية لتأشير وضع اتزان القنطرة بدرجة عالية من الدقة المطلوبة ويعتمد القياس على دقة المقاومات الثلاثة المعلومة.

### أخطاء القياس في قنطرة وتستون

- ١ - أخطاء المقاومات الثلاثة المعلومة .
  - ٢ - الحساسية غير الكافية للكاشف الصفري .
  - ٣ - التغيير الحاصل في مقاومات اذرع القنطرة بسبب تأثير التسخين الناتج من مرور التيار خلال المقاومات لان تأثير التسخين ( $I^2 R$ ) يغير مقاومة المقاومة .
  - ٤ - القوة الدافعة الكهربائية الحرارية في دائرة القنطرة او دائرة الكلفانوميتر تسبب بعض المشاكل عند قياس المقاومات الواطنة القيمة .
  - ٥ - الاخطاء الناتجة عن قيم مقاومات اسلاك التوصيل واطرافها ( Leads ) وكذلك نقاط التماس الخارجية لهذه تأثير كبير عند قياس المقاومات الواطنة جدا .
- تستعمل القنطرة للقياسات الدقيقة للمقاومات التي تتراوح قيمها من  $1\Omega$  الى بعض المديات الواطنة للميكا أوم .

### دائرة ثفنن المكافئة Thevenin Equivalent Circuit

لتحديد ما اذا كان للكلفانوميتر الحساسية المطلوبة لكشف حالة عدم الاتزان ام لا يكون من الضروري حساب تيار الكلفانوميتر .



مخطط قنطرة وتستون الاعتيادية



$$E_{cd} = E_{ac} - E_{ad}$$

$$E_{cd} = I_1 R_1 - I_2 R_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_3} \dots \dots \dots (2)$$

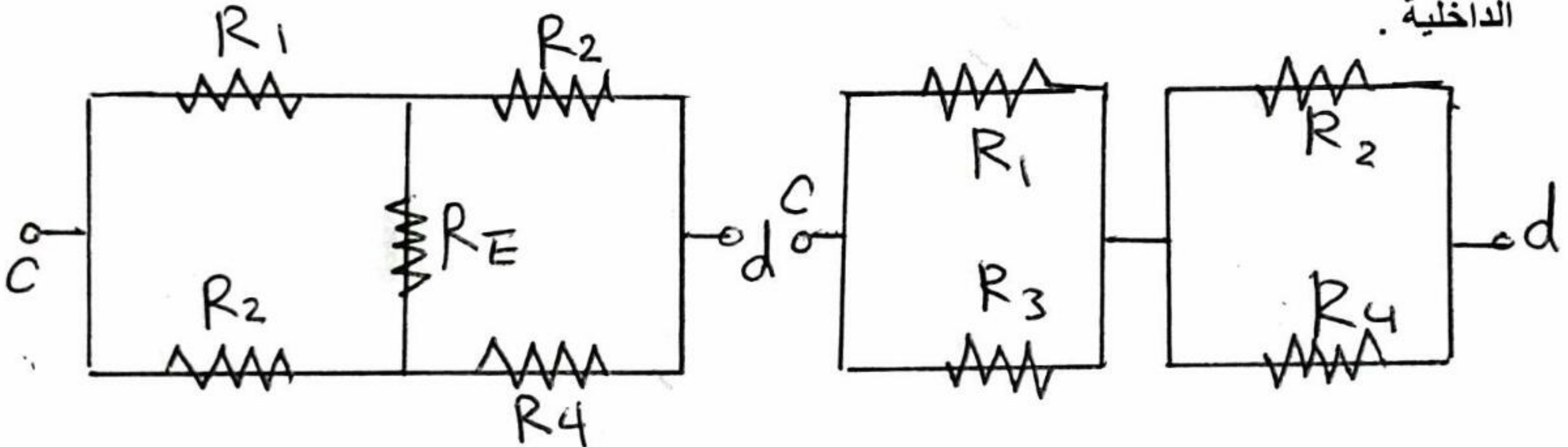
$$I_2 = \frac{E}{R_2 + R_4} \dots \dots \dots (3)$$

نعوض عن  $I_1, I_2$  في معادلة (1)

$$E_{cd} = \frac{R_1 E}{R_1 + R_3} = \frac{R_2 E}{R_2 + R_4}$$

$$E_{th} = E_{cd} = E \left( \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right)$$

لايجاد مقاومة ثفنن المكافئة بالنظر عبر الطرفين  $d, c$  والتعويض من البطارية بمقاومتها الداخلية.



الشكل بعد اهمال مقاومة البطارية واعتبارها صفرا الشكل مع مقاومة البطارية  $R_E$

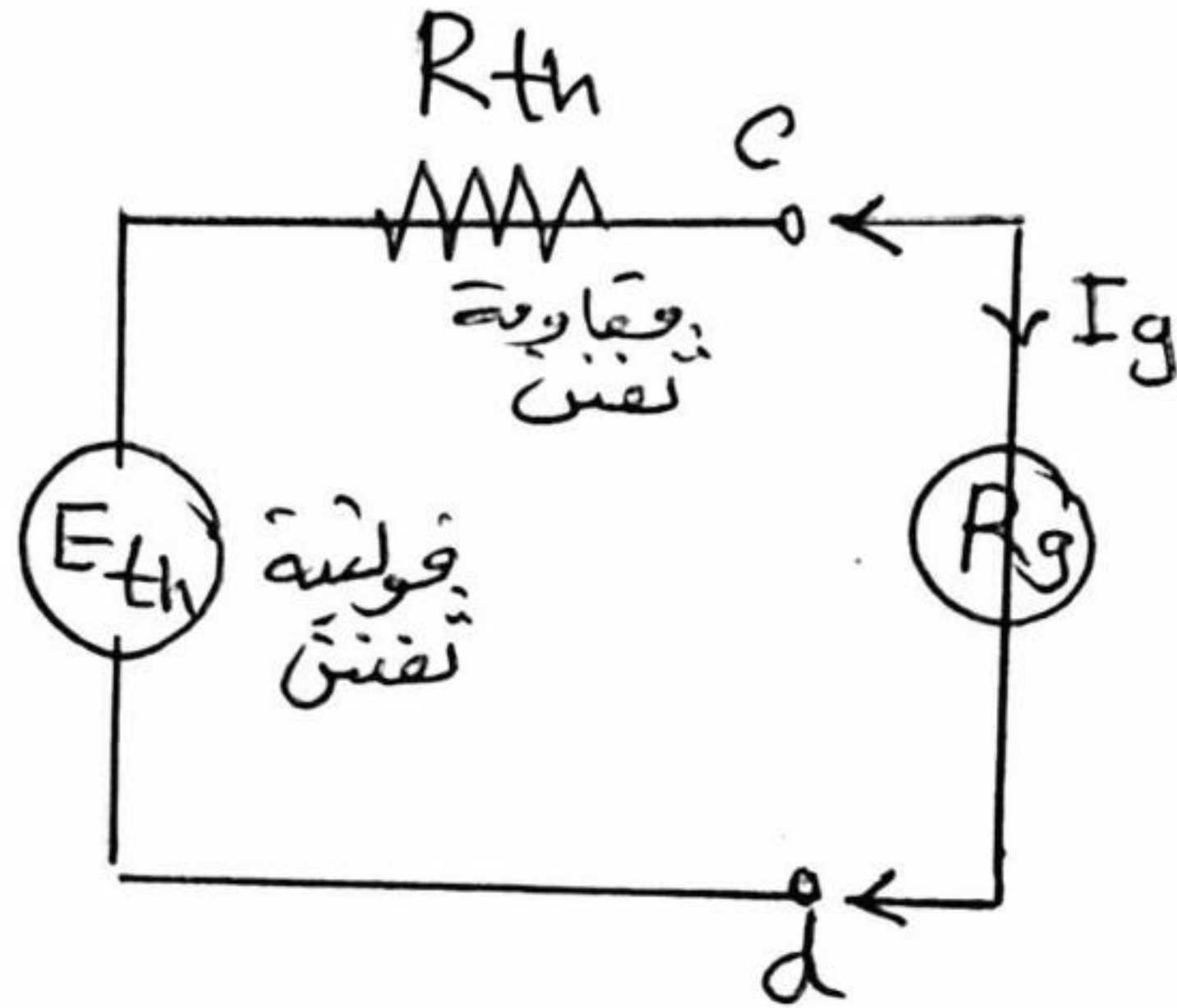
يمكن اهمال المقاومة الداخلية الواطنة جدا للبطارية مما يسهل تبسيط الدائرة الى مكافئ ثفنن البسيط المعروف .

مقاومة ثفنن تصبح :-

$$R_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$



مكافئ ثفنن



المخطط التوضيحي لمكافئ ثفنن

$$I_g = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_g}$$

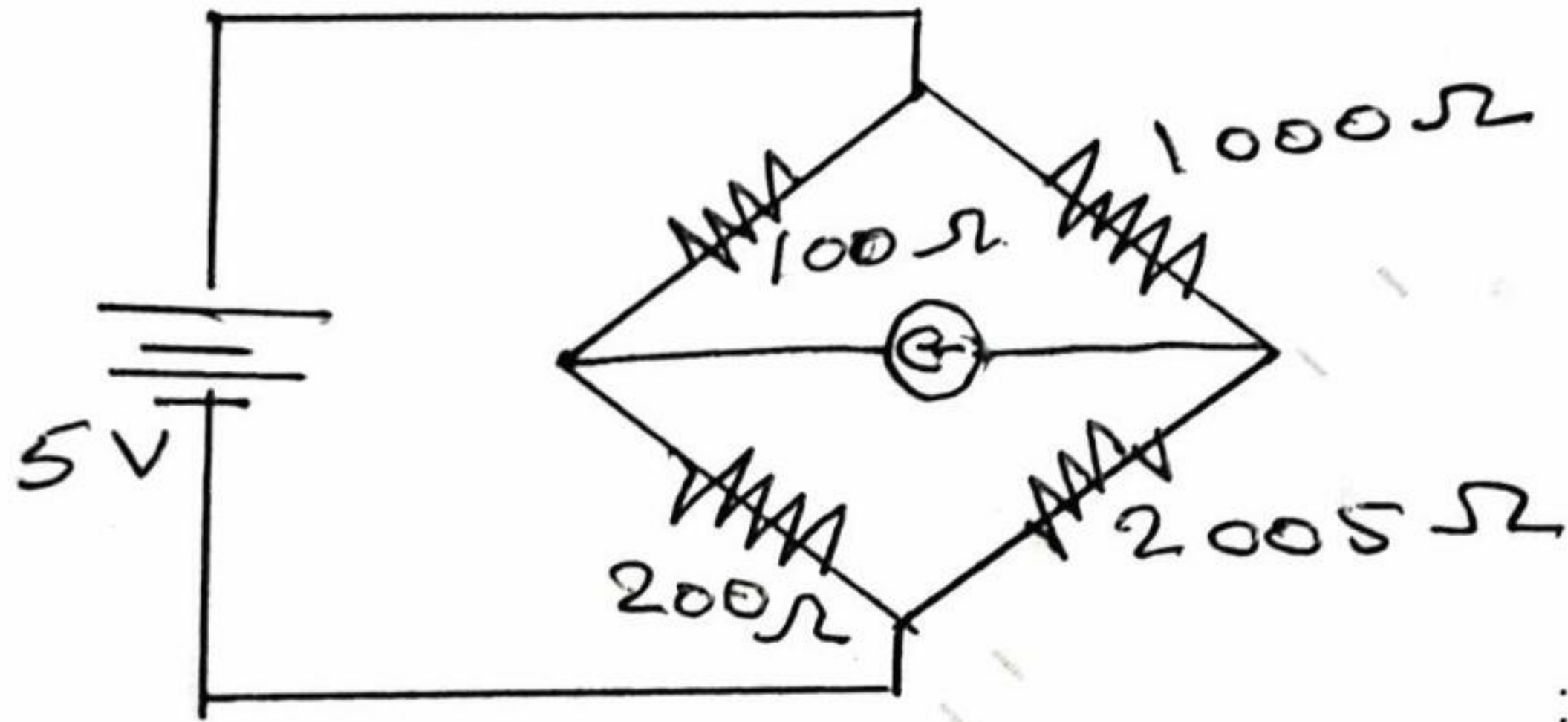
حيث :

$I_g$  : تيار الكلفانوميتر

$R_g$  : مقاومة الكلفانوميتر الداخلية



مثال ١ : في الشكل ادناه الرسم التخطيطي لقطرة وتستون مع قيم مكونات القنطرة فاذا كانت فولتية البطارية ( 5V ) مع اهمال مقاومتها الداخلية وكانت حساسية التيار للكلفانوميتر ( 10 mm /  $\mu A$  ) ومقاومته الداخلية  $100\Omega$  ، احسب انحراف الكلفانوميتر الذي تسببه مقاومة عدم الاتزان مقدرها  $5\Omega$  في الذراع الرابع .



