

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد :

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " قياسات وأجهزة " لمتدربي قسم " إلكترونيات صناعية وتحكم " للكلية التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه وسلم، ... وبعد ،
نتيجة للتطور الذي تشهده المملكة العربية السعودية في شتى مجالات التقنية المختلفة ، كان لازماً
تخريج كواد ر وطنية قادرة على استيعاب هذه التقنيات بمهارة وإتقان.

وانطلاقاً من حرص ولاة الأمر في هذا البلد وقناعتهم بالاستفادة من هذه التقنيات والأخذ بأسباب
التقدم بما يتوافق مع شريعتنا الغراء ، فقد عهدت الدولة إلى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
مهمة إعداد كواد ر فنية مدربة قادرة على استيعاب وسائل التقنية الحديثة. وانطلاقاً من هذا الهدف
النبيل قامت المؤسسة بجهد مشكور في هذا الميدان ، حيث قامت بعمل ورش مختلفة وذلك بغرض تحديد
المواصفات المهنية لكل تخصص فني ، ومن ثم عهدت المؤسسة بتكليف بعض الأقسام في الكليات
التقنية المختلفة بتأليف وإعداد مناهج نظرية وعملية متوافقة مع مواصفات التخصصات الفنية المختلفة.
ومن هنا كان منهج القياسات والأجهزة من ثمار هذا الجهد الرائع الذي قامت به الإدارة العامة لتصميم
وتطوير المناهج بالمؤسسة.

وإننا إذ نقدم هذا المنهج لطلاب الكليات التقنية ، بما يتوافق مع احتياجات المتدرب ومستواه
الدراسي ، وبأسلوب مبسط خالٍ من التعقيد ، دون الإخلال بالمحتوى العلمي.
وختاماً ، نسأل المولى عز وجل أن يوفق القائمين على هذا المشروع بكل خير ، كما نسأله تعالى أن
يوفق أبناءنا الطلاب لفهم هذا المنهج عملياً وأن يجعل أعمالنا خالصة لوجهه الكريم ، وآخر دعوانا أن
الحمد لله رب العالمين.

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم ،



قياسات وأجهزة

المدخل إلى القياسات الكهربائية والإلكترونية

المدخل إلى القياسات الكهربائية والإلكترونية

الأهداف العامة للوحدة الأولى

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة النظم المرجعية التي تصف وحدات القياس.
- معرفة أنواع الوحدات الكهربائية المختلفة.
- معرفة أنواع الأخطاء المختلفة في عملية القياس.
- كيفية عمل التحليل الإحصائي للأخطاء في عملية القياس.
- معرفة عناصر أجهزة القياس الإلكترونية.
- كيفية اختيار واستخدام العناية بأجهزة القياس.

١- مقدمة Introduction

في هذه الوحدة سوف نقدم للمتدرب بعض المعايير القياسية المرجعية الخاصة بالقياسات بالإضافة إلى بعض التعريفات الخاصة بعمليات القياس وكذلك تعريف المتدرب بمصادر الخطأ وتعريفه كذلك بالطرق التحليلية المستخدمة في تحليل نتائج القياسات. وسوف نبدأ بالتعرض لبعض المفاهيم العلمية الخاصة بالقياسات.

١- ٢ مفاهيم عامة General Concepts

عملية القياس: هي عملية تقييم الكمية المقاسة بالنسبة إلى كمية مرجعية متفق عليها. ولإجراء عملية القياس فإنه لابد من وجود الآتي:

(١) كمية مقاسة measured quantity

(٢) نظام مرجعي Standard system

(٣) أجهزة مستخدمة measuring instruments

(٤) تقنية متبعة measuring technology

وسوف نتناول كل من هذه المفاهيم بشيء من التفصيل:

(١) كمية مقاسة: وهي الكمية الفيزيائية المراد تقييمها وقد تكون طول أو وزن أو قوة أو

درجة حرارة أو معدل تدفق أو تيار كهربائي أو جهد كهربائي أو..... إلخ.

(٢) نظام مرجعي: وهو النظام المتعارف عليه الذي يصف وحدات القياس.

وهناك أربعة أنظمة مرجعية مختلفة وهي كما يلي:

(أ) النظام المرجعي المعياري الدولي The international standards system

وهو النظام المتعارف عليه بالإجماع الدولي وهو يصف الوحدات المتفق عليها دولياً. وهذه

الوحدات موجودة نماذج لها بالمكتب الدولي للأوزان والقياسات بباريس وهي تقييم وتعابير بصفة

دورية عن طريق قياسات مطلقة باستخدام الطرق الفيزيائية الأساسية.

(ب) النظام المرجعي المعياري الابتدائي The primary standards system

وهو النظام المتعارف عليه قومياً أو وطنياً في الدول المختلفة، وهو قابل للتطبيق فقط داخل

حدود كل دولة وهي المسؤولة عن معايرته و حفظه مثل النظام الإنجليزي والنظام الفرنسي.

وأساس وظيفة هذا النظام هو معايرة وتحقيق النظم المرجعية المعيارية الثانوية.

(ج) النظام المرجعي المعياري الثانوي The secondary standards system

وهو المرجع المعياري الأساسي المستخدم في الصناعة ومعامل المعايرة الخاصة بهذه الصناعة. وكل مختبر صناعي مسؤول كلية عن النظام المرجعي المعياري الثانوي الخاص به من حيث المعايرة وضبط وحدات القياس. وكل مختبر صناعي يرسل بطريقة دورية نظامه المرجعي المعياري الثانوي إلى النظام المرجعي المعياري الوطني (الابتدائي) لمعايرته واختباره ويعاد مرة أخرى إلى المعمل الصناعي مع شهادة بمدى دقة هذا النظام بالنسبة للنظام المرجعي الوطني.

(د) النظام المرجعي المعياري للعمل The working standard

وهو عبارة عن الأدوات الأساسية لمعمل القياسات. وهي تستخدم لمراجعة ومعايرة أجهزة القياس المستخدمة في المعمل أو لعمل قياسات مقارنة في التطبيقات الصناعية.

(٣) أجهزة مستخدمة: وهي الأدوات التي يمكن من خلالها تقييم الكمية المقاسة بمقارنتها

بالكمية المرجعية حسب نظام الوحدات التابع للنظام المرجعي المعياري المتبع.

(٤) تقنية متبعة: وهي التقنية المتبعة في تقييم الكمية المقاسة ومدى دقة هذا التقييم

١- ٣- أجهزة القياس الكهربائية والإلكترونية Electrical And Electronic Instruments

من أكثر أجهزة القياس تطوراً هي أجهزة القياسات الكهربائية والإلكترونية حيث تطور الأداء بشكل ملحوظ مع تطبيق تقنية أشباه الموصلات و تطور أكثر مع تطبيق التقنية الرقمية. حيث لم يكن هناك إلى فترة زمنية قريبة سوى أجهزة القياس الكهربائية التماثلية ذات القلب المتحرك ومؤشر وتدرج، وتدل زاوية انحراف المؤشر على قيمة الكمية الكهربائية المقاسة (تماثلها) ومن هنا جاءت تسمية (تماثلية). أما النوع الآخر من أجهزة القياس فهي الأجهزة الإلكترونية الخالية من الحركة والتدرج والمؤشر فهي أجهزة إستاتيكية وتقنية القياس المستخدمة بها مختلفة عن تلك المستخدمة في أجهزة القياس التماثلية، حيث تظهر نتائج القياس على شاشة رقمية عشرية، ومن هنا جاءت تسميتها بأجهزة القياس الرقمية، التي سوف نتناولها بالتفصيل في الوحدة الثالثة.

١- ٣- ١ وظائف وخصائص أنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية

Functions and Characteristics of Electrical and Electronic Instruments

الوظيفة الأساسية لأنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية هي إعطاء معلومات عن الكمية المقاسة. وبجانب إعطاء معلومات مرئية عن الكمية المقاسة فإن بعض هذه الأنظمة تقوم بتخزين تلك المعلومات، التي يمكن استخدامها كقواعد للبيانات. بالإضافة إلى ذلك، فإن أنظمة التحكم الآلي تعتمد بنسبة ١٠٠٪ على أنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية. وتمتاز أجهزة القياس الإلكترونية، برغم ارتفاع سعرها عن نظيراتها الكهربائية، بإمكانية تكبير الإشارة الكهربائية المراد قياسها عن طريق مكبر الإشارات (amplifier) حيث إنه بذلك يضيف إلى مثل هذه الأجهزة ميزة حساسية القياس المرتفعة.

١- ٣- ١- الوحدات الكهربائية Electrical Units

لأن أجهزة القياسات الكهربائية والإلكترونية في الأساس يمكنها قياس كميات كهربائية، فإنه من الأهمية بمكان في البداية أن نناقش الوحدات الكهربائية. ولأن علم القياسات علم يتعلق بالكميات، فإنه يجب أولاً تحديد نظام الوحدات المتبع قبل الدخول إلى تقييم الكميات المقاسة. وسوف نتعرض إلى ست من الكميات الكهربائية تستخدم باستمرار في القياسات الكهربائية وهي:

(١) الشحنة الكهربائية (Q)

(٢) التيار الكهربائي (I)

(٣) القوة الدافعة الكهربائية أو فرق الجهد (V)

(٤) المقاومة (R)

(٥) معامل الحث الذاتي (L)

(٦) السعة (C)

جدول رقم (١- ١) يبين هذه الكميات الست استناداً إلى الكميات الأساسية لنظام الوحدات الدولي.

الكمية	رمزها	الوحدة	رمزها
الوحدات الأساسية:			
الطول (Length)	l	متر (meter)	m
الكتلة (Mass)	m	كيلوجرام (kilogram)	kg
الزمن (Time)	t	ثانية (second)	s
درجة الحرارة (Temperature)	T	درجة كلفن (degree Kelvin)	°K
شدة الاستضاءة (Luminous intensity)		شمعة (candela)	cd
التيار الكهربائي (Electric current)	i	أمبير (Ampere)	A
الوحدات المستنتجة:			
القوة الدافعة الكهربائية (Electromotive force)	V	فولت (Volt)	V
كمية الشحنة (Quantity of charge)	Q	كولوم (Coulomb)	C
المقاومة الكهربائية (Electrical resistance)	R	أوم (Ohm)	Ω
السعة (Capacitance)	C	فاراد (Farad)	F
معامل الحث الذاتي (Inductance)	L	هنري (Henry)	H

جدول رقم (١- ١) الكميات الكهربائية

١- ٤- مصادر الأخطاء في عملية القياسات Error Sources in Measurements

لما كانت عملية القياس هي عملية تقييم كمي للكمية المقاسة مقارنة بنظام وحدات معينة عن طريق جهاز قياس، فإن عملية التقييم هذه تعتمد بشكل أو بآخر على عدة عوامل منها:

(١) عوامل تتعلق بجهاز القياس (Instrumental Error) مثل:

(أ) نوع الجهاز: (كهربائي - إلكتروني - رقمي)

(ب) دقة الجهاز: (مدى قدرة الجهاز على القراءة الدقيقة وقربها من القراءة الواقعية)

(ت) حالة الجهاز: (سليم - متهالك)

(ث) عمر الجهاز: (قديم - جديد)

(٢) عوامل تتعلق بالشخص المستخدم للجهاز (Gross Error) مثل:

(أ) دقة نظر الشخص

(ب) اعتناء الشخص بعملية القياس

(ت) اختيار الشخص لمدى القياس المناسب ومراعاة ذلك

(٣) عوامل خارجية (Environmental Error)

(أ) العوامل الجوية المختلفة من: درجة الحرارة والضغط الجوي ونسبة الرطوبة وخلافه

(ب) ظروف التشغيل المختلفة مثل: قرب جهاز القياس من الكمية المراد قياسها وعدم تأثر الإشارة الكهربائية المقاسة بأطراف التوصيل أو طول أسلاك التوصيل أو وقوع الجهاز في حيز مجال مغناطيسي أو مجال كهربائي وخلافه.

ولهذا فمن المتوقع أن تكون القيمة المقاسة متغيرة من جهاز لآخر ومن شخص لآخر وتبعاً لظروف القياس من عوامل خارجية، ولهذا فإنه من الصعب الحصول على القيمة الحقيقية للقياس ولكن في هذه الحالة يستخدم تعبير القيمة المتوقعة للقياس (Expected Value) بدلاً من تعبير القيمة الحقيقية. ولأن القيمة المقاسة غالباً ما تختلف عن القيمة المتوقعة، فإن هذا الفارق يسمى بالخطأ (Error) في القياس. هذا الخطأ في عملية القياس يتم التعبير عنه بإحدى طريقتين: إما يعبر عنه بصورة مطلقة ويسمى بالخطأ المطلق (Absolute Error) أو كنسبة مئوية ويسمى بالنسبة المئوية للخطأ (Percentage Error).

تعريف الخطأ المطلق للقياس Absolute Error

هو الفارق ما بين القيمة المتوقعة للقياس والقيمة المقاسة فعلياً.

ويمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً كما يأتي:

$$e = Y_n - X_n \quad (١- ١)$$

حيث:

e : الخطأ المطلق

Y_n : القيمة المتوقعة للقياس

X_n : القيمة المقاسة فعلياً

تعريف الخطأ النسبي Relative Error

النسبة بين الخطأ المطلق للقياس والقيمة المتوقعة للقياس.

ويمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً كما يأتي:

$$\text{Relative Error} = \frac{e}{Y_n} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (٢- ١)$$

تعريف النسبة المئوية للخطأ Percentage Error

هي النسبة بين الخطأ المطلق للقياس والقيمة المتوقعة للقياس كنسبة مئوية.

ويمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً كما يأتي:

$$\text{Percentage Error} = \frac{e}{Y_n} \times 100 = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100 \quad (٣- ١)$$

ويمكن أيضاً تعريف دقة القياس كما يأتي:

تعريف دقة القياس Accuracy

هي مدى تطابق القيمة المقاسة بالقيمة المتوقعة.

تعريف الدقة النسبية للقياس Relative Accuracy

الدقة النسبية للقياس (A) هي النسبة بين القيمة المقاسة والقيمة المتوقعة للقياس. ويمكن تمثيل الدقة النسبية للقياس (A) رياضياً كما يأتي:

$$A = \frac{X_n}{Y_n} = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| = 1 - \text{Relative Error} \quad (١-٤)$$

حيث:

A: الدقة النسبية للقياس.

تعريف النسبة المئوية لدقة للقياس Percentage Accuracy

النسبة المئوية لدقة للقياس (a) هي النسبة بين القيمة المقاسة والقيمة المتوقعة للقياس كنسبة مئوية.

$$a = \frac{X_n}{Y_n} = 100\% - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (١-٥)$$

$$a = 100\% - \text{Percentage Error} \quad (١-٦)$$

حيث:

a: النسبة المئوية لدقة للقياس

مثال رقم (١-١)

إذا كانت القيمة المتوقعة للجهد بين أطراف مقاومة هي 50 V ، إلا أن القياسات أظهرت قيمة مقاسة قدرها 49 V ، احسب:

(أ) الخطأ المطلق

(ب) النسبة المئوية للخطأ

(ج) الدقة النسبية

(د) النسبة المئوية للدقة

الحل:

(أ) الخطأ المطلق:

$$e = Y_n - X_n = 50 - 49 = 1 \text{ volt}$$

(ب) النسبة المئوية للخطأ:

$$\text{Percentage Error} = \frac{50 \text{ V} - 49 \text{ V}}{50 \text{ V}} \times 100\% = 2\%$$

(ج) الدقة النسبية:

$$A = 1 - \frac{50 \text{ V} - 49 \text{ V}}{50 \text{ V}} = 1 - \frac{1}{50} = 0.98$$

(د) النسبة المئوية للدقة:

$$a = 100 \% - \text{percentage Error} = 100 \% - 2 \% = A \times 100 \% = 98 \%$$

وطبقاً لتقنية القياس يمكن إجراء القياس الواحد عدة مرات وخاصة إذا لم يكن هناك قيمة متوقعة للكمية المقاسة. ويمكن تعريف دقة القياس في هذه الحالة (Precision) بأنها مدى قرب القراءة الواحدة لمجموعة من القراءات المتكررة لنفس الكمية المقاسة من متوسط هذه القراءات. ويمكن أيضاً هنا استبدال القيمة المتوقعة بالقيمة المتوسطة، أو المتوسط الرياضي للقياسات. ويمكن وصف هذه العلاقة رياضياً كما يلي:

$$= 1 - \left| \frac{X_i - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| (\text{Precision})_i$$

(١-٧)

حيث:

(i) دقة القياس للقراءة رقم (i)

 X_i : قيمة القراءة رقم (i) \bar{X}_n : المتوسط الحسابي لمجموعة من القراءات عددها (n)

مثال رقم (١- ٢)

أجريت مجموعة من القياسات مكونة من عشرة قراءات لنفس الكمية المقاسة بالمختبر، كما هو مبين بالجدول التالي:

رقم القراءة	قيمة القراءة X_i (volts)
١	٩٨
٢	١٠٢
٣	١٠١
٤	٩٧
٥	١٠٠
٦	١٠٣
٧	٩٨
٨	١٠٦
٩	١٠٧
١٠	٩٩

جدول رقم (١- ٢) بيانات مثال رقم (١- ٢)

احسب دقة القياس (Precision) للقراءة رقم (٤).

الحل:

بتطبيق القانون رقم (١- ٧):

$$(\text{Precision})_i = 1 - \left| \frac{X_i - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right|$$

حيث n هو عدد القراءات وهو هنا يساوي ١٠ قراءات

وبما أن القراءة المطلوب حساب دقتها هي القراءة رقم (٤)، إذن: $i = 4$

\bar{X}_{10} هو المتوسط الحسابي للقراءات العشرة، وهو ما يمكن حسابه كآتي:

$$\bar{X}_{10} = \frac{98 + 102 + 101 + 97 + 100 + 103 + 98 + 106 + 107 + 99}{10} = 101.1$$

$$(\text{Precision})_i = 1 - \left| \frac{X_4 - \bar{X}_{10}}{\bar{X}_{10}} \right| = 1 - \left| \frac{97 - 101.1}{101.1} \right| = 0.96$$

١- ٥ التحليل الإحصائي للأخطاء في عمليات القياس

Statistical Analysis of Errors in Measurements

عند إجراء عملية قياس لأي كمية فيزيائية، فإن عملية القياس تتأثر بالعديد من العوامل المختلفة. كمثال، حين إجراء عملية قياس للمقاومة الكهربائية لموصل ما (قطعة من السلك مثلاً)، فإن العديد من العوامل سوف تؤثر على القيمة التي سوف نحصل عليها. بعض هذه العوامل ذات أهمية أكبر من العوامل الأخرى. والعوامل المأخوذة في الاعتبار تتضمن: عوامل ثابتة مثل: درجة نقاء المادة المصنوع منها الموصل، طول الموصل ومساحة مقطعة، العوامل الميكانيكية المؤثرة على الموصل أثناء عملية تصنيعه مثل الشد الذي تعرض له الموصل أو المعالجة الحرارية أثناء عملية التصنيع، وعوامل متغيرة مثل: درجة حرارة الموصل، توزيع التيار على مسار طول الموصل.

وكما كان معلوماً، بأي درجة يؤثر كل من هذه العوامل بمفرده على قيمة القياس، كلما أمكن تفسير الاختلافات التي تحدث بين القراءات في حالة تكرار القياس عدة مرات وكيف أنه من الصعب تثبيت هذه العوامل كلها أثناء تكرار القياس.

وتغير هذه العوامل المتغيرة بطريقة عشوائية وقت القياس يؤدي إلى نتائج قياس مختلفة. وتكون الاحتمالات متساوية أن تكون القياسات أقل من القيمة المتوقعة أو أكثر منها. ولهذا لا بد من تحليل بيانات القياس تحليلاً إحصائياً لإجراء تقييم كمي لعملية القياس، ولإعطاء تصور أو حكم دقيق على المتغيرات والأخطاء. والأدوات المستخدمة لهذا التحليل الإحصائي هي: المتوسط الحسابي (arithmetic mean)، الانحراف المتوسط (Average deviation) والانحراف المعياري (Standard deviation).

١- ٥- ١ القيمة المتوسطة أو المتوسط الحسابي (Average value (arithmetic mean)

القيمة المتوسطة أو المتوسط الحسابي \bar{X} لمجموعة n من القراءات $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ هي مجموع هذه القراءات مقسوماً على عددها n . وتعرف رياضياً كما يلي:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

(١- ٨)

١- ٥- ٢ الانحراف deviation

يعرف انحراف القراءة i ويرمز له بالرمز (d_i) لمجموعة من القراءات، بأنه الفارق بين القراءة X_i والقيمة المتوسطة لمجموعة القراءات \bar{X} . وتعرف رياضياً كما يلي:

$$d_i = X_i - \bar{X}$$

(٩- ١)

ويلاحظ أن المجموع الجبري لهذه الانحرافات لابد أن يساوي صفراً. ويعرف رياضياً كما يلي:

$$d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n = 0$$

(١٠- ١)

ويمكن وضع المعادلة السابقة على الصورة المختصرة:

$$\sum_{i=1}^n d_i = 0$$

(١١- ١)

وذلك لأن الانحراف قد يكون بالسلب كما أنه يمكن أن يكون بالإيجاب.

١- ٢- ٥- ١ الانحراف المتوسط Average deviation

الانحراف المتوسط (D) هو المتوسط الحسابي للقيم المطلقة للانحرافات. وتعرف رياضياً كما يلي:

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_n|}{n}$$

(١٢- ١)

١- ٢- ٥- ٢ الانحراف المعياري Standard deviation

الانحراف المعياري (S) لمجموعة من القيم هو مقياس لاختلاف هذه القيم عن القيمة المتوسطة.

ويعرف رياضياً كما يلي:

$$S = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n \text{ or } (n-1)}}$$

(١٣- ١)

إذا كان عدد القراءات ($n < 30$) يؤخذ في المقام القيمة ($n-1$) وإذا كان عدد القراءات ($n \geq 30$)

يؤخذ في المقام القيمة n.

مثال رقم (١- ٣)

من الجدول التالي، احسب:

(أ) المتوسط الحسابي للقراءات \bar{X} .

(ب) انحراف كل قيمة d_i .

(ج) المجموع الجبري للانحرافات $\sum_{i=1}^n d_i$.

(د) الانحراف المتوسط D .

(هـ) الانحراف المعياري S .

المتغير	القيمة
X_1	٥٠,١
X_2	٤٩,٧
X_3	٤٩,٦
X_4	٥٠,٢

جدول رقم (١-٣) بيانات مثال رقم (١-٣)

الحل:

(أ) المتوسط الحسابي \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{50.1 + 49.7 + 49.6 + 50.2}{4} = 49.9$$

(ب) انحراف كل قيمة d_i :

$$d_1 = 50.1 - 49.9 = 0.2$$

$$d_2 = 49.7 - 49.9 = -0.2$$

$$d_3 = 49.6 - 49.9 = -0.3$$

$$d_4 = 50.2 - 49.9 = 0.3$$

(ج) المجموع الجبري للانحرافات $\sum_{i=1}^n d_i$:

$$\sum_{i=1}^4 d_i = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = 0.2 - 0.2 - 0.3 + 0.3 = 0$$

(د) الانحراف المتوسط D :

$$D = \frac{|0.2| + |-0.2| + |-0.3| + |0.3|}{4} = \frac{1}{4} = 0.25$$

(هـ) الانحراف المعياري S :

$$S = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{0.2^2 + 0.2^2 + 0.3^2 + 0.3^2}{3}} = 0.294$$

١- ٦ الأخطاء المحدودة Limiting Errors

ينص معظم مصنعي أجهزة القياس على أن دقة جهاز القياس محددة بنسبة مئوية من قراءة الحد الأعلى لتدريج القياس Full scale reading. كمثال يمكن أن يصف أحد مصنعي جهاز قياس الجهد الكهربائي voltmeter أن خطأ قراءة الجهاز في حدود $\pm 2\%$ من أعلى تدريج للجهاز. هذه المواصفات تسمى الأخطاء المحدودة وتعني أن القراءة عند أعلى تدريج للجهاز صحيحة بحدود نسبة خطأ $\pm 2\%$. إلا أنه للقراءات الأقل من التدريج الأعلى للجهاز فإن نسبة الخطأ تكون أكبر من نسبة $\pm 2\%$. ولهذا فإنه من الأهمية بمكان أن تكون القراءات بقدر المستطاع بالقرب من أعلى تدريج.

مثال رقم (١- ٤)

إذا كان أعلى تدريج للقياس لجهاز قراءة الجهد الكهربائي يساوي ٣٠٠ v وبنسبة خطأ تعادل $\pm 2\%$ من أعلى تدريج للجهاز. احسب الخطأ المحدود للجهاز في حالة قراءة جهد كهربائي مقداره ١٢٠ v.

الحل

قيمة الخطأ المحدود عند أعلى تدريج:

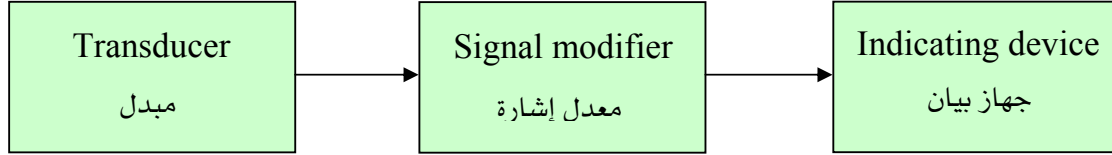
$$\text{Limiting Error at full scale} = 0.02 \times 300 \text{ v} = 6 \text{ v}$$

قيمة الخطأ المحدود عند ١٢٠ v:

$$\text{Limiting Error at } 120 \text{ v} = \frac{6}{120} \times 100 \% = 5 \%$$

١- ٧ عناصر أجهزة القياس الإلكترونية Elements of Electronic Instruments

تتكون أجهزة القياس الإلكترونية من العناصر المبينة بشكل رقم (١ - ١). وهذه العناصر هي:



شكل رقم (١ - ١) عناصر جهاز القياس الإلكتروني

- (١) محول طاقة Transducer: لتحويل الكميات المقاسة غير الكهربائية إلى كميات كهربائية
- (٢) معدل إشارة Signal Modifier: لتعديل الإشارة الكهربائية الآتية من محول الطاقة لجعلها مناسبة للتطبيق على جهاز البيان. فقد تكون الإشارة الكهربائية مثلاً صغيرة ويتطلب ذلك تكبيرها لكي يستطيع جهاز البيان أن يشعر بها فهو يعمل في هذه الحالة كمكبر للإشارة؛ والعكس صحيح أيضاً، فقد تكون الإشارة الكهربائية كبيرة ويتطلب ذلك تخفيضها إلى الدرجة التي يتحملها جهاز البيان فهو يعمل في هذه الحالة كمخفض للإشارة.
- (٣) جهاز بيان Indicating Device: وهو جهاز قياس كهربائي عادي ذو ملف متحرك ومؤشر وتدرج مثل جهاز قياس الجهد الكهربائي (Voltmeter) أو جهاز قياس التيار (Ammeter).

وأجهزة القياس الإلكترونية تستخدم في العادة لقياس إما الكميات الكهربائية المباشرة مثل: الجهد الكهربائي والتيار الكهربائي والمقاومة الكهربائية أو الكميات الفيزيائية بعد تحويلها عن طريق المبدل إلى كمية كهربائية مثل: الضغط الجوي، درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، مستوى الصوت، مستوى الإضاءة أو العديد من الكميات الفيزيائية الأخرى. إلا أنه في جميع الأحوال فإن انحراف مؤشر الجهاز يكون بسبب تدفق التيار الكهربائي في ملف الجهاز ويعاير تدرج الجهاز ليقراً الكمية الفيزيائية المنوط بالجهاز قياسها.

١- ٨ اختيار واستخدام والعناية بأجهزة القياس

Selection, Usage and Care of Measuring Instruments

في الواقع فإن معظم أجهزة القياس هي أجهزة حساسة ويجب أن تعامل بعناية خاصة وبطريقة صحيحة. وفي الحقيقة فإن أكثر الأجهزة المتاحة دقة، قد لا تعطي قراءات صحيحة إذا عوملت بطريقة غير صحيحة، ولذلك فإن هناك بعض القواعد الأساسية التي تؤمن سلامة الجهاز ودقة نتائج القراءات. قبل استخدام الجهاز لابد أن تكون معتاداً على طريقة استخدامه. وأفضل مصدر للمعلومات المطلوبة عن طريقة التعامل مع الجهاز وطريقة تشغيله هو كتيب التعليمات الخاص بالجهاز (الكتالوج الخاص به) أو (The operating and instructions manual)، الذي يعطيك كل البيانات التي ترحوها لاستخدام الجهاز. وهذا الكتالوج يجب أن يقرأ بكل عناية قبل استخدام الجهاز لأول مرة للحصول على المعلومات اللازمة لوظائف للجهاز وطرق استخدامه وطرق حفظه وتخزينه والإجراءات التي يجب اتباعها لتأمين سلامته وموانع ونواهي استخدامه (حدود الاستخدام). ولاختيار الجهاز بصورة صحيحة، طبقاً للوظيفة بطبيعة الحال، فإن درجة الدقة المطلوبة من الجهاز تتناسب مع سعر الجهاز. وبعد اختيار الجهاز لابد من فحص بصري للجهاز لملاحظة أي عيب ظاهر به مثل: مؤشر معوج، أطراف توصيل تالفة، تدرج غير ظاهر، وخلافه. ويجب أيضاً فحص بطارية الجهاز وتغييرها إذا لزم الأمر. وعند توصيل الجهاز في الدائرة الكهربائية يجب التأكد من أن مفتاح اختيار الوظيفة مضبوط على الوضع الصحيح. يجب أيضاً التأكد من الاختيار الصحيح لمدى القياس، أو اختيار أكبر مدى للقياس لضمان سلامة الجهاز، ثم يعاد اختياره أثناء القراءة إذا كان المدى غير مناسب وذلك للحصول على القراءة أقرب ما يكون للمدى الأقصى كما ذكر سابقاً.

تدريبات على الوحدة الأولى

- ١- ١ إذا مر تيار كهربائي في مقاومة كهربائية مقداره $1.5 A$ ، وعند قياسه أظهر جهاز القياس قيمة تعادل $1.46 A$. احسب قيمة الخطأ المطلق والنسبة المئوية للخطأ في القياس.
- ١- ٢ إذا كانت قيمة مقاومة كهربائية $2 k\Omega$ ، إلا أن القياسات أظهرت قيمة تعادل $1.93 k\Omega$ ، احسب:
- (أ) الدقة النسبية للقياس.
- (ب) النسبة المئوية لدقة القياس.
- ١- ٣ إذا كانت القيمة المتوسطة لمجموعة قراءات للجهد الكهربائي هي $30.15 V$ ، احسب دقة قراءة تساوي $29.9 V$.
- ١- ٤ عند إجراء مجموعة للقراءات في المختبر بواسطة ستة من الطلاب ، كانت القراءات كالآتي:

الطالب	القراءة (volts)
(a)	٢٠.٢٠
(b)	١٩.٩٠
(c)	٢٠.٠٥
(d)	٢٠.١٠
(e)	١٩.٨٥
(f)	٢٠.٠٠

بين أيّاً من هذه القراءات الست أكثرهم دقة.

١- ٥ أجريت عملية قياس لقطر موصل نحاسي على امتداد طوله فكانت القراءات كما يلي:

رقم القراءة	القطر (mm)
١	٢,٢١
٢	٢,١٨
٣	٢,٢٠
٤	٢,٢١
٥	٢,١٧
٦	٢,١٩

(أ) احسب دقة قياس كل قراءة.

(ب) احسب الدقة المتوسطة للقراءات.

١- ٦ إذا كانت دقة مقياس للجهد توصف بمقدار ٩٨٪ من القيمة العظمى لقراءاته:

(أ) كم تبلغ قيمة الخطأ المطلق لقراءة مقدارها ١٧٥ V على مدى قياس قيمته ٣٠٠ V

(ب) كم تبلغ النسبة المئوية لهذا الخطأ في الجزء (أ)

١- ٧ إذا كان المطلوب هو الحصول على دقة لقراءة الجهد بمقدار وحدة واحدة في جهاز للقياس يحتوي

على ٣٠٠ وحدة. فما هي دقة الجهاز المستخدم؟

١- ٨ عند مراجعة علامات التقييم الملونة لثمانية مقاومات كهربائية متطابقة، وجد أن قيمتها تساوي

٥,٦ kΩ لكل مقاومة، وعند إجراء عمليات قياس لهذه المقاومات الثمانية كانت النتائج كالآتي:

رقم المقاومة	قيمة المقاومة (kΩ)
١	٥,٧٥
٢	٥,٦٠
٣	٥,٦٥
٤	٥,٥٠
٥	٥,٧٠
٦	٥,٥٥
٧	٥,٨٠
٨	٥,٥٥

احسب الانحراف المعياري لهذه القراءات.

١- ٩ قام ثمانية من الطلاب بضبط التردد في إحدى دوائر الرنين، وسجلت ترددات الرنين كالآتي:

رقم القراءة	تردد الرنين (kHz)
١	٥٣٢
٢	٥٤٨

٣	٥٤٣
٤	٥٣٥
٥	٥٤٦
٦	٥٣١
٧	٥٤٣
٨	٥٣٦

احسب من هذا الجدول:

(أ) القيمة المتوسطة للقراءات.

(ب) الانحراف المتوسط.

(ت) الانحراف المعياري.

١ - ١٠ إذا كانت دقة القراءة لمقياس جهد ذو تدرج أقصى مقداره $300V$ في حدود ٢% من الحد الأقصى للقراءة. احسب الخطأ المحدود للقراءة عند استخدامه لقراءة جهد مقداره $120V$.



قياسات وأجهزة

أجهزة قياس التيار المستمر والتيار المتردد

أجهزة قياس التيار المستمر والتيار المتردد

الأهداف العامة للوحدة الثانية

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة تركيب ونظرية تشغيل جهاز دارسونفال للقياس ذو الملف المتحرك.
- كيفية استخدام جهاز دارسونفال في دوائر التيار المستمر.
- معرفة تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز دارسونفال لقياس الجهد والتيار.
- كيفية استخدام جهاز دارسونفال في دوائر التيار المتردد.

٢- ١ مقدمة Introduction

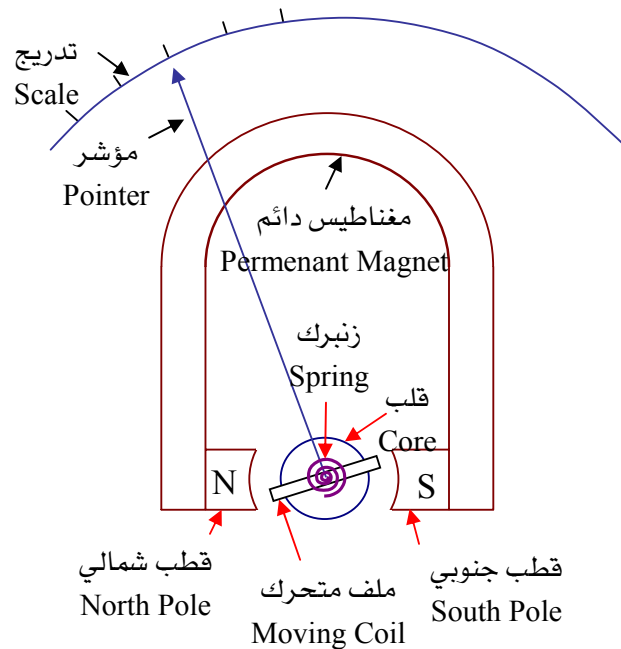
سوف نتعرض في هذه الوحدة إلى جهاز القياس ذي الملف المتحرك (مقياس دارسونفال) وكيفية استخدامه لقياس الكميات الكهربائية: الجهد والتيار والمقاومة، وذلك في حالة التيار المستمر وكذلك كيفية تطويع الجهاز للتعامل مع الكميات الكهربائية للتيار المتردد.

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

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 يؤثر على تدريج يبين مقدار الحركة التي قطعها الملف في حركته، وبعاكس حركة الملف زنبرك مثبت في الجهاز لموازنة حركة الملف والمؤشر.



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

٢- 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 منتظماً من الصفر حتى نهاية التدريج.