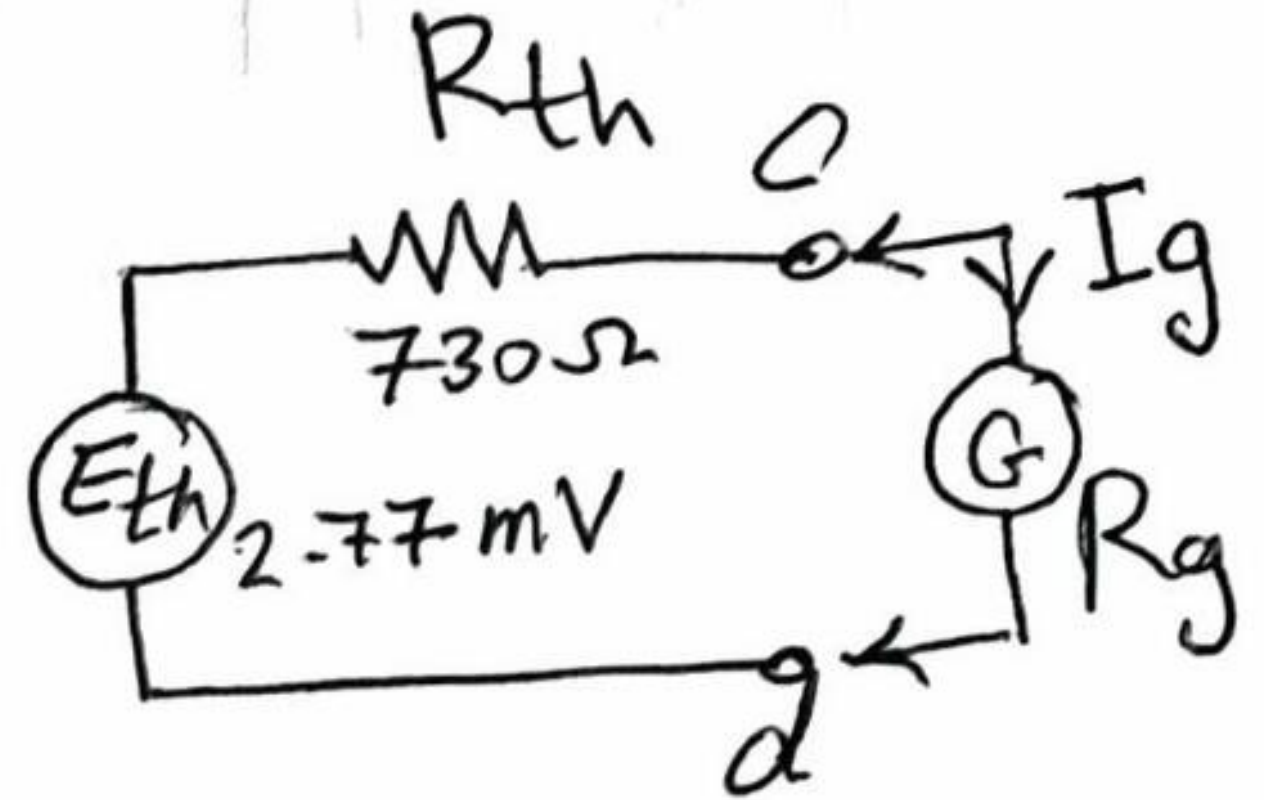
$$E_{th} = E \left( \frac{R_1}{R_1+R_3} - \frac{R_2}{R_2+R_4} \right)$$

$$= 5V \left( \frac{100}{100+200} - \frac{1000}{1000+2005} \right) = 2.77mV$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2+R_4}$$

$$= \frac{100 \cdot 200}{100+200} + \frac{1000 \cdot 2005}{1000+2005}$$

$$= 730\Omega$$



$$I_g = \frac{E_{th}}{R_{th}+R_g} = \frac{2.77mV}{730+100} = 3.3 \mu A$$

$$d = 3.3 \mu A * 10 \text{ mm} / \mu A = 33 \text{ mm}$$

مقدار انحراف الكلفانوميتر عندما تكون مقاومته الداخلية  $R_g = 100\Omega$



مثال ٢ : اذا تم تبديل الكلفانوميتر المستعمل في المثال ١ بأخر مقاومته الداخلية (  $500\Omega$  ) وحساسية التيار  $1\text{mm} / \mu\text{A}$  . بفرض انه يمكن ملاحظة انحراف مقدارة (  $1\text{mm}$  ) على مقياس الكلفانوميتر ، اوجد ما اذا كان هذا الكلفانوميتر الجديد قادرا على كشف حالة عدم الاتزان التي تسببها المقاومة (  $5\Omega$  ) في الذراع الرابع ؟

بما ثوابت القنطرة لم تتغير ، فان الدائرة المكافئة تبقى بفولتية ثفنن (  $2.77\text{mV}$  ) ومقاومة ثفنن (  $730\Omega$  ) يتم الان توصيل الكلفانوميتر الجديد عبر طرفي الاخراج لاستخراج تيار الكلفانوميتر .

$$I_g = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_g} = \frac{2.77\text{mV}}{730\Omega + 500\Omega} = 2.25\mu\text{A}$$

وعليه فان انحراف الكلفانوميتر  $d$  يساوي

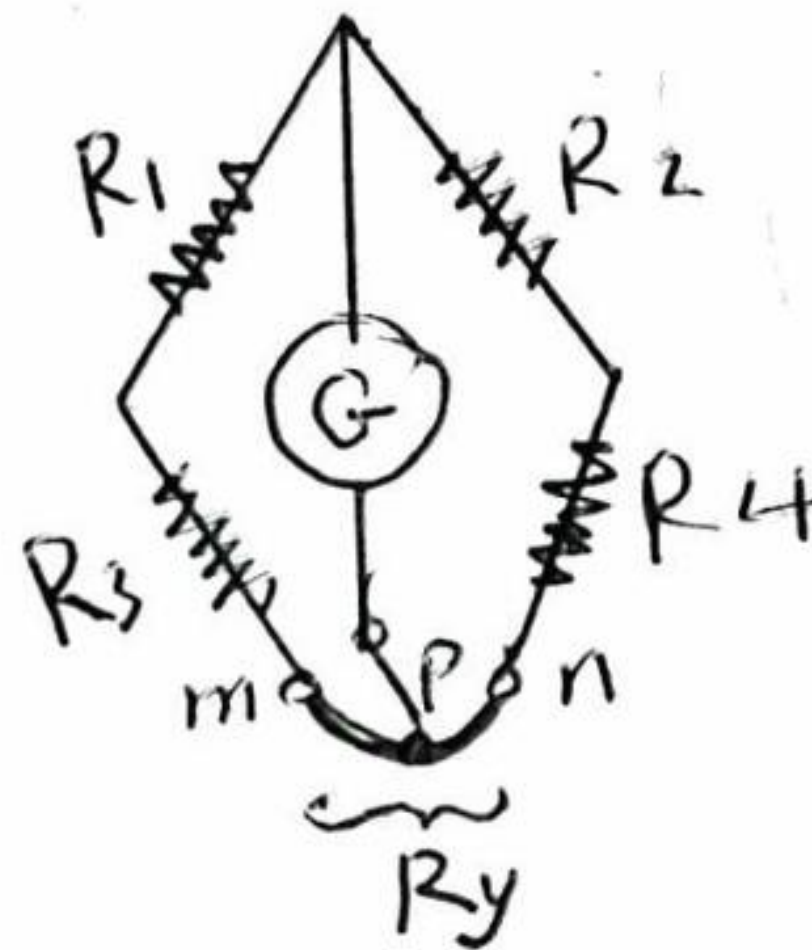
$$d = 2.25\mu\text{A} * 1\text{mm} / \mu\text{A} = 2.25\text{mm}$$

الكلفانوميتر يظهر انحراف يمكن ملاحظته بسهولة لانه يظهر الانحراف الى حد (  $1\text{mm}$  ) كما ورد في المثال اعلاه .

## قنطرة كلفن Kelvin Bridge

### تأثير اسلاك التوصيل

تمثل قنطرة كلفن تعديلا محسنا لقنطرة وتستون وتجهز زيادة كبيرة في دقة قياس المقاومات الواطنة القيمة بصورة عامة اقل من  $1\Omega$  . انظر الى الشكل في ادناه : -



$R_y$  : هي مقاومة اسلاك التوصيل وقد وضعت بين المقاومة  $R_3$  والمقاومة  $R_x$

هنالك احتمالان لتوصيل الكلفانوميتر :

الاول : الى نقطة  $m$  والثاني : الى نقطة  $n$



١ - عند توصيل الكلفانوميتر الى نقطة  $m$  تضاف مقاومة الموصل  $R_y$  الى المقاومة المجهولة  $R_x$  منتجة بذلك قيمة عالية للمقاومة  $R_x$ .

٢ - عند توصيل الكلفانوميتر الى نقطة  $n$  تضاف مقاومة الموصل  $R_y$  الى الذراع  $R_3$  وتكون نتيجة القياس للمقاومة  $R_x$  أوطأ مما يجب ان تكون لان القيمة الحقيقية للمقاومة  $R_3$  تكون في هذه الحالة اعلى من قيمتها الاسمية بمقدار  $R_y$ .

اذا تم توصيل الكلفانوميتر الى نقطة  $p$  بين النقطتين  $n, m$  بالطريقة التي تكون فيها النسبة بين المقاومة من  $n$  الى  $p$  والمقاومة من  $m$  الى  $p$  مساوية للنسبة بين المقاومتين  $R_1, R_2$

$$\frac{R_{np}}{R_{mp}} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{فيمكننا كتابة المعادلة :}$$

حاصل ضرب الوسطين = حاصل ضرب الطرفين

$$R_{np} = \frac{R_2 R_{mp}}{R_1} \quad (1)$$

معادلة ايزان القنطرة ( المعادلة العامة ) تصبح :-

$$R_x + R_{np} = \frac{R_2}{R_1} (R_3 + R_{mp}) \quad (2)$$

بحل المعادلتين نعوض عن  $R_{np}$  من معادلة (١) في معادلة (٢)

$$R_x + \frac{R_2}{R_1} R_{mp} = \frac{R_2}{R_1} (R_3 + R_{mp})$$

$$R_x + \frac{R_2}{R_1} R_{mp} = \frac{R_2}{R_1} R_3 + \frac{R_2}{R_1} R_{mp}$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

وهي المعادلة العامة لقنطرة وتستون وبذلك تم التخلص من مقاومة اسلاك التوصيل ونقاط الاتصال .

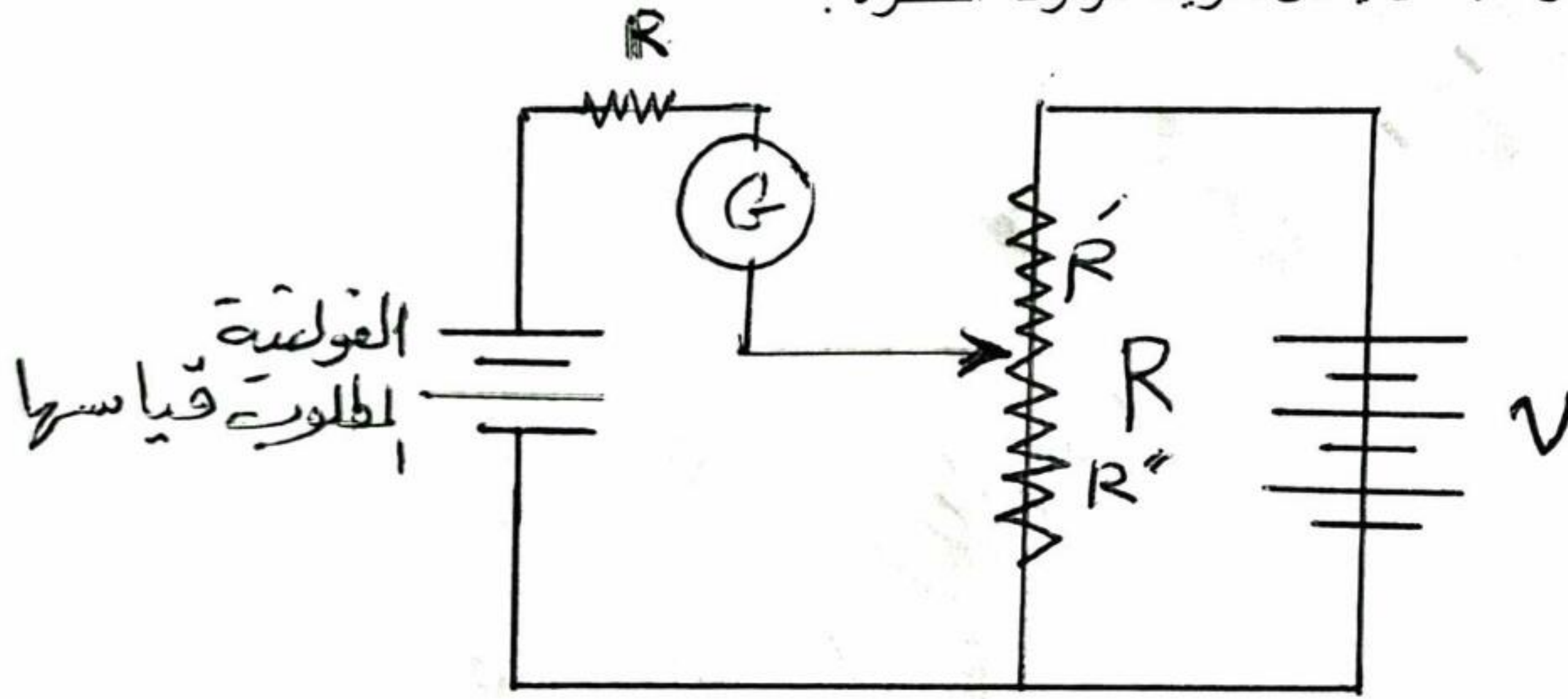


المجهد Potentiometer

تعريف : يعتبر المجهد كوسيلة لقياس الفولتية بينما يمكنه اظهار ممانعة عالية لمصدر الفولتية المراد اختباره ، لا يعتبر المجهد كقنطرة لكنه يملك دائرة تصبح مماثلة لقنطرة وتستون عند استعمال نظرية الدوائر البسيطة .

تكون المقاومة المتغيرة ( R ) ذات درجة دقة عالية بحيث يمكن وضعها بدقة على اية قيمة ، يتم ضبط المقاومة بحيث لا يسري اي تيار في او خلال الكلفانوميتر .

تتم الموازنة بشكل يماثل طريقة موازنة القنطرة .



المجهد والمصدر المراد قياسه

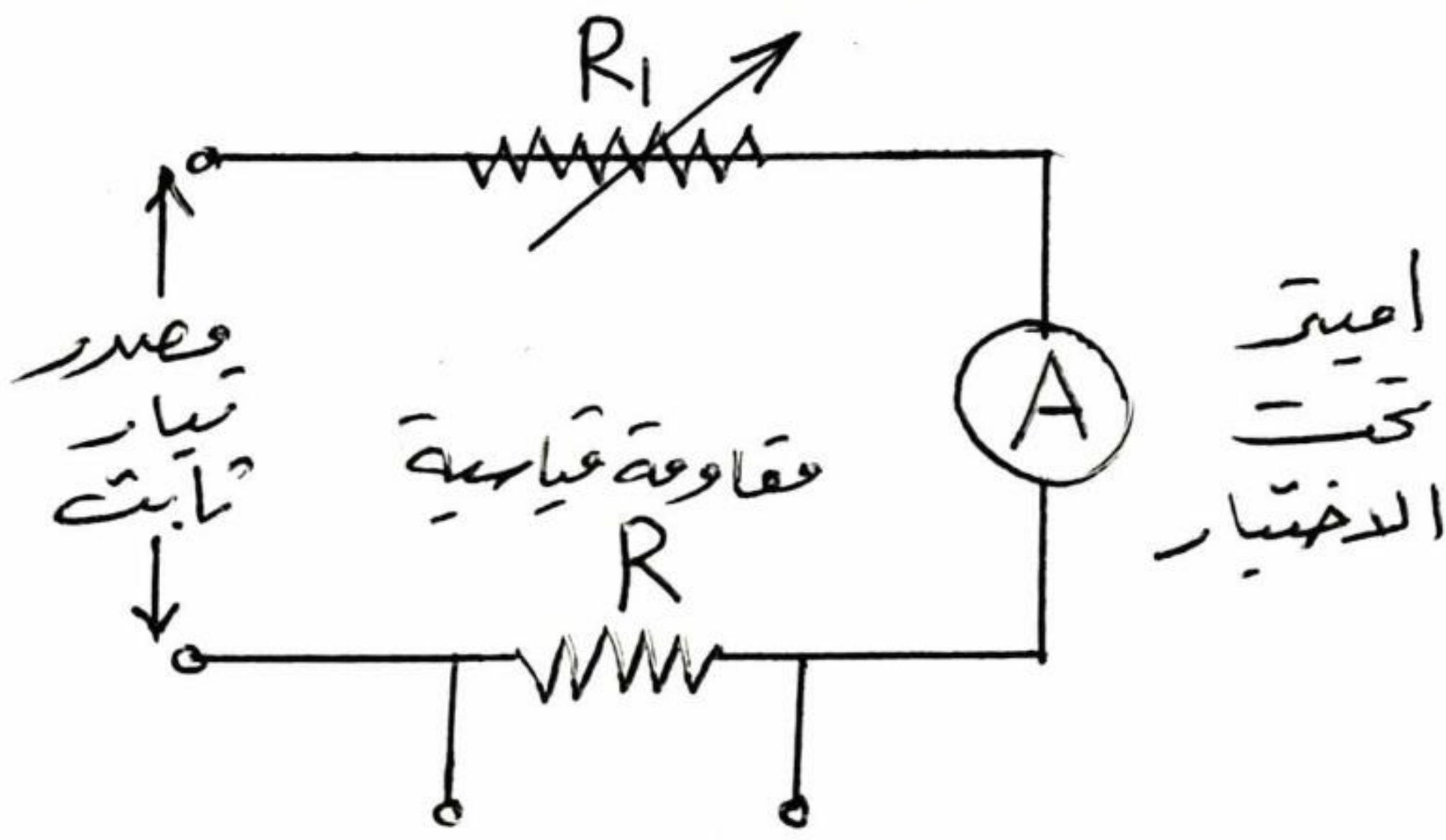
يمكن تحديد عدة مميزات مهمة للمجهد عند النقطة التي لا يسري فيها تيار حيث بسبب عدم سريات التيار او على الاقل سريان تيار صغير جدا من او الى مصدر الفولتية المراد قياسه او اختباره حيث يمكن اعتبار الدائرة المكافئة للمجهد كممانعة عالية جدا .

يحتوي المجهد عندما يكون في حالة اتزان على فولتية مساوية بالضبط لفولتية المصدر المراد اختباره وهذه هي الخاصية التي يبني عليها عمل المجهد .

معايرة اميتر التيار المستمر Calibration of dc ammeter

يمكن معايرة اميتر التيار المستمر بسهولة باستخدام الترتيب ادناه ، نستخرج قيمة التيار المراد خلال الاميتر المراد معايرته بقياس فرق الجهد عبر المقاومة القياسية بطريقة المجهد ومن ثم حساب التيار بقانون اوم ، بعدها نقارن نتيجة هذه الحسابات مع القراءة الحقيقية للاميتر المراد معايرته والموصول في الدائرة .



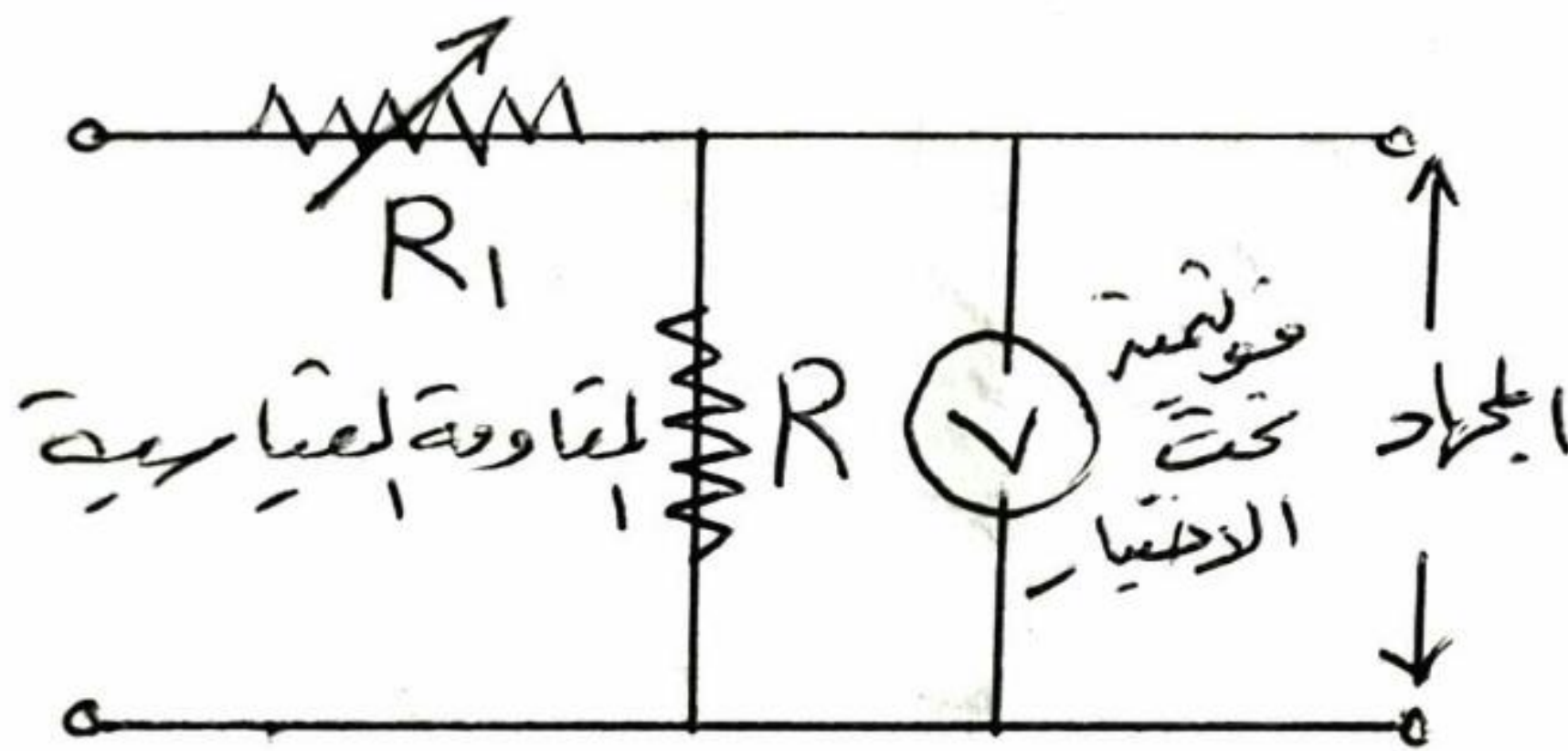


المقاومة ( R ) قياسية ذات دقة عالية اي ان نسبة الخطأ في هذه المقاومة قليلة جدا

يجب استخدام جهاز قدرة ذات دقة عالية للحصول على مصدرا جيدا ذا تيار ثابت .

توضع مقاومة متغيرة في الدائرة للسيطرة على التيار والحصول على اية قيمة مرغوبة لتدريج نقاط مختلفة على مقياس الاميتر.

### معايرة فولتميتر التيار المستمر باستخدام المجهاد Calibration of DC Voltmeter



طريقة المجهاد لتدريج فولتميتر التيار المستمر

- تقاس الفولتية عبر مقاومة الهبوط R بدقة بواسطة المجهاد .
- يربط المقياس المراد تدريجة عبر نفس النقطتين مثل المجهاد الذي يجب ان يقرأ حينئذ نفس الفولتية .
- توضع مقاومة متغيرة في الدائرة للسيطرة على كمية التيار ومن ثم السيطرة على الهبوط عبر المقاومة R لكي يتم تدريج عدة نقاط على المقياس المدرج للفولتميتر .
- يمكن معايرة الفولتميترات المختبرية بطريقة الشكل اعلاه الى دقة بحدود ( 0.01% ) التي تتجاوز الدقة الاعتيادية لحركة دي أرسونفال .