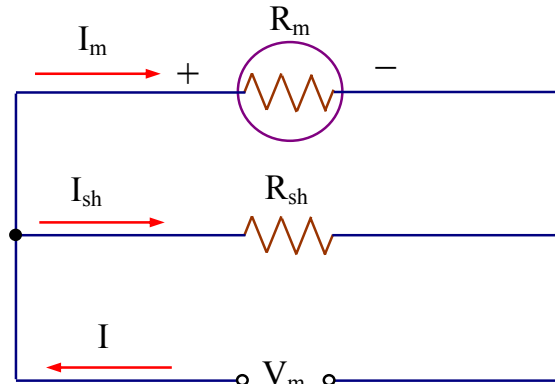
٢- ٢- ٣- استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك في دوائر التيار المستمر

D'Arsonval Meter in Direct Current Circuits

٢- 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 $50\mu A$. وهذا يعني أن قدرة الجهاز على قياس التيار محدودة. وللتغلب على هذا العيب، وللاستخدام 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 جداً 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:

$$V_m = I_m \cdot R_m \quad (٢- ١)$$

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

$$V_m = V_{sh} \quad (٢- ٢)$$

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

$$I = I_m + I_{sh} \quad (٢- ٣)$$

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

$$I_{sh} = I - I_m \quad (٢- ٤)$$

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

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

ويمكن هنا اعتبار أن وجود المقاومة المتوازية 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:

(٦- ٢)

$$n = \frac{I}{I_m}$$

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

(٧- ٢)

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

مثال رقم (٢- ١)

جهاز قياس دارسونفال ذو الملف المتحرك بالمواصفات التالية:

مقاومة الملف R_m قيمتها 100Ω وأقصى تيار يتحمله الملف $I_m = 1 \text{ mA}$. احسب مقاومة التوازي

المطلوبة لكي يتمكن الجهاز من قراءة تيار $I = 10 \text{ mA}$.

الحل:

بتطبيق المعادلة (٢- ٥):

$$R_{sh} = \frac{I_m \cdot R_m}{(I - I_m)} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 100}{9 \times 10^{-3}} = 11.11 \Omega$$

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

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

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 أيرتون 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 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 (٢- ٣) 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} :

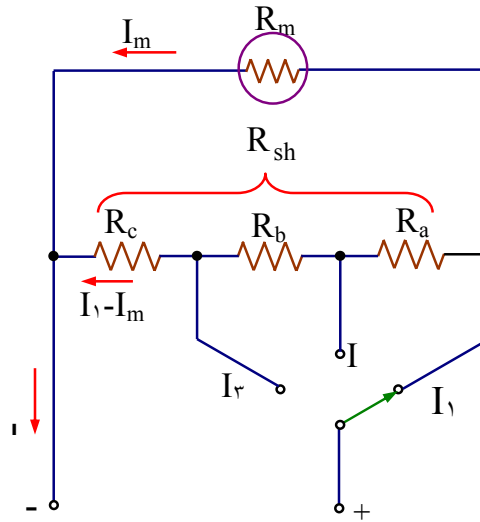
$$R_{sh} = R_a + R_b + R_c \quad (٢-٨)$$

ويمكن حساب R_{sh} من المعادلة (٢-٧) كما يأتي:

$$R_{sh} = R_m / (n - 1) \quad (٢-٩)$$

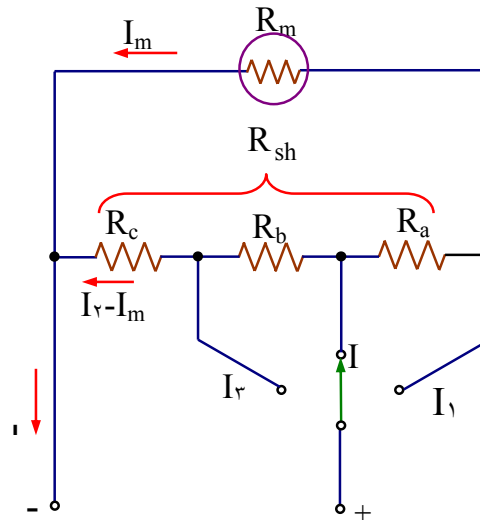
حيث:

$$n = I_1 / I_m \quad (٢-١٠)$$



شكل رقم (٢-٣) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار $[I_1]$.

ولإيجاد المعادلات اللازمة لحساب قيم المقاومات R_a , R_b , R_c نستعين بالدائرة المبينة في شكل رقم (٢-٤).



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

حيث النطاق التالي هو $[I_v]$ 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 $R_m + R_a$ وحيث إن الجهد يكون ثابت على التوازي فإن:

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

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كما يلي:

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

وبفك هذه المعادلة، نحصل على:

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

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

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

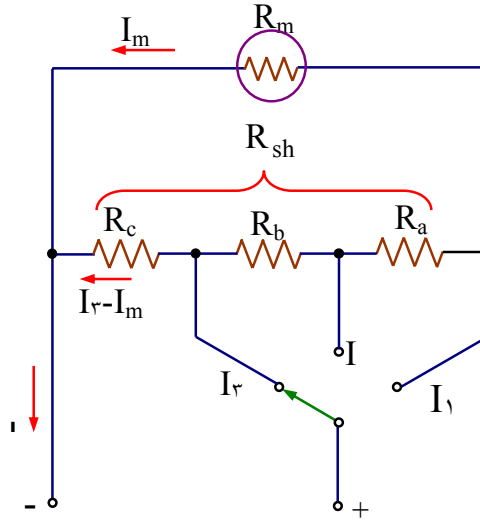
وبالتالي فإن قيمة المقاومة $(R_b + R_c)$ تعطى بالعلاقة الآتية

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

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

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

وباختيار النطاق $[I_r]$ وبالرجوع إلى شكل رقم (٢- ٥):



شكل رقم (٢- ٥) دائرة التوازي لأيرتون مع نطاق التيار $[I_r]$.

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:

$$V_{R_c} = V_{R_m + R_a + R_b} \quad (٢- ١٧)$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كالآتي:

$$R_c (I_3 - I_m) = I_m (R_a + R_b + R_m) \quad (٢- ١٨)$$

وبفك هذه المعادلة:

$$I_3 R_c - I_m R_c = I_m (R_a + R_b + R_m) \quad (٢- ١٩)$$

وننقل $R_c I_m$ إلى الطرف الأيمن من المعادلة:

$$I_3 R_c = I_m (R_a + R_b + R_c + R_m) = I_m (R_{sh} + R_m) \quad (٢- ٢٠)$$

وبالتالي فإن قيمة المقاومة (R_c) تعطى بالعلاقة الآتية

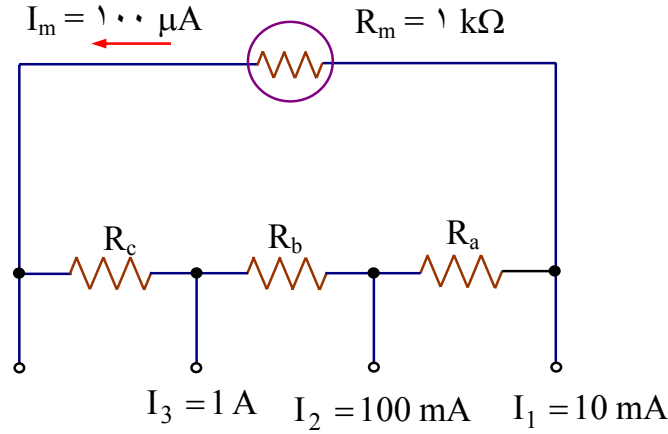
$$R_c = \frac{I_m (R_{sh} + R_m)}{I_3} \quad (٢- ٢١)$$

وهكذا يمكن حساب قيمة المقاومة R_b من العلاقة الآتية:

$$R_b = R_{sh} - (R_a + R_c) \quad (٢- ٢٢)$$

مثال رقم (٢- ٢)

للدائرة المبينة بشكل رقم (٢- ٦)، التي تمثل دائرة توازي أيرتون، احسب قيم المقاومات المجهولة.



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

الحل:

نسبة التكبير للمدى الخارجي:

$$n = 10 \text{ mA} / 100 \mu A = 100$$

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:

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

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

إذن:

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

ثم نحسب قيمة R_c كالآتي:

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

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

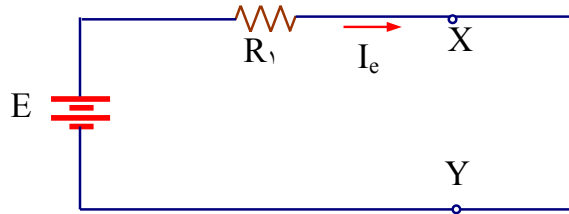
وبالتالي يمكن حساب R_b كالآتي:

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

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

Ammeter Loading Effect

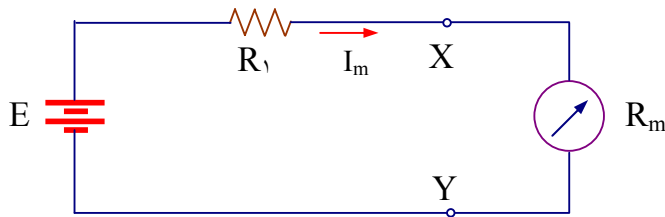
ينبغي أن تتخذ الاحتياطات عند قياس قيمة التيار في الدوائر الإلكترونية و إلا قد تغير مقاومة جهاز القياس من قيمة تيار الدائرة، لذا يجب أن تكون مقاومة جهاز الأميتر مقاومة صغيرة ما أمكن حيث إن المقاومة الكبيرة تؤثر على عمل الدائرة، وهذا ما يسمى بتأثير الحمل. والمثال التالي يوضح تأثير الحمل على قيمة التيار 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:

$$I_m = E / (R_1 + R_m) \quad (2-23)$$



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

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

$$I_e = E / R_1 = 10V / 10\text{k}\Omega = 10 \text{ mA}$$

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

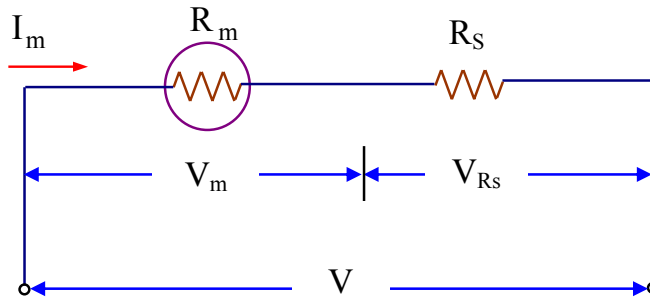
$$I_m = E / (R_1 + R_m) = 10 \text{ V} / (10\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega) = 3.33 \text{ mA}$$

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 سابقاً أن تقل مقاومته بكثير جداً عن مقاومة أجزاء الدائرة. وفي المثال الموضح عاليه، فمن الأفضل أن تكون مقاومة الأميتر المستخدم، قد اتخذت قيمة أكبر من حوالي 10Ω .

٢- ٣- ٢- استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد المستمر (Voltmeter) - (DC)

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 10 mV)، يمكن اعتبار مقاومة الجهاز كافية ويمكن للجهاز أن يقيس الجهود الكهربائية بدون إضافات، ولكن للجهود الكهربائية الأعلى من 10 mV ، لابد من الاستعانة بمقاومة خارجية كبيرة متوالية مع الجهاز (R_S)، تكون مهمتها الأساسية احتلال الجزء الأكبر من الجهد المقاس كمقسم للجهد، كما هو موضح بشكل رقم (٢- ٩).



شكل رقم (٢- ٩) دائرة جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد الكهربائي.

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

$$I_m = V / (R_m + R_S) \quad (٢- ٢٤)$$

$$R_S = (V / I_m) - R_m \quad (٢- ٢٥)$$

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

$$S = 1/I_{FS} \quad (٢- ٢٦)$$

حيث:

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

وحدات S هي:

$$S \equiv \frac{1}{\text{Ampere}} = \frac{1}{\text{volt/ohms}} = \text{ohm / volt} = \Omega/\text{V} \quad (٢- ٢٧)$$

وبالتالي يمكن حساب المقاومة R_S كالآتي:

$$R_S = S \cdot V - R_m \quad (٢- ٢٨)$$

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

تناسب هذا النطاق. مثال رقم (٢- ٣) تيار أقصى انحراف R_S يوجد مقاومة متوالية V نطاق قياس جهد

احسب قيمة $1 \text{ k}\Omega$ ، ومقاومته الداخلية قدرها $100 \mu\text{A}$ 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 (٢- ٢٨)

$$R_S = S V - R_m$$

ونبدأ بحساب حساسية الجهاز S كما يلي:

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

وبتطبيق S في معادلة R_S :

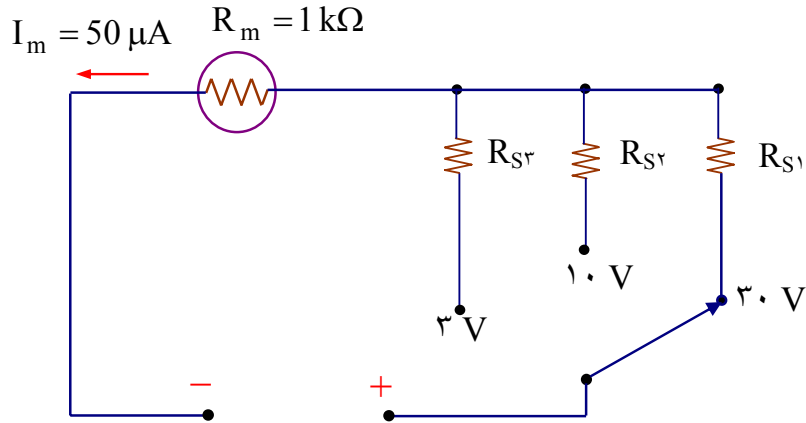
$$R_S = (10 \text{ k}\Omega / \text{V} \times 50 \text{ V}) - 1 \text{ k}\Omega = 499 \text{ k}\Omega$$

ويمكن استخدام نظام مقاومات منفصلة أو نظام مقاومات متصلة للحصول على أكثر من مدى لقياس

الجهد كما هو مبين بالمثالين الآتيين:

مثال رقم (٢-٤)

احسب قيم المقاومات المجهولة R_{S1} , R_{S2} , R_{S3} في نظام جهاز قياس الجهد المبين بشكل رقم (٢-١٠).



شكل رقم (٢-١٠) دائرة قياس الجهد الكهربائي للمثال رقم (٢-٤).

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز S:

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

لحساب R_{S1} نعتبر نطاق القياس الأول 3 V:

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

لحساب R_{S2} نعتبر نطاق القياس الثاني 10 V:

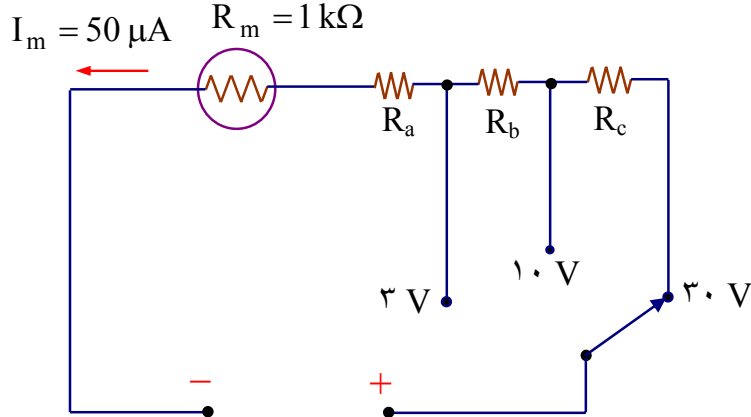
$$R_{S2} = S \cdot V_2 - R_m = 20 \text{ k}\Omega/\text{V} \times 10\text{V} - 1 \text{ k}\Omega = 199 \text{ k}\Omega$$

لحساب R_{S3} نعتبر نطاق القياس الثالث 30 V:

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

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:

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

لحساب R_a نعتبر نطاق القياس الأول 3 V:

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

لحساب R_b نعتبر نطاق القياس الثاني 10 V:

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

$$R_b = 199 \text{ k}\Omega - R_a = 199 \text{ k}\Omega - 59 \text{ k}\Omega = 140 \text{ k}\Omega$$

لحساب R_c نعتبر نطاق القياس الثالث 30 V:

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

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

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

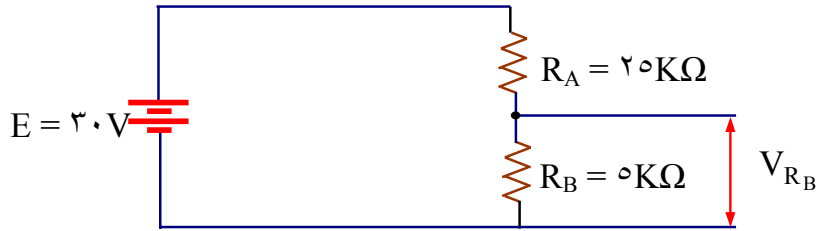
Voltmeter Loading Effect

يجب أن تكون مقاومة جهاز قياس الجهد كبيرة جداً بالنسبة للحمل المراد قياس الجهد على طرفيه، حتى تمنع مرور التيار بالجهاز إلا بالقدر اللازم فقط لانحراف المؤشر، أما إذا صغرت قيمة المقاومة فإنه يمر بها جزء كبير من التيار مما يؤثر على دقة القراءة، وهو ما يسمى بتأثير الحمل.

يوضح شكل رقم (٢- ١٢) وضعاً يؤدي إلى أخطاء في قراءة الجهد في بعض الحالات، والمطلوب قياس فرق الجهد على طرفي المقاومة R_B ، وبتطبيق قاعدة مجزئ الجهد، يكون الجهد على طرفي المقاومة R_B بدون توصيل مقياس الجهد هو:

$$V_{R_B} = E \times \frac{R_B}{R_A + R_B} \quad (٢- ٢٩)$$

$$V_{R_B} = 30V \times \frac{5 \text{ k}\Omega}{25 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ V}$$



شكل رقم (٢- ١٢) دائرة توضح تأثير الحمل في حالة الفولتميتر.

بقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر له مقاومة داخلية مقدارها $10 \text{ k}\Omega$ ، ففي هذه الحالة يقلل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة، لأنه موصل على التوازي مع المقاومة R_B ، وبالتالي تكون محصلة المقاومتين على التوازي R_{eq} تساوي:

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_B // R_V \\ &= \frac{R_B \times R_V}{R_B + R_V} \\ &= \frac{5 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 3.33 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

وبناء على ذلك، تكون قراءة الجهد التي يشير إليها مقياس الجهد، وبتطبيق قاعدة مجزئ الجهد تساوي:

$$V_{R_B} = E \times \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R_A} = 30 \text{ V} \times \frac{3.33 \text{ k}\Omega}{3.33 \text{ k}\Omega + 25 \text{ k}\Omega} = 3.53 \text{ V}$$

وهنا نجد أن نسبة الخطأ في قيمة الجهد نتيجة لتأثير الحمل تساوي 29.4% ، وهذا التأثير كبير نظراً لأن مقاومة مقياس الجهد صغيرة جداً.

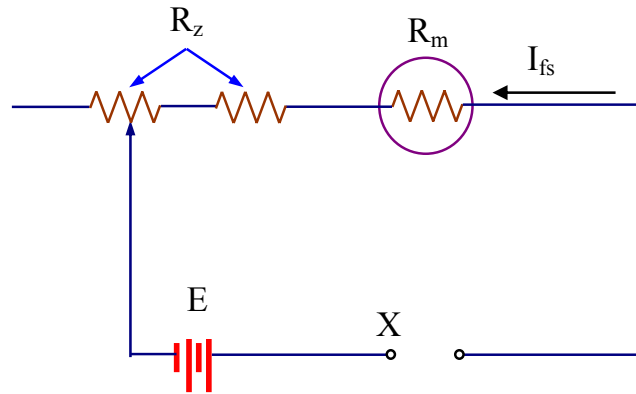
ولكي يعطى مقياس الجهد بيانا صحيحا لقيمة الجهد، ينبغي ألا تزيد مقاومته الداخلية كثيراً جداً عن المقاومة التي يقاس الجهد بين طرفيها، فمن الأفضل في الحالة الموضحة في شكل رقم (٢- ١٢) أن تزيد مقاومة مقياس الجهد الداخلية، عن مئة ضعف قيمة مقاومة الحمل، أي أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل $500k\Omega$ أو أكثر.

٢- ٣- ٢- استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك كجهاز قياس للمقاومة

D'Arsonval Meter as Ohmmeter

الأوميتير جهاز يستعمل لقياس المقاومة قياساً مباشراً بواسطة مؤشر يتحرك على مقياس مدرج بالأوم، وفي هذه الحالة يكون القياس أكثر سهولة ويسراً من أساليب القياس غير المباشرة باستخدام الفولتميتر والأميتر.

ويمكن استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع بطارية ومقاومة معلومة للحصول على دائرة أوميتير بسيطة كما هو موضح في شكل رقم (٢- ١٣)، وهو ما يطلق عليه بأوميتير التوالي.



شكل رقم (٢- ١٣) الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتير

تتكون الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتير كما هو مبين في شكل رقم (٢- ١٣)، من مقاومة معلومة (R_z) وميللي أميتر ذو ملف متحرك (R_m) وبطارية (E)، وتكمل المقاومة المجهولة (R_x) الدائرة عندما توصل بين طرفي دخل الأوميتير [النقطتين X, Y في شكل رقم (٢- ١٣)] وتكون جميع هذه العناصر متصلة على التوالي.

التيار المار في الدائرة عند توصيل المقاومة المجهولة (R_x) يكون:

$$I = \frac{E}{R_z + R_m + R_x} \quad (٣٠- ٢)$$

من الواضح أن قيمة التيار المار بالدائرة تعتمد على قيمة المقاومة المجهولة (R_x)، فإذا كانت: $R_x = \infty$ أي أن الدائرة مفتوحة فإن: $I = 0$ ، وإذا كانت $R_x = 0$ فإن:

$$I = \frac{E}{R_z + R_m} \quad (٣١- ٢)$$

وتختار قيم (E, R_z, R_m) بحيث يسبب التيار المار في هذه الحالة أقصى انحراف للمؤشر (I_{FS}).

$$I_{f.s} = \frac{E}{R_z + R_m} \quad (٣٢- ٢)$$

وإذا كانت $R_x = R_z + R_m$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{2(R_z + R_m)} = \frac{1}{2} I_{FS} \quad (٣٣- ٢)$$

ويكون الانحراف عندئذ نصف I_{fs} ، أي يكون المؤشر عند منتصف التدرج تماما. وإذا كانت $R_x = 2(R_z + R_m)$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{3(R_z + R_m)} = \frac{1}{3} I_{FS} \quad (٣٤- ٢)$$

وإذا كانت $R_x = 3(R_z + R_m)$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{4(R_z + R_m)} = \frac{1}{4} I_{FS} \quad (٣٥- ٢)$$

وهكذا، وحيث إن زاوية انحراف المؤشر تتناسب مع التيار فيمكن أن يعاير تدرج الجهاز بحيث يبين قيمة المقاومة المجهولة مباشرة، ويلاحظ أن تدرج هذا النوع من الأجهزة معكوس، أي يبدأ من (∞) حتى الصفر دائما، وأن قيمة المقاومة المجهولة (R_x) عند منتصف التدرج تساوي مقاومة دخل الأوميتر ($R_z + R_m$)، وهي قيمة هامة في دراسة خواصه، كما أن التدرج غير منتظم [غير خطي] حيث يزداد ازدحامه كلما كبرت قيمة المقاومة ($R_z + R_m$). وقبل القياس يجب قفل الطرفين X, Y في شكل رقم (٢- ١٣)، أي عمل دائرة قصر (short) وضبط مؤشر الجهاز على صفر التدرج. ويتم ضبط الصفر للجهاز بتغيير الجزء المتحرك من المقاومة (R_z).

٢- ٢- ٤ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك في دوائر التيار المتردد

D'Arsonval Meter in Alternating Current Circuits

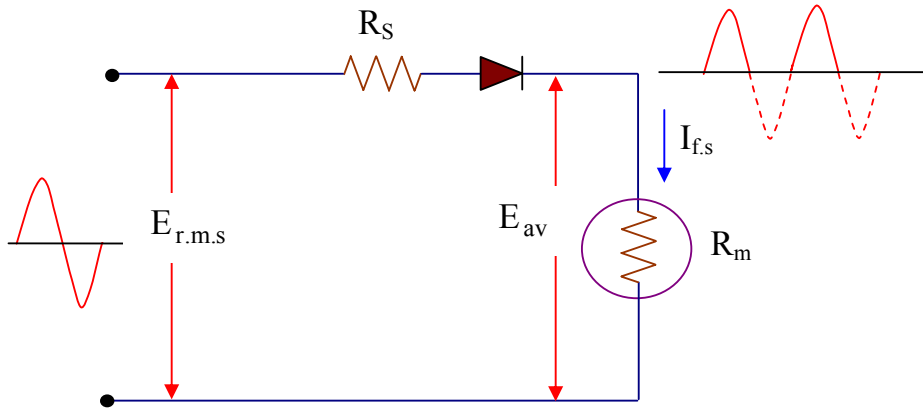
في الجزء السابق رأينا كيف يستخدم جهاز دارسونفال ذا الملف المتحرك لقياس التيار والجهد المستمر بالإضافة إلى قياس قيمة مقاومة مجهولة. وفي هذا الجزء سوف نناقش كيفية استخدام نفس الجهاز لقياس التيار والجهد المتردد.

ولكي نستطيع قياس التيار المتردد باستخدام جهاز القياس ذي الملف المتحرك والذي سبق شرحه، يجب أولاً تعديل الجهاز بحيث يناسب إمكانياته، حيث أنه، وكما شرحنا سابقاً، يتأثر باتجاه التيار وينحرف بناءً على هذا الاتجاه. وعلى هذا، فلو استخدمنا الجهاز مباشرة لقياس التيار المتردد، فسوف يتعرض الجهاز لعزم انحراف في اتجاه ما في حالة نصف الموجة الموجب، وسوف يتعرض إلى عزم انحراف في اتجاه معاكس في حالة نصف الموجة السالب، وتكون المحصلة عدم انحراف المؤشر، وذلك لتساوي العزمان. أي أنه يتأثر بعزم انحراف يساوي صفراً في هذه الحالة (وهي القيمة المتوسطة للموجة الكاملة للتيار المتردد). ولذلك سوف نلجأ إلى توحيد أو تقويم التيار المتردد (rectification) باستخدام الثنائي الموحد (diode rectifier)، للحصول على تيار أحادي الاتجاه.

٢- ٢- ٤- ١ استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك مع توحيد نصف موجة

D'Arsonval Meter with Half Wave Rectification

إذا أضفنا الثنائي الموحد إلى دائرة قياس الجهد المستمر والتي سبق شرحها، سوف نحصل على الدائرة الموضحة في شكل رقم (٢- ١٠) والتي يمكن عن طريقها قياس الجهد المتردد، ويطلق عليها دائرة توحيد نصف موجة.



شكل رقم (٢- ١٤) دائرة توحيد نصف الموجة

وسوف يتعرض الجهاز في هذه الحالة إلى عزم انحراف في حالة نصف الموجة الموجب، ثم لا يتعرض لأي عزم انحراف في حالة النصف الآخر للموجة.

وعزم الانحراف اللحظي في هذه الحالة (حالة الموجة الكاملة) يتغير، تبعاً للموجة، من قيمة الصفر إلى قيمة عظمى ثم الصفر مرة أخرى لفترة زمنية تعادل نصف الموجة وهكذا. وعلى هذا يمكن اعتبار عزم الانحراف الخاص بالموجة الكاملة هو القيمة المتوسطة لها.

وحيث إن جهاز القياس يقيس القيمة المتوسطة (E_{av}) فإنه يلزم معايرة تدرج الجهاز ليقرأ القيمة الفعالة (E_{rms}) ويكون ذلك كما يلي:

$$\therefore E_{av} = \frac{E_{max}}{\pi} = 0.318 E_{max} \quad (٢- ٣٦)$$

$$\therefore E_{r.m.s} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}}, \therefore E_{max} = 1.414 E_{r.m.s} \quad (٢- ٣٧)$$

$$\therefore E_{av} = 0.318 \times 1.414 E_{r.m.s} = 0.45 E_{r.m.s} \quad (٢- ٣٨)$$

$$\therefore E_{r.m.s} = \frac{E_{av}}{0.45} = 2.22 E_{av} \quad (٢- ٣٩)$$

ويقال عن العدد [٢,٢٢]، بأنه معامل الشكل (form factor) وهو النسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة، وبالتالي فإنه عندما يقيس جهاز القياس القيمة المتوسطة، يتم معايرة تدرجه ليقرأ القيمة الفعالة وذلك بضرب قيمة ما يقيسه في معامل الشكل ليعطى القيمة الفعالة مباشرة. ويمكن حساب مقاومة التوالي (R_s) كما يلي:

$$R_T = R_S + R_m = \frac{E_{d.c}}{I_{d.c}} = \frac{0.45 E_{r.m.s}}{I_{d.c}} \quad (٢- ٤٠)$$

حيث:

R_T : هي المقاومة الكلية لمقسم الجهد.

$$R_S = \frac{E_{d.c}}{I_{d.c}} - R_m = \frac{0.45 E_{r.m.s}}{I_{d.c}} - R_m \quad (٢- ٤١)$$

ومن المعادلة السابقة رقم (٢- ٤١)، وبالمقارنة بالمعادلة رقم (٢- ٢٨) يتضح أن حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر تختلف عن حساسيته لقراءة الجهد المتردد، حيث لو فرض أن أقصى انحراف للمؤشر هو عند جهد مستمر قدره ١٠ V، ففي حالة قياس جهد متردد قيمته الفعالة ١٠ V فإن الجهاز

سوف يشعر بقيمة متوسطة للجهد قدرها $V_{4.5}$ فقط، وعلى هذا فإن العلاقة بين حساسية الجهاز لقراءة التيار المستمر وحساسيته لقراءة التيار المتردد تعطى من العلاقة الآتية:

$$S_{a.c} = 0.45 S_{d.c} \quad (٢- ٤٢)$$

وبالتالي يمكن حساب المقاومة الكلية R_T كما يلي:

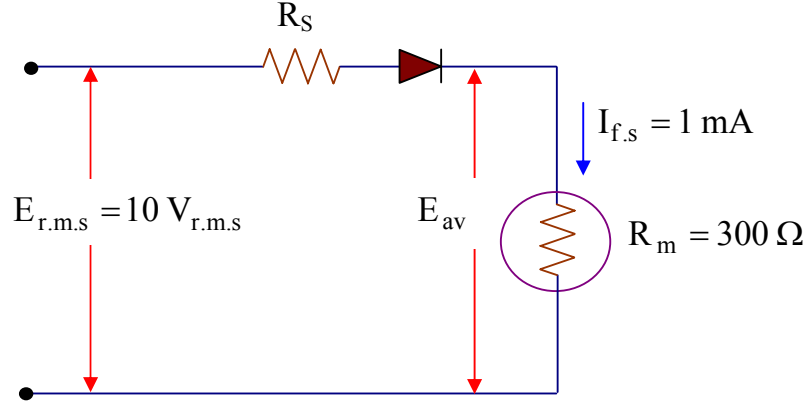
$$R_T = \frac{E_{d.c}}{I_{d.c}} = S_{d.c} E_{d.c} \quad (٢- ٤٣)$$

$$R_T = \frac{0.45 E_{r.m.s}}{I_{d.c}} = 0.45 S_{d.c} E_{r.m.s} = S_{a.c} E_{r.m.s} \quad (٢- ٤٤)$$

$$\therefore R_T = R_S + R_m = S_{d.c} E_{d.c} = S_{a.c} E_{r.m.s} \quad (٢- ٤٥)$$

مثال رقم (٢- ٦)

احسب المقاومة المتوالية لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك (المبين بالشكل رقم (٢- ١٢)) والمعدل لقراءة جهد متردد بطريقة التوحيد النصف موجي، وذلك في حالة مدى القياس $10 V_{r.m.s}$.



شكل رقم (٢- ١٥) دائرة قياس الجهد الكهربائي المتردد للمثال رقم (٢- ٦).

الحل:

نبدأ بحساب القيمة المتوسطة للجهد بعد توحيد بتطبيق المعادلة رقم (٢- ٣٨):

$$E_{av} = E_{d.c} = 0.45 E_{r.m.s} = 0.45 \times 10 = 4.5 V$$

ثم نحسب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر بتطبيق المعادلة رقم (٢- ٢٦):

$$S_{d.c} = \frac{1}{I_{FS}} = 1000 \Omega / V = 1 k\Omega / V$$

ويمكن كذلك حساب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد بتطبيق المعادلة رقم (٢- ٤٢):

$$S_{a.c} = 0.45 S_{d.c} = 0.45 \times 1 k\Omega / V = 0.45 k\Omega / V$$

ثم نحسب قيمة المقاومة الكلية بتطبيق المعادلة رقم (٢- ٤٥):

$$R_T = R_S + R_m = S_{d.c} \times E_{d.c} = 1 k\Omega / V \times 4.5 V = 4.5 k\Omega$$

أو:

$$R_T = R_S + R_m = S_{a.c} \times E_{r.m.s} = 0.45 k\Omega / V \times 10 V = 4.5 k\Omega$$

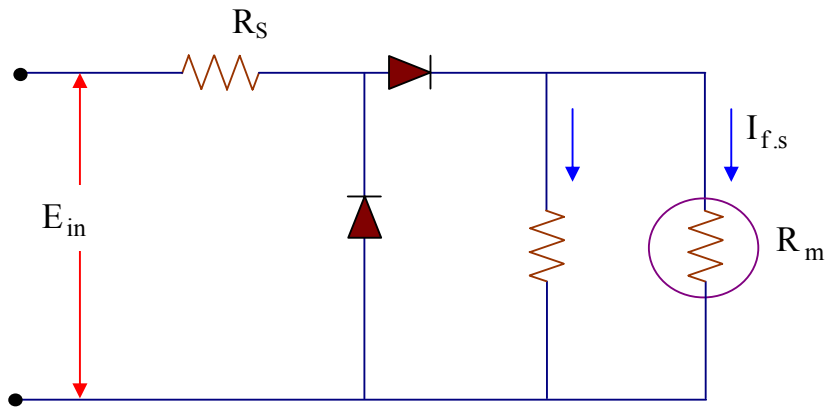
ومنها نحسب قيمة المقاومة المتوالية:

$$R_S = 4.5 k\Omega - 300 \Omega = 4.5 k\Omega - 0.3 k\Omega = 4.2 k\Omega$$

أو بحساب المقاومة مباشرة:

$$R_S = \frac{0.45 E_{r.m.s}}{I_{d.c}} - R_m = \frac{0.45 \times 10}{1 \times 10^{-3}} - 300 = 4200 \Omega = 4.2 \text{ k}\Omega$$

بالنسبة للأجهزة ذات الملف المتحرك والمنتجة تجاريا والتي تستخدم لقياس الجهد المتردد عن طريق توحيد نصف الموجة، يستخدم ثنائي إضافي ومقاومة توازي (R_{sh}) كما هو موضح في شكل رقم ٢ - (١٦).



شكل رقم ٢ (١٦- دائرة توحيد نصف الموجة باستخدام موحدتين لتحسين الخطية.

الثنائي الموحد الذي تم إضافته (D_1) يكون موصلاً توصيلاً عكسياً (reverse-biased) في النصف الموجب من الموجة، وليس له تقريباً أي تأثير على أداء الدائرة. في النصف السالب من الموجة، يكون الموحد (D_1) موصلاً توصيلاً أمامياً (forward-biased)، ويمثل مساراً آخر لتيار التسرب العكسي (reverse-biased leakage current)، والذي عادة يمر في الملف المتحرك والموحد (D_1). والفرض من مقاومة التوازي (R_{sh}) هو زيادة التيار المار خلال الموحد (D_1) في النصف الموجب من الموجة، وبالتالي يعمل الموحد (D_1) في المنطقة الخطية من منحني الخواص له.

مثال رقم (٢- ٧)

لجهاز دارسونفالد ذي الملف المتحرك (المبين بالشكل رقم (٢- ١٧)) والمعدل لقراءة جهد متردد بطريقة التوحيد النصف موجي، مقدار المقاومة الأمامية لكل ثنائي توحيد 50Ω وقيمة لانهائية للمقاومة العكسية.

احسب ما يأتي:

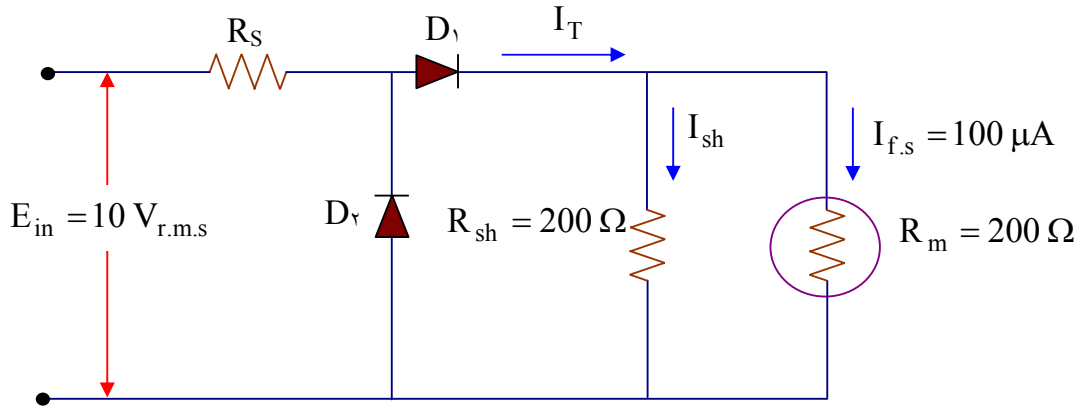
- (١) قيمة المقاومة المتوالية R_S .
- (٢) قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر.
- (٣) قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد.