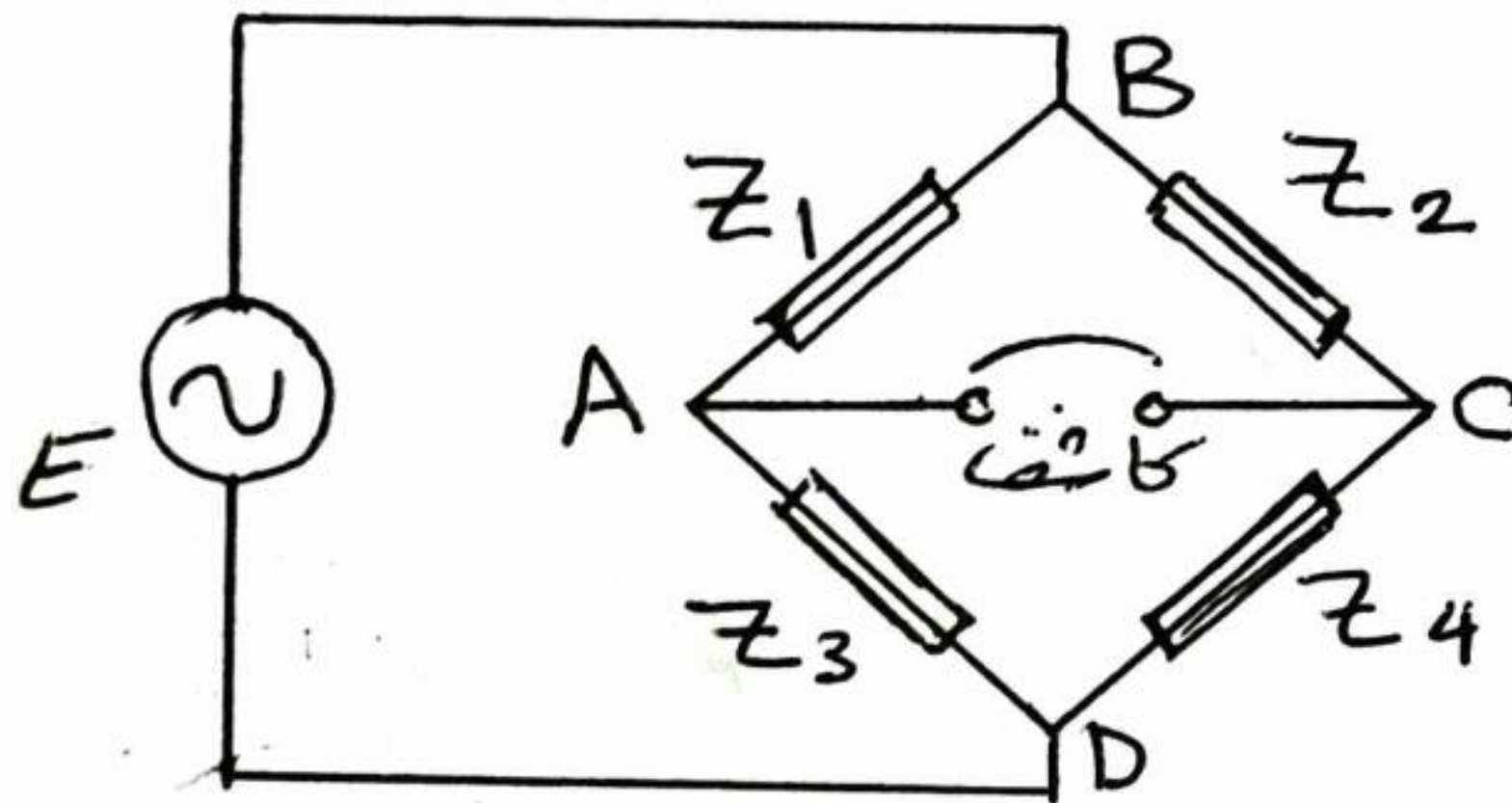


قناطر التيار المتناوب AC Bridges

تعتبر قنطرة التيار المتناوب امتداد طبيعي لقنطرة التيار المستمر وتتكون من اربعة اذرع ومصدر الاثارة والكاشف الصفري .

يجهز مصدر القدرة فولتية متناوبة في التردد المطلوب حيث يمكن استخدام خطوط القدرة الاعتيادية كمصادر تجهيز لقياس الترددات الواطنة بينما يستخدم المذبذب كمصدر تجهيز فولتية الاثارة للترددات العالية .

اما الكاشف الصفري فيجب ان يستجيب لتيارات عدم الاتزان المتناوبة وقد يكون زوج من سماعات الاذن او يكون في بعض التطبيقات مكبر AC ذي مقياس اخراج



الشكل العام لقنطرة التيار المتناوب

تم تمثيل اذرع القنطرة  $Z_1$   $Z_2$   $Z_3$   $Z_4$  بممانعات غير محددة القيمة بينما مثل الكاشف الصفري بسماعات الاذن .

تحصل حالة اتزان القنطرة عندما تكون استجابة الكاشف مساوية للصفر او تكون قراءة المؤشر صفرا ويتم تنظيم الاتزان للحصول على الاستجابة الصفريية بتغيير ذراع او اكثر من اذرع القنطرة .

يمكن الحصول على المعادلة العامة لاتزان القنطرة باستخدام التمثيل المركب للممانعات الموجودة في دائرة القنطرة ويمكن ان تكون الكميات المركبة ممانعات او مسامحات اضافة الى الفولتيات والتيارات .

يتطلب شرط اتزان القنطرة ان يكون فرق الجهد بين نقطة A ونقطة C مساويا للصفر . تحدث هذه الحالة عندما يكون هبوط الجهد من A الى B مساويا لهبوط الجهد من B الى C في المقدار والطور .



يمكن كتابة ذلك بالتمثيل المركب كما يلي : -

$$E_{BA} = E_{BC}$$

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \text{ ..... (1)}$$

عندما يكون الكاشف صفرا

$$I_1 = I_3 = \frac{E}{Z_1 + Z_3} \text{ ..... (2)}$$

$$I_2 = I_4 = \frac{E}{Z_2 + Z_4} \text{ ..... (3)}$$

بتعويض المعادلة (٢) والمعادلة (٣) في المعادلة (١)

$$\frac{E}{Z_1 + Z_3} * Z_1 = \frac{E}{Z_2 + Z_4} * Z_2$$

$$\frac{E}{Z_1 + Z_3} * Z_1 = \frac{E}{Z_2 + Z_4} * Z_2$$

$$Z_1 Z_2 = Z_1 Z_4 = Z_1 Z_2 = Z_2 Z_4$$

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

وهي المعادلة العامة للقنطرة .

عند استعمال المسامحات بدل الممانعات تكون المعادلة : -

$$Y_1 Y_4 = Y_2 Y_3$$

المسامحة مقلوب الممانعة ونستعمل هذه المعادلة عندما تكون مكونات متوازية في اذرع القنطرة

تدل المعادلة العامة على ان حاصل ضرب الممانعات للذراعين المتقابلين يساوي حاصل ضرب الزوج الاخر من الممانعات للذراعين المتقابلين الاخرين .

عند استعمال تمثيل الممانعات بالصيغة القطبية بدل المركبة اي نرسم لكل ممانعة كما يلي : -

$Z = Z \angle \theta$  حيث تمثل  $Z$  مقدار الممانعة و  $\theta$  زاوية الطور للممانعة وبذلك يمكن اعادة كتابة المعادلة العامة للقنطرة بالصيغة الآتية : -

$$(Z_1 \angle \theta_1)(Z_4 \angle \theta_4) = (Z_2 \angle \theta_2)(Z_3 \angle \theta_3)$$

عند ضرب الاعداد المركبة في بعضها تضرب المقادير بينما نجمع زوايا الطور مع بعضها البعض لذا يمكن كتابة المعادلة بالصيغة : -



$$Z_1 Z_4 \angle \theta_1 + \theta_4 = Z_2 Z_3 \angle \theta_2 + \theta_3$$

من خلال هذه المعادلة يتبين انه يجب تحقق شرطين بصورة متزامنة لموازنة قنطرة التيار المتناوب :-

الشرط الاول : يجب تحقق مقادير الممانعات العلاقة التالية :  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$   
الشرط الثاني : ان تحقق زوايا الطور للممانعات العلاقة التالية :

$$\angle \theta_1 + \angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3$$

يجب ان يكون مجموع زوايا الطور للاذرع لممانعات الاذرع المتقابلة متساويا .  
يمكن تطبيق شرطي موازنة القنطرة ( الممانعات + زوايا الطور ) عندما تكون ممانعات اذرع القنطرة ممثلة بالصيغة القطبية اي مقدار وزاوية طور .

مثال : اذا كانت ممانعات اذرع قنطرة تيار متناوب كما يلي :-

$$Z_1 = 100 \Omega \angle 80^\circ , Z_2 = 250 \Omega , Z_3 = 400 \Omega \angle 30^\circ , Z_4 = ?$$

اوجد ثوابت الذراع المجهول؟

الحل : يتطلب الشرط الاول لموازنة القنطرة ان يكون :-  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$

$$Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} = \frac{250 \cdot 400}{100} = 1000 \Omega$$

يتطلب الشرط الثاني لموازنة القنطرة ان يكون :- مجموع زوايا الطور للاذرع المتقابلة

$$\angle \theta_1 + \angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3 \quad \text{متساوية :}$$

$$\angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3 - \angle \theta_1$$

$$\angle \theta_4 = 0 + 30 - 80 = -50$$

اذن الممانعة المجهولة  $Z_4$  بالصيغة القطبية  $Z_4 = 1000 \Omega \angle -50^\circ$

وتدل الاشارة السالبة على ان الممانعة المجهولة سعوية ومن المحتمل ان تكون مقاومة على التوالي مع متسعة . اذا كانت الاشارة سالبة تدل على وجود ملف في الذراع المجهول وعدم وجود زاوية يدل على المقاومة النقية .



تصبح المسألة أكثر تعقيد عند معرفة قيم مكونات اذرع القنطرة ويتطلب استخراج قيم ممانعاتها بالصيغة المركبة في هذه الحالة يمكن حساب قيم المفاعلة الحثية والسعوية عند معرفة تردد فولتية الاثارة فقط .

مثال : في قنطرة التيار المتناوب ادناه اذا كان الذراع AB يتكون من مقاومة نقيه قيمتها مقاومة  $450\Omega$  والذراع BC مقاومة  $300\Omega$  على التوالي مع متسعة  $C = 0.265 \mu f$  والذراع CD مجهول والذراع DA يتكون من مقاومة قيمتها  $200\Omega$  على التوالي مع محاثه  $L = 15.9 \text{ mH}$  ، فاذا كان تردد المصدر  $1\text{KHZ}$  ، اوجد ثوابت الذراع CD ؟

الحل :

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \text{المعادلة العامة لاتزان قنطرة التيار المتناوب}$$

$$Z_1 = R = 450\Omega$$

$$Z_2 = R - \frac{j}{\omega C} = 300 - j 600$$

$$Z_3 = R + j\omega L = 200 + j100$$

$$Z_4 = ?$$

$$Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} = \frac{450 (200 + j100)}{(300 - j 600)} = j 150$$

تدل النتيجة على ان الممانعة هي عبارة عن محاثه نقيه مفاعلتها الحثية  $150\Omega$  اي  $X_L$  عند التردد  $1\text{KHZ}$