الحل:

(١) لحساب قيمة المقاومة المتوالية R_S :

فرع المقاومة الموازية لجهاز القياس يقع عليها نفس فرق الجهد كما على الجهاز:

$$I_{f.s} \times R_m = I_{sh} \times R_{sh}$$



شكل رقم (٢- ١٧) دائرة قياس الجهد الكهربائي المتردد للمثال رقم (٢- ٧).

إذن، يمكن حساب قيمة التيار في المقاومة المتوازية I_{sh} كما يلي:

$$I_{sh} = \frac{I_{FS} \times R_m}{R_{sh}} = \frac{100 \mu A \times 200 \Omega}{200 \Omega} = 100 \mu A$$

ثم نحسب قيمة التيار الكلي I_T كما يلي:

$$I_T = I_{FS} + I_{sh} = 100 \mu A + 100 \mu A = 200 \mu A$$

ونحسب القيمة المتوسطة للجهد بعد تويحيده كما يلي:

$$E_{d.c} = E_{av} = 0.45 \times E_{r.m.s} = 0.45 \times 10 \text{ V} = 4.5 \text{ V}$$

ومنه نحسب المقاومة الكلية R_T كما يلي:

$$R_T = \frac{E_{d.c}}{I_T} = \frac{4.5 \text{ V}}{200 \mu\text{A}} = 22.5 \text{ k}\Omega$$

وهذه المقاومة الكلية عبارة عن مجموع الثلاثة مقاومات R_S , R_d بالإضافة إلى المقاومة المكافئة

لتوازي المقاومة الداخلية للجهاز R_m والمقاومة المتوازية R_{sh} :

$$R_T = R_S + R_d + \frac{R_m \times R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

ومن ثم نحسب قيمة المقاومة المتوازية R_S كما يلي:

$$R_S = R_T - R_d - \frac{R_m \times R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$R_S = 22.5 \text{ k}\Omega - 50\Omega - \frac{200 \Omega \times 200 \Omega}{200 \Omega + 200 \Omega} = 22.35 \text{ k}\Omega$$

(٢) لحساب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر:

$$S_{d.c} = \frac{R_T}{E_{d.c}} = \frac{22.5 \text{ k}\Omega}{4.5 \text{ V}} = 5 \text{ k}\Omega / \text{V}$$

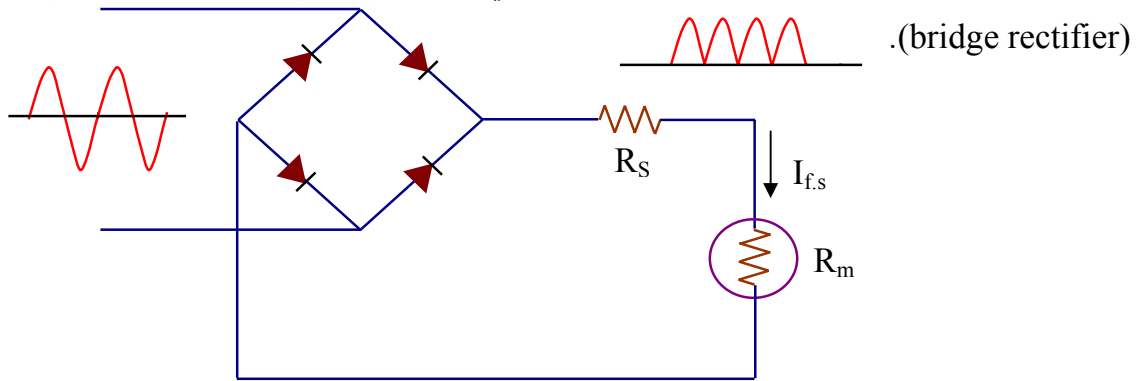
(٣) لحساب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد:

$$S_{a.c} = \frac{R_T}{E_{a.c}} = \frac{22.5 \text{ k}\Omega}{10 \text{ V}} = 2.25 \text{ k}\Omega / \text{V}$$

٢- ٤- ٢- استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع توحيد موجة كاملة

D'Arsonval Meter with Full Wave Rectification

عند استخدام أجهزة قياس دارسونفال ذات الملف المتحرك في دوائر التيار المتردد بطريقة التوحيد النصف موجي ظهرت بعض العيوب أهمها انخفاض حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد قياساً بحساسيته لقياس الجهد المستمر. ولمعالجة هذه العيوب التي نشأت نتيجة التوحيد النصف موجي، فمن الأفضل استخدام توحيد الموجة الكاملة وذلك لرفع حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد. شكل رقم (٢- ١٨) يوضح دائرة توحيد الموجة الكاملة التي تستخدم نظام التوحيد باستخدام قنطرة التوحيد



شكل رقم (٢- ١٨) دائرة توحيد الموجة الكاملة المستخدمة لقياس الجهد المتردد.

ويلاحظ هنا أن نصف الموجة السالب قد أصبح موجباً، وعليه سوف يتعرض الجهاز في هذه الحالة إلى عزم انحراف متساو في كل نصف موجة موجب. وعزم الانحراف اللحظي في هذه الحالة (حالة الموجة الكاملة) يتغير، تبعاً للموجة، من قيمة الصفر إلى قيمة عظمى ثم الصفر خلال فترة زمنية تعادل نصف الموجة ويتكرر هذا باستمرار. وعلى هذا يمكن اعتبار عزم الانحراف الخاص بالموجة الكاملة هو القيمة المتوسطة لها الذي يتساوى في نفس الوقت مع القيمة المتوسطة لنصف الموجة. وحيث إن جهاز القياس يقيس القيمة المتوسطة والتي تساوي:

$$\therefore E_{av} = \frac{2}{\pi} E_{max} = 0.636 E_{max} \quad (٢- ٤٦)$$

$$\therefore E_{max} = 1.414 E_{r.m.s} \quad (٢- ٤٧)$$

(٢- ٤٨)

$$\therefore E_{av} = 0.636 \times 1.414 E_{r.m.s} = 0.9 E_{r.m.s}$$

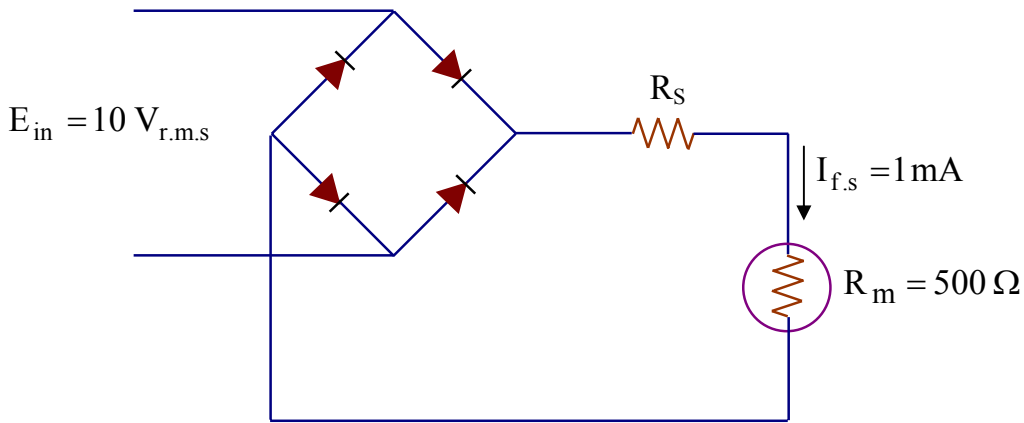
(٢- ٤٩)

$$\therefore E_{r.m.s} = \frac{E_{av}}{0.9} = 1.11 E_{av}$$

وبالتالي فإن العدد [١,١١] هو النسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة أو ما يطلق عليه معامل الشكل، وبالتالي فإنه عندما يقيس جهاز القياس القيمة المتوسطة، يتم معايرة تدرجه ليقرأ القيمة الفعالة وذلك بضرب قيمة ما يقيسه في معامل الشكل ليعطى القيمة الفعالة مباشرة. وبسبب تصحيح القراءة بضربها في معامل الشكل الخاص بالموجة الجيبية، فإن التدرج لا يكون مناسباً لقراءة القيمة الفعالة إلا إذا كان التيار المتردد جيبي الموجة، أي أنه غير صالح لقياس الأنواع الأخرى من الأشكال الموجية.

مثال رقم (٢- ٨)

جهاز دارسونفالد ذو الملف المتحرك والمعدل لقراءة التيار المتردد بتوحيد موجة كاملة كما هو موضح بشكل رقم (٢- ١٩)، احسب قيمة المقاومة المتوالية، إذا كان دخل الجهاز $10 V_{r.m.s}$.



شكل رقم (٢- ١٩) دائرة قياس الجهد الكهربائي المتردد للمثال رقم (٢- ٨).

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر:

$$S_{d.c} = \frac{1}{I_{FS}} = \frac{1}{1 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega / \text{V}$$

ثم نحسب القيمة المتوسطة للجهد بعد توقيده:

$$E_{d.c} = 0.9 \times E_{r.m.s} = 0.9 \times 10 V_{r.m.s} = 9 \text{ V}$$

ثم من قانون المقاومة الكلية:

$$R_T = S_{d.c} \times E_{d.c} = 1k\Omega / V \times 9 V = 9 k\Omega = R_S + R_m$$

$$\therefore R_S = 9 k\Omega - 500 \Omega = 8.5 k\Omega$$

مثال رقم (٢ - ٩)

جهاز دارسونفالد ذو الملف المتحرك والمعدل لقراءة التيار المتردد بتوحيد موجة كاملة كما هو موضح بشكل رقم (٢ - ٢٠)، إذا كانت مقاومة الموحد الشائئي الأمامية 50Ω ومقاومته العكسية لانهائية، احسب:

(أ) قيمة المقاومة المتواليية R_S .

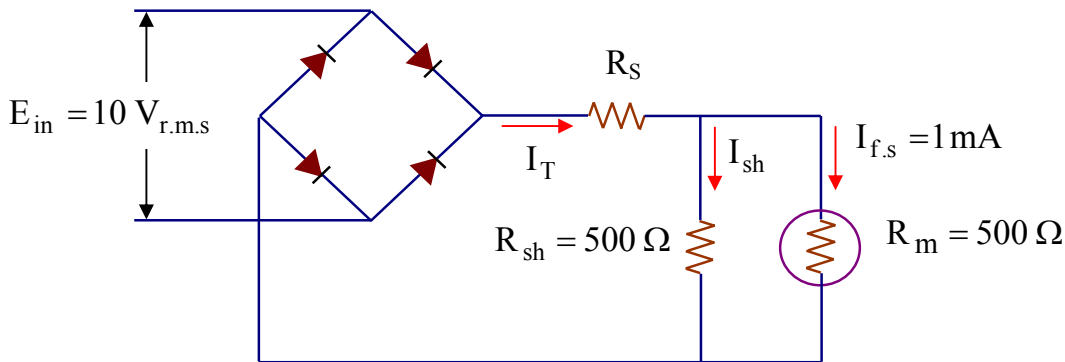
(ب) قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر.

(ج) قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد.

الحل

(أ) لحساب قيمة المقاومة المتواليية R_S نبدأ بحساب القيمة المتوسطة للجهد بعد تويحيده:

$$E_{d.c} = 0.9 \times E_{r.m.s} = 0.9 \times 10 V_{r.m.s} = 9 V$$



شكل رقم (٢ - ٢٠) دائرة قياس الجهد الكهربائي المتردد للمثال رقم (٢ - ٩).

ثم نحسب قيمة التيار الموازي المار في المقاومة الموازية للجهاز:

$$I_{sh} \times R_{sh} = I_m \times R_m = 1 mA \times 500 \Omega = 0.5 V$$

$$I_{sh} = \frac{0.5 V}{500 \Omega} = 1 mA$$

وبجمع التيارين نحصل على التيار الكلي I_T :

$$I_T = I_m + I_{sh} = 1 \text{ mA} + 1 \text{ mA} = 2 \text{ mA}$$

ثم نحسب قيمة المقاومة الكلية R_T :

$$R_T = \frac{E_{d.c}}{I_T} = \frac{9 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 4.5 \text{ k}\Omega$$

ثم نحسب قيمة المقاومة المتوالية R_S :

$$R_T = R_S + 2R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$4.5 \text{ k}\Omega = R_S + 2 \times 50 + \frac{500 \Omega \times 500 \Omega}{500 \Omega + 500 \Omega}$$

$$R_S = 4.5 \text{ k}\Omega - 350 \Omega = 4.15 \text{ k}\Omega$$

(ب) لحساب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المستمر:

$$R_T = S_{d.c} \times E_{d.c}$$

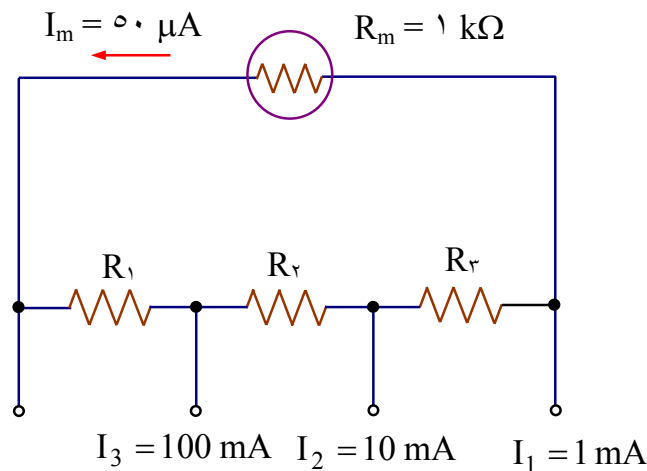
$$S_{d.c} = \frac{R_T}{E_{d.c}} = \frac{4.5 \text{ k}\Omega}{9 \text{ V}} = 500 \Omega / \text{V}$$

(ج) لحساب قيمة حساسية الجهاز لقراءة الجهد المتردد:

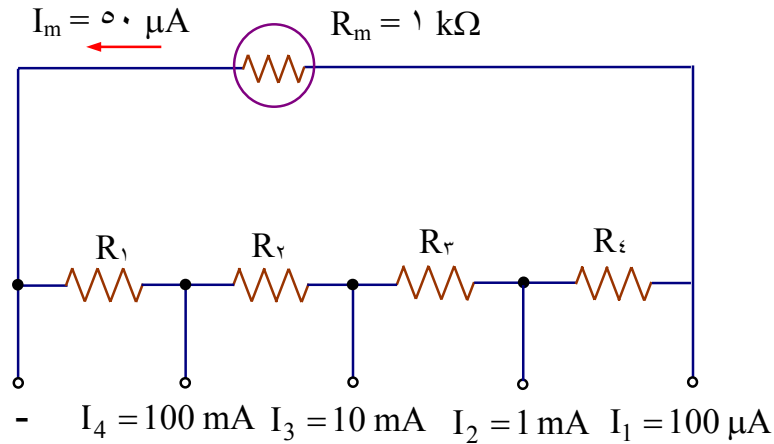
$$S_{a.c} = \frac{R_T}{E_{r.m.s}} = \frac{4.5 \text{ k}\Omega}{10 \text{ V}_{r.m.s}} = 450 \Omega / \text{V}$$

تدريبات على الوحدة الثانية

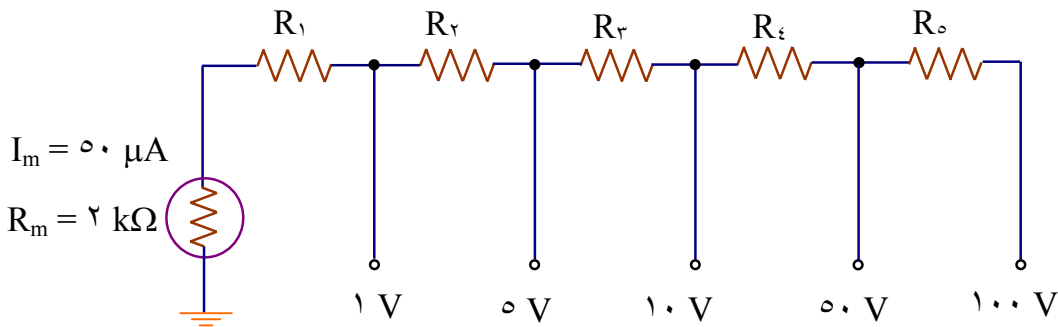
- (١) احسب الانخفاض في الجهد عبر جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك حيث مقاومته الداخلية تساوي 850Ω والتيار أقصى انحراف يساوي $100 \mu A$.
- (٢) احسب المقاومة المتوالية اللازمة لتمكين جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك من قياس جهد مستمر قيمته $150 V$ إذا كان تيار أقصى انحراف له يساوي $200 \mu A$.
- (٣) احسب تيار أقصى انحراف لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك إذا كانت حساسيته تساوي $20 k\Omega/V$.
- (٤) احسب قيمة المقاومة المتوالية اللازمة لتمكين جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك من قراءة تيار قدره $150 mA$ إذا كان تيار أقصى انحراف له يساوي $1 mA$ وكانت مقاومته الداخلية تساوي 105Ω .
- (٥) أي من الجهازين التاليين يحظى بحساسية أكبر (المقاومة الداخلية لكليهما تساوي $2 k\Omega$) :
 (أ) جهاز A حيث مدى قراءته $10 V$ ومقاومته المتوالية تساوي $18 k\Omega$.
 (ب) جهاز B حيث مدى قراءته $300 V$ ومقاومته المتوالية تساوي $298 k\Omega$.
- (٦) احسب قيمة المقاومات R_1 , R_2 & R_3 لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك المجهز لقياس تيارات مختلفة كما هو مبين بالشكل التالي:



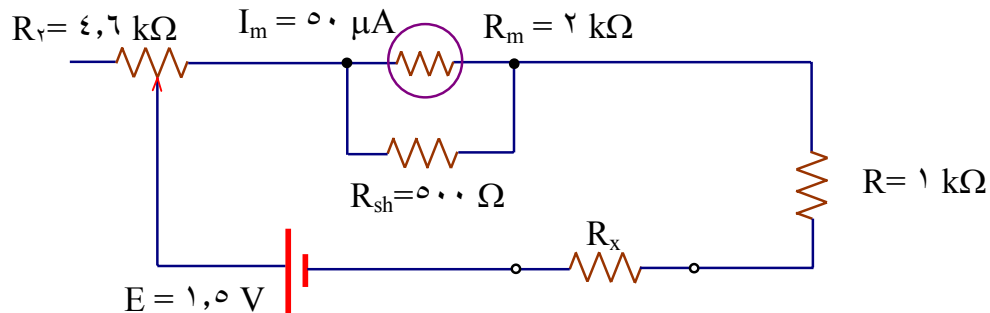
(٧) احسب قيمة المقاومات R_1, R_2, R_3 و R_4 لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك المجهر لقياس تيارات مختلفة كما هو مبين بالشكل التالي:



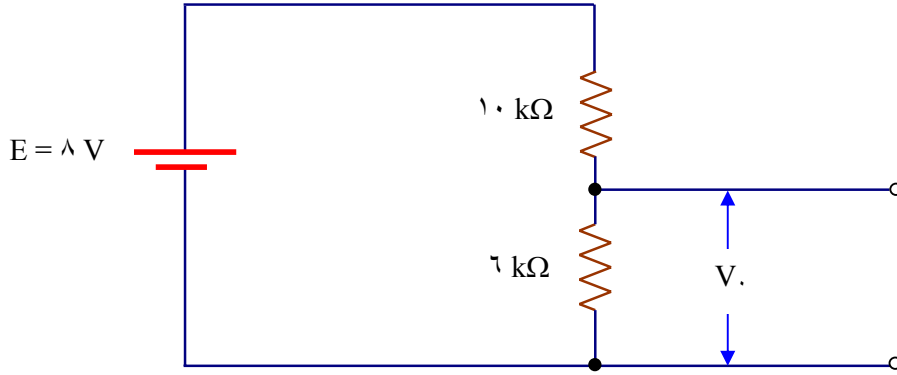
(٨) احسب قيمة المقاومات $R_1 - R_5$ لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك المجهر لقياس جهود كهربائية مختلفة كما هو مبين بالشكل التالي:



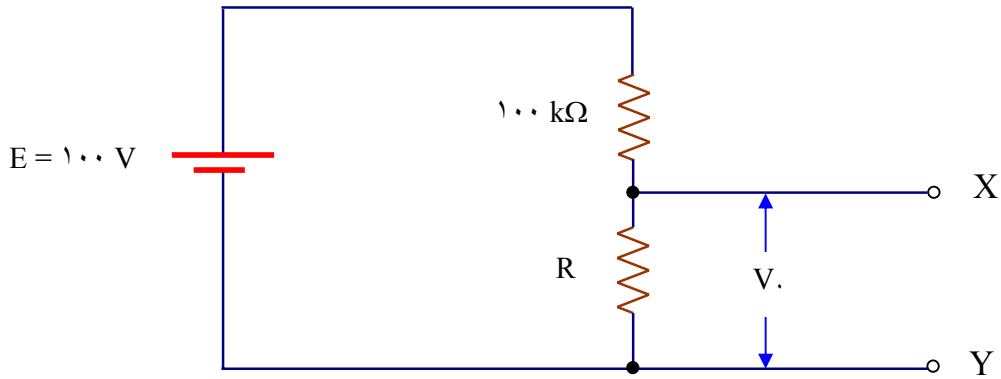
(٩) لجهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك المجهر لقراءة المقاومة الكهربائية، احسب قيمة R_x في الشكل التالي، إذا كانت قراءة الجهاز في منتصف التدرج.



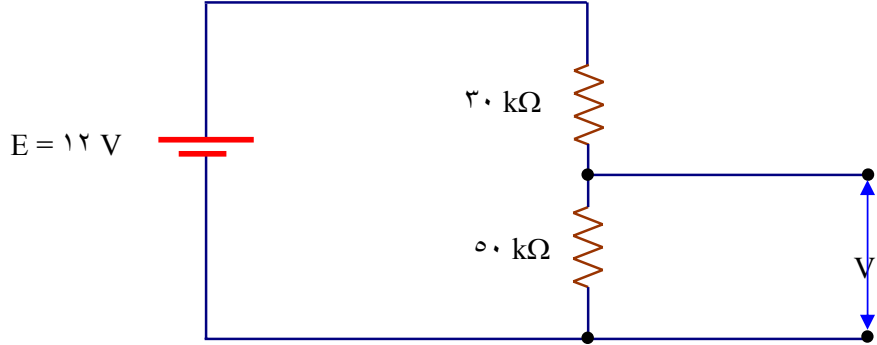
(١٠) تم قياس الجهد على المقاومة $6 \text{ k}\Omega$ في الشكل التالي، عن طريق جهاز لقياس الجهد الكهربائي ذو حساسية $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ؛ فإذا كان للجهاز أكثر من مدى للقراءة كالاتي: 1 V , 5 V , 10 V , 100 V ، فما هو أكثر مدى حساسية للقراءة الذي يمكن استخدامه للحصول على نسبة خطأ أقل من ٣٪ بسبب تحميل الجهاز.



(١١) استخدم جهاز A لقياس الجهد الكهربائي ذا حساسية $5 \text{ k}\Omega/\text{V}$ بين الطرفين X, Y في الشكل التالي فكانت القراءة 15 V على مدى القراءة 30 V ، استخدم جهاز B لقياس الجهد الكهربائي بين الطرفين X, Y فكانت القراءة 16.12 V على مدى القراءة 50 V احسب حساسية الجهاز B.



(١٢) تم قياس الجهد على المقاومة $50 \text{ k}\Omega$ في الشكل التالي عن طريق جهاز لقياس الجهد الكهربائي ذي حساسية $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ وبدقة قياس $\pm 2\%$ عند أقصى انحراف للجهاز عند مدى قياس 10 V فما هي أقل قراءة يمكن للجهاز قراءتها؟



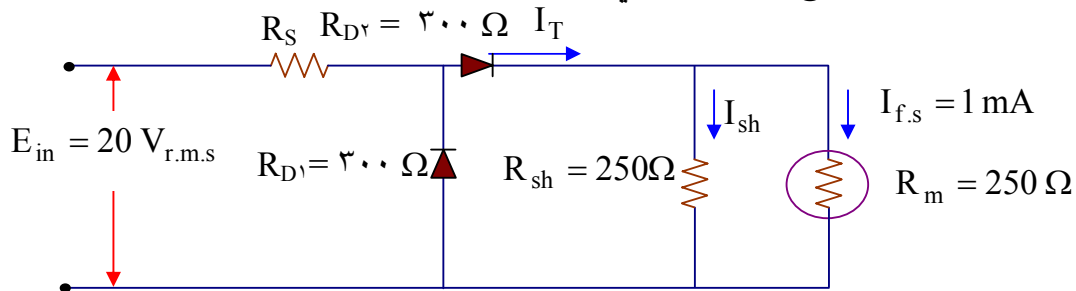
(١٣) إذا كان التيار المار في جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك (المجهاز لقياس تيار متردد) يساوي ١٥٠ μA_{peak} ، فما هي القيمة المتوسطة للتيار إذا كان الجهاز يستخدم توحيد النصف موجة؟

(١٤) انحرف مؤشر جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك (المجهاز لقياس تيار متردد) ليبين القيمة ٠,٨ mA، فما هي القيمة العظمى للتيار المتردد إذا كان الجهاز يستخدم توحيد النصف موجة؟

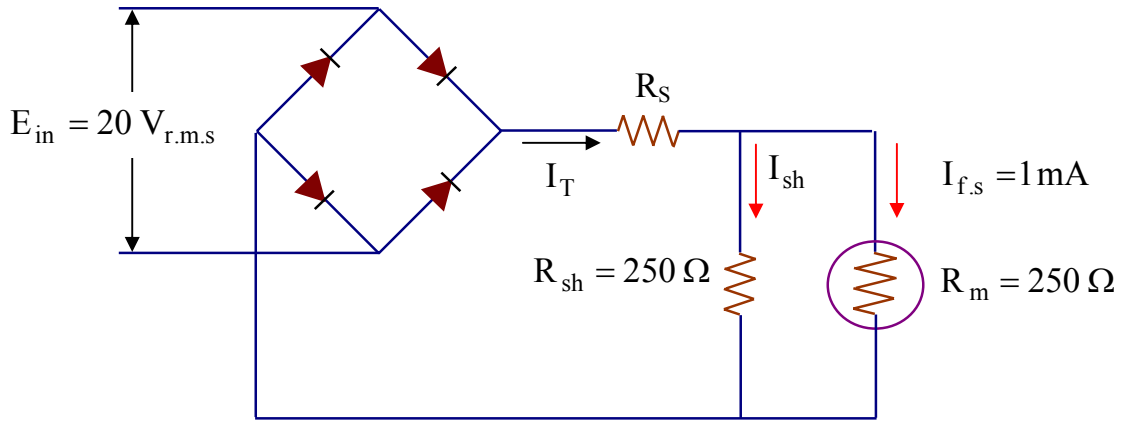
(١٥) إذا كان تيار التدرج الأقصى لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك يساوي ١ mA ومقاومته الداخلية تساوي 500Ω ، فإذا استخدم الجهاز مع توحيد النصف موجة لقياس الجهد المتردد، احسب حساسية الجهاز لقياس الجهد المستمر وحساسيته لقياس الجهد المتردد واحسب كذلك قيمة المقاومة المتوالية اللازمة لتمكين الجهاز من قياس جهد $30 V_{rms}$.

(١٦) إذا كان تيار التدرج الأقصى لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك يساوي $200 \mu A$ ومقاومته الداخلية تساوي 500Ω ، فإذا استخدم الجهاز مع توحيد الموجة الكاملة لقياس الجهد المتردد، احسب قيمة المقاومة المتوالية اللازمة لتمكين الجهاز من قياس جهد لمنحنى جيبي قدره $50 V_{p-p}$.

(١٧) لجهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك (المجهاز لقياس جهد متردد) احسب حساسية الجهاز لقياس الجهد المستمر وحساسيته لقياس الجهد المتردد وكذلك المقاومة المتوالية اللازمة للحد من التيار عند قيمة أقصى تدرج للشكل التالي:



(١٨) لجهاز دارسونفالد ذي الملف المتحرك (المجهز لقياس جهد متردد) احسب حساسية الجهاز لقياس الجهد المستمر وحساسيته لقياس الجهد المتردد وكذلك المقاومة المتوالية اللازمة للحد من التيار عند قيمة أقصى تدريج للشكل التالي (مقاومة الانحياز الأمامي لمقوم التيار تساوي 300Ω).





قياسات وأجهزة

أجهزة القياس الرقمية

أجهزة القياس الرقمية

٢

الأهداف العامة للوحدة الثالثة

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

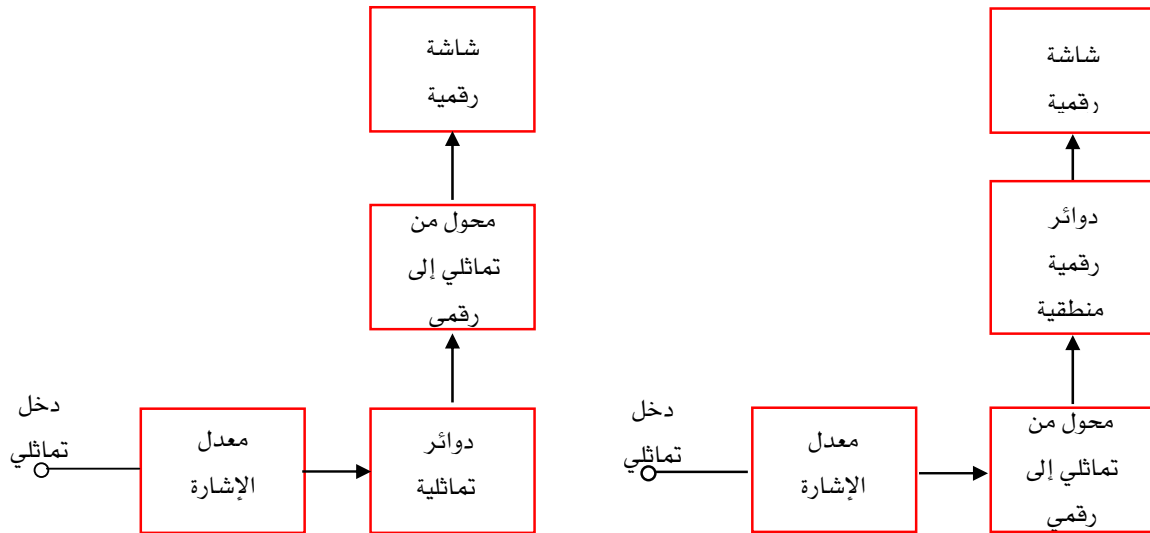
- معرفة الفرق بين أجهزة القياس الرقمية والتماثلية.
- معرفة نظرية عمل وتطبيقات أجهزة قياس الجهد ذات الميل الواحد.
- معرفة نظرية عمل وتطبيقات أجهزة قياس الجهد ذات الميل المزدوج.
- كيفية عمل أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات.

٣-١ مقدمة (Introduction)

تقدم أجهزة القياس الرقمية مزايا عديدة بالمقارنة مع غيرها من أجهزة القياس التماثلية (أجهزة القياس ذات الملف المتحرك - جهاز قياس الجهد الإلكتروني)، وتشمل هذه المزايا السرعة الأكبر والدقة العالية وانخفاض الأخطاء الناتجة عن مستخدم الجهاز، وكذلك قابلية توفير القياسات الآلية في تطبيقات الأنظمة المختلفة.

وحيث إن المعاملات (parameters) الطبيعية في عالمنا تتم بشكل تماثلي، فإنه لكي يتم قياس هذه المعاملات بواسطة الأجهزة الرقمية، يجب تحويلها أولاً إلى الشكل الرقمي.

وهناك فرق واضح بين أجهزة القياس الرقمية وأجهزة القياس ذات القراءة الرقمية، حيث إن الجهاز الرقمي هو الذي تكون دوائر القياس به ذات تصميم رقمي كما في شكل رقم (٣-١ أ)). أما الجهاز ذو القراءة الرقمية هو الذي تكون دوائر القياس به ذات تصميم تماثلي بينما وسيلة البيان به لها تصميم رقمي كما في شكل رقم (٣-١ ب)). وعلى ذلك فإن جهاز القياس ذا القراءة الرقمية لا يعطي دقة أكثر من الجهاز التماثلي العادي ولكن المبين الرقمي يوفر إمكانية سرعة وسهولة القراءة لنتيجة القياس.



(ب) أجهزة القياس ذات القراءة الرقمية

(أ) أجهزة القياس الرقمية

شكل رقم (٣-١) الرسم التخطيطي لأجهزة القياس الرقمية وأجهزة القياس ذات القراءة الرقمية.

٣- ٢- أجهزة قياس الجهد الرقمية (Digital Voltmeters [DVM])

أجهزة قياس الجهد الرقمية تبين قياسات الجهد المستمر والمتردد بشكل رقمي بدلا من المؤشر في الأجهزة التماثلية. وتتكون أجهزة قياس الجهد الرقمية عادة من ثلاثة أجزاء رئيسية: المحول من التماثلي إلى الرقمي (A/D Converters)، وحدات العد العشري (Decade Counting Units) والجزء الخاص بالعرض الرقمي (Display Unit) ويمكن تقسيم أجهزة قياس الجهد الرقمية من حيث التصميم الداخلي إلى أربعة أنواع رئيسية هي:

١. أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-slope DVM's)

٢. أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج (Dual-slope DVM's)

٣. محولات الجهد إلى تردد (Voltage-to-Frequency Converters)

٤. أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات التقريب المتتالي (Successive-Approximation DVM's)

وسوف نكتفي هنا بشرح النوعين الأول والثاني فقط.

٣- ٢- ١- أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)

يعتبر هذا النوع من أجهزة قياس الجهد الرقمية من الأنواع الرخيصة الثمن، والفكرة الرئيسية لعمل هذا الجهاز تقوم على فكرة تحويل قيمة الجهد التماثلي إلى زمن يتناسب خطيا مع قيمة هذا الجهد، حيث يمكن بعد ذلك استخدام دوائر العد العشرية لبيان الزمن في شكله الرقمي.

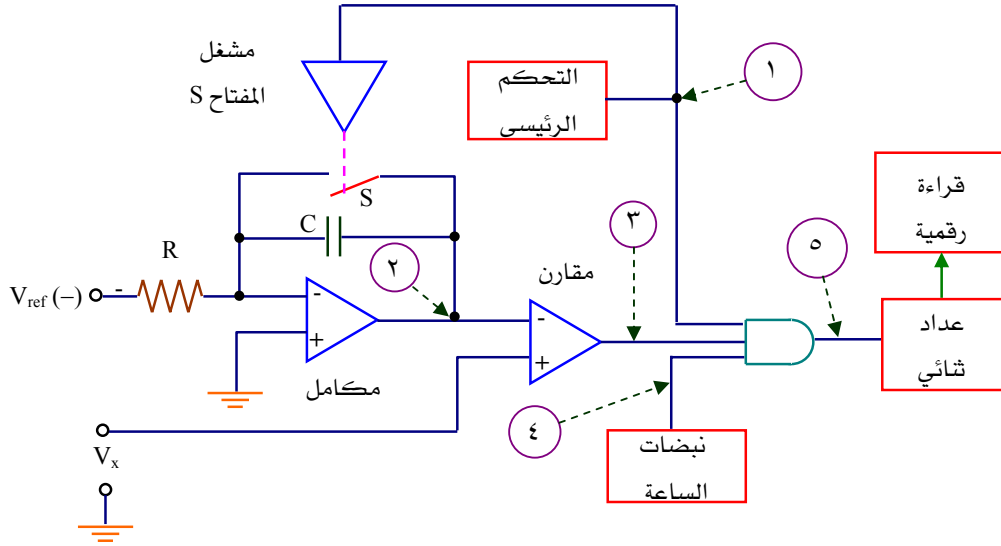
شكل رقم (٣- ٢) يوضح دائرة جهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد، ونلاحظ أن الدائرة لها دخلان، أحدهما هو الجهد المقارن ($-V_{ref}$)، ونلاحظ أنه سالب الإشارة والآخر جهد الدخل غير المعروف أو المراد تحويله (V_x) وهو موجب الإشارة. وتتكون الدائرة من دائرة المكامل (Integrator) ومقارن للجهد (Comparator)، بالإضافة إلى بوابة (AND) ودائرة عداد (Counter) بالإضافة إلى دائرة عرض رقمية (digital readout). ويمكن قياس الجهد غير المعروف كالاتي:

١. يوصل الجهد الموجب المراد قياسه على الطرف غير العاكس لمقارن الجهد.

٢. تولد البوابة الرئيسية للتحكم (main gate control) نبضة موجبة (المضمنة رقم (١) في شكل رقم (٣- ٣))، فتعمل على فتح المفتاح S عند الحافة الصاعدة لها (leading edge)، وأيضا تجعل الدخل العلوي للبوابة AND يساوي الواحد [High].

٣. عندما يكون المفتاح S مفتوحا، يبدأ المكثف C في الشحن خطيا من الصفر إلى الاتجاه الموجب. هذه الإشارة المتزايدة من دائرة المكامل تمثل الجهد على الطرف العاكس لمقارن الجهد [المضمنة رقم (٢) في شكل رقم (٣- ٣)].

٤. خرج مقارن الجهد يكون عاليا [High] طالما الجهد غير المعلوم (V_x) أكبر من خرج دائرة المكامل [المضمنة رقم (٣) في شكل رقم (٣- ٣)]. ، مما يجعل الطرف الأوسط للبوابة AND يكون عاليا [High].

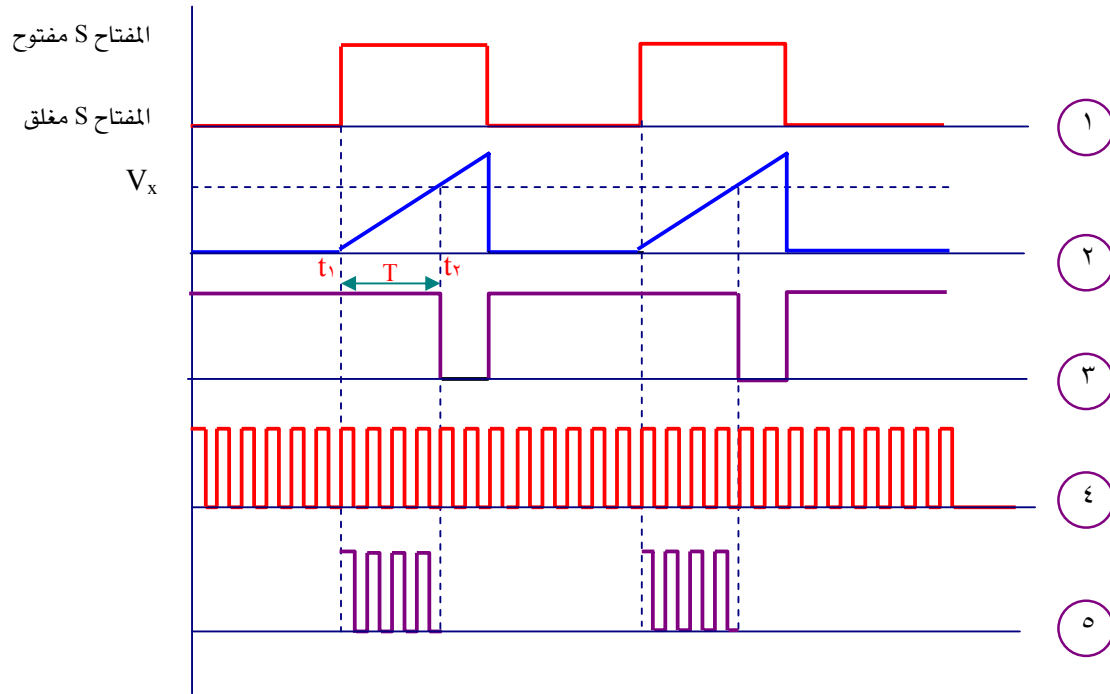


شكل رقم (٣- ٢) جهاز قياس جهد رقمي ذو ميل واحد.

٥. مجموعة النبضات المولدة من مولد نبضات الساعة Clock [المضمنة رقم (٤) في شكل رقم (٣- ٣) - (٣)] تكون مسطرة على الدخل الثالث للبوابة AND ، وبما أن الطرفين الأول والثاني للبوابة [High] ، يكون خرج البوابة عبارة عن مجموعة من النبضات المتوالية [المضمنة رقم (٥) في شكل رقم (٣- ٣)] والتي يمكن عدها عن طريق العداد الثنائي (Binary Counter).
٦. عندما تصل الشحنة على المكثف إلى مستوى أعلى بقليل من V_x ، يتحول خرج مقارن الجهد إلى الصفر ، وهذا يعني أن خرج البوابة AND في هذه اللحظة يساوي صفرا ، فتمنع مرور نبضات الساعة (Clock) إلى العداد الثنائي فيتوقف عن العد.
٧. الآن العد المختزن في العداد الثنائي يتناسب مع الدخل غير المعلوم V_x ، ويظهر على شاشة العرض الرقمي (digital readout) كقيمة الجهد غير المعلوم.
٨. بعد مدة زمنية قصيرة ، والتي تحدد عن طريق بوابة التحكم الرئيسية (main gate control) ، يهبط الخرج من بوابة التحكم الرئيسية إلى الصفر. الحافة الهابطة (falling edge) من هذه النبضة

تتسبب في إغلاق المفتاح S، والذي يسبب تفريغ المكثف C، مما يمنع مرور أي نبضات حتى بداية الدورة القادمة.

شكل رقم (٣- ٣) يبين الأشكال المختلفة للإشارات عند كل نقطة في الدائرة كما هو موضح في شكل رقم (٣- ٢) وهو ما يسمى (Timing Diagram).



شكل رقم (٣- ٣) أشكال الإشارات عند نقط مختلفة بالدائرة.

والآن سوف نثبت أن الفترة الزمنية (T) والتي في أثناءها تمر مجموعة من النبضات إلى العداد الثنائي ليعدها، تتناسب مع قيمة الجهد المراد قياسه.

يمكن كتابة معادلة خرج دائرة التكامل $[V_{io}(t)]$ كما يلي:

$$V_{io}(t) = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^t -V_{ref} dt \quad (٣- ١)$$

$$\therefore V_{io}(t) = \frac{1}{RC} V_{ref} (t - t_1) \quad (٣- ٢)$$

حيث t_1 هي اللحظة الزمنية التي يبدأ المكثف عندها في الشحن، فإذا كانت t_r هي اللحظة التي عندها يتساوى خرج دائرة المكامل مع الجهد المراد قياسه:

$$\text{at } t = t_2 \Rightarrow V_{io}(t_2) = V_x \quad (3-3)$$

$$\therefore V_{io}(t_2) = V_x = \frac{1}{RC} V_{ref} (t_2 - t_1) \quad (4-3)$$

وبالتالي تكون الفترة الزمنية من t_1 إلى t_2 هي الزمن T المراد حسابه، وبناء على ذلك يمكن أن نقول:

$$T = t_2 - t_1$$

$$\therefore V_x = \frac{1}{RC} V_{ref} T \quad (5-3)$$

$$\text{or } T = RC \frac{V_x}{V_{ref}} \quad (6-3)$$

وبالنظر إلى المعادلة السابقة نجد أن الفترة الزمنية T تتناسب مباشرة مع الجهد المراد قياسه V_x . ومن أهم عيوب هذا النوع من الدوائر هو عدم استقرار الجهد بما فيه الكفاية، ويرجع ذلك إلى تأثير عملية تحويل الجهد إلى زمن بدرجة الحرارة (درجة الحرارة تؤثر على قيمة C , R بالمعادلة الأخيرة)، بالإضافة إلى ضرورة ثبات قيمة الجهد خلال فترة التحويل، ويتم التغلب على هذه العيوب في الأجهزة ذات الميل المزدوج.

مثال رقم (٣-١)

احسب الفترة الزمنية T من t_1 إلى t_2 لجهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد، إذا كانت قيمة المقاومة $R = 10 \text{ k}\Omega$ وقيمة سعة المكثف $C = 0.1 \mu\text{f}$ ، علماً بأن قيمة الجهد $V_x = 5 \text{ V}$ ، وقيمة الجهد المقارن $V_{ref} = -10 \text{ V}$.

الحل

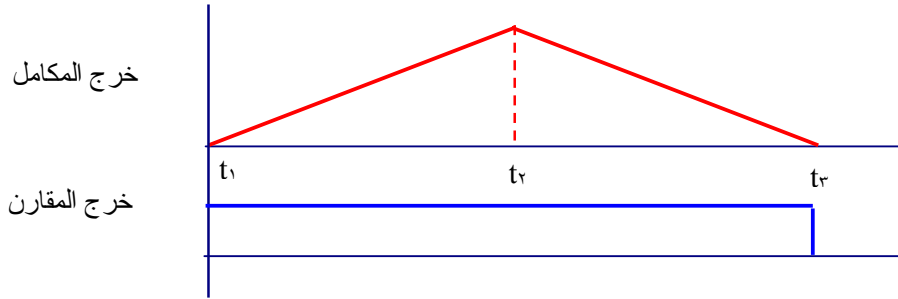
باستخدام المعادلة رقم (٣-٦)، نجد أن:

$$T = RC \frac{V_x}{V_{ref}} = 100 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} \times \frac{5}{10} = 5 \times 10^{-3} \text{ sec} = 5 \text{ m sec}$$

(Dual-Slope DVM's) ٣-٢ - ٢- أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج

هذا النوع من أجهزة قياس الجهد الإلكترونية له درجة عالية من المناعة ضد التشويش، ويوضح

شكل رقم (٣-٤) رسماً تخطيطياً لجهاز قياس جهد رقمي ذي ميل مزدوج.



شكل رقم (٣- ٥) موجة الخرج للمكامل والمقارن للدائرة في شكل رقم (٣- ٤).

٤. يبدأ العداد في العد إلى أن يصل للوضع الذي يزيد فيه عن مدى العداد وذلك عند الزمن t_3 في شكل رقم (٣- ٥)، فتولد نبضة تسمى [Overflow Pulse] والتي تجعل دائرة التحكم المنطقية تعمل على تحويل المفتاح S_1 إلى الوضع B، وبذلك يوصل الجهد المقارن V_{ref} إلى دخل المكامل، وفي نفس الوقت (at time t_3) يكون العداد في حالة تصفير (٠٠٠٠ ٠).

٥. يبدأ المكثف C في تفريغ شحنته بمعدل ثابت خلال الفترة من t_3 إلى t_4 وفي نفس الوقت يبدأ العداد في العد من جديد، ويستمر في العد إلى أن تصل الشحنة على المكثف صفراً عند الزمن t_4 ، فيصبح خرج مقارن الجهد يساوي صفراً [Low]، وبالتالي تمنع البوابة AND نبضات الساعة (Clock) من المرور إلى العداد فيتوقف عن العد، ويكون العدد الذي قد تم عدّه خلال الفترة من t_3 إلى t_4 ممثلاً لقيمة جهد الدخل.

٦. عند الزمن t_4 تقوم دائرة التحكم المنطقية بإرسال نبضة للمبين الرقمي لكي يظهر القيمة الرقمية لجهد الدخل.

يمكن كتابة معادلة الخرج للمكامل عندما يكون المفتاح S_1 على الوضع A كما يلي:

$$V_1(t) = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^t V_{in} dt \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (٣- ٧)$$

$$\therefore V_1(t) = -\frac{V_{in}}{RC} (t - t_1) \quad (٣- ٨)$$

$$\text{at } t = t_2 \Rightarrow V_1(t) = V_1(t_2) \quad (٣- ٩)$$

$$\therefore V_1(t_2) = -\frac{V_{in}}{RC} (t_2 - t_1) \quad (٣- ١٠)$$

$$\text{If } T_1 = t_2 - t_1 \quad (٣- ١١)$$

$$\therefore V_1(t_2) = -\frac{V_{in} T_1}{RC} \quad (٣- ١٢)$$

وفي خلال الفترة الزمنية لتفريغ المكثف، من t_2 إلى t_3 ، يكون الجهد $V_r(t)$ عند خرج المكامل كما يأتي:

$$V_2(t) = V_1(t_2) + \frac{1}{RC} \int_{t_2}^t V_{ref} dt \quad (٣- ١٣)$$

$$\therefore V_2(t) = V_1(t_2) + \frac{1}{RC} V_{ref} (t - t_2) \quad (٣- ١٤)$$

$$\text{at } t = t_3 \Rightarrow V_2(t_3) = 0 \quad (٣- ١٥)$$

$$\therefore \frac{1}{RC} V_{ref} (t_3 - t_2) = \frac{1}{RC} V_{in} T_1 \quad (٣- ١٦)$$

$$\text{If } T_2 = t_3 - t_2 \text{ therefore,} \quad (٣- ١٧)$$

$$V_{ref} T_2 = V_{in} T_1 \quad (٣- ١٨)$$

which equal,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \Rightarrow V_{in} = V_{ref} \frac{T_2}{T_1} \quad (٣- ١٩)$$

من المعادلة الأخيرة يمكننا القول بأن القيمة الرقمية طبقا لجهد الدخل المراد قياسه تتناسب مع الفترة الزمنية T_r .

مثال رقم (٣- ٢)

إذا كانت قيمة الجهد المقارن V_{ref} عند اللحظة t_r لجهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميلين هي $V \square ٥$ ،
فما هو مقدار الفترة الزمنية من t_r إلى $t_r \pm ٩$ علماً بأن قيمة الجهد $V_i = ١$ V وقيمة $T_1 = ١$ sec.

الحل

باستخدام المعادلة رقم (٣- ١٩) ، نحصل على:

$$T_2 = T_1 \times \frac{V_{in}}{V_{ref}} = 1 \times \frac{1}{5} = 0.2 \text{ sec}$$

٣- ٣ أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات (Digital Multimeter [DMM])

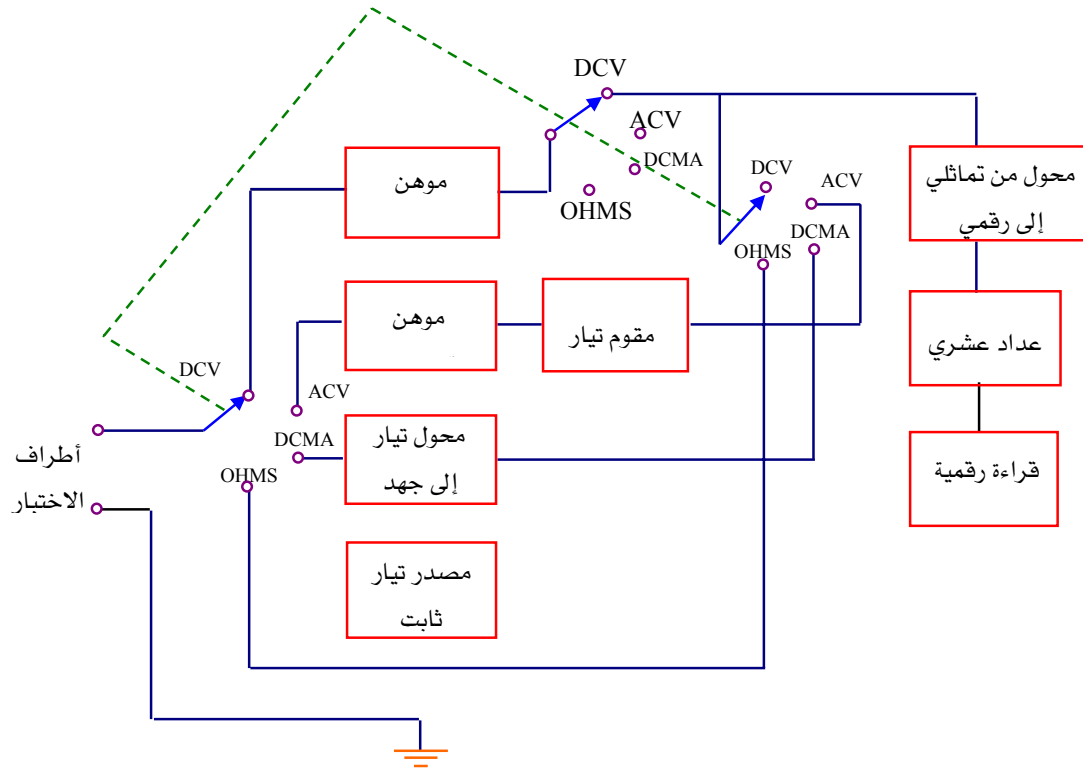
يتكون الجهاز الرقمي متعدد القياسات من أحد الأنواع المختلفة للمحولات التماثلية/الرقمية بالإضافة إلى دائرة عداد عشري (Decade Counter).

شكل رقم (٣- ٦) يبين رسماً تخطيطياً لجهاز قياس رقمي متعدد القياسات يحتوى على موهن عادي (Attenuator) في حالة قياس الجهد المستمر، وموهن متعادل (Compensated Attenuator) في حالة قياس الجهد المتردد، وجدير بالذكر أن عدداً كبيراً من أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات تستخدم موهناً واحداً لكل من قياسات الجهد المستمر والمتردد.

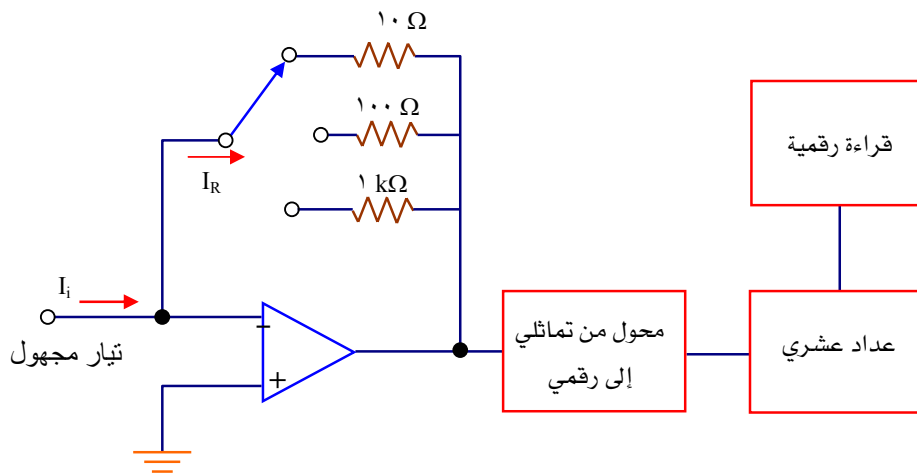
ويستخدم هذا الجهاز لقياس الجهد المستمر، الجهد المتردد، التيار المستمر والمقاومة. فعند قياس الجهد المستمر، يوصل الجهد عن طريق الموهن إلى دخل المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم المبين الرقمي، والذي يعرض قيمة رقمية تناظر قيمة الجهد المراد قياسه.

أما في حالة قياس الجهد المتردد، فيوصل الجهد عن طريق الموهن المتعادل ثم الموحد (Rectifier)، ثم يأخذ نفس خطوات قياس الجهد المستمر.

محول التيار إلى جهد (Current-to-Voltage Converter) المبين في شكل رقم (٣- ٦) يمكن تمثيله بالدائرة الموضحة في شكل رقم (٣- ٧). حيث التيار المراد قياسه يوصل على وصلة التجميع (Σ_i)، عند دخل المكبر التشغيلي. ونظراً لأن معاوقة الدخل للمكبر التشغيلي عالية جداً، فإن تيار الدخل للمكبر يساوي صفراً تقريباً، وبالتالي فإن التيار I_R يساوي تقريباً التيار I_i . التيار I_R يسبب فرق جهد (Voltage drop) على طرفي إحدى المقاومات الموضحة والذي يتناسب مع قيمة التيار المراد قياسه. يتم تحويل هذا الجهد إلى قيمة رقمية بواسطة المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم المبين الرقمي، والذي يعرض قيمة رقمية مناظرة لقيمة التيار المراد قياسه.



شكل رقم (٣-٦) رسم تخطيطي لجهاز قياس رقمي متعدد القياسات.



شكل رقم (٣-٧) رسم تخطيطي لمحول تيار إلى جهد.

وعند قياس قيمة مقاومة مجهولة فإنه يتم إمرار تيار معلوم القيمة من مصدر تيار ثابت خلال المقاومة المجهولة. ويوصل فرق الجهد الناتج بين طرفي المقاومة المجهولة إلى المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم المبين الرقمي الذي يعرض قيمة رقمية تناظر قيمة المقاومة المجهولة.

تدريبات على الوحدة الثالثة

١. وضح مستعيناً بالرسم الفرق بين أجهزة القياس الرقمية و أجهزة القياس ذات القراءة الرقمية.
٢. أذكر الأجزاء الرئيسية لأجهزة قياس الجهد الرقمية.
٣. أذكر الأنواع الرئيسية لأجهزة قياس الجهد الرقمية.
٤. أذكر الفكرة الرئيسية لعمل جهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد.
٥. اثبت أن الفترة الزمنية (T) والتي في أثناءها تمر مجموعة من النبضات إلى العداد الثنائي ليعدها، تتناسب مع قيمة الجهد المراد قياسه في حالة جهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد.
٦. اذكر الفكرة الرئيسية لعمل جهاز قياس الجهد الرقمي ذو الميل المزدوج.
٧. اذكر الفكرة الرئيسية لعمل جهاز قياس الجهد الرقمي متعدد القياسات.
٨. اذكر المكونات الرئيسية لعمل جهاز قياس الجهد الرقمي متعدد القياسات.
٩. ارسم دائرة محول التيار إلى جهد.



قياسات وأجهزة

راسمات الإشارة

راسمات الإشارة

٤

الأهداف العامة للوحدة الرابعة

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- رسم المخطط الصندوقي لجهاز راسم الإشارة.
- كيفية استخدام راسم الإشارة لمعرفة قيمة الجهد لموجة جيبية.
- كيفية استخدام راسم الإشارة لمعرفة قيمة التردد لموجة جيبية.
- كيفية استخدام راسم الإشارة لمعرفة قيمة زاوية الطور لموجة جيبية.

٤ - ١ مقدمة Introduction

قبل أن نبدأ في دراسة كيفية استخدام جهاز راسم الإشارة في إجراء القياسات المختلفة، سوف نتعرض أولاً لتركيب وطريقة عمل هذا الجهاز، وهو جهاز قياس إلكتروني، يستعمل بصفة عامة لمتابعة الأشكال الموجية، بالإضافة إلى إمكانية استعماله كجهاز للقياسات. فباستخدام هذه المبينة، يمكن قياس كميات مثل الجهد مع الفترة الزمنية وبطريقة مباشرة، وعند الاستعانة بمعدات أخرى مع هذه المبينة ففي الإمكان القيام بقياس التيار والمقاومة وكميات أخرى.

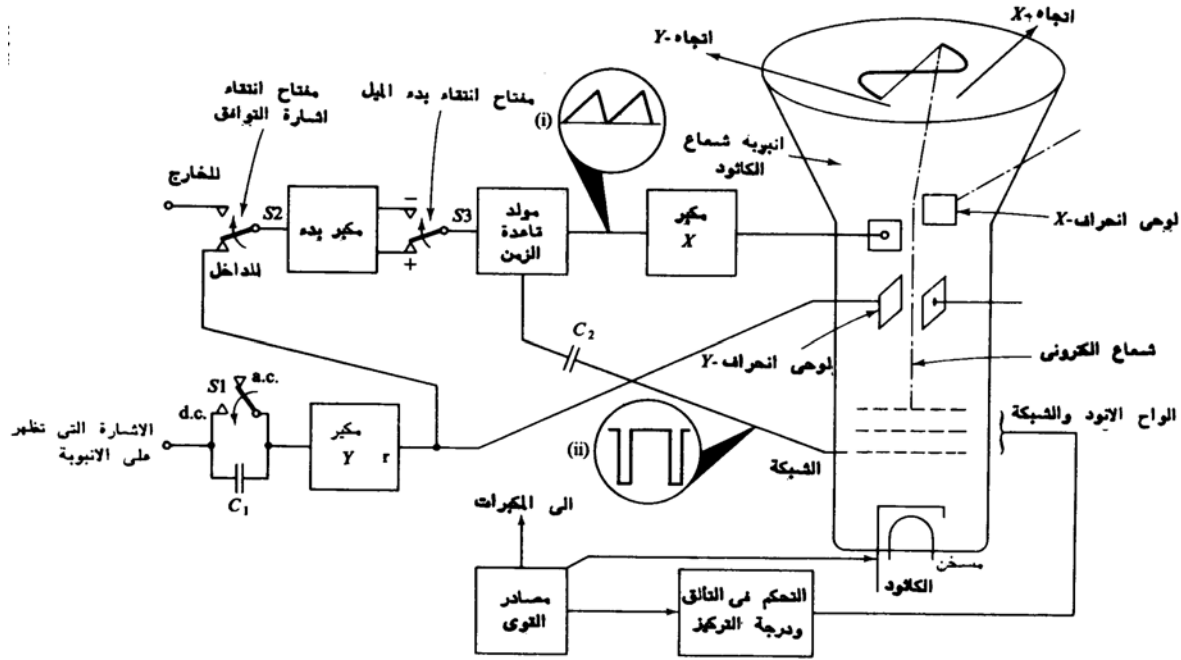
ويمتاز هذا الجهاز عن أجهزة القياس العادية - ذات المؤشر - بإمكانية البيان المرئي لأي تغيرات كهربائية فائقة السرعة، وذلك يرجع إلى أنه يستخدم حزمة من الإلكترونات بدلاً من المؤشر. ولما كانت كتلة الإلكترونات ضئيلة بحيث يمكن التغاضي عنها فإنها تستجيب شبه لحظياً إذا وقعت تحت تأثير قوة كهربائية أو مغناطيسية، وبهذا يمكننا بيان أي تغيرات كهربائية فائقة السرعة. ولجهاز راسم الإشارة استعمالات كثيرة تغطي جانباً كبيراً من حقل الإلكترونيات، وسوف نتعرض لبعض منها بعد الانتهاء من التركيب وطريقة العمل كما ذكرنا سابقاً.

٤ - ٢ المخطط الصندوقي لراسم الإشارة Oscilloscope Block Diagram

تمثل أنبوبة أشعة المهبط (Cathode-Ray Tube or CRT) قلب الجهاز النابض حيث يؤدي شعاع من الإلكترونات إلى ظهور نقطة مضيئة فوق شاشة الأنبوبة الفلورية (انظر شكل رقم (٤ - ١)). وعن طريق التحكم في حركة النقطة في كل من اتجاهي Y, X أي أفقياً ورأسياً على التوالي، يمكن رسم الأشكال الموجية فوق وجه الأنبوبة.

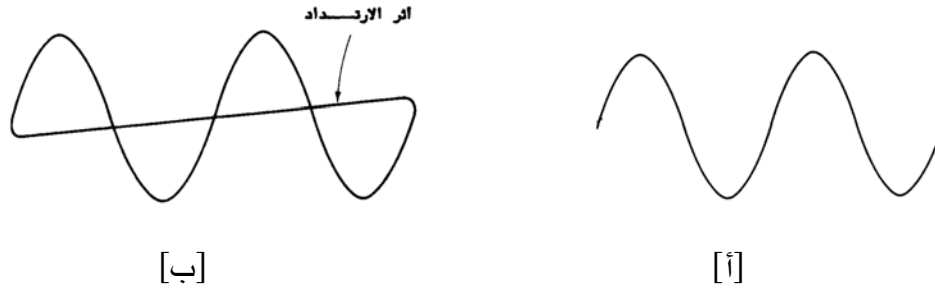
ويتم توصيل الإشارة المراد عرضها لمكبر الانحراف الرأسي Y والذي يقوم بتكبير جهد الإشارة المراد اختبارها إلى القيمة التي يحدث عندها انحراف محسوس للشعاع الإلكتروني في الاتجاه الرأسي، عن طريق المفتاح S_1 في شكل رقم (٤ - ١) وفي الوضع الموضح، تنقل الإشارة خلال المكثف C_1 والذي يقوم بدور المكثف عائق التيار المستمر، بحيث لا يسلط على المكبر سوى مكونات التيار المتردد من الإشارة. فإذا ما أريد التحقق من إشارة مؤلفة من التيارين المتردد والمستمر، يتم توصيل S_1 للوضع $d.c$ عند تسليط الإشارة المؤلفة إلى المكبر.

يسلط الخرج من المكبر Y إلى لوح انحراف Y ، مما يؤدي إلى انحراف الشعاع الإلكتروني بالأنبوبة في الاتجاه Y بمقدار يتناسب مع شدة الجهد المسلط بين اللوحين. ويتم أيضاً تسليط الخرج من هذا المكبر على دائرة قاعدة الزمن عن طريق مكبر بدء (preamplifier).



شكل رقم (٤ - ١) رسم تخطيطي للمكونات الرئيسية لجهاز راسم الإشارة.

يقوم مولد قاعدة الزمن (time base) بتوليد عدد من الأشكال الموجية لعل أهمها هو الشكل الموجي لقاعدة الزمن والذي يتمثل في موجة سن المنشار (saw tooth waveform)، وهذا الجهد يزداد خطياً مع الزمن ثم يقل فجأة إلى الصفر. ويغذي هذا الجهد إلى الألواح الأفقية لتحريك الشعاع الإلكتروني داخل الأنبوبة بسرعة ثابتة في الاتجاه الأفقي (اتجاه - X). ويجب أن تكون قيمة هذا التردد قابلة للتغيير حتى يمكن جعل النسبة العددية بينه وبين تردد الإشارة موضوع الاختبار عدداً صحيحاً. ويتولى جزء الجهاز الخاص بقاعدة الزمن بالإضافة إلى ذلك، توليد نبضات يتم تسليطها على شبكة الأنبوبة عبر المكثف C_p وتعرف الموجة النبضية أيضاً، باسم الموجة النبضية الماسحة، والغرض منها الإقلال من تألق النقطة المضيئة فوق الشاشة إلى درجة الصفر في الفترة بين نهاية كل مسح في اتجاه - X وبداية المسح التالي. وتسمح هذه الخاصية للمشاهد أن يرى موجة الدخول فقط معروضة فوق الشاشة. ويوضح الشكل رقم (٤ - ٢) [أ]، [ب] عرضين مألوفين بإجراء عملية مسح وبدون إجراء أي مسح على التوالي.



شكل رقم (٤ - ٢) عرض الأشكال الموجية [أ] مع تسليط نبضات للمسح، [ب] بدون نبضات للمسح.

وفي أثناء متابعة الأشكال الموجية، فمن الأنسب دفع قاعدة الزمن لأن تبدأ عملية المسح عندما يصبح معدل التغير موجب الإشارة. ويوجد مفتاح S_2 [في شكل رقم (٤ - ١)] لمعظم مبيينات الذبذبات يسمح بتنفيذ هذا الانتقال، وقد يكون بدء تشغيل قاعدة الزمن عندما يكون ميل الإشارة الواردة سالبا، ومن الممكن انتقاء هذا البدء بواسطة نفس المفتاح.

غالبا ما يتطلب أن يتزامن العرض فوق الشاشة مع الإشارة المراد مشاهدتها، أو في بعض الأحيان مع مصدر إشارات منفصل، والمفتاح S_2 في شكل رقم (٤ - ١) يسمح بتحقيق هذا الوضع. إذ إنه يسمح بتحول مهمة التحكم في دائرة قاعدة الزمن إما إلى الإشارة الواردة أو إلى إشارة أخرى خارجية.

ولمعظم مبيينات الذبذبات مقياس مدرج يعرف باسم مقياس العينية (graticule) ويبدو فوق شاشة بلاستيك شفافة في مقدمة أنبوبة أشعة المهبط (الشاشة). ويسمح هذا باستخدام راسم الإشارة كجهاز للقياسات. وتتعلق المضابط في أسفل الواجهة بالمكبر الرأسي Y، وتحوي مفتاحا للتيارين المتردد والمستمر S_1 [في شكل رقم (٤ - ١)]، مع مضبطة للكسب Y [تحت علامة VOLTS/DIV] وضبط الإزاحة Y. ويستطيع مشغل الجهاز أن يزحزح كل الأثر أما إلى أعلى أو إلى أسفل في الاتجاه Y بواسطة المضبطة للإزاحة Y المتغير. والغرض من مفتاح VOLTS/DIV هو تغيير كسب جهد المكبر Y حتى يمكن متابعة الإشارات الصغيرة أو الكبيرة المقدار.

وتسمح المضبطة المتغيرة تحت اسم [TRIGGER LEVEL] في الواجهة لمشغل الجهاز أن ينتقي نقطة البدء للموجة المعروضة. وعند الاستخدام العادي، تدار مضبطة Trigger level إلى وضع AUTO، وفي هذا الوضع، يمكن التحكم في البدء بضبط وضع مفتاح انتقاء بدء الميل [بين علامتي "+", "-", "-"].

وتحوي الواجهة اليمنى من راسم الإشارة مضبطة قاعدة الزمن شاملة على VARIABLE CONTROL ومفتاح TIME/DIV. وتكون تدريجات قاعدة الزمن عند مفتاح TIME/DIV صحيحة

فقط في حالة إدارة مفتاح VARIABLE CONTROL إلى وضع Calibrate الخاص بها. ويسمح مفتاح shift- X المتغير لمشغل الجهاز أن يزحزح كل الأثر إما إلى اليسار أو اليمين - فوق الشاشة. ولتكملة وصف المضابط، فهناك مضبطة تسمى INTENSITY وأخرى تسمى FOCUS في واجهة الجهاز. وتسمح هذه المضابط بتحقيق الأغراض المذكورة، أي أنها تسمح لمشغل الجهاز بتغيير شدة الإضاءة ودرجة التركيز على التوالي للنقطة المضيئة (أو الأثر) فوق الشاشة.

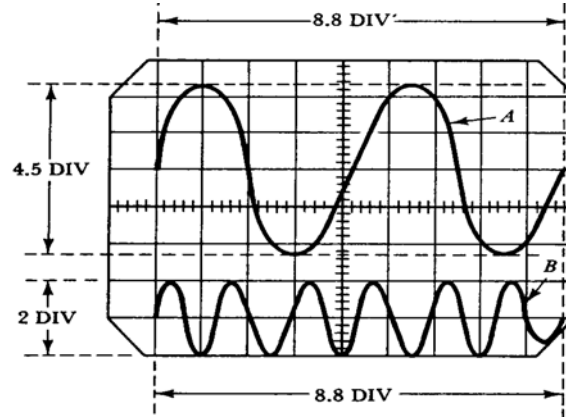
٤ - ٣ استخدام راسم الإشارة كجهاز لقياس Oscilloscope as a measuring instrument

إن أكثر استخدامات راسم الإشارة على وجه الإطلاق هو للمتابعة العامة للأشكال الموجية في الدوائر. وعادة يبلغ عرض نطاق راسم الإشارة قليل التكلفة من ١٠ MHz - ٢، ويعتبر هذا كافياً لسد احتياجات معظم مستخدمي الجهاز.

وعندما يستخدم الجهاز لقياس الفترات الزمنية، يصبح من الضروري أولاً أن يتم معايرة قاعدة الزمن (Calibration) باستخدام مصدر ترددات معلومة. ولكثير من الأجهزة بالداخل مصدر إشارة سبق معايرته بكل دقة. فإذا لم يكن هذا هو الحال، فإن مصدر تغذية التيار المتردد يعتبر على درجة معقولة من الدقة بحيث يمكن استخدامه كإشارة معايرة. فإذا كان تردد المنبع ٥٠ Hz، ومع ضبط مفتاح TIME/DIV عند ١٠ ms/div فيجب أن تظهر خمس دورات كاملة لشكل مصدر الجهد الموجي في عرض قدره ١٠ div من المقياس العيني.

٤ - ٣ - ١ استخدام راسم الإشارة كجهاز لقياس الجهد المتردد Voltage Measurements

يمكن بسهولة قياس الجهد المتردد (من القمة إلى القمة) لأي موجة تظهر على شاشة جهاز راسم الإشارة. شكل رقم (٤ - ٣) يوضح موجتين جيبيتين (sine waves). الموجة A لها جهد (من القمة إلى القمة) مقداره ٤,٥ div من المقياس العيني، بينما الموجة B لها جهد (من القمة إلى القمة) مقداره ٢ div من المقياس العيني. فإذا فرضنا أن وضع مضبط الكسب الرأسي [VOLTS/DIV] عند ١٠٠ mv، يمكن حساب جهد (من القمة إلى القمة) الموجتين كالآتي:



شكل رقم (٤ - ٣) قياس جهد (قمة - قمة) لموجتين جيبيتين.

$$\text{Wave A: } V_A = (4.5 \text{ DIV}) \times 100 \text{ mV/DIV} = 450 \text{ mV}$$

$$\text{Wave B: } V_B = (2.0 \text{ DIV}) \times 100 \text{ mV/DIV} = 200 \text{ mV}$$

٤- ٣- ٢ قياس التردد بالإزاحة Frequency Measurements

لقياس التردد باستخدام راسم الإشارة، يتم توصيل الإشارة المطلوب قياس ترددها بالدخل الرأسي Y، ويتم التأكد من أن ضابط تردد قاعدة الزمن على وضع معايرة (CAL) ويتم ضبط تردد قاعدة الزمن لظهور أقل عدد من الذبذبات على الشاشة، وإذا أمكن يضبط للحصول على ذبذبة واحدة، ثم يقاس طول ذبذبة كاملة على المقياس العيني، ثم يحسب الزمن الدوري (T) كآلاتي:

$$T = (\text{Horizontal divisions/cycle}) \times (\text{TIME/DIV})$$

ويمكن حساب قيمة التردد (F)، حيث إنه يساوي معكوس الزمن الدوري (T)، أي أنه يمكن كتابة:

$$F = 1/T.$$

إذا فرضنا أن وضع مضبط قاعدة الزمن [TIME/DIV] عند ٠,٥ ms، فإنه يمكن حساب الزمن

الدوري (T) والتردد (F) للموجتين الجيبيتين في شكل رقم (٤ - ٣) كآلاتي:

$$\text{Wave A: } T_A = [(8.8 \text{ DIV}) \times 0.5 \text{ ms/DIV}] / 2 \text{ cycles} = 2.2 \text{ ms}$$

$$F_A = 1 / (2.2 \text{ ms}) \cong 450 \text{ Hz}$$

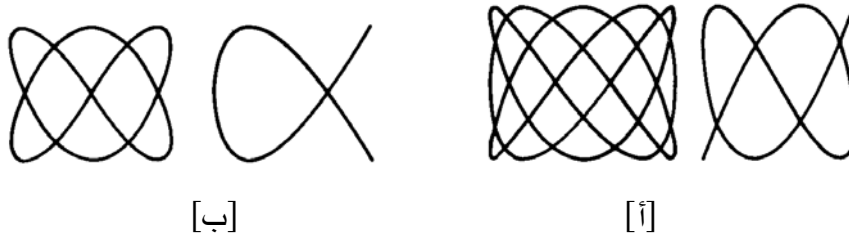
$$\text{Wave B: } T_B = [(8.8 \text{ DIV}) \times 0.5 \text{ ms/DIV}] / 6 \text{ cycles} = 0.73 \text{ ms}$$

$$F_B = 1 / (0.73 \text{ ms}) \cong 1.36 \text{ kHz}$$

٤- ٣- ٣- قياس التردد بالمقارنة Lissajous Figures

يمكن استخدام راسم الإشارة لقياس تردد مجهول بالمقارنة مع تردد آخر معلوم، لكي يولد أشكالاً للأثر تعرف باسم أشكال ليساجوس [Lissajous figures] وإن كانت أقل دقة من الطريقة السابقة. وتتوقف دقة القياس في هذه الحالة على دقة مصدر التردد المعلوم.