لايجاد قيمة المحاثه

$$X_L = 2\pi fL$$

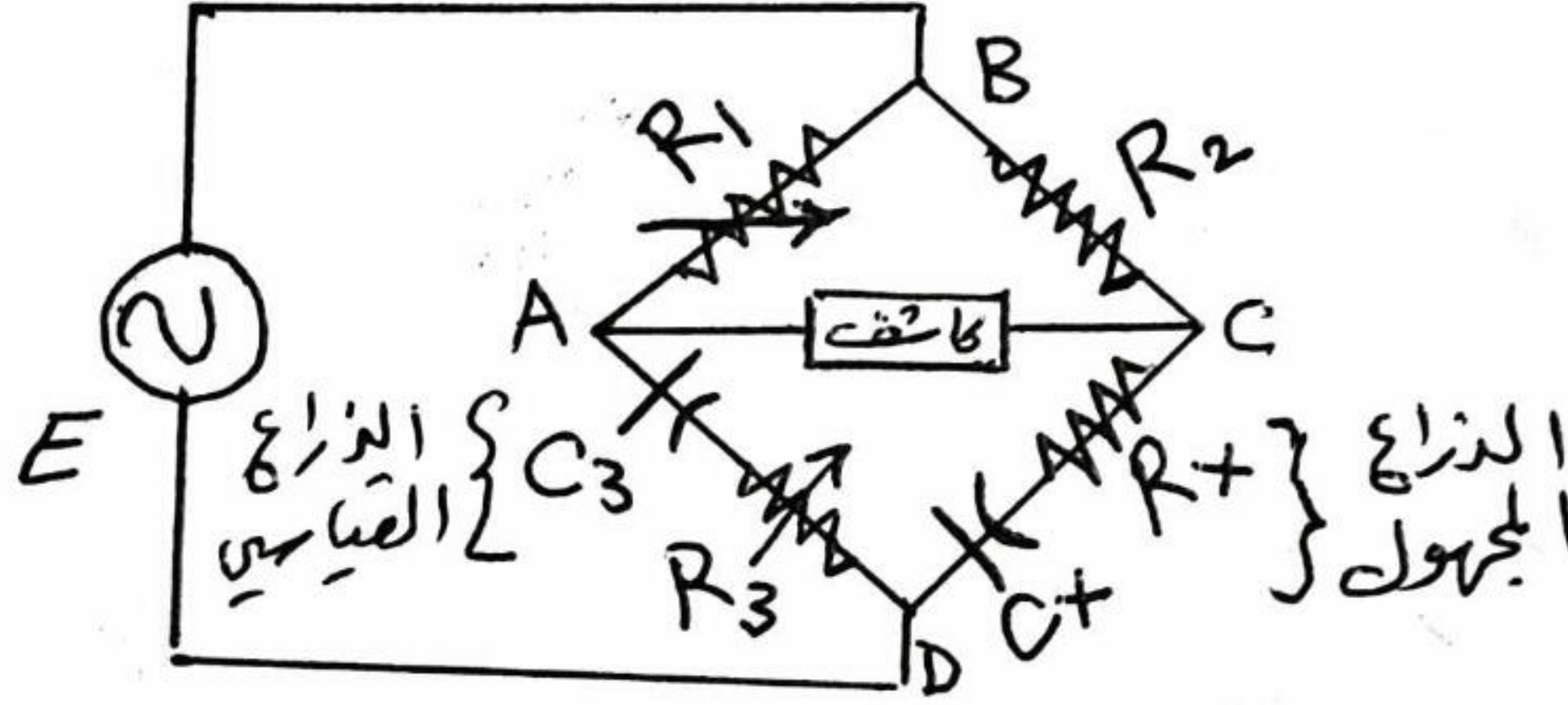
$$150 = 2 * 3.14 * 1000 * L_x$$

$$L_x = 23.9 \text{ mH}$$



قنطرة مقارنة السعة

يمكن استعمال قنطرة التيار المتناوب بشكلها الاساسي في قياس المحاثاة او السعة المجهولة القيمة بمقارنتها مع محاثاة او سعة معلومة القيمة .



القنطرة الاساسية لمقارنة السعة

يتكون كل من ذراعي النسبة من مقاومة نقية وهي  $R_1, R_2$  ، اما الذراع القياسي فيتكون من متسعة  $C_3$  على التوالي مع  $R_3$  حيث  $C_3$  متسعة قياسية معلومة القيمة عالية النوعية و  $R_3$  مقاومة متغيرة بينما تمثل  $C_x$  السعة المجهولة و  $R_x$  مقاومة التسرب لهذه المدرسة .

لكتابة معادلة التوازن : - نعوض عن الممانعات للذراع بالصيغة المركبة وكما يلي :-

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$Z_3 = R_3 - \frac{j}{\omega C_3}$$

$$Z_4 = R_x - \frac{j}{\omega C_x}$$

نعوض هذه القيم في المعادلة العامة لقنطرة التيار المتناوب :  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$

$$R_1 \left( R_x - \frac{j}{\omega C_x} \right) = R_2 \left( R_3 - \frac{j}{\omega C_3} \right)$$

$$R_1 R_x - \frac{j R_1}{\omega C_x} = R_2 R_3 - \frac{j R_2}{\omega C_3}$$

$$R_1 R_x = R_2 R_3$$

الحقيقي = الحقيقي



$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3 \text{-----}(1)$$

$$\frac{jR_1}{WC_x} = \frac{jR_2}{WC_3}$$

الخيالي = الخيالي

$$C_x = C_3 \frac{R_1}{R_2} \text{-----}(2)$$

المعادلتان ١ ، ٢ اعلاه هما شرطا اتزان القنطرة اللذين يجب ان يتزامنا سوية وبذلك نجد قيم  $R_x$  ،  $C_x$  المجهولتين .

لتحقيق التوازن ( توازن القنطرة ) يجب ان تحتوي القنطرة على عنصرين متغيرين .

يمكن اختيار اي عنصرين من العناصر الاربعة في القنطرة .

يجب ان تكون  $C_x$  متسعة عالية الدقة ذات قيمة ثابتة لا تحتاج ضبط .

بما اننا نقيس متسعة مجهولة تأثيرها المقاومي صغير جدا يجب اجراء التنظيم الاول للعنصر السعوي حيث يتم اولا ضبط  $R_1$  لاقل صوت في سماعة الاذن المستخدمة ككاشف .

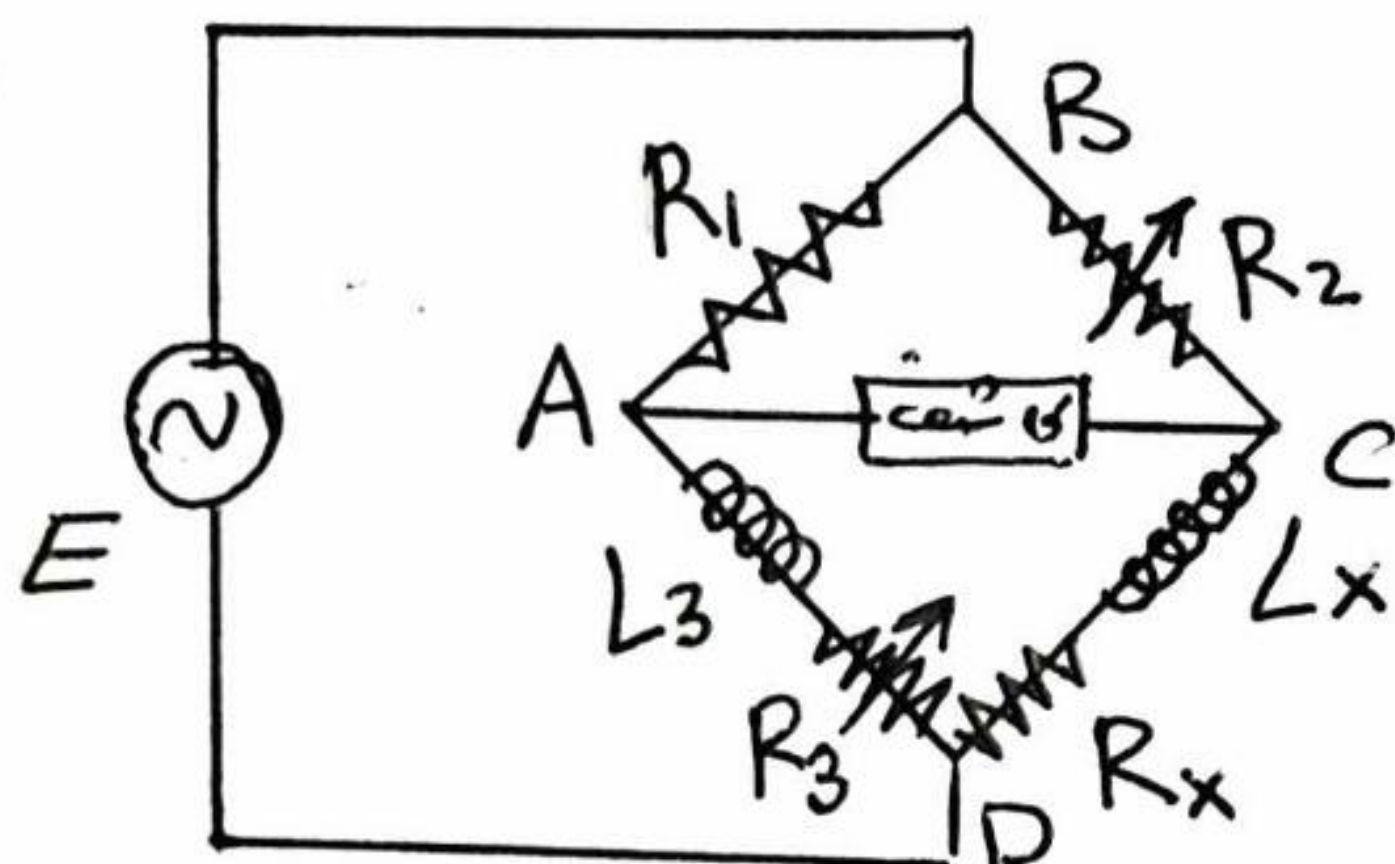
ثم تغير  $R_3$  لكي يقل الصوت اكثر في سماعة الاذن حيث يتم ضبط الجزء المقاومي وينخفض الصوت وهكذا بتنظيم  $R_1$  ،  $R_3$  نحصل على حالة التوازن دون ان يكون التردد ( تردد المصدر ) له تأثير .



## قنطرة مقارنة المحاثة

يشبه الترتيب قنطرة مقارنة السعة .

يتم ايجاد المحاثة المجهولة بمقارنتها مع محث قياسي معلوم القيمة .



قنطرة مقارنة المحاثة

المعادلة العامة لقنطرة التيار المتناوب:  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$Z_3 = R_3 + j\omega L_3$$

$$Z_4 = R_x + j\omega L_x$$

نعوض هذه القيم في المعادلة العامة اعلا :  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$

$$R_1 (R_x + j\omega L_x) = R_2 (R_3 + j\omega L_3)$$

$$R_1 R_x + j\omega L_x R_1 = R_2 R_3 + j\omega L_3 R_2$$

الحقيقي = الحقيقي

$$R_1 R_x = R_2 R_3$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3 \text{ -----(1)}$$



الخيالي = الخيالي

$$J\omega L_x R_1 = J\omega L_3 R_2$$

$$L_x R_1 = L_3 R_2$$

$$L_x = \frac{R_2}{R_1} L_3 \text{ -----(2)}$$

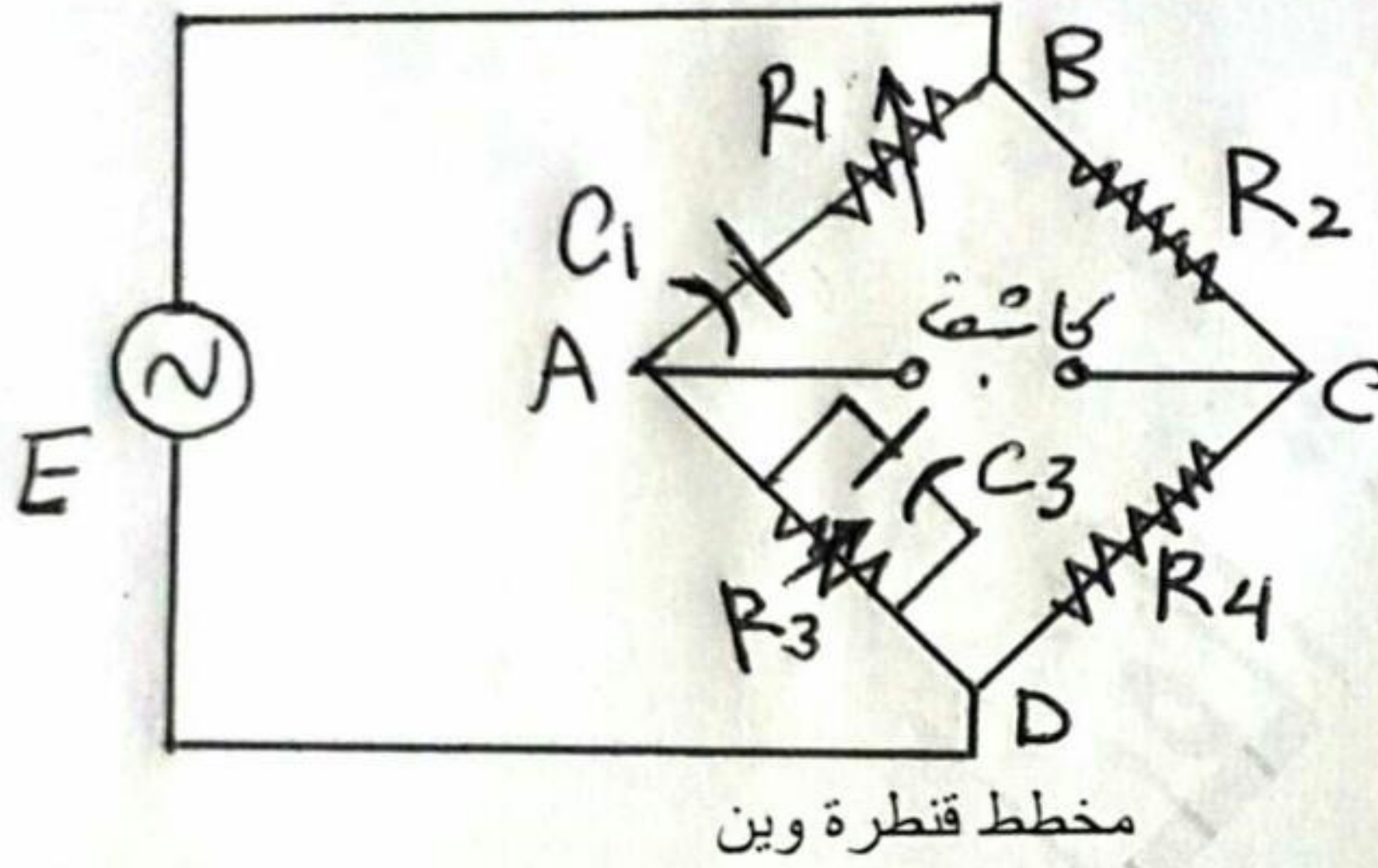
المعادلتان ١ ، ٢ شرطاً اتزان القنطرة

- يتم اختيار  $R_2$  للسيطرة على الموازنة الحثية .
- يتم اختيار  $R_3$  للسيطرة على الموازنة المقاومة .