وفي هذه الطريقة يوصل مصدر التردد المجهول (F_y) إلى دخل Y من راسم الإشارة بينما يوصل مصدر التردد المعلوم (F_x) إلى دخل X بعد فصل تردد قاعدة الزمن، ويتم تغيير قيمة التردد المعلوم بالتدريج حتى يظهر على شاشة راسم الإشارة أحد أشكال ليساجوس الموضحة في شكل رقم (٤-٤). ويعتمد الأثر الناتج فوق الشاشة على النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما.



شكل رقم (٤-٤) معرفة تردد مجهول باستخدام أشكال ليساجوس.

ويتم استنتاج قيمة التردد المجهول من معرفة عدد القمم الملامسة للمستوى الأفقي وعدد القمم الملامسة للمستوى الرأسي، ثم استخدام القانون:

$$F_y/F_x = (\text{عدد القمم الملامسة للمستوى الرأسي}) / (\text{عدد القمم الملامسة للمستوى الأفقي})$$

٤- ٣- ٤- قياس فرق الطور Phase Angle Computation

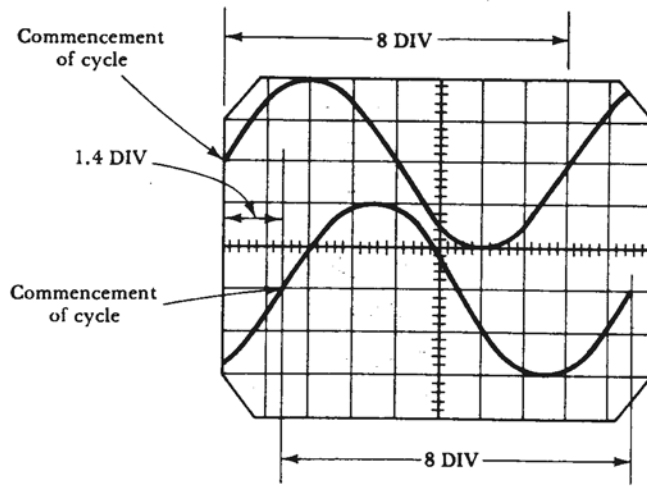
يمكن قياس فرق الطور (Phase difference) بين جهدي إشارتين جيبيتين لهما نفس التردد باستخدام جهاز راسم الإشارة بطريقتين:

الطريقة الأولى: يتم فيها تسليط كل من الإشارتين على الدخل الرأسي للقناتين الأولى والثانية (Channel 1 and 2) مع التأكد من أن الضابط المتغير لتردد قاعدة الزمن على وضع معايرة (CAL)،

بعد ذلك يضبط تردد قاعدة الزمن حتى نحصل على أقل عدد من الذبذبات الكاملة على الشاشة، وأفضلها أن تكون ذبذبة واحدة لكل إشارة موجية.

شكل رقم (٤-٥) يوضح كيف يتم حساب فرق الطور بين موجتين جيبيتين، كل إشارة لها زمن دوري يساوي ٨ divisions على المقياس العيني، والزمن بين بداية كل موجة يساوي ١.٤ divisions على المقياس العيني. الدورة الواحدة (One cycle) تساوي 360° ، وبناء على ذلك، فإن $8 \text{ div} = 360^\circ$ ، وبالتالي نجد أن:

$$1 \text{ div} = 360^\circ / 8 = 45^\circ$$



شكل رقم (٤-٥) قياس فرق الطور بين موجتين جيبيتين.

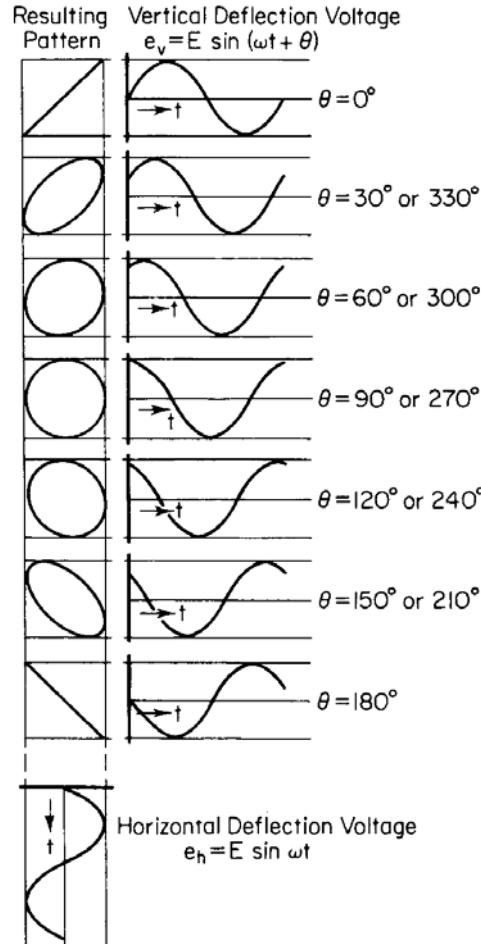
وهكذا فإن فرق الطور بين الإشارتين يكون:

$$\theta = 1.4 \text{ div} \times (45^\circ/\text{div}) = 63^\circ$$

الطريقة الثانية: يتم فيها فصل قاعدة الزمن، ثم تسلط كل من الإشارتين على الدخول الرأسي للقناتين الأولى والثانية (٢ and ١ Channel)، وعلى ذلك يظهر على شاشة راسم الإشارة أحد الأشكال الموضحة في شكل رقم (٤-٦)، والتي توضح فرق الطور بين الإشارتين.

وكما هو موضح من الشكل، إذا كان فرق الطور بين جهدي الإشارتين يساوي 0° ، فإن الأثر الناتج على الشاشة يكون عبارة عن خط مستقيم له ميل موجب يساوي 45° على المحور الأفقي (بشرط أن تكون الإشارتين متساويتين في الجهد)، أما إذا كان فرق الطور بين جهدي الإشارتين أكبر من 0° وأقل

من 90° إلى 0° ، فإن الأثر الناتج على الشاشة يكون عبارة عن قطع ناقص [ellipse] له ميل موجب بالنسبة للمحور الأفقي ويتغير حجمه بتغير قيمة زاوية الطور بين الإشارتين.



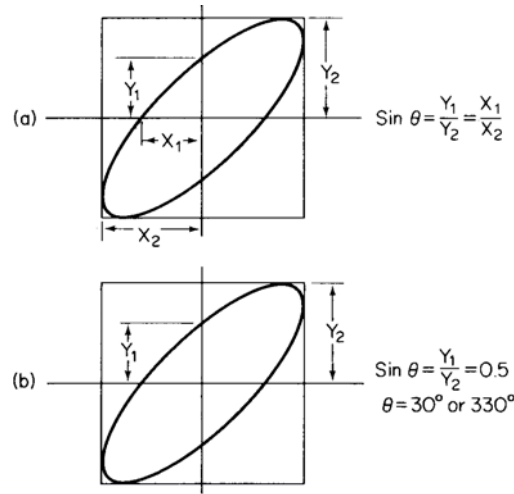
شكل رقم (٤-٦) أشكال ليساجوس (١/١) تبين تأثير فرق الطور.

وإذا كان فرق الطور بين الإشارتين يساوي 90° فإن الأثر الناتج على الشاشة يكون عبارة عن دائرة (بشرط أن تكون الإشارتين متساويتين في الجهد). وعندما يكون فرق الطور بين جهدي الإشارتين أكبر من 90° وأقل من 180° فإن الأثر الناتج على الشاشة يكون عبارة عن قطع ناقص.

ناقص [ellipse] له ميل سالب بالنسبة للمحور الأفقي ويتغير حجمه أيضا بتغير قيمة زاوية الطور بين الإشارتين.

وأخيرا، إذا كان فرق الطور بين الإشارتين يساوي 180° فإن الأثر الناتج على الشاشة يكون عبارة عن خط مستقيم له ميل سالب يساوي 135° على المحور الأفقي (بشرط أن تكون الإشارتان متساويتين في الجهد).

شكل رقم (٤-٧) يوضح كيفية حساب مقدار فرق الطور $[\theta]$ بين إشارتي الدخل على جهاز راسم الإشارة عندما يكون الأثر الناتج عبارة عن قطع ناقص [ellipse].



شكل رقم (٤-٧) تعيين فرق الطور بين إشارتين جيبيتين لهما نفس التردد.

ويمكن تعيين فرق الطور $[\theta]$ بدقة من شكل رقم (٤-٧) باستخدام المعادلة الآتية:

$$\sin(\theta) = Y_1/Y_2$$

حيث:

(Y_1) : هي المسافة بين نقطتي تقاطع القطع الناقص مع المحور الرأسي والأفقي.

(Y_2) : هي المسافة الرأسية بين قمة القطع الناقص والمحور الأفقي.

ويجب في هذه الحالة ضبط كل من المكبرين الرأسيين المسلط عليهما إشارتا الدخل بجهاز راسم الإشارة على قيمة واحدة وضبط النقطة المضيئة في منتصف الشاشة قبل توصيل الإشارتين.

تدريبات على الوحدة الرابعة

- ١ - ارسم المخطط الصندوقي لراسم الإشارة مبيناً الأجزاء الرئيسية له.
- ٢ - اشرح وظيفة مولد قاعدة الزمن.
- ٣ - اشرح كيفية استخدام راسم الإشارة كجهاز لقياس الجهد المتردد.
- ٤ - اشرح كيفية استخدام راسم الإشارة لقياس التردد بالإزاحة.
- ٥ - اشرح كيفية استخدام راسم الإشارة لقياس التردد بالمقارنة.
- ٦ - اشرح كيفية استخدام راسم الإشارة لقياس فرق الطور بكل من الطريقتين.



قياس وأجهزة

قنطرات القياس

قنطرات القياس

٥

الأهداف العامة للوحدة الخامسة

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة أنواع القنطرات المختلفة المستخدمة في دوائر التيار المستمر.
- معرفة أنواع التطبيقات المختلفة للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر.
- معرفة أنواع القنطرات المختلفة المستخدمة في دوائر التيار المتردد.
- معرفة أنواع التطبيقات المختلفة للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المتردد.

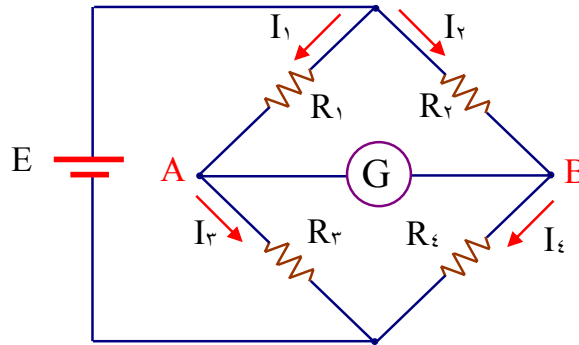
٥- مقدمة Introduction

تعد تقنية القياسات الكهربائية بطريقة قنطرات القياس من أدق أساليب القياس التي تعتمد في أساس عملها على مقارنة العنصر الكهربائي المقاس بمجموعة أخرى من العناصر الموجودة في دائرة القنطرة. وبهذا فإنها لا تعتمد في تقنيته على معايرة جهاز القياس المستخدم أو خواصه الفيزيائية. وتستخدم قنطرات القياسات على نطاق واسع لقياس المقاومات والمكثفات والملفات والممانعات. وتستخدم دوائر القنطرات أيضاً في دوائر التحكم المختلفة، حيث يحتوي أحد أذرع القنطرة على عنصر كهربائي له خاصية التأثير بأحد الكميات الفيزيائية المطلوب التحكم فيه (درجة حرارة، ضغط جوي، وغيرها). في هذه الوحدة سوف نتعرض للمبادئ الأساسية للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر بالإضافة للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المتردد وتطبيقاتها في القياسات و التحكم.

٥- ٢- القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges

٥- ٢- ١- قنطرة ويتستون Wheatstone Bridge

تتكون قنطرة ويتستون في أبسط صورها (كما هو مبين بشكل رقم (٥- ١)) من فرعين متوازيين يحتوي كل فرع على مقاومتين متصلتين على التوالي. ويغذي هذين الفرعين مصدر جهد مستمر (E) فيسبب مرور التيارات الكهربائية فيهما. ويوصل جهاز لقياس الجهد (غالباً جلفانوميتر) فيما بين الفرعين المتوازيين وذلك لضبط حالة اتزان القنطرة.



شكل (٥- ١) الدائرة الكهربائية لقنطرة ويتستون.

لاستخدام دائرة قنطرة ويتستون لتحديد مقاومة مجهولة، فإن هذه المقاومة المجهولة توضع كأحد أذرع القنطرة (غالباً R_4) ويتم تغيير مقاومة أحد الأذرع الأخرى (غالباً R_2) حتى يتم الاتزان، الذي يعني في هذه الحالة عدم وجود فرق في الجهد بين طرفي الجلفانوميتر وبالتالي عدم مرور تيار فيه.

٥- ٢- ١- شرط اتزان قنطرة ويتستون Condition of Balance of Wheatstone Bridge

ويعني هذا الاتزان أن فرق الجهد بين النقطتين A و B يساوي صفراً وبالتالي، فإن فرق الجهد على المقاومة R_1 يساوي فرق الجهد على المقاومة R_3 ، أي:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (٥- ١)$$

وبالمثل فإن فرق الجهد على المقاومة R_3 يساوي فرق الجهد على المقاومة R_4 ، أي:

$$I_3 R_3 = I_4 R_4 \quad (٥- ٢)$$

وبما أن تيار الجلفانوميتر يساوي صفراً، إذن:

$$I_1 = I_3 \quad , \quad I_2 = I_4 \quad (٥- ٣)$$

وبقسمة المعادلة (٥- ١) على المعادلة (٥- ٢):

$$\frac{I_1 R_1}{I_3 R_3} = \frac{I_2 R_2}{I_4 R_4} \quad (٥- ٤)$$

وبتطبيق المعادلة (٥- ٣) في المعادلة (٥- ٤) نحصل على:

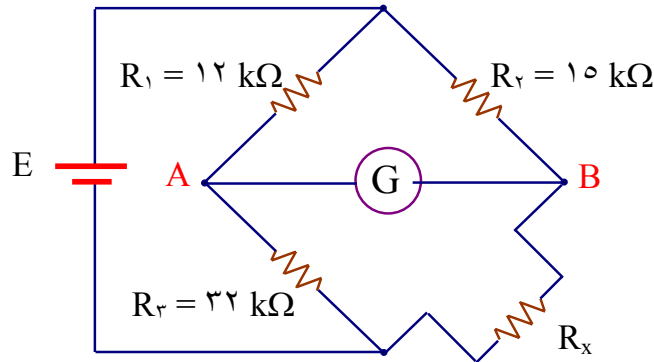
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (٥- ٦)$$

والمعادلة (٥- ٦) تصف شرط اتزان القنطرة، وقد تكتب هذه المعادلة كالاتي:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (٥- ٧)$$

مثال (٥- ١)

احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x في الدائرة المرسومة في شكل (٥- ٢) بفرض أن دائرة القنطرة في حالة اتزان.



شكل (٥- ٢) دائرة قنطرة ويتستون للمثال رقم (٥- ١).

الحل

بما أن القنطرة في حالة اتزان، إذن يمكن تطبيق شرط الاتزان (معادلة رقم ٥-٧) كما يلي:

$$R_1 R_x = R_2 R_3$$

إذن يمكن حساب قيمة المقاومة المجهولة R_x كما يلي:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{15 \text{ k}\Omega \cdot 32 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega} = 40 \text{ k}\Omega$$

٥- ٢- ١- الحل العام لقنطرة ويتستون General solution of Wheatstone Bridge

يمكن استخدام نظريات الهندسة الكهربائية لإيجاد الحل العام لقنطرة ويتستون. وانسب هذه النظريات لإيجاد التيار المار في الجلفانوميتر هي نظرية ثفنن. في تلك النظرية يمكن حساب التيار في الجلفانوميتر باعتبار الدائرة الكهربائية التي تغذي الجلفانوميتر عبارة عن مصدر للجهد يسمى V_{th} ومقاومة مكافئة متوالية معه تسمى r_{th} ، وتغذي هذه الدائرة مقاومة الجلفانوميتر R_G وهكذا يمكن حساب التيار في الجلفانوميتر كما يلي:

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G} \quad (٥-٨)$$

ويمكن حساب كل من V_{th} و r_{th} كما يلي:

أولاً: حساب V_{th}

يتم حساب فرق الجهد بين النقطتين A و B ويسمى V_{th} (بعد حذف مقاومة الجلفانوميتر R_G من الدائرة).

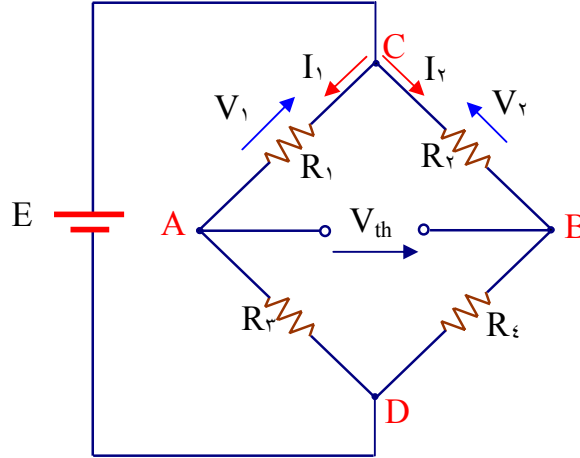
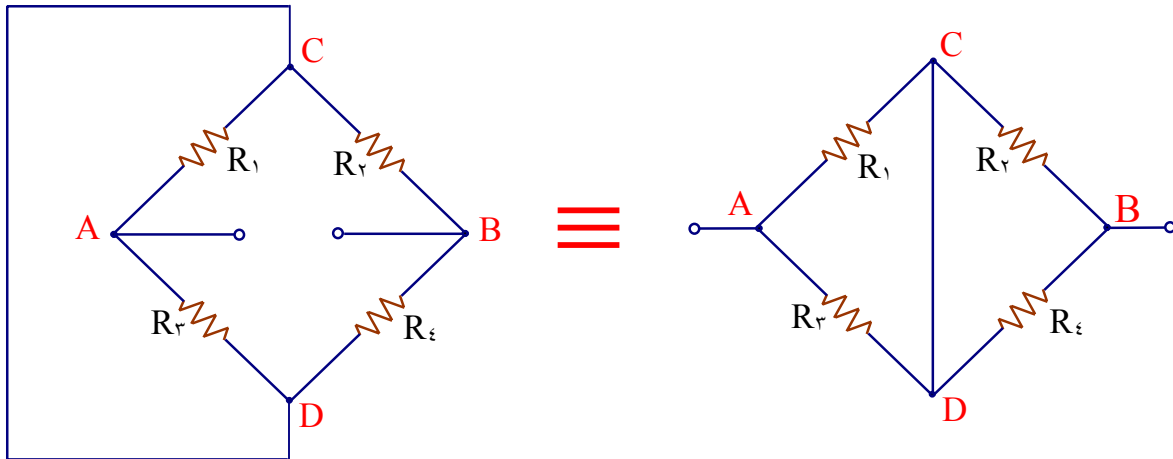
ويتم حساب V_{th} من قانون كيرشوف للجهود الذي ينص على أن مجموع الجهود في أي دائرة مغلقة يساوي صفراً. ومن شكل رقم (٥-٣) يمكن حساب V_{th} كما يلي:

$$V_{th} = V_1 - V_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad (٥-٩)$$

$$V_{th} = \frac{E}{R_1 + R_3} R_1 - \frac{E}{R_2 + R_4} R_2 = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) \quad (٥-١٠)$$

ثانياً: حساب r_{th}

لحساب r_{th} يتم حذف مصدر الجهد ويتم قصر الدائرة الكهربائية مكان طرفيه ثم يتم حساب المقاومة المكافئة بين النقطتين A و B وتسمى r_{th} كما في شكل (٥- ٤).

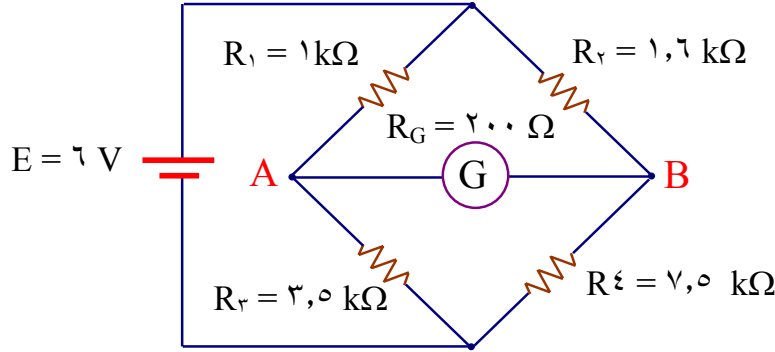
شكل (٥- ٣) دائرة حساب V_{th} لقنطرة ويتستون.شكل (٥- ٤) دائرة حساب المقاومة المكافئة r_{th} .

وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة المكافئة r_{th} على اعتبار المقاومتين R_1 و R_2 موصلتين على التوازي، وكذلك المقاومتين R_3 و R_4 موصلتين على التوازي، والمجموعتين موصلتين معاً على التوالي. ويمكن بالتالي التعبير عن المقاومة r_{th} رياضياً كما يلي:

$$r_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \quad (٥- ١١)$$

مثال (٥- ٢)

احسب التيار المار في الجلفانوميتر الموضح في الشكل رقم (٥- ٥).



شكل رقم (٥- ٥) دائرة قنطرة ويتستون للمثال رقم (٥- ٢).

الحل

الطريقة المثلى لحساب التيار في الجلفانوميتر هي طريقة ثفنن:

نبدأ بحساب V_{th} من المعادلة رقم (٥- ١٠) كالآتي:

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

$$V_{th} = 6 \times \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega + 3.5k\Omega} - \frac{1.6k\Omega}{1.6k\Omega + 7.5k\Omega} \right) = 0.278V$$

وتم نحسب r_{th} من المعادلة رقم (٥- ١١):

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

$$r_{th} = \frac{1k\Omega \times 3.5k\Omega}{1k\Omega + 3.5k\Omega} + \frac{1.6k\Omega \times 7.5k\Omega}{1.6k\Omega + 7.5k\Omega} = 2.096k\Omega$$

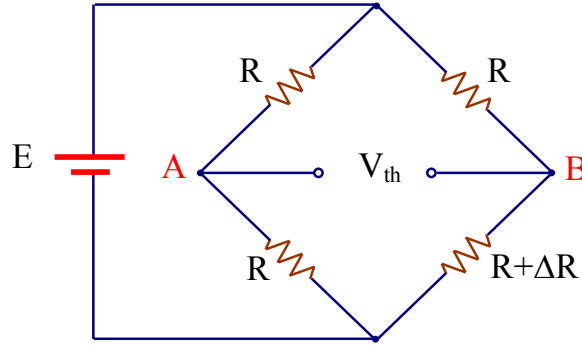
ثم نحسب التيار المار في الجلفانوميتر I_G من المعادلة رقم (٥- ٨):

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G} = \frac{0.278V}{2.096 \times 10^3 \Omega + 200 \Omega} = 121.4 \mu A$$

٥- ٢- ١- ٣- قنطرة ويتستون الغير متزنة نتيجة اختلاف بسيط في المقاومات

Slightly unbalanced Wheatstone Bridge

في حالة تساوي مقاومات ثلاثة أذرع في قنطرة ويتستون و تختلف مقاومة الذراع الرابع اختلافاً بسيطاً لا يتجاوز ٥٪ من قيمة مقاومة أي من الأذرع الثلاثة الأخرى كما هو موضح بشكل رقم (٥- ٦)، يمكن استنباط تعبير رياضي تقريبي ولكنه دقيق لحل القنطرة بطريقة تفنن كما يلي:



شكل رقم (٥- ٦) دائرة قنطرة ويتستون ذات ثلاثة أذرع متساوية.

أولاً: حساب V_{th} من المعادلة رقم (٥- ١٠):

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

$$V_{th} = E \times \left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{2R + \Delta R} \right) = E \times \left(\frac{1}{2} - \frac{R}{2R + \Delta R} \right) \quad (٥- ١٢)$$

$$V_{th} = E \times \left(\frac{2R + \Delta R}{2 \times (2R + \Delta R)} - \frac{2 \times R}{2 \times (2R + \Delta R)} \right) \quad (٥- ١٣)$$

$$V_{th} = E \times \left(\frac{\Delta R}{2 \times (2R + \Delta R)} \right) \quad (٥- ١٤)$$

وبما أن الاختلاف في مقاومة الذراع الرابع ΔR صغير، إذن يمكن إهماله بالنسبة للمقدار $2R$ ، وعلى ذلك يمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة كما يلي:

$$V_{th} = E \times \left(\frac{\Delta R}{4R} \right) \quad (٥- ١٥)$$

ثانياً: حساب r_{th} من المعادلة رقم (٥- ١١):

$$r_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} = \frac{R \cdot R}{R + R} + \frac{R \cdot (R + \Delta R)}{R + R + \Delta R} \quad (٥- ١٦)$$

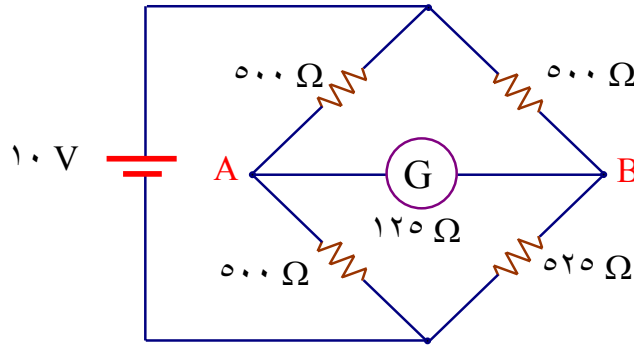
$$r_{th} = \frac{R}{2} + \frac{R \cdot (R + \Delta R)}{2 R + \Delta R} \quad (٥- ١٧)$$

وبما أن ΔR صغيرة بالنسبة إلى قيمة R فإنه يمكن إهمالها في كل من البسط والمقام، كما يلي:

$$r_{th} = \frac{R}{2} + \frac{R \cdot (R)}{2 R} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R \quad (٥- ١٨)$$

مثال (٥- ٣)

احسب قيمة التيار المار في الجلفانوميتر المبين في شكل رقم (٥- ٧) باستخدام التقريب الرياضي المبسط لنظرية ثفنن وقارنه بالحل الدقيق.



شكل رقم (٥- ٧) دائرة قنطرة ويتستون للمثال رقم (٥- ٣)

الحل

أولاً: الطريقة الدقيقة:

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

$$V_{th} = 10 \text{ V} \times \left(\frac{500 \Omega}{1000 \Omega} - \frac{500}{1025} \right) = 0.122 \text{ V}$$

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

$$r_{th} = \frac{500 \Omega \cdot 500 \Omega}{500 \Omega + 500 \Omega} + \frac{500 \Omega \cdot 525 \Omega}{500 \Omega + 525 \Omega} = 506.1 \Omega$$

ونحسب التيار المار في الجلفانوميتر كما يلي:

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G}$$

$$I_G = \frac{0.122 V}{506.1 \Omega + 125 \Omega} = 193.3 \mu A$$

ثانياً: الطريقة التقريبية:

$$V_{th} = E \times \left(\frac{\Delta R}{4 R} \right)$$

$$V_{th} = 10 V \times \left(\frac{25 \Omega}{4 \times 500 \Omega} \right) = 0.125 V$$

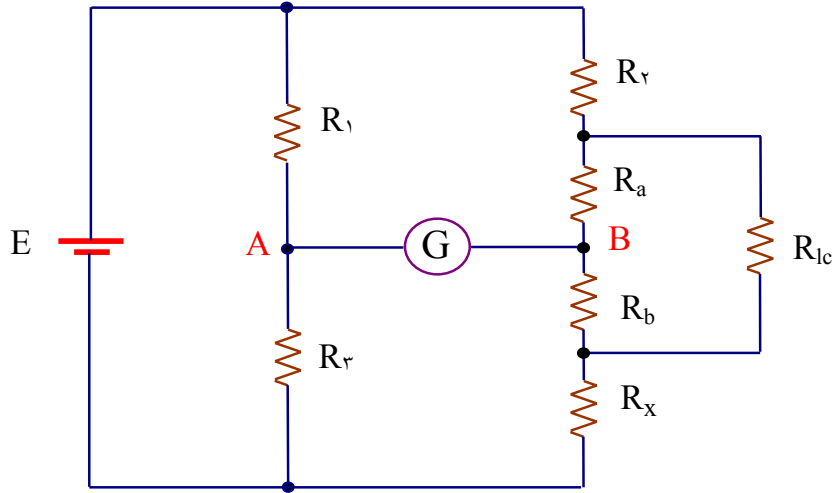
$$r_{th} = R = 500 \Omega$$

ونحسب التيار المار في الجلفانوميتر كما يلي:

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G} = \frac{0.125 V}{500 \Omega + 125 \Omega} = 200 \mu A$$

٥- ٢- ٢- قنطرة كلفن Kelvin Bridge

شكل رقم (٥- ٨) يوضح تركيب الدائرة الكهربائية لقنطرة كلفن، وتعد قنطرة كلفن نموذج معدل من قنطرة ويتستون. والغرض من التعديل هو إلغاء تأثير مقاومات التلامس مع أطراف الجهاز في حالة توصيل مقاومة مجهولة في دائرة القنطرة بهدف قياس قيمتها.



شكل رقم (٥- ٨) تركيب الدائرة الكهربائية لقنطرة كلفن.

حيث تؤدي مقاومات التلامس ومقاومات أطراف التوصيل (وخاصة في حالة قياس مقاومة صغيرة القيمة) إلى أخطاء في القيمة المقاسة. وتعد قنطرة كلفن من أدق طرق القياسات حيث يتم إلغاء التأثير السابق الذكر عن طريق ذراعي اتزان إضافيين (R_a, R_b) حتى إن قنطرة كلفن تسمى أحياناً بالقنطرة المزدوجة للقياس، وتمثل المقاومة R_{lc} مقاومات التلامس وأطراف التوصيل. وعن طريق قنطرة كلفن يمكن قياس مقاومات تتراوح من $1 \mu\Omega$ إلى 1Ω بدرجة عالية من الدقة.

٥- ٢- ١- اتزان قنطرة كلفن Balance of Kelvin Bridge

يمكن إثبات أنه في حالة إتزان القنطرة تنطبق المعادلة الرياضية الآتية:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} = \frac{R_a}{R_b} \quad (٥- ١٩)$$

وبالتالي فإذا كانت المقاومة المقاسة هي الذراع الرابع للقنطرة، فإنه يمكن حسابها كالآتي:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_b}{R_a} \quad (٥- ٢٠)$$

$$R_x = \frac{R_2 \times R_3}{R_1} = \frac{R_2 \times R_b}{R_a} \quad (٥- ٢١)$$

مثال (٥-٤)

احسب قيمة R_x لقنطرة كلفن، إذا كانت النسبة بين R_a إلى R_b تساوي ١٠٠٠، وكانت قيمة $R_1 = 5\Omega$ وقيمة $R_2 = 0.5 R_1$.

الحل

بما أن قيمة $R_1 = 5\Omega$ وقيمة $R_2 = 0.5 R_1$ ، إذن:

$$R_2 = \frac{R_1}{0.5} = \frac{5\Omega}{0.5} = 10\Omega$$

من شرط اتزان قنطرة كلفن:

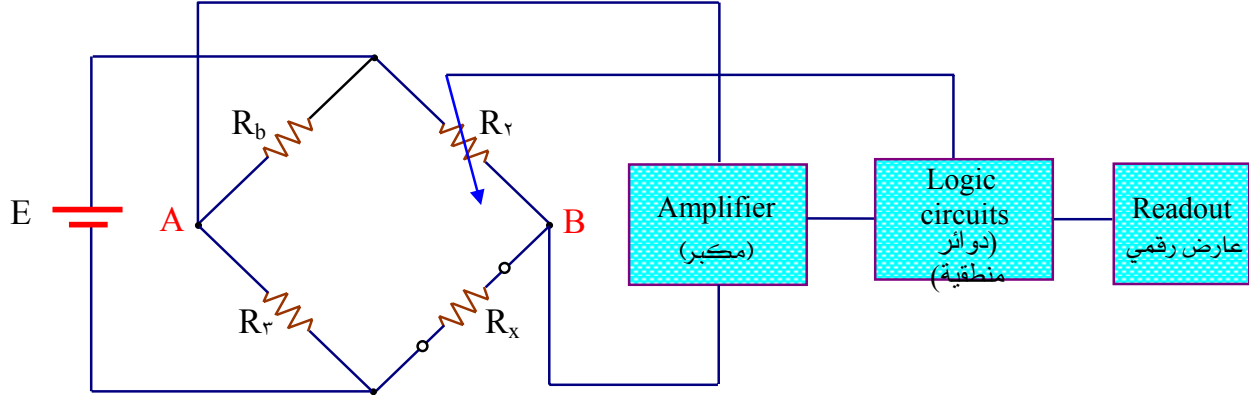
$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_b}{R_a}$$

إذن:

$$R_x = \frac{R_2 \times R_b}{R_a} = \frac{10\Omega \times 1}{1000} = 0.01\Omega$$

٥-٢-٣ القنطرات ذات القراءة الرقمية Digital readout Bridges

مع التطور الطبيعي لأجهزة القياس وظهور أجهزة القياس الرقمية وتطورها، كان لتقنية القياسات عن طريق قنطرات القياس نصيب من هذا التطور، فظهرت القنطرات الرقمية. و القنطرة الرقمية ما هي إلا قنطرة تماثلية تستخدم معها التقنية الرقمية لإظهار قيمة المقاومة المجهولة، وبهذا تم التغلب على أخطاء القياس البصرية. شكل رقم (٥-٩) يبين أسلوب القنطرة الرقمية مطبق على قنطرة ويتستون حيث جهد الاتزان يتم تكبيره عن طريق مكبر Amplifier و يتم إدخاله إلى دائرة تحكم منطقية تتحكم في مقاومة الاتزان المتغيرة عن طريق إشارة تحكم رقمية لضبط اتزان القنطرة وتقوم بالتالي بحساب المقاومة المجهولة وعرض قيمتها على عارض رقمي.



شكل رقم (٥ - ٩) المخطط الصندوقي لقنطرة ويتستون ذات القراءة الرقمية.

٥- ٢- ٤ التحكم في القنطرات عن طريق المعالجات الدقيقة

Microprocessor – controlled Bridges

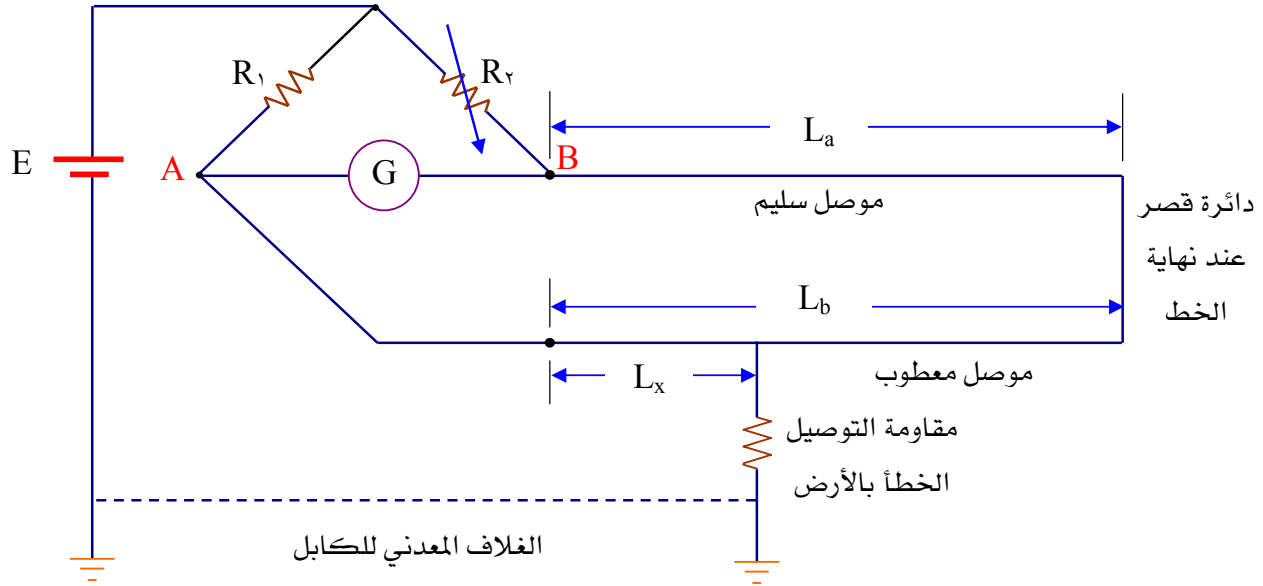
مع التوسع في استخدام الحاسبات الرقمية، زادت تطبيقاتها في شتى المجالات ومنها مجال القياسات. ومع ظهور المعالجات الدقيقة ظهر التطور الحقيقي في مجال القياسات، حيث تم تطوير طرق القياس وأدت إلى ما يسمى أجهزة القياس الذكية حيث أصبح المعالج الدقيق جزء من جهاز القياس يمكن برمجته للقيام بالقياس بالإضافة على قيامه بالحسابات المطلوبة لاستنتاج معامل معين. وأدى هذا التطور على سبيل المثال إلى الاستغناء عن بعض الأجهزة الإضافية المساعدة التي كانت ضرورية في حالة طرق القياس المعتادة واستبدالها بوحدات المواجهة والبرمجة المتاحة للمعالجات الدقيقة. وتم كذلك استبدال وحدات التحكم المنطقية ببرامج التحكم المخزنة في المعالجات الدقيقة.

٥- ٢- ٥ تطبيقات على قنطرات التيار المستمر Applications on D.C Bridges

٥- ٢- ٥ ١- دائرة موراي Murray Loop

يحدث كثير من الأعطال في شبكات التليفونات من أهمها حدوث دائرة قصر ما بين خطين من الخطوط أو ما بين أحد الخطوط والخط الأرضي. وتساهم قنطرات القياس مساهمة فعالة في تحديد موقع هذا العطل. وأحد هذه الدوائر المشهورة في هذا المجال هي دائرة اختبار موراي. ويبين شكل رقم (٥ - ١٠) تركيب هذه الدائرة. فبعد تحديد الموصل المعطوب، يتم قصره من نهاية الخط مع أحد

الموصلات السليمة ويتم توصيل بداية كل من الموصلين بقنطرة ويتستون، حيث يستعاض بهما عن مقاومتي الذراع الثالث والرابع لقنطرة ويتستون كما هو مبين بالشكل.



شكل رقم (٥ - ١٠) تركيب دائرة موراي

ويستعاض عن الذراع الثالث بمقاومة الموصل المعطوب من بداية الخط حتى مكان العطل بطوله الذي يساوي L_x وبمقاومته التي تساوي R_x . وبالتالي يستعاض عن الذراع الرابع بمقاومة الموصل السليم بطوله الذي يساوي L_a وبمقاومته التي تساوي R_a بالإضافة إلى مقاومة الجزء المتبقي من الموصل المعطوب بطوله الذي يساوي $L_b - L_x$ وبمقاومته التي تساوي $R_b - R_x$.

وبضبط المقاومة المتغيرة R_2 يمكن الحصول على حالة الاتزان في قنطرة ويتستون وبالتالي يمكن تحديد مكان العطل.

ويمكن رياضياً تحديد مكان العطل كما يلي: بتطبيق شرط اتزان قنطرة ويتستون، نحصل على:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + (R_b - R_x)}{R_x} \quad (٥- ٢٢)$$

$$\therefore R_2 R_x = R_1 R_a + R_1 R_b - R_1 R_x \quad (٥- ٢٣)$$

$$\therefore R_2 R_x + R_1 R_x = R_1 R_a + R_1 R_b \quad (٥- ٢٤)$$

$$\therefore R_x (R_1 + R_2) = R_1 (R_a + R_b) \quad (٥- ٢٥)$$

وهكذا يمكن حساب قيمة المقاومة R_x

$$\therefore R_x = \frac{R_1 (R_a + R_b)}{(R_1 + R_2)} \quad (٥- ٢٦)$$

وبتطبيق القانون العام لحساب المقاومة على المعادلة رقم (٥- ٢٦):

$$\therefore R = \frac{\rho L}{a} \quad (٥- ٢٧)$$

حيث:

ρ : المقاومة النوعية لمادة الموصل

L : طول الموصل

a : مساحة مقطع الموصل

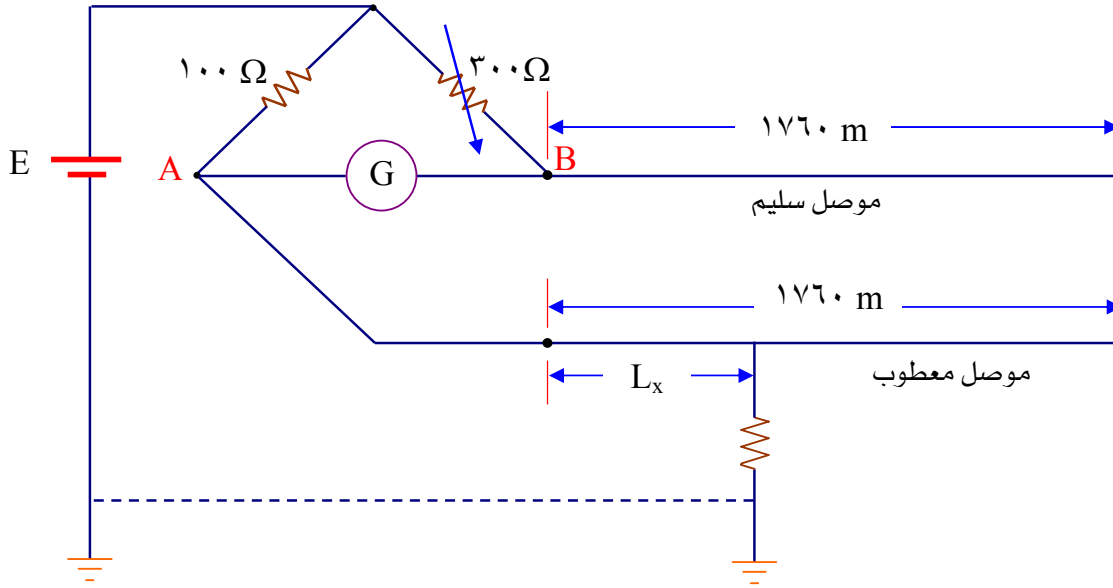
$$\therefore \frac{\rho_x L_x}{a_x} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left(\frac{\rho_a L_a}{a_a} + \frac{\rho_b L_b}{a_b} \right) \quad (٥- ٢٨)$$

وإذا كان الموصلان من نفس المادة ولهما نفس الطول ونفس مساحة المقطع:

$$\therefore L_x = \frac{R_1}{R_1 + R_1} (2L) = \frac{2 R_1 L}{R_1 + R_1} \quad (٥- ٢٩)$$

مثال (٥- ٥)

في دائرة موراى لاختبار خطوط التليفونات والموضحة في شكل رقم (٥- ١١)، كان الموصلان متطابقين في الطول ومساحة المقطع ومصنوعين من نفس المادة. فإذا كان الطول يساوي 1760 m حتى نهاية الخط، وكانت قيمة مقاومة الذراع الأول لقنطرة ويتستون في حالة الاتزان تساوي 100Ω ومقاومة الذراع الثاني تساوي 300Ω ، احسب المسافة بين العطل والقنطرة.



شكل رقم (٥ - ١١) تركيب دائرة موراي للمثال رقم (٥ - ٥).

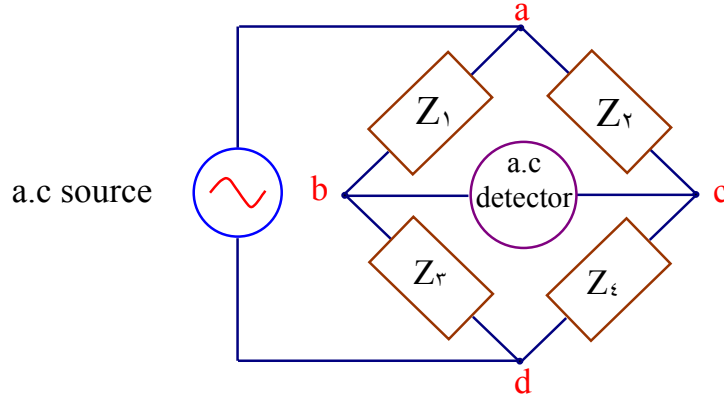
الحل

$$\therefore L_x = \frac{2 R_1 L}{R_1 + R_1} = \frac{2 \times 100 \Omega \times 1760 \text{ m}}{100 \Omega + 300 \Omega} = 880 \text{ m}$$

٥ - ٣ القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المتردد Alternating Current Bridges

في دوائر التيار المتردد تستخدم قنطرات القياس لإيجاد قيمة سعة المكثف أو المعاوقة السعوية ومعامل الحث الذاتي للملف أو المعاوقة الحثية وكذلك الممانعة المكونة من عناصر مختلفة. وتستخدم لهذا الغرض قنطرات عديدة حسب العنصر المجهول المراد قياسه، لكنها تعتمد جميعها في بنائها على قنطرة ويتستون. حيث تستبدل المقاومات في الأذرع الأربعة لقنطرة ويتستون بأربعة معاوقات أو ممانعات ويستبدل مصدر الجهد المستمر بمصدر للجهد المتردد ويستبدل كذلك الجلفانوميتر بجهاز استشعار (detector) للتيار المتردد (كما هو مبين بشكل رقم (٥ - ١٢)). وبعيداً عن مجال القياسات، تستخدم دوائر القنطرات أيضاً في العديد من التطبيقات في مجال الإلكترونيات والاتصالات مثل دوائر المذبذبات (Oscillators) ودوائر المكبرات (Amplifiers) ودوائر المرشحات (Filters).

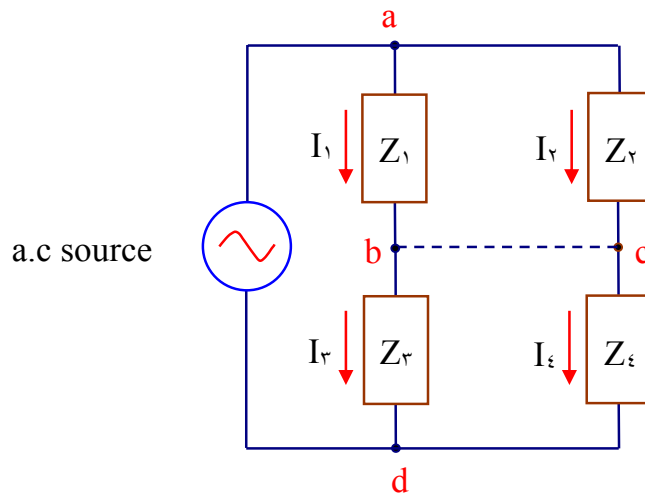
و يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن التحليل الرياضي لا بد أن يأخذ صيغة الكميات المركبة أو الاتجاهية، حيث إن عناصر الدائرة من مقاومات وملفات ومكثفات وكذلك الكميات الكهربائية مثل الجهد والتيار ما هي في واقع الأمر إلا كميات مركبة.



شكل رقم (٥- ١٢) دائرة قنطرة ويتستون للتيار المتردد.

٥- ٣- ١ اتزان قنطرة ويتستون للتيار المتردد Balance of A.C Wheatstone Bridge

وكما هو الحال في قنطرات التيار المستمر، تعتمد قنطرات التيار المتردد على مبدأ الاتزان balance، حيث يعني الاتزان في هذه الحالة أن التيار المار في جهاز استشعار التيار المتردد يساوي صفراً. وهذا يعني أن الجهد ما بين النقطتين b و c يساوي أيضاً صفراً. ويمكن إعادة رسم دائرة قنطرة ويتستون للتيار المتردد كما هو مبين بالشكل رقم (٥- ١٣).



شكل رقم (٥- ١٣) الدائرة المكافئة لقنطرة ويتستون المتزنة للتيار المتردد.

يدل الخط المتقطع مابين النقطتين b و c أنه يمكن اعتبارهما نقطة واحدة لعدم وجود فرق في الجهد أو سريان تيار بينهما. وبالتالي فإن فرق الجهد بين النقطتين b و a يتساوى مع فرق الجهد بين النقطتين c و a ، ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad (٥- ٣٠)$$

وبالتالي فإن فرق الجهد بين النقطتين b و d يتساوى مع فرق الجهد بين النقطتين c و d ، ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يلي:

$$I_3 Z_3 = I_4 Z_4 \quad (٥- ٣١)$$

وبما أن التيار المار في المسار bc يساوي صفراً ، إذن:

$$I_1 = I_3 \quad (٥- ٣٢)$$

$$I_2 = I_4 \quad (٥- ٣٣)$$

وبقسمة المعادلة (٥- ٣٠) على المعادلة رقم (٥- ٣١):

$$\frac{I_1 Z_1}{I_3 Z_3} = \frac{I_2 Z_2}{I_4 Z_4} \quad (٥- ٣٤)$$

وبالتعويض بالمعادلتين (٥- ٣٢) و (٥- ٣٣) ، نحصل على:

$$\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4} \quad (٥- ٣٥)$$

ويمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (٥- ٣٥) كالآتي:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (٥- ٣٦)$$

ويمكن بهذا إعادة كتابة المعادلتين رقم (٥- ٣٥) ورقم (٥- ٣٦) على الصورة المركبة كالآتي:

$$\frac{Z_1 \angle \theta_1}{Z_3 \angle \theta_3} = \frac{Z_2 \angle \theta_2}{Z_4 \angle \theta_4} \quad (٥- ٣٧)$$

ومن ذلك

$$(Z_1 \angle \theta_1)(Z_4 \angle \theta_4) = (Z_2 \angle \theta_2)(Z_3 \angle \theta_3) \quad (٥- ٣٨)$$

والمعادلة رقم (٥- ٣٨) على صورتها المركبة تعني شرطين لاتزان دائرة القنطرة ، وهما شرط القيمة وشرط الزاوية كما يلي:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (٥- ٣٩) \quad \text{(شرط القيمة لاتزان القنطرة)}$$

$$\angle \theta_1 + \angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3 \quad (٥- ٤٠) \quad \text{(شرط الزاوية لاتزان القنطرة)}$$

مثال (٥- ٦)

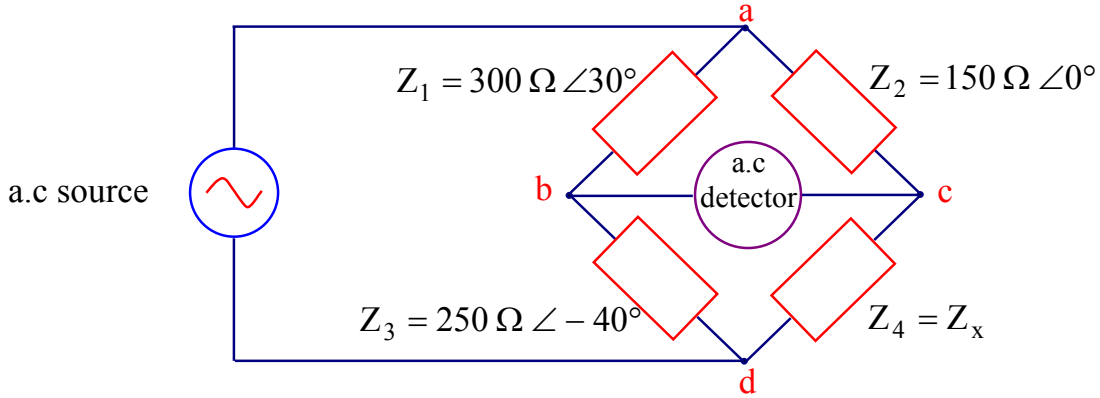
- إذا كانت قيم الممانعات في دائرة قنطرة ويتستون المتزنة للتيار المتردد كما هو مبين بشكل رقم ٥ -
(١٤) كما يلي:

$$Z_1 = 300 \Omega \angle 30^\circ$$

$$Z_2 = 150 \Omega \angle 0^\circ$$

$$Z_3 = 250 \Omega \angle -40^\circ$$

احسب قيمة الممانعة المجهولة Z_x .



شكل (٥- ١٤) دائرة قنطرة ويتستون المتزنة للمثال رقم (٥- ٦).

الحل

بتطبيق شرط القيمة لاتزان القنطرة (المعادلة رقم (٥- ٣٩)):

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

$$Z_x = Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} = \frac{150 \Omega \times 250 \Omega}{300 \Omega} = 125 \Omega$$

وبتطبيق شرط الزاوية لاتزان القنطرة (المعادلة رقم (٥- ٤٠)):

$$\angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3 - \angle \theta_1 = 0^\circ + (-40^\circ) - 30^\circ = -70^\circ$$

إذن الممانعة المجهولة يمكن كتابتها على الصورة الآتية:

$$\bar{Z}_x = 125 \Omega \angle -70^\circ$$

ولمعرفة مكوناتها يجب تحليلها إلى كمية حقيقية وكمية تخيلية كما يلي:

$$\bar{Z}_x = 125 \Omega \angle -70^\circ = 125 \cos(-70^\circ) \Omega + j125 \sin(-70^\circ)$$

$$\bar{Z}_x = 42.75 \Omega - j117.5$$

إذن مكونات الممانعة المجهولة هي مقاومة مقدارها 42.75Ω على التوالي مع معاوقة سعوية مقدارها $X_C = 117.5 \Omega$ ، أي مكثف يمكن حساب سعته كالآتي:

$$X_C = 117.5 \Omega = \frac{1}{\omega C}$$

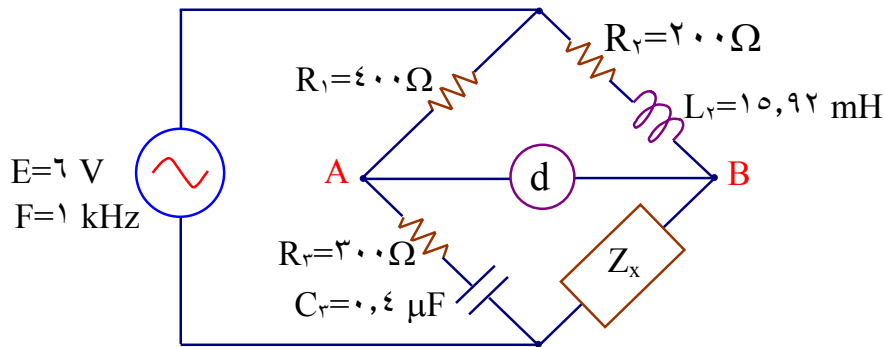
$$C = \frac{1}{\omega \times 117.5 \Omega}$$

وبعرفة تردد الدائرة يمكن حساب قيمة السعة ، فمثلاً لتردد قيمته 60 Hz تكون السعة كالآتي:

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 117.5 \Omega} = 22.58 \mu\text{F}$$

مثال (٥- ٧)

لقنطرة ويتستون المتزنة للتيار المتردد المبينة في شكل رقم (٥- ١٥) ، احسب الممانعة المجهولة Z_x .



شكل رقم (٥- ١٥) دائرة قنطرة ويتستون المتزنة للتيار المتردد للمثال رقم (٥- ٧).

الحل

نبدأ بحساب الممانعات للأذرع الثلاثة المعلومة كما يلي:

$$(١) \text{ الممانعة } Z_1:$$

$$Z_1 = 400 \Omega + j0 = 400 \Omega \angle 0^\circ$$

$$(٢) \text{ الممانعة } Z_2:$$

$$Z_2 = R_2 + j \omega L_2 = 200 \Omega + j \omega \times 15.92 \times 10^{-3}$$

ونحسب ω كالتالي:

$$\omega = 2 \pi f = 2 \times \pi \times 1000 = 6283.19 \text{ rad / sec}$$

ثم نطبق في معادلة الممانعة Z_2 :

$$Z_2 = 200 \Omega + j \times 6283.19 \times 15.92 \times 10^{-3} = 200 \Omega + j 100 \Omega$$

$$Z_2 = 200 \Omega + j 100 \Omega = 223.6 \Omega \angle 26.6^\circ$$

$$(٣) \text{ الممانعة } Z_3:$$

$$Z_3 = R_3 - j \frac{1}{\omega C_3} = 300 \Omega - j \frac{1}{6283.19 \times 0.4 \times 10^{-6}} \Omega$$

$$Z_3 = 300 \Omega - j 400 \Omega = 500 \Omega \angle -53.13^\circ$$

لحساب الممانعة Z_4 ، نطبق قانوني شرط القيمة وشرط الزاوية لتحقيق الاتزان:

أولاً: قانون شرط القيمة:

$$Z_x = Z_4 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} = \frac{223.6 \Omega \times 500 \Omega}{400 \Omega} = 279.5 \Omega$$

ثانياً: قانون شرط الزاوية:

$$\angle \theta_4 = \angle \theta_2 + \angle \theta_3 - \angle \theta_1 = 26.6^\circ + (-53.13^\circ) - 0^\circ = -26.53^\circ$$

إذن يمكن كتابة الممانعة المجهولة Z_x على الصورة الآتية:

$$Z_x = 279.5 \angle -26.53^\circ = 250 \Omega - j124.8 \Omega$$

أي أن مكونات الممانعة المجهولة عبارة عن مقاومة مقدارها 250Ω على التوالي مع معاوقة سعوية مقدارها

124.8Ω ، ويمكن حساب سعة المكثف كالتالي:

$$X_C = 124.8 \Omega = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{6283.19 \times 124.8} = 1.28 \mu F$$

٥- ٣- ٢- قنطرة الزوايا المتماثلة Similar Angle Bridge

تستخدم دائرة قنطرة الزوايا المتماثلة لقياس الممانعات السعوية المجهولة. وتسمى هذه الدائرة في بعض الأحيان بدائرة قنطرة مقارنة المكثفات أو دائرة قنطرة توالي المقاومة والمكثف، حيث أي ممانعة سعوية مقاسة بواسطة هذه الدائرة يمكن إختصارها إلى مقاومة ومكثف متواليين في التوصيل. وكما هو مبين بالشكل رقم (٥- ١٦)، يمكن كتابة الممانعات في الأذرع الأربعة على النحو التالي:

(١) الممانعة Z_1 :

$$Z_1 = R_1 \quad (٥- ٤١)$$

(٢) الممانعة Z_2 :

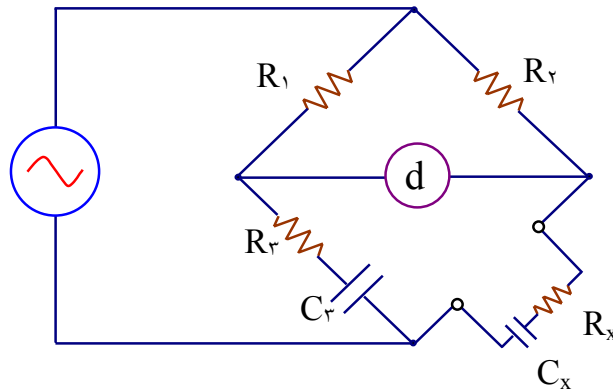
$$Z_2 = R_2 \quad (٥- ٤٢)$$

(٣) الممانعة Z_3 :

$$Z_3 = R_3 - j X_{C3} \quad (٥- ٤٣)$$

(٤) الممانعة Z_4 :

$$Z_4 = R_x - j X_{C_x} \quad (٥- ٤٤)$$



شكل رقم (٥- ١٦) دائرة قنطرة الزوايا المتماثلة.

وبالتعويض في المعادلة رقم (٥- ٣٦):

$$R_1 (R_x - j X_{Cx}) = R_2 (R_3 - j X_{C3}) \quad (٥- ٤٥)$$

ويمكن تبسيط تلك المعادلة على الصورة التالية:

$$R_1 R_x - j R_1 X_{Cx} = R_2 R_3 - j R_2 X_{C3} \quad (٥- ٤٦)$$

وبمساواة الكميات الحقيقية في الطرفين، نحصل على الآتي:

$$R_1 R_x = R_2 R_3 \quad (٥- ٤٧)$$

أي أن:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (٥- ٤٨)$$

وبمساواة الكميات التخيلية في الطرفين، نحصل على الآتي:

$$-j R_1 X_{Cx} = -j R_2 X_{C3} \quad (٥- ٤٩)$$

بما يعني:

$$R_1 X_{Cx} = R_2 X_{C3} \quad (٥- ٥٠)$$

أي أن:

$$X_{Cx} = \frac{R_2 X_{C3}}{R_1} \quad (٥- ٥١)$$

مع ملاحظة أن:

$$\frac{1}{\omega C_x} = \frac{R_2}{R_1 \omega C_3} \quad (٥- ٥٢)$$

بما يعني:

$$C_x = \frac{R_1 C_3}{R_2} \quad (٥- ٥٣)$$

مثال (٥- ٨)

لقياس ممانعة سعوية بواسطة دائرة قنطرة الزوايا المتماثلة عند تردد يساوي ٢ kHz ، عند اتزان دائرة القنطرة وجد الآتي:

$$C_3 = 100 \mu F \text{ \& } R_3 = 100 k\Omega , R_2 = 50 k\Omega , R_1 = 10 k\Omega$$

احسب الدائرة المتوالية المكافئة للممانعة السعوية المجهولة.

الحل

من المعادلة رقم (٥- ٤٨)، يمكن حساب قيمة المقاومة المتوالية المكافئة كالآتي:

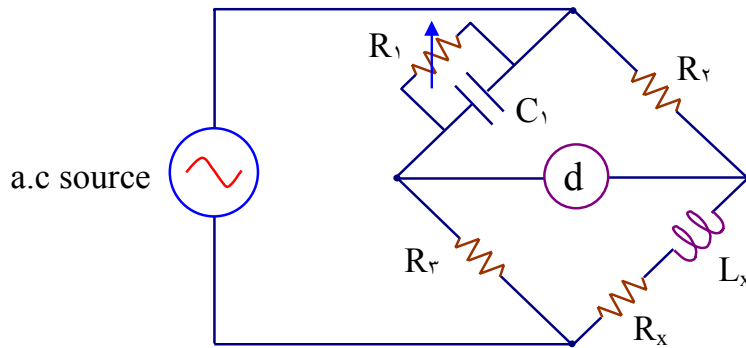
$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{50 k\Omega \times 100 k\Omega}{10 k\Omega} = 500 k\Omega$$

من المعادلة رقم (٥- ٥٣)، يمكن حساب قيمة سعة المكثف المتوالية المكافئة كالآتي:

$$C_x = \frac{R_1 C_3}{R_2} = \frac{10 k\Omega \times 100 \mu F}{50 k\Omega} = 20 \mu F$$

٥- ٣- ٣- قنطرة ماكسويل Maxwell Bridge

تستخدم دائرة قنطرة ماكسويل لقياس الممانعات السعوية المجهولة. حيث أي ممانعة حثية مقاسة بواسطة هذه الدائرة يمكن اختصارها إلى مقاومة وملف متواليين في التوصيل. وكما هو مبين في شكل رقم (٥- ١٧)، يمكن كتابة الممانعات في الأذرع الأربعة على النحو التالي:



شكل رقم (٥- ١٧) دائرة قنطرة ماكسويل.

(١) الممانعة Z_1 :

$$Z_1 = \frac{R_1 \left(-\frac{j}{\omega C_1} \right)}{R_1 - \frac{j}{\omega C_1}} = \frac{-\frac{j R_1}{\omega C_1}}{\frac{R_1 \omega C_1 - j}{\omega C_1}} \quad (٥٤- ٥)$$

$$Z_1 = \frac{-j R_1}{R_1 \omega C_1 - j} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + j \omega C_1} \quad (٥٥- ٥)$$

(٢) الممانعة Z_2 :

$$Z_2 = R_2 \quad (٥٦- ٥)$$

(٣) الممانعة Z_3 :

$$Z_3 = R_3 \quad (٥٧- ٥)$$

(٤) الممانعة Z_4 :

$$Z_4 = R_x + j X_{Lx} \quad (٥٨- ٥)$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (٥- ٣٦):

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + j \omega C_1} \right) (R_x + j X_{Lx}) = R_2 R_3 \quad (٥٩- ٥)$$

$$(R_x + j X_{Lx}) = \left(\frac{R_2 R_3}{R_1} + j \omega R_2 R_3 C_1 \right) \quad (٦٠- ٥)$$

وبمساواة الكميات الحقيقية في الطرفين نحصل على:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (٦١- ٥)$$

وبمساواة الكميات التخيلية في الطرفين نحصل على:

$$j X_{Lx} = j \omega R_2 R_3 C_1 \quad (٦٢- ٥)$$

أي أن:

$$X_{Lx} = \omega R_2 R_3 C_1 \quad (5-63)$$

أي أن:

$$L_x = R_2 R_3 C_1 \quad (5-64)$$

مثال (5-9)

استخدمت دائرة قنطرة ماكسويل لقياس ممانعة حثية ، فكانت مكونات الدائرة عند الاتزان كما يلي:

$$R_3 = 100 \text{ k}\Omega \text{ \& } R_2 = 5.1 \text{ k}\Omega , C_1 = 0.01 \text{ }\mu\text{F} , R_1 = 470 \text{ k}\Omega$$

احسب قيم مكونات الدائرة المكافئة.

الحل

من المعادلة رقم (5-61) والمعادلة رقم (5-64) يمكن حساب قيمة مكونات الدائرة كما يلي:

أولاً: حساب قيمة المقاومة R_x :

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{5.1 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ k}\Omega}{470 \text{ k}\Omega} = 1.085 \text{ k}\Omega$$

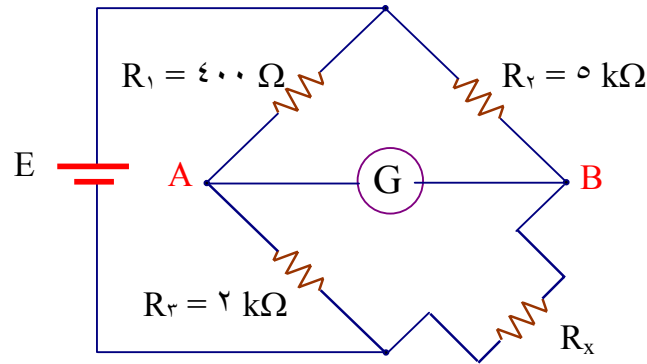
ثانياً: حساب قيمة معامل الحث الذاتي L_x :

$$L_x = R_2 R_3 C_1 = 5.1 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ k}\Omega \times 0.01 \text{ }\mu\text{F} = 5.1 \text{ H}$$

تدريبات على الوحدة الخامسة

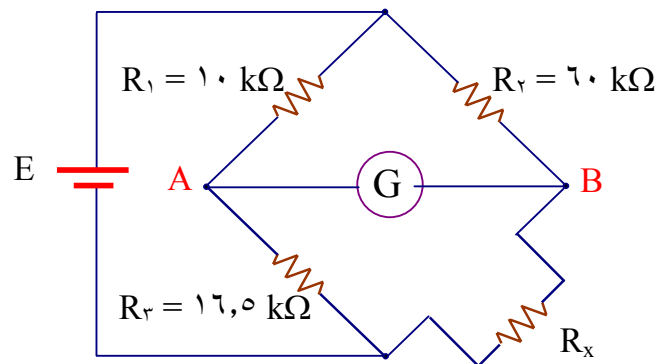
(١) احسب قيمة R_x في الشكل التالي (في حالة اتزان دائرة قنطرة ويتستون)، إذا كان:

$$R_r = 2 \text{ k}\Omega, R_v = 5 \text{ k}\Omega, R_l = 400 \Omega$$



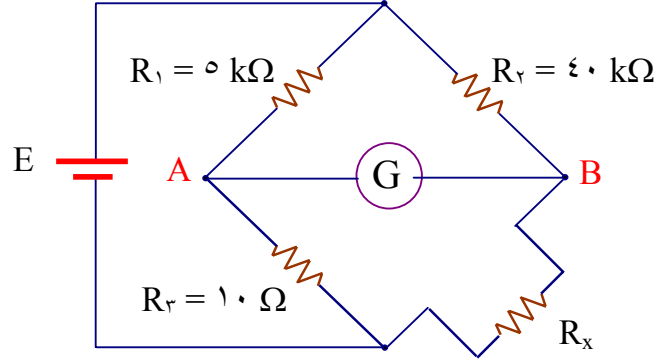
(٢) (في حالة اتزان دائرة قنطرة ويتستون) احسب قيمة R_x في الشكل التالي، إذا كان:

$$R_r = 18,5 \text{ k}\Omega, R_v = 60 \text{ k}\Omega, R_l = 10 \text{ k}\Omega$$

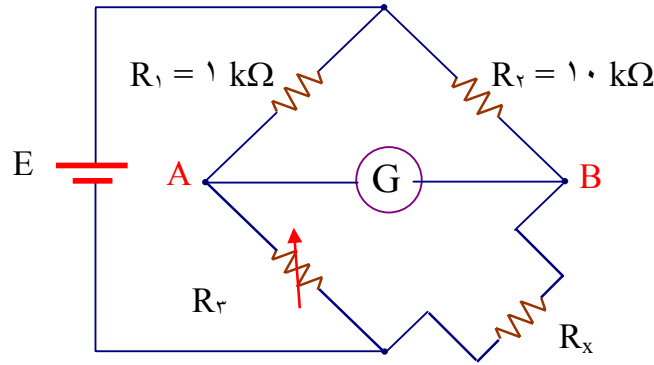


(٣) (في حالة اتزان دائرة قنطرة ويتستون) احسب قيمة R_x في الشكل التالي، إذا كان:

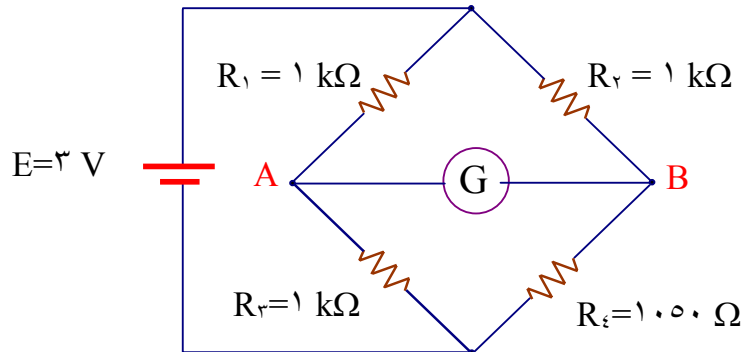
$$R_r = 10 \Omega, R_v = 40 \text{ k}\Omega, R_l = 5 \text{ k}\Omega$$



(٤) احسب مدى تغير المقاومة R_x في دائرة قنطرة ويتستون المبينة بالشكل التالي حتى يمكن لهذه الدائرة قياس مقاومة مجهولة في مدى تغير من 1Ω إلى $100 k\Omega$.

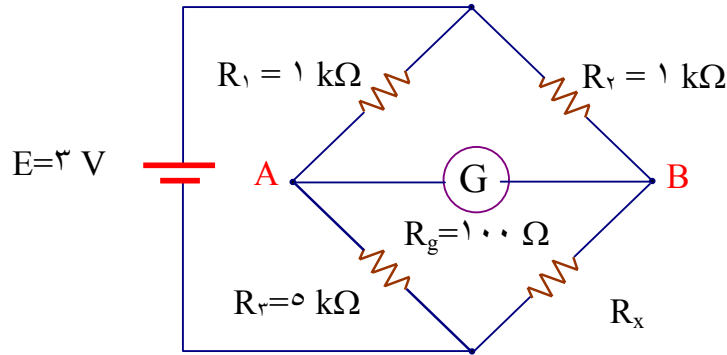


(٥) لدائرة قنطرة ويتستون المبينة بالشكل التالي، احسب النسبة المئوية للخطأ في حساب قيمة التيار المار في الجلفانوميتر عند استخدام القيمة التقريبية للتيار باستخدام نظرية ثفنن.