قنطرة وين Wien Bridge

هي احدى اهم قناطر التيار المتناوب وهي احدى طرق قياس التردد المجهول .



$$Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1}$$

$$Z_2 = R_2$$

$$Z_3 = \frac{1}{Y_3} \quad Y_3 = \frac{1}{R_3} + j\omega C_3$$

$$Z_4 = R_4$$

نعوض القيم في المعادلة العامة لقنطرة التيار المتناوب  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$

$$Z_1 Z_4 = Z_2 \cdot \frac{1}{Y_3}$$

$$\underline{Z_2 = Z_1 Z_4 Y_3}$$

نعوض في هذه المعادلة

$$R_2 = \left( R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \right) R_4 \left( \frac{1}{R_3} + j\omega C_3 \right)$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + j\omega C_3 R_1 R_4 - \frac{j R_4}{\omega C_1 R_3} + \frac{\omega C_3 R_4}{\omega C_1}$$

الحقيقي = الحقيقي



$$R = \frac{R_1 R_4}{R_3} + \frac{C_3 R_4}{C_1}$$

نقسم جميع الحدود على  $R_4$

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3} + \frac{C_3}{C_1}$$

الخيالي = الخيالي

$$JWC_3 R_1 R_4 = \frac{JR_4}{WC_1 R_3}$$

$$W C_3 R_1 = \frac{1}{WC_1 R_3}$$

$$W^2 R_1 R_3 C_1 C_3 = 1$$

$$4\pi^2 F^2 R_1 R_3 C_1 C_3 = 1$$

$$F^2 = \frac{1}{4\pi^2 R_1 R_3 C_1 C_3}$$

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_3 C_1 C_3}}$$



الفولتميترات الرقمية Digital Voltmeters

ان جهاز القياس الالكتروني المستخدم بكثرة بسبب دقته الكبيرة وسهولة استخدامه وقراءته هو الفولتميتر الرقمي ، حيث تظهر نتيجة القياس بشكل ارقام متسلسلة على عارضة رقمية .

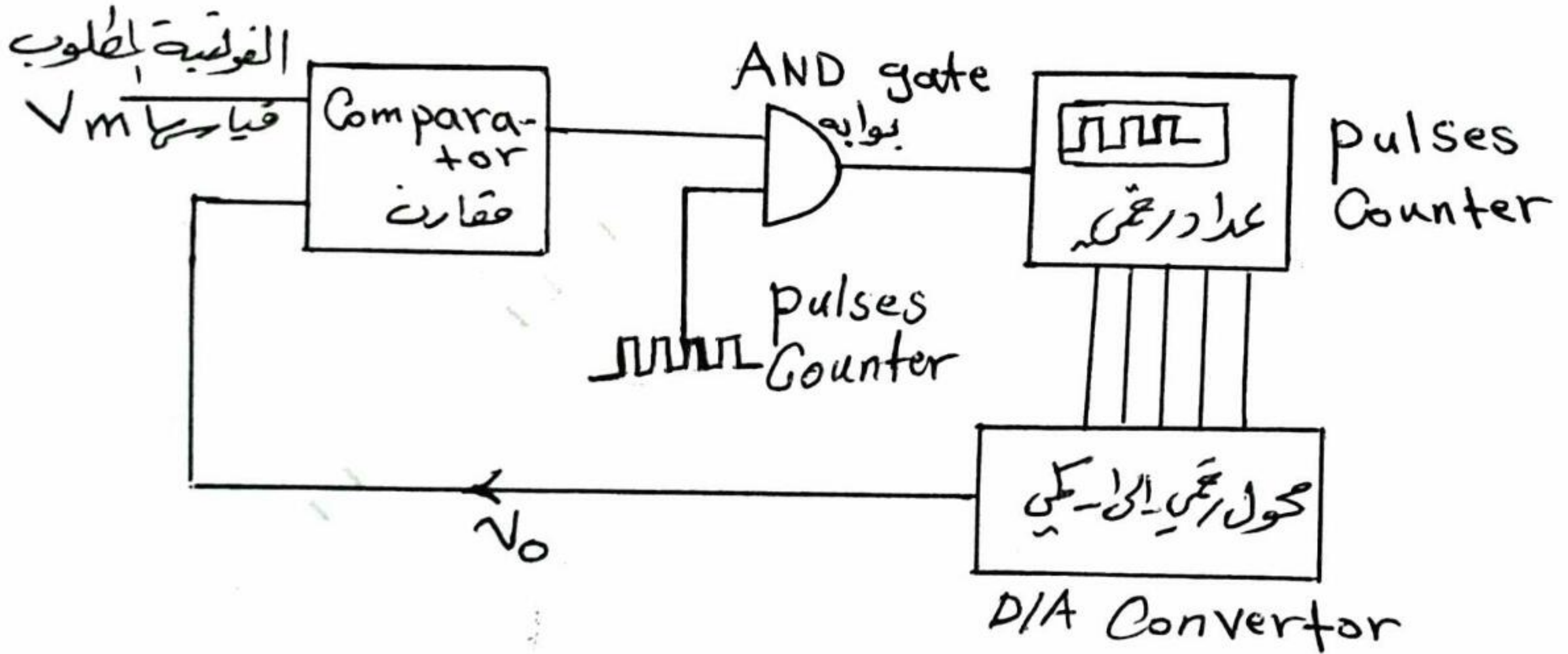
مبادئ عمل تشغيل الجهاز :-

أ - مبدأ المقارنة : حيث تقارن الفولتية المراد قياسها مع الفولتية الظاهرة خطوه بخطوه في جهاز القياس مع فولتية مرجعية Reference Voltage وتتوقف الفولتية الظاهرة عندما تتساوى مع الفولتية المراد قياسها ، ان عدد خطوات الفولتية تمثل قيمة الفولتية المراد معرفة قيمتها .

ب - مبدأ التحويل : هنا تحول الفولتية المراد قياسها الى فولتية نابضة ذات تردد متناسب مع اتساع الفولتية المراد قياسها ، ويقاس هذا التردد بواسطة عداد الكتروني Electronic Counter وهذه الطريقة هي المتبعة عموما لذا سوف تؤخذ بنظر الاعتبار .

الفولتميتر الرقمي ( مبدأ المقارنة ) ( Digital Voltmeter ( Comparison Principle )

يوضح الشكل ادناه فكرة عمل مقياس الفولتية الرقمي



مخطط كتلي لفولتميتر رقمي مبسط بطريقة المقارنة



في هذه الحالة تسلط الفولتية المراد قياسها ( $V_m$ ) على المقارن Comparator ومعها فولتية اخرى ( $V_0$ ) فعندما تزيد الفولتية المراد قياسها ( $V_m$ ) عن قيمة ( $V_0$ ) يكون خارج المقارن منطق ( 1 ) والتي تفتح بوابة ( AND ) وعلى سبيل المثال لتكن الفولتية المطلوب قياسها :  $V_m = 18 V$  بصفه مبدئية .

ففي هذا الوقت يصبح خارج المقارن منطق ( 1 ) الذي يسمح بتسليط نبضات من مولد النبضات Pulses Countor الى العداد وطبقا لسرعة تسليط النبضات الى المحول من رقمي الى - الى - كمي الذي يحول القيمة الرقمية الى جهد كهربائي ( $V_0$ ) :

Digital - to - analog counter فاذا انتج المحول الرقمي - الى - كمي فولتية قدرها 0.01 فولت لكل رقم يعرضه العداد فان الخارج ( $V_0$ ) من المحول يساوي ( 18 ) فولت بعد انتهاء عد ( 1800 ) نبضة .

عندما يحدث هذا الوضع ( $V_m = V_0$ ) فان خارج المقارن يصبح منطق ( 0 ) ويؤدي الى وقوف بوابة ( AND ) من العمل وهي التي تمنع النبضات من المرور الى العداد .

يعتمد زمن التحويل النهائي على تردد المصدر المغذي للمولد فاذا بلغ هذا التردد ( 1 KHz ) فانه يلزم ( 1.80 ) ثانية لانتهاء القراءة واذا كان تردد النبضات ( 100 KHz ) فسوف يلزم ( 0.018 ) ثانية فقط لانتهاء القراءة .

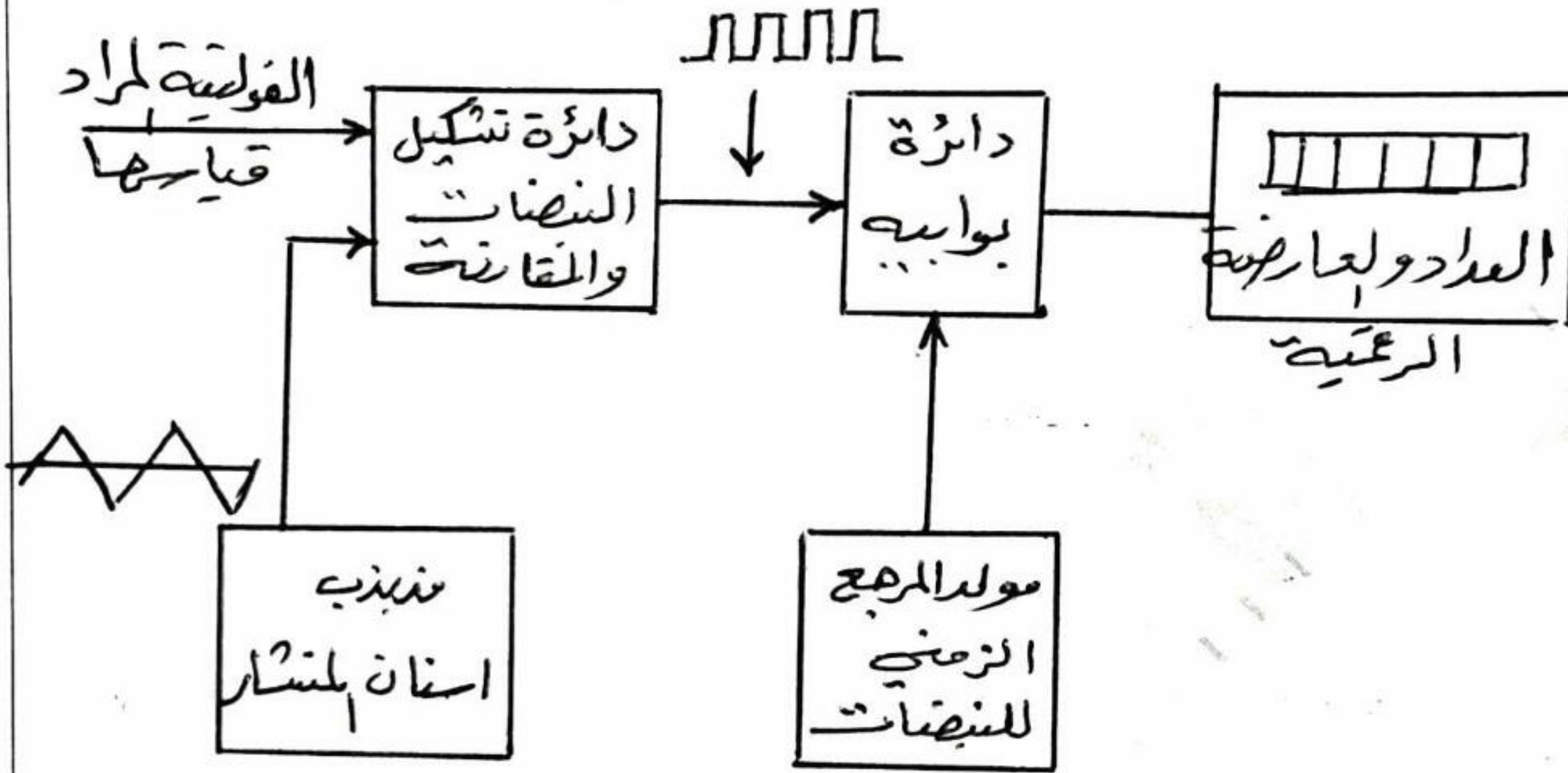


## الفولتميتر الرقمي ( مبدأ التحويل )

### Digital Voltmeter ( conversion principle )

ان جهاز القياس الالكتروني الشائع الاستعمال بكثرة بسبب دقته الكبيرة وسهولة وسرعة قراءته هو الفولتميتر الرقمي ، حيث تظهر نتيجة القياس بشكل ارقام متسلسلة على العارضة الرقمية والذي يعتمد على مبدأ التحويل تكون عملية تشغيله على اساس تحويل الفولتية المراد قياسها الى فولتية نابضة ذات تردد يتناسب مع اتساع الفولتية Voltage amplitude المراد قياسها .