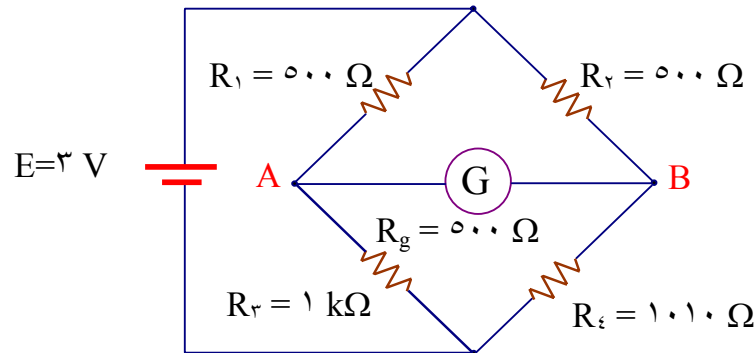


(٦) لدائرة قنطرة ويتستون المبينة بالشكل التالي، احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x ، إذا كان:

$$I_g = 13.6 \mu A, V_{th} = 24 \text{ mV}$$

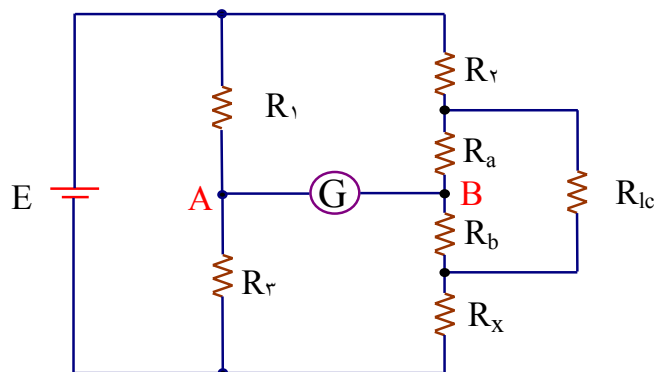


(٧) إذا كانت حساسية الجلفانوميتر في الدائرة التالية هي $10 \text{ mm}/\mu A$ ، احسب انحرافه.

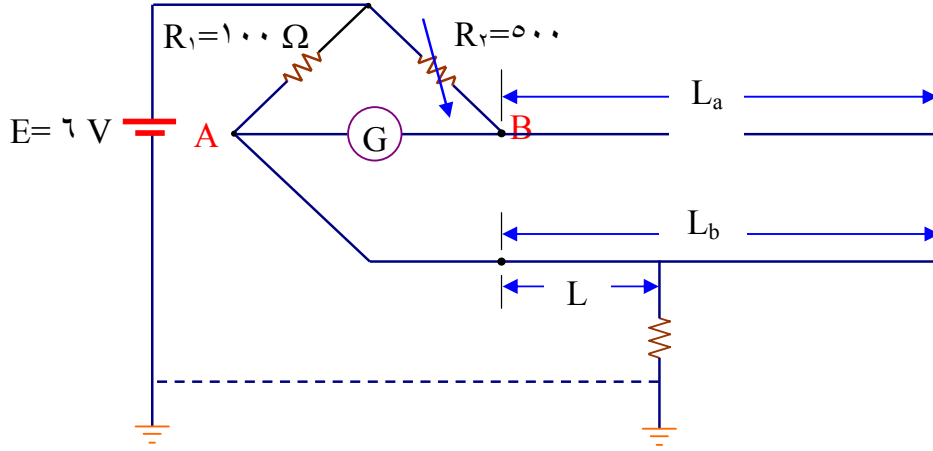


(٨) احسب قيمة R_x لدائرة قنطرة كلزن المتزنة المبينة بالشكل التالي، إذا كان:

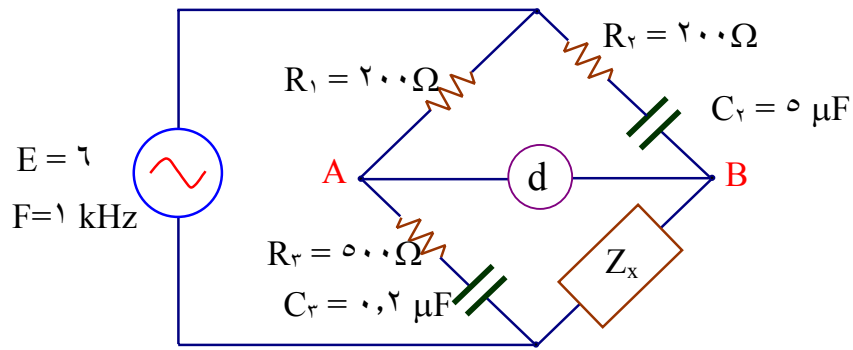
$$R_a = 1200 \Omega, R_b = 1600 \Omega, R_1 = 800 \Omega \text{ \& } R_1 = 1.25 R_2$$



(٩) وصلت قنطرة ويتستون بدائرة موراي لاختبار أعطال كابلات الهاتف، كما هو مبين بالشكل التالي. وكان مقاومة الموصل a تساوي $0.1 \Omega/30m$ ومقاومة الموصل b تساوي $0.005 \Omega/30m$ ، احسب المسافة L_x ، إذا كان الطول L_a يساوي الطول L_b عند اتزان القنطرة.

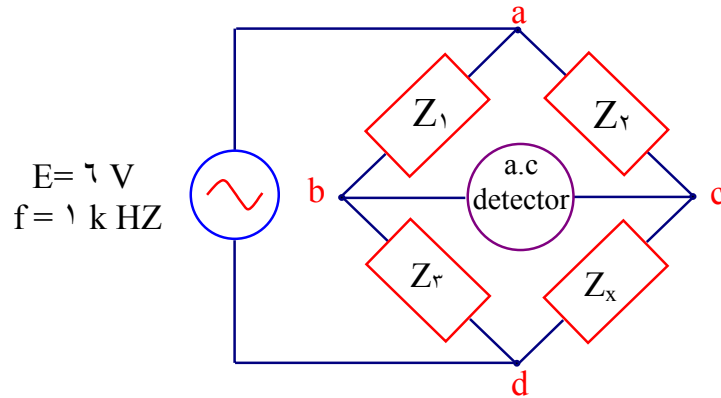


(١٠) في قنطرة ويتستون المتزنة المبينة بالشكل التالي، احسب قيمة الممانعة المجهولة Z_x واحسب مكوناتها (R, L or C).

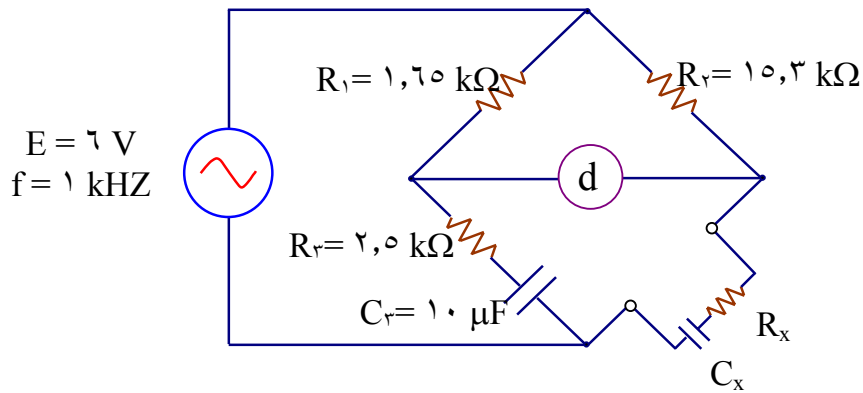


(١١) لقنطرة ويتستون المتزنة المبينة في الشكل التالي، احسب ثوابت الممانعة Z_x ، إذا كان:

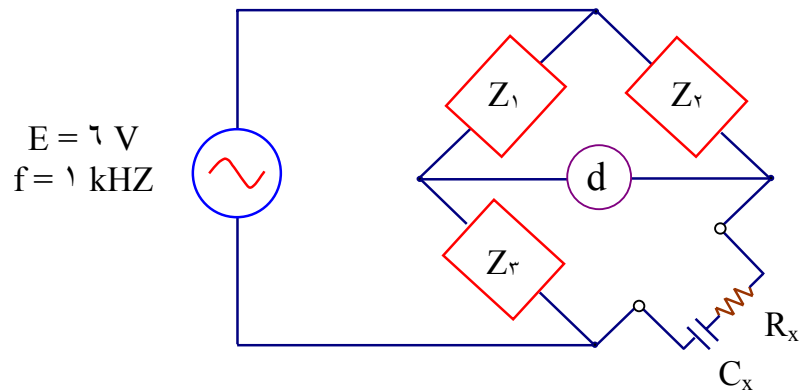
$$Z_1 = 400 \Omega \angle 0^\circ, Z_2 = 300 \Omega \angle -40^\circ, Z_3 = 100 \Omega \angle -20^\circ$$



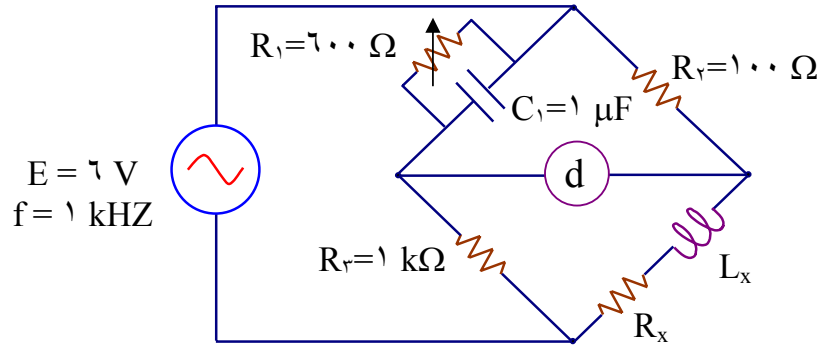
(١٢) لقنطرة الزوايا المتماثلة المتزنة المبينة بالشكل التالي، احسب قيمة R_x , C_x .



(١٣) لقنطرة الزوايا المتماثلة المتزنة المبينة بالشكل التالي، احسب قيمة R_x , C_x ، إذا كان:
 $Z_1 = 2000 \Omega \angle 0^\circ$, $Z_2 = 15000 \Omega \angle 0^\circ$, $Z_3 = 1000 \Omega \angle -50^\circ$



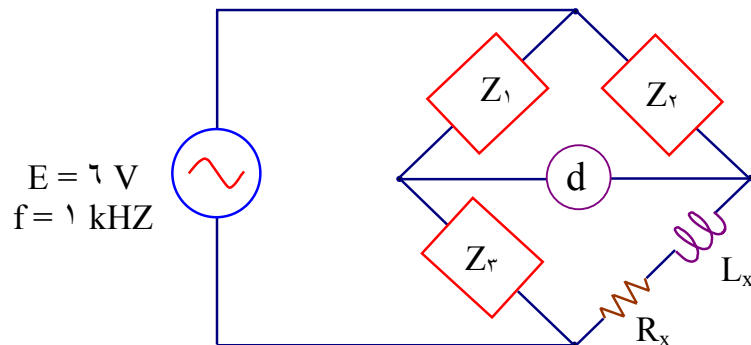
(١٤) لدائرة قنطرة ماكسويل المتزنة والمبينة بالشكل التالي، احسب القيم المجهولة L_x , R_x .



(١٥) لدائرة قنطرة ماكسويل المتزنة والمبينة بالشكل التالي، احسب القيم المجهولة R_x , L_x ، إذا

كان:

$$Z_1 = 153.8 \Omega \angle -75^\circ, Z_2 = 100 \Omega \angle 0^\circ, Z_3 = 1000 \Omega \angle 0^\circ$$





قياسات وأجهزة

الحساسات والمبدلات

الأهداف العامة للوحدة السادسة

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- تعريف وكيفية تصنيف الحساسات والمبدلات.
- كيفية اختيار الحساسات والمبدلات وفقاً للتطبيقات المختلفة.
- معرفة الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات.

٦- ١ مقدمة Introduction

أحدى الوظائف المهمة للإلكترونيات علمياً وعملياً وصناعياً هي عملية قياس الكميات الفيزيائية مثل الوضع ودرجات الحرارة والقوة والضغط ومعدل تدفق مائع... إلخ. وللحساسات والمبدلات وظائف مهمة في أنظمة التحكم المختلفة، فهي الأجهزة التي تأخذ على عاتقها مسؤولية تحويل الكميات الفيزيائية المختلفة إلى كميات كهربائية قابلة للقياس والتكبير والنقل بالإضافة إلى إمكانية دخولها في أنظمة التحكم. كما أنه يسهل تسجيل هذه الكميات الكهربائية كقاعدة هامة للبيانات والمعلومات ويسهل أيضاً التعامل معها عن طريق أجهزة التحكم والكمبيوتر.

٦- ٢ مفاهيم عامة General concepts

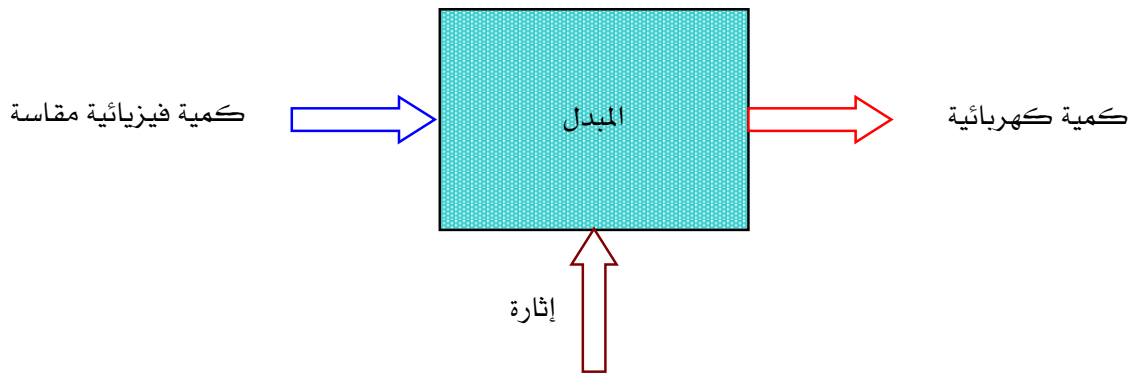
٦- ٢- ١ تعريف الحساسات والمبدلات

الحساس على وجه العموم هو أي جهاز يمكنه أن يحول الطاقة من صورة ما إلى صورة أخرى، إلا أن المبدل يعني الوظائف التالية:

(١) الإحساس بالكميات المقاسة

(٢) إخراج إشارة كهربائية متناسبة مع الكمية المقاسة يمكن قياسها بواسطة جهاز قياس خارجي.

أي أن المبدل يمكن أن يعتبر مترجماً من لغة الكميات الفيزيائية الموضوعة تحت المراقبة إلى لغة الكميات الكهربائية، كما هو موضح في شكل رقم (٦- ١).



شكل رقم (٦- ١) رسم تخطيطي للمبدل.

٦- ٢- تصنيف الحساسات والمبدلات Classification of sensors and transducers

يمكن تصنيف الحساسات والمبدلات حسب تطبيقاتها، أو طبقاً للكميات الفيزيائية المحولة، أو طبقاً لخواصها، أو طبقاً لحالات القياس، كما سيأتي فيما بعد.

٦- ٢- ٣ اختيار الحساسات والمبدلات Selection of sensors and transducers

يجب مبدئياً اختيار الحساس أو المبدل بحيث يناسب التطبيق أو الوظيفة المنوط به القيام بها ويجب مراعاة الآتي:

- (١) مدى القياس: يجب على المبدل أن يعمل في حدود مدى القياس المطلوب.
- (٢) الحساسية: يجب على الحساس أو المبدل أن يحظى بدرجة معقولة من الحساسية بحيث يعطى خرجاً كهربائياً كافياً.
- (٣) التفاعل مع التردد: يجب على المبدل أن يتفاعل بطريقة مناسبة مع التردد وكذلك بالنسبة للإثارة تجاه الرنين.
- (٤) التناسب مع الظروف المحيطة: يجب على الحساس أو المبدل أن يناسب الظروف المحيطة به من حرارة وضغط جوي ومجالات مغناطيسية وكهربائية وخلافه.
- (٥) أقل حساسية: يجب أن يحظى الحساس أو المبدل بقدر أدنى من الحساسية للشعور بالكمية المقاسة.
- (٦) دقة القياس قد يتعرض الحساس أو المبدل إلى أخطاء في القياس نتيجة تكرارية عمليات القياس وأخطاء المعايرة وأيضاً بالإضافة إلى أخطاء الحساسية للمؤثرات الأخرى غير الكميات المقاسة.
- (٧) التناسب مع ظروف الاستخدام: بالنسبة للكميات المقاسة كهربائياً وميكانيكياً يجب أن يؤخذ في الاعتبار وزن وأبعاد الحساس أو المبدل.
- (٨) أبعاد أطراف التوصيل: يجب أن يؤخذ في الاعتبار أبعاد كابلات التوصيل بالنسبة للحساس أو للمبدل من حيث الطول ومساحة المقطع وخلاف، كذلك نسبة التشويش على إشارة القياس خاصة في حالة استخدام مكبر الإشارة وكذلك حدود التفاعل مع التردد.

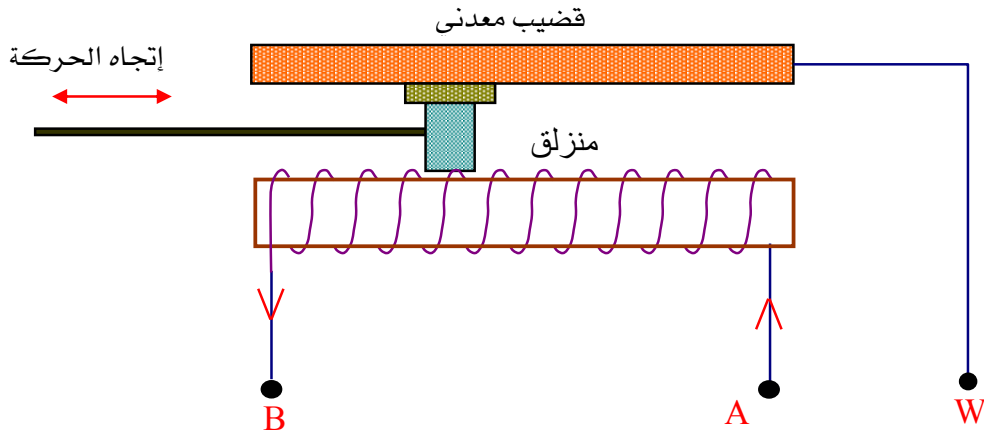
وسنوجز هنا بعض أنواع الحساسات والمبدلات وهي أكثر الأنواع شيوعاً وشهرة من حيث نظرية عملها وأين يمكن استخدامها والكميات المحولة و المقاسة بواسطتها.

٦- ٣- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات Basic types of sensors and transducers

٦- ٣- ١ حساس ومبدل الإزاحة الأومي Resistive position transducer

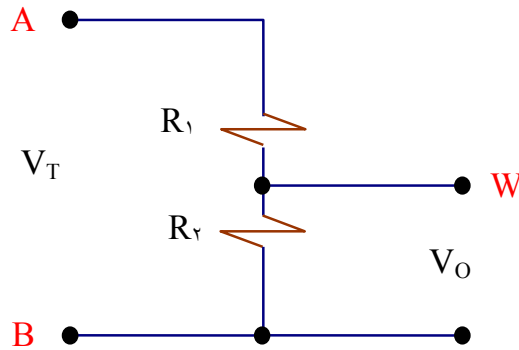
الفكرة الأساسية لحساس أو مبدل الإزاحة الأومي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل. فمن المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم هو أن تستطيع أن تستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء.

ويعتبر حساس أو مبدل الإزاحة الأومي أحد حساسات أو مبدلات بيان الإزاحة حيث يمكنه استشعار موضع كائن ما باستخدام عنصر مقاومة أومية ملفوفة بانتظام على قضيب عازل للكهرباء ومنزلق متصل بالكائن المراد تبيان موضعه وقابل للانزلاق ملامساً لعنصر المقاومة وملامساً في نفس الوقت لقضيب معدني ذي مقاومة صغيرة نسبياً بالنسبة لعنصر المقاومة الأومية، كما هو مبين بشكل رقم (٦- ٢).



شكل رقم (٦- ٢) حساس الإزاحة الأومي.

وبهذا فإن المقاومة ما بين المنزلق وأحد أطراف عنصر المقاومة الأومية يعتمد على وضع الكائن المراد قياس وضعه أو إزاحته كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ٣). وعلى ذلك فإن النقطة W تدل على وضع الكائن المراد قياسه ما بين وضعين قياسييين: وضع A ووضع B.



شكل رقم (٦-٣) الدائرة المكافئة لحساس الإزاحة الأومي

وعلى هذا يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يأتي:

$$I = \frac{V_T}{R_1 + R_2} \quad (٦-١)$$

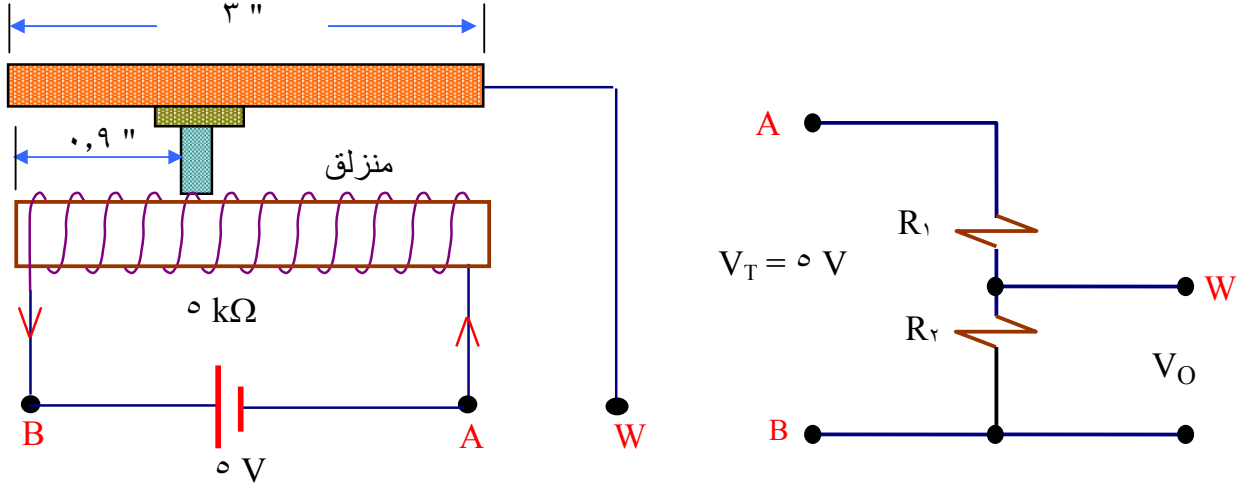
$$V_O = I R_2 \quad (٦-٢)$$

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{I R_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (٦-٣)$$

و يتضح من هذا أن مبدل الوضع الأومي يوضح أن جهد الخرج V_O يتناسب تناسباً طردياً مع وضع المنزلق إذا كانت المقاومة موزعة بانتظام على المسافة AB .

مثال رقم (٦- ١)

شكل رقم (٦- ٤) يبين مبدل إزاحة أومي بطول مسافة قضيبية ٣ inches ، وبمقاومة كلية لمقسم الجهد تساوي ٥ kΩ ، فإذا كان الجهد المطبق $V_T = ٥ \text{ V}$ وكان وضع المنزلق على بعد ٠,٩" من نقطة B. احسب جهد الخرج V_O .



شكل رقم (٦- ٤) مبدل الإزاحة الأومي للمثال رقم (٦- ١).

الحل: من المعادلة رقم (٦- ٣):

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 = \frac{0.9}{3} \times 5000 = 1500 \, \Omega$$

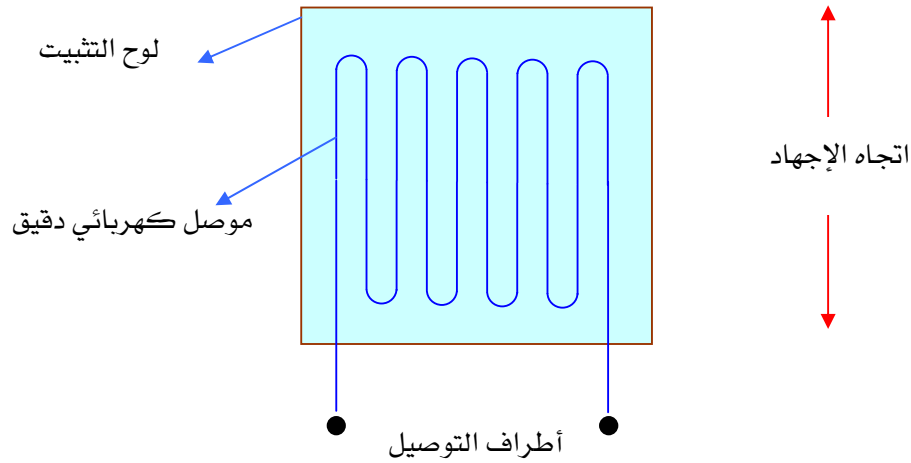
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{1500}{5000}$$

$$V_O = V_T \times \frac{1500}{5000} = 5 \times \frac{1500}{5000} = 1.5 \text{ volts}$$

٦- ٣- ٢ حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain guage transducer

حساس مقياس الإجهاد يعتمد في تشغيله على نظرية تغير المقاومة الكهربائية في الموصلات الكهربائية نتيجة الإجهاد الواقع على هذه الموصلات نتيجة تعرضها لقوة ما. وهو بذلك يستخدم لقياس الوزن أو الضغط أو القوة الميكانيكية أو الإزاحة.

ويعتمد تركيب حساس مقياس الإجهاد كما هو مبين بشكل رقم (٦- ٥) على تثبيت موصل كهربائي دقيق بطريقة تموجية إلى الأمام وإلى الخلف على لوح تثبيت محكم اللصق على الجزء المراد قياس الإجهاد به.



شكل رقم (٦- ٥) حساس مقياس الإجهاد.

ويؤدي إجهاد الشد إلى استطالة اللوح وبالتالي استطالة الموصل الكهربائي (زيادة في طول الموصل)، وبما أن كمية المادة الموجودة في الموصل لا تتغير أي أن كتلته ثابتة وحجمه أيضاً، فإن زيادة طوله يؤدي إلى نقص في مساحة مقطعه، وبالتالي تتزايد مقاومة الموصل تبعاً لقانون المقاومة:

$$R = \rho L / a \quad (٦- ٤)$$

حيث:

R: المقاومة الكهربائية

ρ : المقاومة النوعية للمادة المصنع منها الموصل

L: طول الموصل

a: مساحة مقطع الموصل

ويؤدي الإجهاد بالتالي إلى:

(١) تزايد طول الموصل (وبالتالي نقص في مساحة مقطعه).

(٢) تزايد مقاومة الموصل.

والعلاقة بين الزيادة في طول الموصل ΔL والطول الابتدائي للموصل L تسمى مقياس الإجهاد G ، حيث :

$$G = \frac{\Delta L}{L} \quad (٦- ٥)$$

وهي مجرد نسبة ليس لها أبعاد تدل على مقدار الإجهاد الواقع على الموصل.

وحيث إن التغير في المقاومة الكهربائية للموصل تعتمد على التغير في مساحة مقطع الموصل بالإضافة إلى التغير في طول الموصل ، فإن نسبة التغير في المقاومة تكون أكبر من نسبة التغير في الطول ، وبذلك يمكن تعريف ثابت المقياس K كما يلي :

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (٦- ٦)$$

وهذا الثابت يكون دائماً أكبر من ١ .

ومن المعروف أن هناك علاقة تناسبية قياسية تربط ما بين الضغط الداخلي (Stress) و الإجهاد (Strain) تسمى بمعامل اللدونة ((Modulus of Elasticity (E)، حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً من العلاقات الآتية :

$$E = \frac{S}{G} \quad (٦- ٧)$$

حيث :

E : معامل اللدونة

S : الضغط الداخلي

G : الإجهاد

ويمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة الآتية :

$$S = \frac{F}{A} \quad (٦- ٨)$$

حيث :

F : القوة وتقاس بوحدة kg

A : مساحة المقطع وتقاس بوحدة m^2

وبذلك يقاس الضغط الداخلي بوحدة kg/m^2 ، وبما أن الإجهاد G ليس له أبعاد لأنه مجرد نسبة، تكون بالتالي أبعاد معامل اللدونة E هي نفس أبعاد الضغط الداخلي S أي: kg/m^2 . وبالنسبة لمقياس الإجهاد فإنه من المطلوب أن يكون على درجة عالية من الحساسية وهذا يعني قيمة كبيرة لثابت المقياس K ، وبالعودة إلى معادلة ثابت المقياس K ، فإن القيمة العالية له تعني تغير كبير للمقاومة (لسهولة قياسها) بالنسبة للتغير في الطول.

مثال رقم (٦- ٢)

ثبت حساس مقياس إجهاد ذو ثابت مقياس $K = 2$ على لوح من الصلب ثم عرض لإجهاد قدره $G = 1 \times 10^{-6}$ ، فإذا كانت المقاومة الابتدائية $R_0 = 130 \Omega$ ، احسب التغير في المقاومة ΔR .

الحل

من المعادلة رقم (٦- ٦) لثابت المقياس:

$$K = 2 = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R_0}{G} = \frac{\Delta R/130 \Omega}{1 \times 10^{-6}}$$

$$\Delta R = 2 \times 130 \times 1 \times 10^{-6} = 260 \mu\Omega$$

مثال رقم (٦- ٣)

قضيب من الصلب ذو مقطع دائري قطره 0.02 m وطوله 0.4 m ، عرض لقوة شد مقدارها 33000 kg ، حيث معامل اللدونة $E = 2 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$ ، احسب الاستطالة ΔL .

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \times (0.02)^2 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ومن المعادلة رقم (٦- ٧) لمعامل اللدونة E :

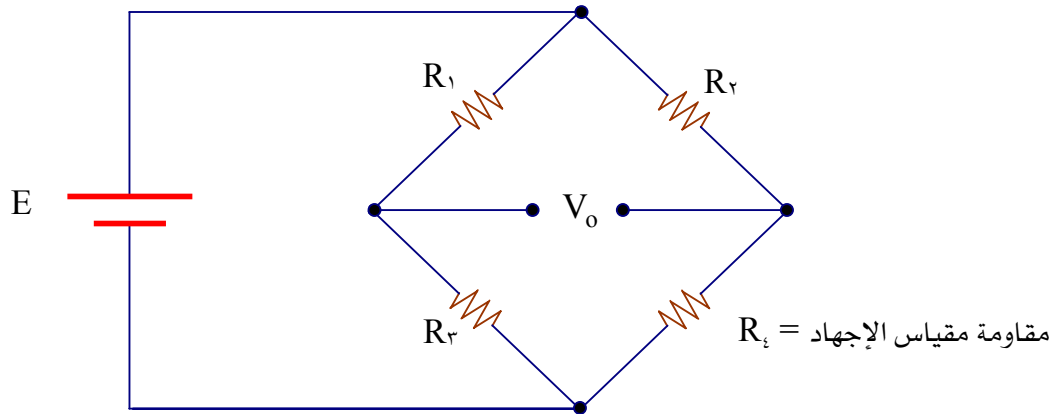
$$E = \frac{S}{G} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F \times L}{A \times \Delta L}$$

$$\therefore \Delta L = \frac{F \times L}{A \times E} = \frac{33000 \text{ kg} \times 0.4 \text{ m}}{3.14 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{10}} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.1 \text{ mm}$$

إلى هنا ويعتبر مقياس الإجهاد نوع من أنواع الحساسات حيث إنه يستطيع ترجمة الإجهاد إلى تغير في المقاومة، ولكن لكي يعمل مقياس الإجهاد كمبدل (Transducer)، يجب أن يكون خرج الجهاز على صورة إشارة كهربائية.

إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد

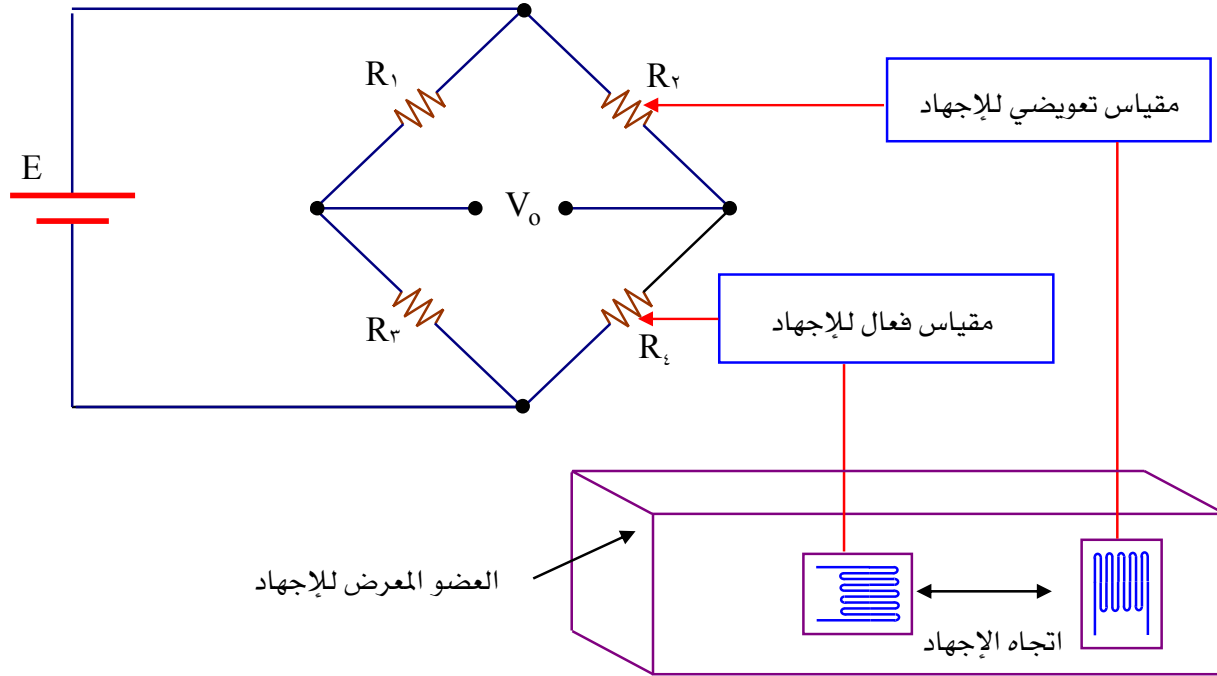
في العادة يستخدم مقياس الإجهاد كذراع رابع في قنطرة ويتستون (المتزنة في حالة عدم وجود أي إجهاد)، وبالتالي يمكن تحويل الإجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع، وبالتالي إلى قيمة للجهد V_0 الذي يمكن قياسها، كما هو مبين بالشكل رقم (٦-٦).



شكل رقم (٦-٦) تحويل حساس مقياس الإجهاد إلى مبدل.

ويمكن استخدام هذه الطريقة عندما يكون التغير في درجة حرارة التشغيل ليس بالدرجة التي تؤثر على دقة القياس، أو في الحالات التي لا تتطلب دقة عالية في القياس. أما في حالات التغير الكبير في درجة حرارة التشغيل، فإن المقاومة تتأثر بهذا التغير في درجة الحرارة وتتغير قيمتها تبعاً لذلك، وعلى هذا فإن المقاومة تتغير نتيجة للإجهاد، بالإضافة إلى تغيرها نتيجة للتغير في درجة الحرارة. وهذا يؤدي إلى نتيجة خاطئة بالطبع، ولهذا يجب إلغاء تأثير المقاومة بدرجة الحرارة.

ولإلغاء تأثير تغير المقاومة نتيجة تغير درجة الحرارة يمكن استخدام النظام التعويضي التالي والموضح بالشكل رقم (٦-٧). حيث يمكن استخدام مقياس الإجهاد في الذراع الرابع لقنطرة ويتستون كمقياس فعال (تأثير إجهاد + تأثير حرارة)، وفي الذراع الثاني (ذراع تناسب الاتزان) يمكن استخدام مقياس إجهاد آخر كمقياس تعويضي، وهذا المقياس يمكن تثبيته في اتجاه متعاكس على اتجاه الإجهاد بحيث لا يتأثر بالإجهاد ولكنه يتأثر فقط بالحرارة، وبالتالي فإن الذراعين المتناسبين يكون أحدهما متأثراً بالإجهاد والحرارة أما الآخر يكون متأثراً بالإجهاد فقط، وبالتالي يمكن إلغاء تأثير الحرارة.