ويقاس هذا التردد بواسطة عداد الكتروني Electronic Counter كما في الشكل ادناه : -



مخطط كتلي لفولتميتر رقمي يعمل بمبدأ التحويل

تتم تغذية الفولتية المراد قياسها الى دائرة تشكيل النبضات حيث تقارن الفولتية المقيسة مع فولتية اسنان المنشار Sawtooth Voltage التي قيمتها تتغير بصورة خطية مع الزمن كما هو ظاهر في المخطط الكتلي .

في اللحظة التي تبدأ بها فولتية اسنان المنشار تفتح دائرة بوابية gate circuit لتميرير الاشارات من مولد المرجع الزمني للنبضات الى العداد Counter وتغلق البوابة ثانية حال تساوي فولتية اسنان المنشار مع الفولتية المقيسة .

يعد عدد النبضات المرسله بمثابة قياس لقيمة الفولتية ، المثال التالي يوضح ذلك : -

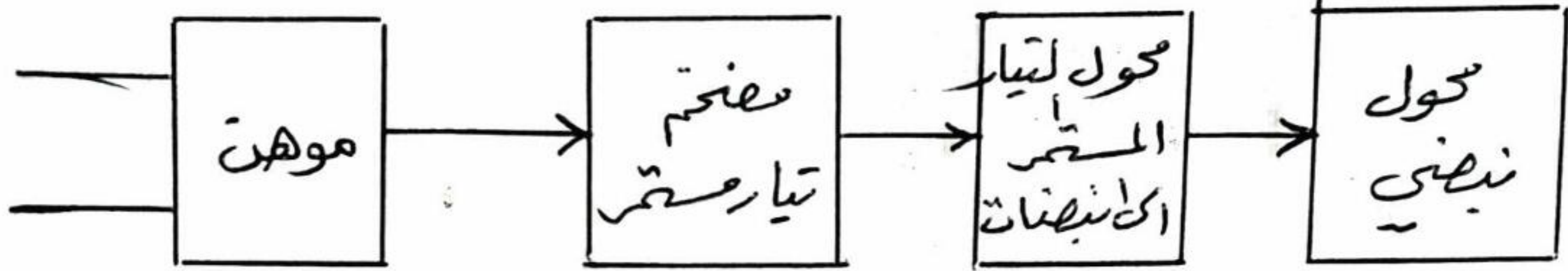
لنفترض ان فولتية اسنان المنشار ترتفع بمقدار ( 1 ) فولت لكل ملي ثانية وتردد مولد النبضات هو 100 كيلو هيرتز ، فاذا كانت الفولتية المراد قياسها هي ( 5.37 ) فولت عندها سيعمل العداد لمدة ( 5.37 ) ملي ثانية وخلال هذا الوقت سوف يتسلم المولد ( 537 ) نبضة والعداد عندها يؤشر ( 537 ) ويؤشر مفتاح المدى بصورة ذاتية موضع النقطة العشرية .

يتضح من المثال ان الوقت اللازم لاجراء القياس هو ( 5.37 ) ملي ثانية فقط .

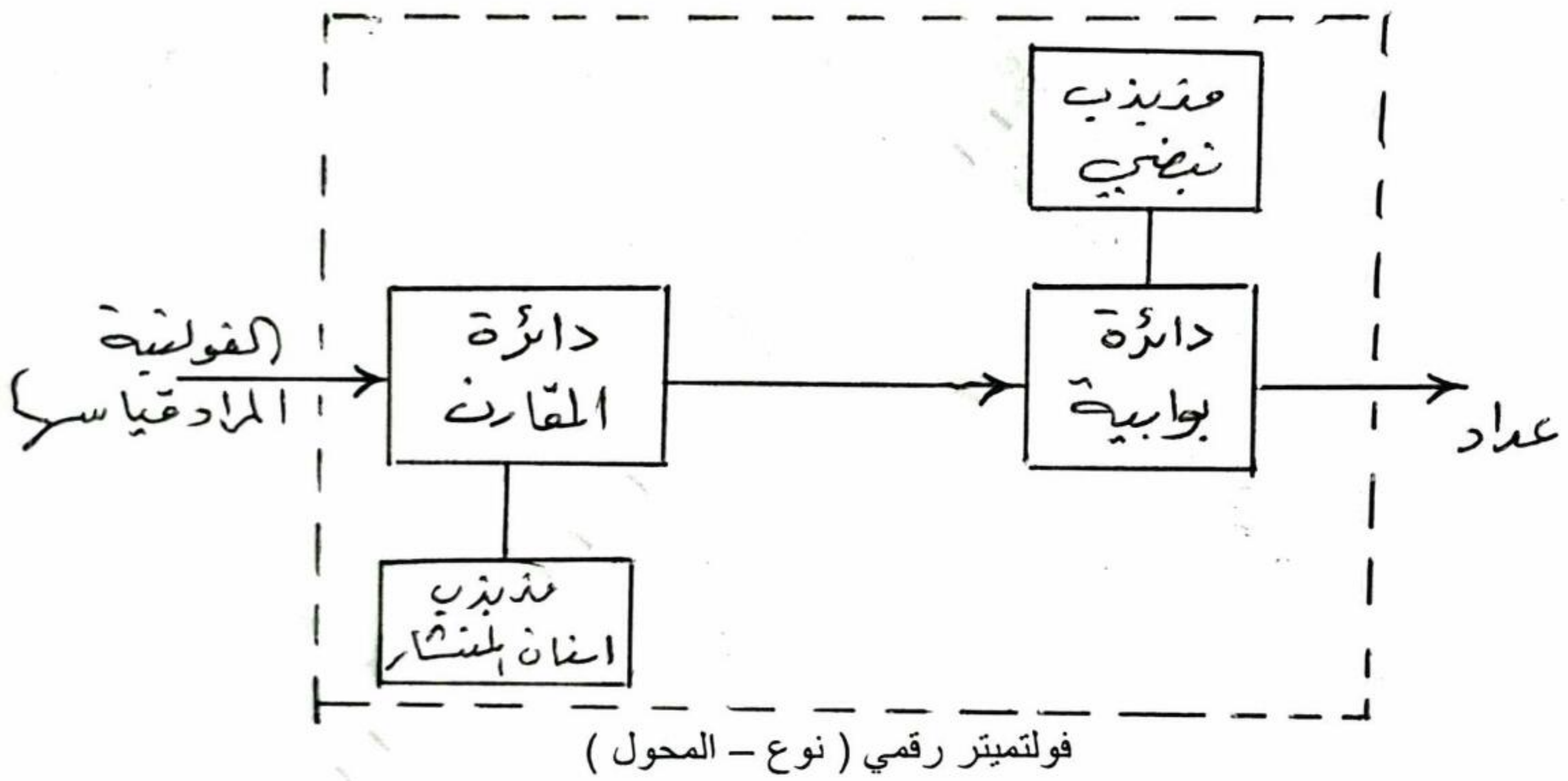


تتكون العارضة الرقمية من اربعة اقسام رقمية مع اشارة للنقطة العشرية . توجد اقسام اضافية للوحدات ( مثل : الفولت والملي فولت ) اضافة الى قطبية الاشارة .

الشكل ادناه : تتم الفولتية المراد قياسها عبر موهن ( Attenuator ) ذي مقاومة عالية او مفتاح مدى ( يمكن ادارته بصورة ذاتية بموجب الفولتية الداخلة في بعض الاجهزة ) وكذلك مضخم للتيار المستمر البسيط والى المحول النبضي .



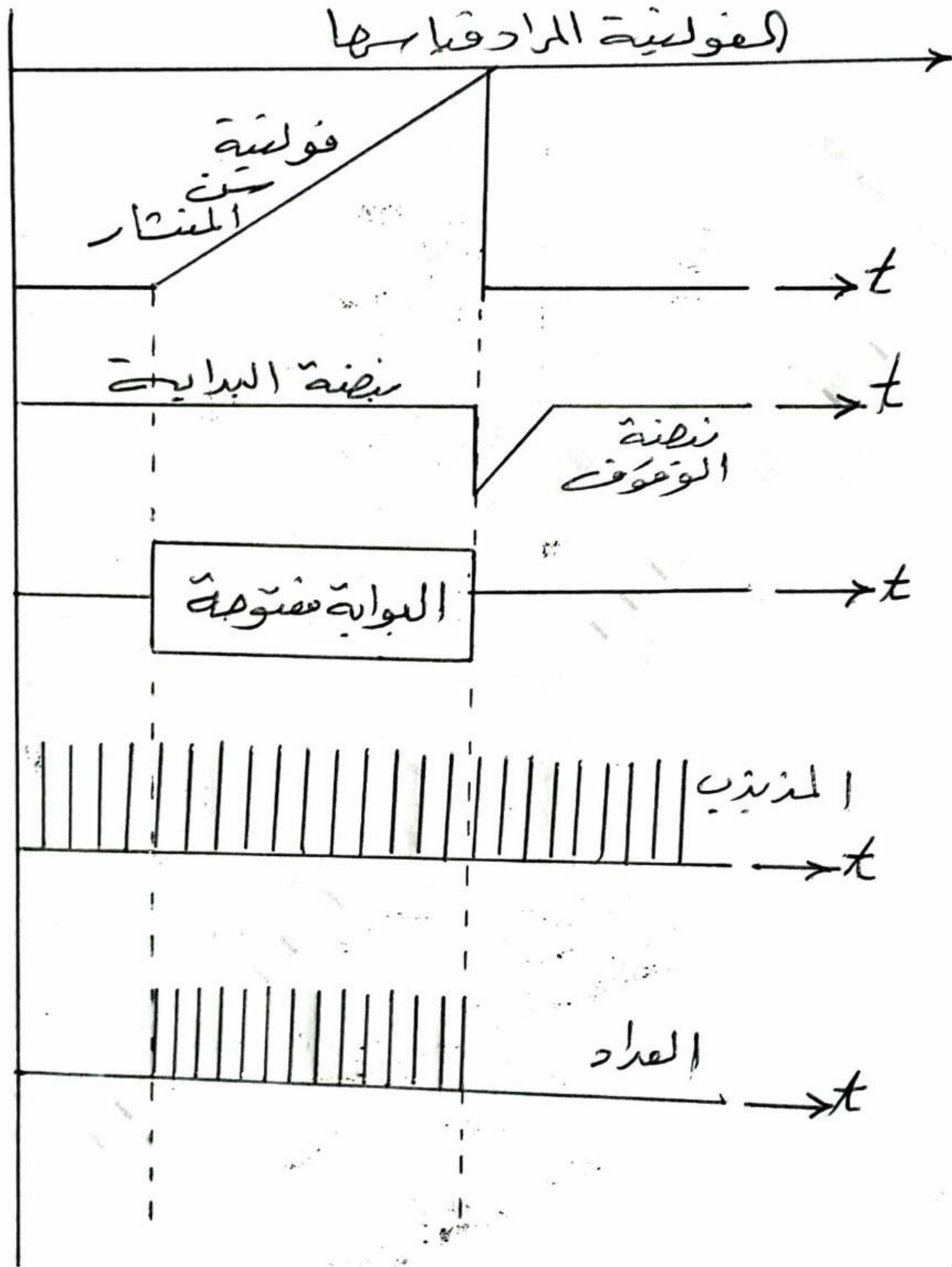
الشكل ادناه : - يعطي مخططا كتليا عمليا لدائرة محول كمي - الى - رقمي



حيث تقارن الفولتية المقيسة مع فولتية اسنان المنشار التي قيمتها تتغير بصورة خطية مع الزمن



كما هو ظاهر في الشكل ادناه وفي اللحظة التي تبدأ بها فولتية اسنان سن المنشار تفتح دائرة بوابية Gate Circuit لتمرير الاشارات من مولد النبضات الى العداد Counter ، وتغلق البوابة ثانية حال تساوي فولتية اسنان المنشار مع الفولتية المقاسة .



عمل الفولتميتير الرقمي



**AC Indicating Instruments****اجهزة تأشير التيار المتناوب**

تستجيب حركة دي آرسونفال لقيمة المعدل او القيمة المستمرة للتيار عند مرورة خلال الملف المتحرك .

اذا حملت الحركة تيارا متناوبا ذا انصاف الدورة الموجبة والسالبة سوف يكون عزم السوق في احد اتجاهات التناوب موجبا وفي الاتجاه الاخر للتناوب سالبا .

اذا كان تردد التيار المتناوب واطنا جدا سوف يتارجح المؤشر حول نقطة الصفر لمقياس الجهاز .

في الترددات العالية يكون عزم القصور الذاتي للملف كبيرا بما فيه الكفاية بحيث لا يتمكن المؤشر من متابعة الانعكاس السريع لعزم السوق ويبقى يحوم حول الصفر بتذبذب طفيف .

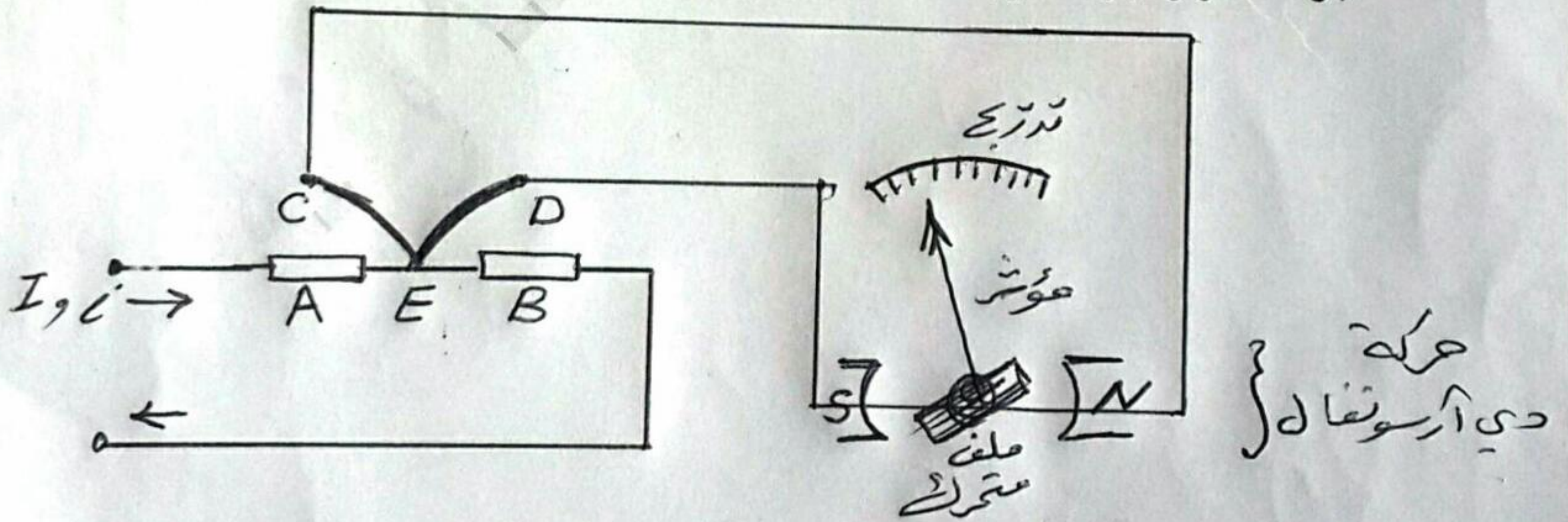
لقياس التيار المتناوب بواسطة حركة دي آرسونفال يجب استنباط بعض الوسائل للحصول على عزم ذي اتجاه واحد لا يتغير عند كل نصف دورة .

تتضمن احدى الطرق توحيد التيار المتناوب لكي يحرف التيار الذي تم توحيد الملف المتحرك .

هنالك طرق اخرى تستعمل تاثير التسخين للتيار المتناوب لانتاج دلالة على مقدارة .

**Thermocouple Instrument****جهاز المزدوج الحراري**

الشكل ادناه يبين مجموعة المزدوج الحراري وحركة PMMC التي يمكن استعمالها لقياسات التيار المستمر والتيار المتناوب .



التمثيل التخطيطي لجهاز المزدوج الحراري الاساسي



تسمى المجموعة بجهاز المزدوج الحراري لكون عملها مبنيًا على عمل عنصر المزدوج الحراري .

عندما يكون معدنان غير متمثلين متماسين تبادليًا تتولد فولتية عند نقطة اتصال المعدنين غير المتمثلين وترتفع هذه الفولتية طرديًا مع درجة حرارة نقطة الاتصال .

يمثل  $CE, DE$  معدنين غير متمثلين يتصلان عند النقطة  $E$  وقد رسما كخطين احدهما ضعيف والاخر عميق لبيان عدم التماثل .

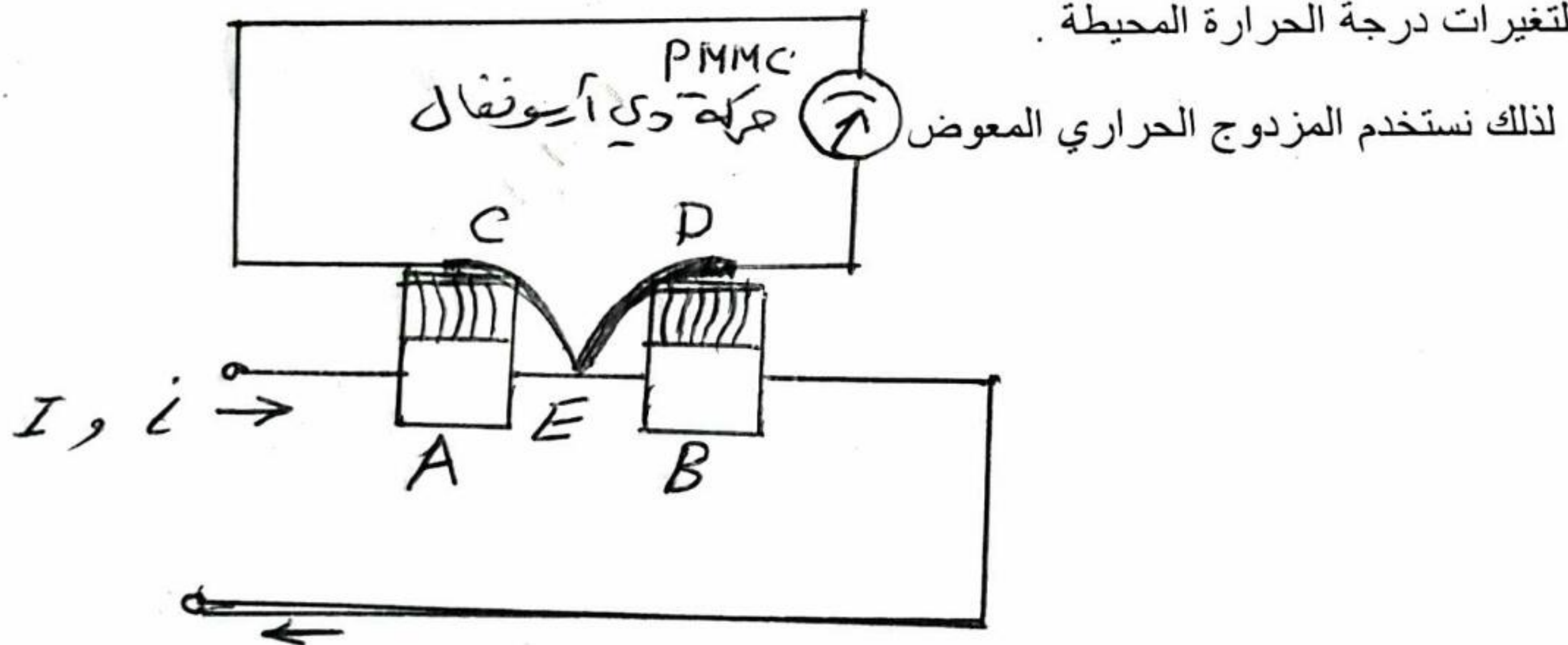
يعتمد فرق الجهد بين  $C, D$  على درجة حرارة نقطة الاتصال  $E$  بسبب ارتفاع درجة الحرارة ارتفاعًا في الفولتية وهذه الميزة تستعمل في المزدوج الحراري .

يشكل عنصر التسخين  $AB$  الذي يكون على تماس مع نقطة الاتصال للمعدنين  $E$  جزءًا من الدائرة التي يراد قياس التيار فيها .

تسمى  $AEB$  بنقطة الاتصال الحارة ، ترفع الطاقة الحرارية المولدة من قبل التيار المار في عنصر التسخين درجة حرارته ونقطة الاتصال  $E$  وتسبب زيادة في الفولتية المتولدة بين النقطتين  $C, D$  بسبب فرق الجهد هذا سريان تيار مستمر في جهاز التاشير او حركة دي أرسونفال .

تناسب الحرارة المتولدة بواسطة التيار طرديًا مع مربع التيار ( $I^2R$ ) وبذلك ترتفع درجة الحرارة ( وبدورها الفولتية المستمرة المتولدة ) طرديًا مع مربع القيمة الفعالة للتيار ( $rms$ ) .

يسلك انحراف جهاز التاشير علاقة القانون التربيعي مسببًا تزاخم في النهاية السفلى للمقياس وتوسع كبير عند النهاية العليا علما ان ترتيب الشكل السابق لا يجهز التعويض الحراري اللازم لتغيرات درجة الحرارة المحيطة .



جهاز المزدوج الحراري المعوض حراريا

الفولتية الكهروحرارية في المزدوج الحراري  $CE$  تناسب طرديًا مع التيار المار خلال الدائرة  $AB$  .



بما ان فولتية المزدوج الحراري الناتجة هي دالة للفرق بين درجتي حرارة النهايتين فيجب ان يتسبب هذا الفرق بين درجتي الحرارة بواسطة التيار المراد قياسه فقط .

لذلك للقياسات الدقيقة يجب ان تكون النقاط C , D بنفس معدل درجة الحرارة للنقاط A , B ويتم انجاز ذلك بتماس نهايتي المزدوج الحراري C , D بنفس معدل درجة الحرارة للنقاط A , B ويتم انجاز هذا بتماس نهايتي المزدوج الحراري C , D الى قلب اشربة نحاسية منفصلة تكون نهاياتها بتماس حراري مع A , B لكنها معزولة عنها كهربائيا .

تتوفر الاجهزة الكهروحرارية التي تحتوي على المزدوج الحراري بدخلها والمعوضة حراريا بمديات ( 0.5 - 20 A ) بينما تتوفر الاجهزة ذات المديات الاعلى ولكن يكون العنصر الحراري في هذه الحالة خارج جهاز التاشير وتزود العناصر الحرارية المستعملة بمديات التيار فوق ( 60 A ) بصورة عامة بزعانف التبريد الهوائي .

يمكن تحويل الاجهزة الحرارية الى فولتميترات باستعمال مزدوجات حرارية واطنة التيار مع مقاومات ملائمة ، تتوفر فولتميترات المزدوجات الحرارية ضمن مديات لحد ( 500 V ) .

الميزة المهمة لجهاز المزدوج الحراري هي دقته التي يمكن ان تكون اكثر من 99% وبترددات لغاية 50 MHz تقريبا ولهذا السبب يصنف كجهاز تردد راديوي .

يكون سلك التسخين للتيارات الواطنة لحد ( 3A ) صلبا ورفيعا بينما يصنع عنصر التسخين من الانابيب للتيارات فوق ( 3A ) لتقليل الاخطاء الناتجة من الظاهرة السطحية .

الظاهرة السطحية : فوق تردد 50 MHz تميل الظاهرة السطحية الى شد التيار الى السطح الخارجي للموصل رافعة بذلك المقاومة الفعالة لسلك التسخين ومقللة دقة الجهاز .