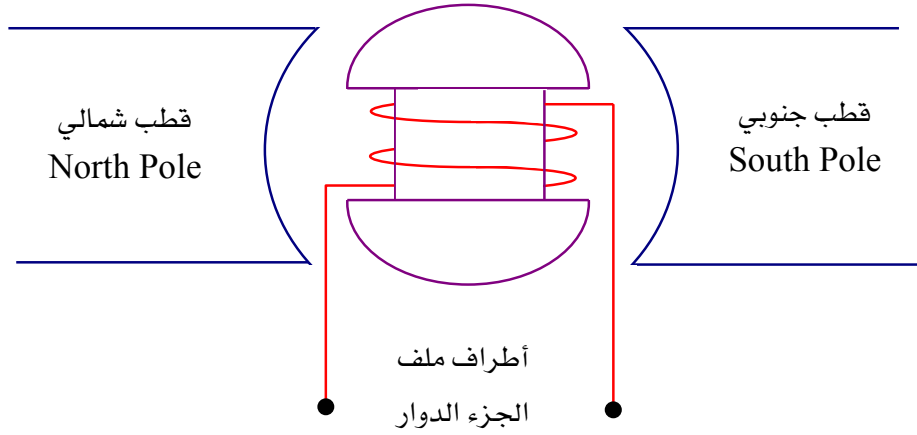
شكل رقم (٦-٧) النظام التعويضي لمبدل مقياس الإجهاد لإلغاء تأثير درجة الحرارة.

٦-٣-٣ الحساس والمبدل الحثي Inductive transducer

يستخدم الحساس والمبدل الحثي نظرية عمل المولد الكهربائي في توليد جهد كهربائي بين أطراف الموصل في حالة وجود حركة نسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي. هذه الحركة النسبية تكون هي في الغالب الكمية المراد قياسها. وفيما يلي سنتعرض لنوعين من أنواع المبدلات الحثية.

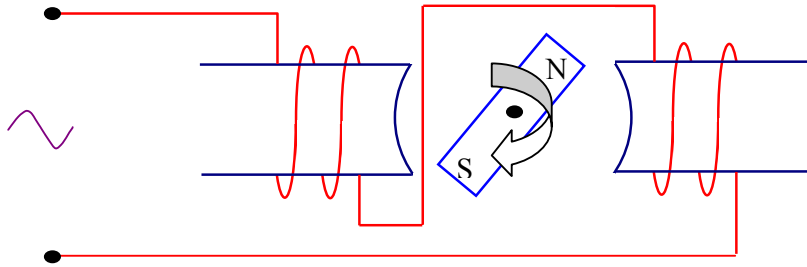
٦-٣-٣-١ مقياس السرعة الدوارة (Tachometer)

شكل رقم (٦-٨) يبين مقياس السرعة الدوارة وهو مبدل حثي يمكنه تحويل السرعة الدوارة مباشرة إلى إشارة كهربائية فهو عبارة عن مولد تيار مستمر ذي أقطاب دائمة المغناطيسية يمكنه توليد جهد مستمر بقيمة ثابتة مقدارها (١٠ mV/r.p.m)، و بذلك يمكنه تغذية مقياس جهد (Voltmeter) معايير لقياس السرعة مباشرة، حيث يتم ربط العضو الدوار لمقياس السرعة بالجزء الدوار المطلوب قياس سرعته.



شكل رقم (٦- ٨) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار مستمر

ولللخروج من مشاكل ماكينات التيار المتردد ، يمكن أيضاً تصميم مقياس السرعة على هيئة مولد تيار متردد بأن يكون العضو الدوار هو الأقطاب المغناطيسية ويتم توليد جهد كهربائي بطريق الحث في ملف موجود في العضو الثابت كما هو موضح بشكل رقم (٦- ٩) .



شكل رقم (٦- ٩) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار متردد.

وعن طريق هذه التركيبية يمكن لإشارة الجهد (المتردد) أن تتقوى بواسطة فلاتر كهربائية ويمكن أيضاً تكبير هذه الإشارات بالإضافة إلى الميزة الهامة لماكينات التيار المتردد من هدوء الصوت قياساً بأجهزة التيار المستمر.

وأحد التطبيقات المهمة لهذا المبدل هو قياس التردد ، حيث إن هناك علاقة مباشرة بين التردد وسرعة الدوران تربطهما العلاقة الرياضية لتالية :

$$n = \frac{120 f}{P} \quad (٦- ٩)$$

حيث:

n : سرعة الدوران وتقاس بوحدة لفة لكل دقيقة (r.p.m.)

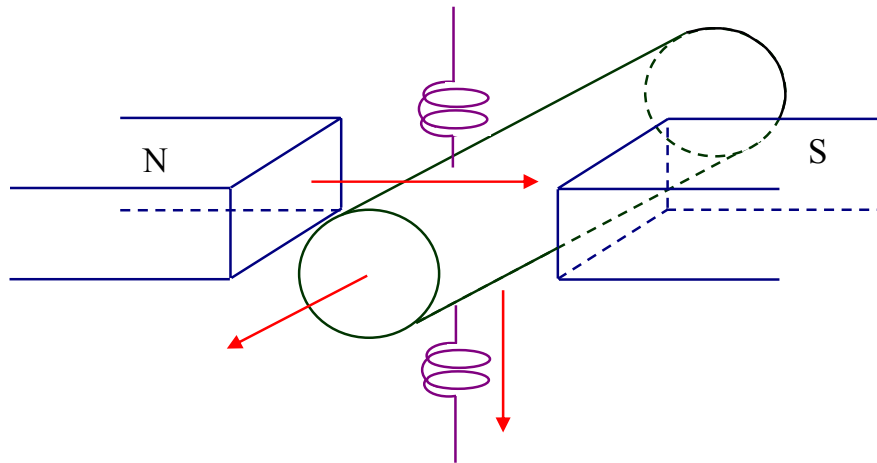
f : التردد ويقاس بوحدة Hertz = cycle/sec

P : عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس

٦- ٣- ٢- المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

Electro-magnetic transducer

تطبيق آخر للمبدل الحثي هو مقياس سرعة تدفق الموائع الجيدة التوصيل للكهرباء حيث يمكن اعتبار المبدل جزء من مقطع أنبوب يتدفق فيه المائع الموصل للكهرباء والمحاط بأنبوب رديء التوصيل للكهرباء أو عازل للكهرباء، وعن طريق أقطاب جيدة التوصيل للكهرباء مثبتة داخل الأنبوب على امتداد قطره وعمودية على كل من اتجاه سريان المائع واتجاه المجال المغناطيسي، كما في شكل رقم (٦- ١٠) وموصلة باثنتين من الملفات الموصلة كهربائياً عكس بعضهما، يمكن الحصول على جهد يتناسب مع سرعة سريان المائع داخل الأنبوب، حيث يعتبر المائع في هذه الحالة موصل يقطع خطوط المجال المغناطيسي بسرعة v تساوي.



شكل رقم (٦- ١٠) المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

ويمكن حساب الجهد الناتج من العلاقة الرياضية الآتية:

$$E = B L v \quad (٦- ١٠)$$

حيث:

E: الجهد الناتج أو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ويقاس بوحدة الفولت (volts)

B: كثافة المجال المغناطيسي مقاسة بوحدة التسلا (Tesla = Weber/m²)

v: سرعة سريان المائع وتقاس بوحدة متر/ثانية (m/sec)

يسمى مقياس التدفق بالمقياس الكهرومغناطيسي لتدفق الموائع، الذي من مميزاته عدم التأثير على الضغط داخل الأنبوب كما أنه يصلح لقياس سرعات عالية جداً ولكن في المقابل لا يصلح هذا المقياس للسرعات البطيئة (أقل من ١ foot/sec) إلا إذا تجاوزت موصلية السائل ٠.٥ siemens/m. ومن عيوب هذا النظام أيضاً أن الأقطاب لا بد أن تكون دائماً نظيفة وجيدة التوصيل للكهرباء، وفي كثير من الأحيان في الأغراض الصناعية يمكن أن تتكون كثير من الترسبات على هذه الأقطاب حيث تؤدي إلى أخطاء في عملية القياس.

مثال رقم (٦- ٤)

جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق، ذو قطر أنبوب = ١.٢٥ cm، إذا كانت كثافة المجال المغناطيسي = ٠.٢ Tesla، وكان جهد المقياس قدره = ٢٥ mV، احسب سرعة تدفق المائع.

الحل

بتطبيق معادلة رقم (٦- ١٠) للجهد:

$$E = B L v$$

يمكن حساب السرعة v:

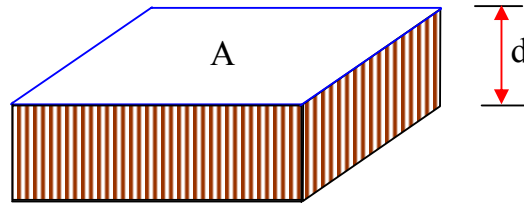
$$v = \frac{E}{B L} = \frac{25 \times 10^{-3}}{0.2 \times 1.25 \times 10^{-2}} = 10 \text{ m/sec}$$

٦- ٣- ٤ الحساس والمبدل السعوي Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم

(٦- ١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{kA\epsilon_0}{d} \quad (\text{Farads}) \quad (٦- ١١)$$



شكل رقم (٦ - ١١) المكثف ذو اللوحين المتوازيين.

حيث:

C: السعة الكهربائية وتقاس بوحدة الفاراد (Farad)

k: ثابت العازل المستخدم بين اللوحين وهو بدون أبعاد

A: مساحة اللوح وتقاس بوحدة المتر المربع (m^2)

d: المسافة بين اللوحين وتقاس بوحدة المتر (m)

ϵ : سماحية الهواء أو الفراغ Permittivity وتقاس بوحدة الفاراد/متر، وهي قيمة معروفة

$$(\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Farad / m})$$

ويعتمد الحساس أو المبدل السعوي على المعادلة الرياضية السابقة حيث التغير في المسافة بين

اللوحين أو التغير في المساحة المشتركة بين اللوحين يؤدي بالتالي إلى تغير في قيمة سعة المكثف.

وفيما يلي بعض الأمثلة للحساسات السعوية بأشكال وتطبيقات مختلفة.

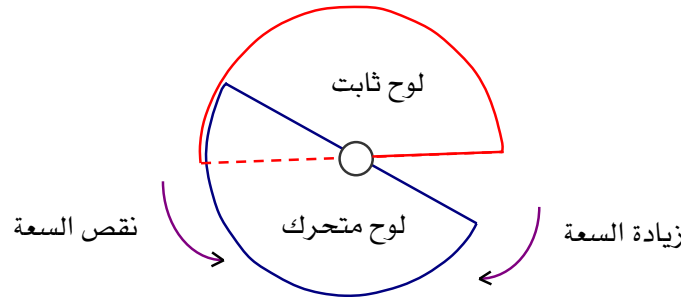
٦- ٣- ٤- ١ مقياس الإزاحة الدورانية Rotational movement transducer

وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين على شكل أنصاف دوائر مشتركين في المحور أحدهما ثابت

والآخر قابل للحركة حول المحور المشترك كما هو مبين بشكل رقم (٦ - ١٢). وتؤدي حركة اللوح إلى

زيادة المساحة المشتركة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة

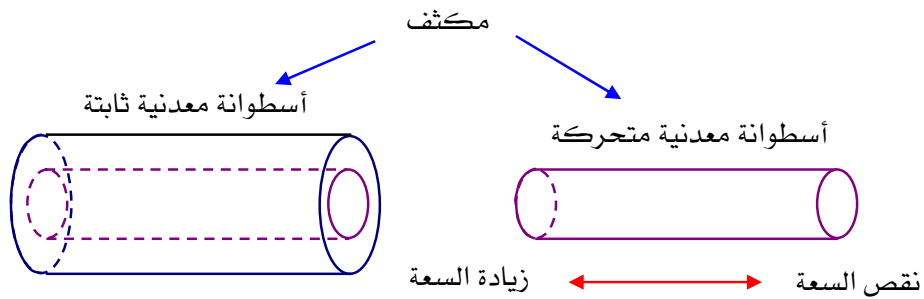
المكثف.



شكل رقم (٦ - ١٢) مقياس الإزاحة الدورانية.

٦- ٣- ٤- ٢ مقياس الإزاحة الخطية Linear movement transducer

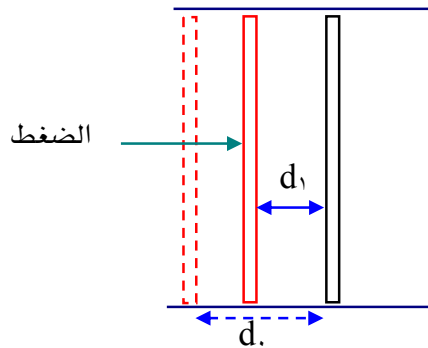
وهو عبارة عن مكثف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحدهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٣). وتؤدي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦- ١٣) مقياس الإزاحة الخطية.

٦- ٣- ٤- ٣ مقياس الضغط Pressure transducer

وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين متوازيين أحدهما ثابت والآخر على شكل غشاء رقيق قابل للحركة في اتجاه المسافة بين اللوحين كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٤). وتؤدي حركة اللوح إلى زيادة المسافة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف. ويستخدم هذا الحساس في قياس الضغط حيث يؤثر الضغط على الغشاء الرقيق ويحركه فيغير المسافة بين اللوحين من المسافة الابتدائية d_0 إلى المسافة الجديدة d ، وعن طريق قياس السعة يمكن قياس قيمة الضغط.



شكل رقم (٦- ١٤) مقياس الضغط.

مثال رقم (٦- ٥)

احسب سعة المكثف لمقياس ضغط سعوي، إذا كانت:

• المساحة المشتركة بين اللوحين $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

• المسافة بين اللوحين $1 \times 10^{-3} \text{ m}$

الحل

من معادلة رقم (٦- ١١) للسعة بين اللوحين المتوازيين:

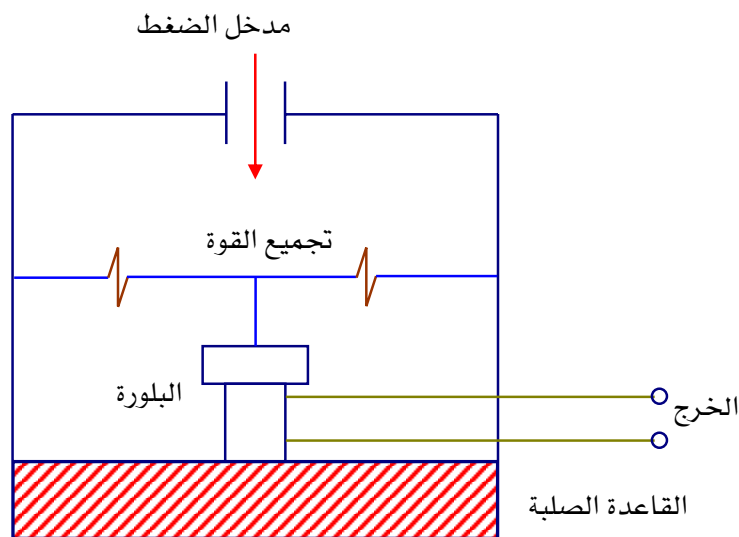
$$C = \frac{kA\epsilon_0}{d} \quad (\text{Farads})$$

$$C = \frac{(1)(5 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m})}{1 \times 10^{-3} \text{ m}} = 44.25 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$C = 44.25 \text{ pF}$$

٦- ٣- ٥ مبدل بلورة بيزو الكهربائية (مبدل الكهربائية الإجهادية) Piezoelectric Transducer

عندما توضع بعض المواد البلورية (مثل الكوارتز quartz وملح روشيل Rochelle salt) تحت إجهاد ميكانيكي، ينتج بين أسطحها جهد كهربائي، وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة بيزو الكهربائية الإجهادية. وتستخدم هذه الخاصية في الحساسات والمبدلات الكهربائية عندما توضع البلورة بين قاعدة صلبة ثابتة وأحد نبائط تجميع القوة كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٥).



شكل رقم (٦- ١٥) مبدل بلورة بيزو الكهربائية.

تدخل القوة الخارجية إلى المبدل من خلال فتحة الضغط والتي تسلط قوة أعلى البلورة وتسبب توليد جهد كهربائي بين سطحين من أسطحها يتناسب مع مقدار الضغط المؤثر.

٦- ٣- ٦ حساسات ومبدلات الحرارة

يمكن تقسيم حساسات ومبدلات الحرارة إلى الأنواع التالية:

(أ) مقياس حرارة المقاومة الكهربائية Resistance thermometer.

(ب) المزدوج الحراري Thermo Couple.

(ت) المجس الحراري Thermistor.

وسوف نتعرض بإيجاز لكل من الأنواع الثلاثة.

٦- ٣- ١ مقياس حرارة المقاومة الكهربائية

يصنع مقياس حرارة المقاومة من عناصر حساسة ونقية من البلاتين أو النحاس أو النيكل والتي تتأثر مقاومتها الكهربائية بطريقة ملحوظة بدرجة الحرارة طبقاً للمعادلة الآتية:

$$R = R_0 [1 + \alpha \Delta t] \quad (٦- ١٢)$$

حيث:

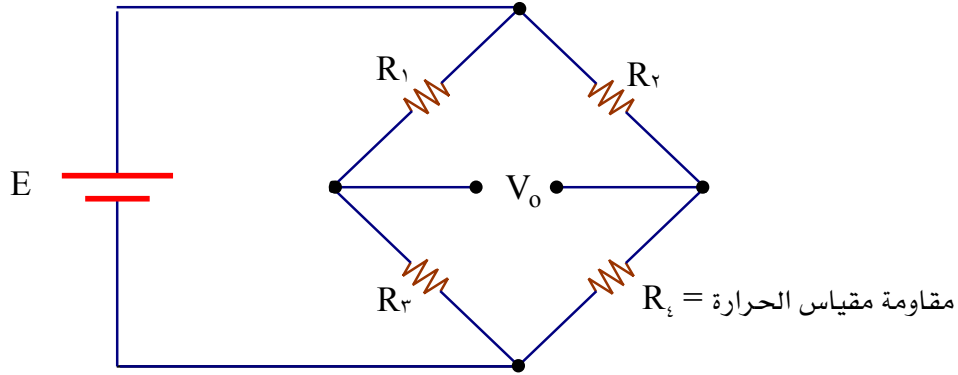
R : مقاومة الموصل عند درجة حرارة t مقاسة بالدرجات المئوية

R_0 : مقاومة الموصل عند درجة حرارة مرجعية (عادة عند $20^\circ C$)

Δt : الفرق بين درجة حرارة التشغيل ودرجة الحرارة المرجعية

α : المعامل الحراري للمقاومة

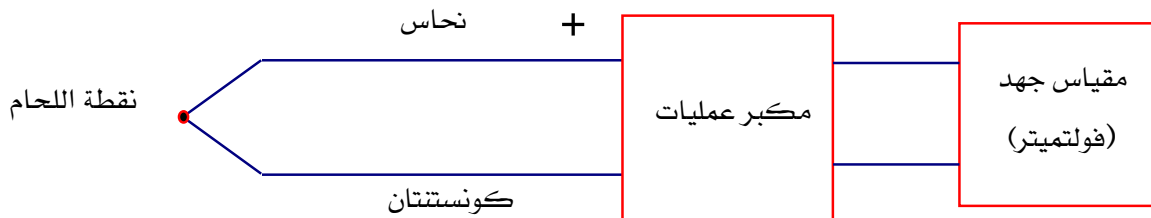
والمواد السابقة تتميز بأن معاملها الحراري α كبير ولذلك فالتغير في المقاومة ملحوظ نتيجة التغير الصغير في درجة الحرارة. والتغير في المقاومة ΔR يمكن قياسه باستخدام قنطرة ويتستون التي يمكن معايرتها لبيان درجة الحرارة المتسببة في تغير المقاومة كما هو مبين بشكل رقم (٦- ١٦).



شكل رقم (٦- ١٦) مبدل مقياس حرارة المقاومة الكهربائية.

٦- ٣- ٢- المزدوج الحراري Thermo-couple

من الخواص الفيزيائية المهمة أنه عند توصيل طرفي سلكين مصنعين من معدنين مختلفين مع بعضهما، يتولد جهد كهربائي بين طرفيهما الآخرين. وهذا الجهد يتناسب مع فرق درجات الحرارة ما بين درجة حرارة الطرفين المتصلين معا و درجة حرارة الطرفين الآخرين. كمثال على ذلك عند توصيل طرف سلك مصنع من مادة النحاس الأحمر Copper مع طرف سلك مصنع من مادة الكونستانتان Constantan، يمكن الحصول على جهد يقاس بوحدة الملي فولت (mV) بين الطرفين الآخرين، ويعتبر النحاس هو القطب الموجب، ويزداد هذا الجهد بزيادة درجة حرارة الوصلة. ويتم تكبير هذا الجهد بواسطة مكبر عمليات Operational Amplifier ثم قراءته على مقياس الجهد الذي يعاير ليقراً الحرارة مباشرة، كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٧).



شكل رقم (٦- ١٧) مبدل المزدوج الحراري.

والعلاقة الرياضية الآتية تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج و درجات الحرارة:

$$E = c (T_1 - T_2) + k (T_1^2 - T_2^2) \quad \text{mV} \quad (٦- ١٣)$$

حيث:

E : الجهد الكهربائي الناتج ويقاس بوحدة المللي فولت.

c و k : ثوابت تعتمد على مادة المزدوج الحراري

T_1 : درجة حرارة الطرفين الموصلين معاً (الوصلة الساخنة) وتقاس بالدرجات السليزيوس (المئوية)

T_2 : درجة حرارة الطرفين غير الموصلين معاً (الأطراف الباردة) وتقاس بالدرجات السليزيوس (المئوية)

مثال رقم (٦- ٦)

احسب الجهد الكهربائي الناتج من مزدوج حراري مصنع من مادتي النحاس و الكونستنتان، إذا كان الثابت $c = 3.75 \times 10^{-2}$ و الثابت $k = 4.5 \times 10^{-5}$ حيث وضعت الوصلة الساخنة في درجة غليان الماء ووضعت الوصلة الباردة في الثلج.

الحل

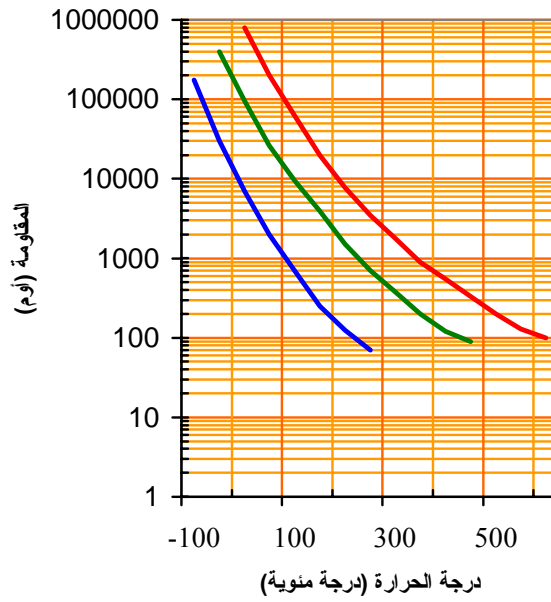
من المعروف أن درجة حرارة غليان الماء هي: $T_1 = 100^\circ\text{C}$ و درجة حرارة الثلج هي: $T_2 = 0^\circ\text{C}$. وبتطبيق المعادلة رقم (٦- ١٣) التي تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج و درجات الحرارة:

$$E = c (T_1 - T_2) + k (T_1^2 - T_2^2) \quad \text{mV}$$

$$E = 3.75 \times 10^{-2} (100 - 0) + 4.5 \times 10^{-5} (100^2 - 0^2) = 4.2 \text{ mV}$$

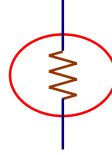
٦- ٣- ٣- ٦- المجس الحراري Thermistor

من المعروف أن المقاومة الكهربائية لمعظم المواد تتغير مع درجة الحرارة. ومن الخواص المهمة لمواد أشباه الموصلات أن معاملها الحراري سالب أي أن مقاومتها تقل بارتفاع درجة الحرارة. والقيمة العددية لهذا المعامل الحراري السالب تكون عادة كبيرة. ويوضح شكل رقم (٦- ١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.



شكل رقم (٦ - ١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.

ويتركب المجس الحراري من خليط يتكون من أكثر من نوع من المواد السابقة الذكر مثل أكاسيد المعادن مثل المنجنيز والنيكل و الكوبالت والنحاس واليورانيوم وغيرها وتتراوح قيمة المقاومة من 0.5Ω إلى $75 M\Omega$. شكل رقم (٦ - ١٩) يوضح رمز المجس الحراري.



شكل رقم (٦ - ١٩) رمز المجس الحراري

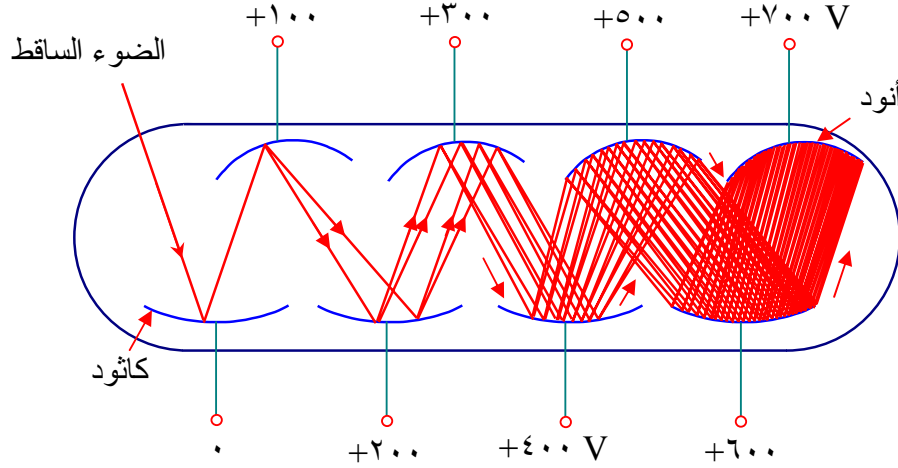
٦- ٣- ٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية Photo – Electric Transducers

الحساسات والمبدلات الكهروضوئية يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

٦- ٣- ٧- ١ الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي

هناك بعض المواد التي تتسم بخاصية انبعاث للإلكترونيات تحت تأثير الضوء، حيث يتسبب سقوط الأشعة الضوئية على المهبط (Cathode) في انبعاث الإلكترونات من سطحه. وكمثال لأجهزة الانبعاث الضوئي هو الأنبوب الضوئي المضاعف الذي يتكون من أنبوب زجاجي مفرغ يحتوي على مهبط

ضوئي (Photo Cathode) ومصعد (Anode) بالإضافة إلى عدة أقطاب كهربائية (Electrodes) تسمى دينودز (Dynodes) كل منها متصل بجهد كهربائي يتدرج في الارتفاع من جهة المهبط إلى جهة المصعد، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ - ٢٠).

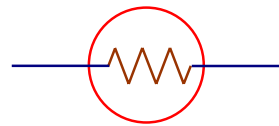
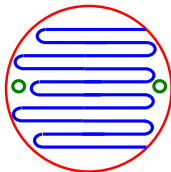


شكل رقم (٦ - ٢٠) الأنابيب الضوئي المضاعف.

نتيجة لسقوط الضوء على المهبط تنبعث الإلكترونات منه وتنجذب إلى الأنود الأول بسرعة عالية (حيث جهده أعلى) وتصطدم به مسببة انبعاث عدد أكبر من الإلكترونات بما يسمى بظاهرة الانبعاث الثانوي، ويتكرر نفس الشيء بين الأنود الأول و الأنود الثاني (ذي الجهد الأعلى) وهكذا يمكن تحويل الضوء إلى تيار كهربائي ذي قيمة محسوسة (من $100\mu A$ إلى $1mA$).

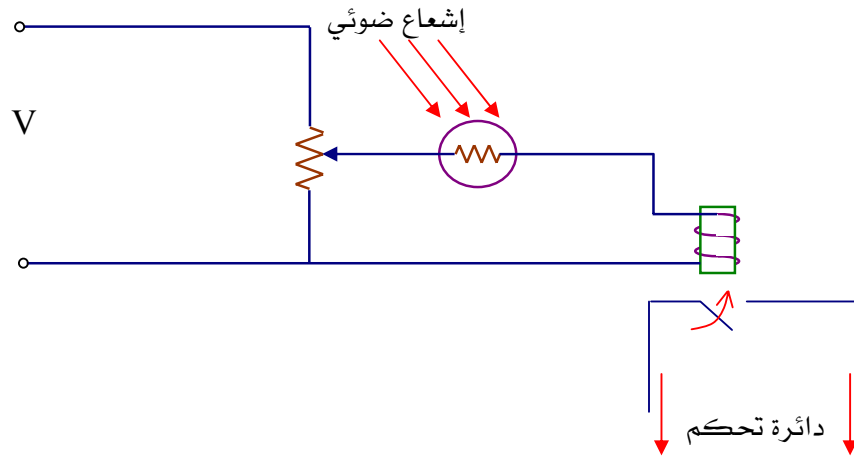
٦- ٣- ٧- ٢ الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية

وهي نوعية أخرى من الحساسات الضوئية، حيث تتأثر أنواع معينة من المواد بالضوء ويظهر هذا التأثير على صورة نقص في مقاومتها النوعية وزيادة بالتالي في قيمة موصليتها. والتركيب الفعلي لهذا النوع من الحساسات يكون على شكل خلايا (موضح أحداها في شكل رقم (٦ - ٢١))، حيث توضع المقاومة المصنوعة من المادة المعنية (مثل كبريتيد الكاديوم) على صورة تموجية بين قطبين معدنيين على قاعدة من السيراميك داخل غلاف معدني ذو نافذة زجاجية (لمرور الضوء من خلالها)، ويتسبب سقوط الضوء في نقص مقاومة المادة بين القطبين.



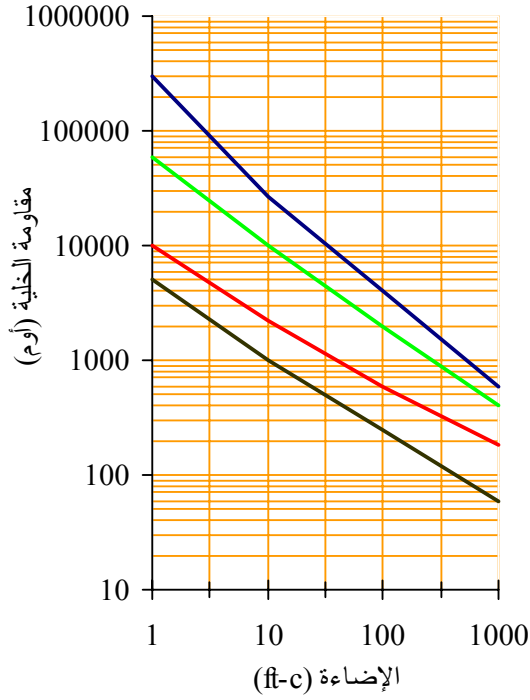
شكل رقم (٦ - ٢١) الرمز الكهربائي للخلية الضوئية و تركيب الخلية الضوئية.

ويتم توصيل الخلية في الدائرة الكهربائية المبينة بالشكل رقم (٦- ٢٢)، حيث يسقط الضوء من خلال النافذة الزجاجية على المقاومة الضوئية فتقل قيمتها، فتسمح بمرور تيار في الملف المغناطيس، فيجذب مفتاح التشغيل في دائرة التحكم في نظام ما.



شكل رقم (٦- ٢٢) استخدام الخلية الضوئية في دائرة تحكم.

وشكل رقم (٦- ٢٣) يبين علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد التي تصنع منها الخلايا.



شكل رقم (٦- ٢٣) علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد

٦- ٣- ٧- ٣ الحساسات والمبدلات ذات فولتية ضوئية

الخلايا الفولتية الضوئية أو الخلايا الشمسية (كما يطلق عليها غالباً) تنتج جهداً كهربائياً بين طرفيها عند تعرضها للضوء وبالتالي تنتج تياراً عند توصيلها بحمل ما. وتصنع هذه الخلايا من مواد أشباه موصلات (أهمها السليكون أو السيلينيوم).

تدريبات على الوحدة السادسة

(I) الأسئلة

- (١) اذكر وظائف المبدل.
- (٢) ما هي أهمية المبدلات في أجهزة القياس الإلكترونية ؟
- (٣) اذكر خمسة معاملات فيزيائية التي يستطيع المبدل قراءتها.
- (٤) صف مبدل مقياس الإجهاد.
- (٥) اذكر ثلاثة أنواع من مبدلات الحرارة وصف استخدام كل منها.
- (٦) ارسم الدائرة الكهربائية المستخدمة لمبدل المجس الحراري.
- (٧) صف عمل مبدل بلورة بيزو الكهربائية.
- (٨) اذكر خمسة أنواع من المبدلات الكهروضوئية ثم تخير نوعين وتحدث عنهما بالتفصيل.
- (٩) صف نظرية عمل المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع.
- (١٠) ارسم رسماً تخطيطياً يبين مبدل مقياس الإجهاد.
- (١١) صف كيف تتم إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد.
- (١٢) ارسم رسماً تخطيطياً يبين مبدل الإزاحة الأومي.
- (١٣) صف كيف تتم إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس الإزاحة الأومي.
- (١٤) صف نظرية عمل مبدل مقياس السرعة الدوارة.
- (١٥) ارسم رسماً تخطيطياً يبين طريقة عمل المزدوج الحراري.

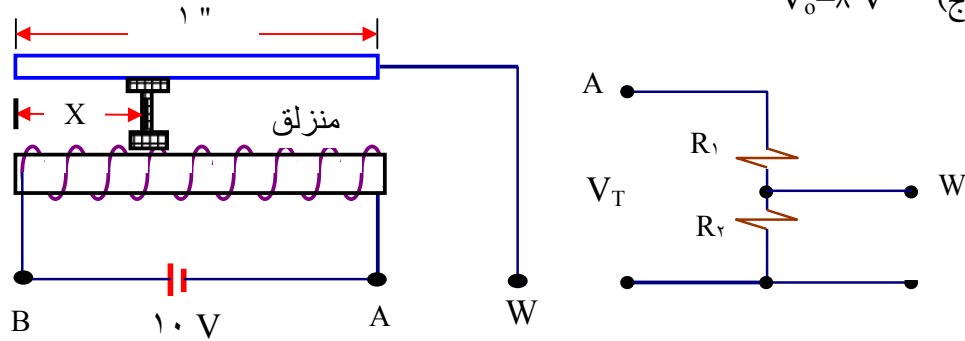
(II) التمارين

(١) مبدل إزاحة أومي بمشوار قضيبى يساوي 1 inch (كما هو مبين بالشكل) حيث كان الجهد الداخل يساوي 10 V ، فما هو مقدار الإزاحة X المناظرة للقراءات الآتية:

$$V_o = 3 \text{ V} \quad (\text{أ})$$

$$V_o = 5 \text{ V} \quad (\text{ب})$$

$$V_o = 8 \text{ V} \quad (\text{ج})$$



(٢) في المسألة السابقة، إذا كان المشوار القضيبى يساوي 5 inches ، ومصدر الجهد الداخل يساوي أيضاً 10 V ، احسب الإزاحة المناظرة للقراءات الآتية:

$$V_o = 2 \text{ V} \quad (\text{أ})$$

$$V_o = 4 \text{ V} \quad (\text{ب})$$

$$V_o = 6 \text{ V} \quad (\text{ج})$$

(٣) مبدل مقياس الإجهاد ذو ثابت مقياس $k = 4$ ، استخدم لقياس الإجهاد الواقع على ماكينة ما. فإذا كانت المقاومة الابتدائية للمقياس $R_i = 100 \Omega$ ، وكان الإجهاد $G = 2 \times 10^6$ ، احسب مقدار التغير في المقاومة.

(٤) مبدل مقياس الإجهاد ذو ثابت مقياس $k = 4$ ، وصل بقضيب معدني. فإذا عرض القضيب إلى استطالة من 10 inches إلى 10.2 inches ، احسب النسبة المئوية للتغير في المقاومة الكهربائية. وإذا كانت المقاومة الكهربائية الابتدائية $R_i = 120 \Omega$ ، احسب قيمة المقاومة بعد تعرض المبدل للإجهاد.

(٥) إذا كانت المقاومة الكهربائية الابتدائية لمبدل مقياس الإجهاد $R_i = 120 \Omega$ ، وكان ثابت المقياس $k = 12$ ، احسب قيمة المقاومة الكهربائية للمبدل بعد تعرضه لإجهاد قدره 1% .

(٦) إذا كانت المقاومة الكهربائية الابتدائية لمبدل مقياس الإجهاد $R_0 = 250 \Omega$ ، وتعرضت مقاومته لتغير قدره $\Delta R = 0.15 \Omega$ أثناء الاختبار نتيجة لإجهاد قدره $G = 1.5 \times 10^{-4}$ ، احسب قيمة ثابت المقياس k .

(٧) مكثف ذو لوحان متوازيان، مساحة كل من اللوحين $A = 4 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ، التباعد بين اللوحين $d = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$ ، احسب السعة الكهربائية للمكثف في الحالات التالية:

(أ) العازل الكهربائي بين اللوحين مصنوع من السيراميك ($k = 1000$)

(ب) العازل الكهربائي بين اللوحين مصنوع من الزيت ($k = 4$)

(٨) مكثف ذو لوحين متوازيين، فما هو التأثير الواقع على قيمة السعة الكهربائية في الحالات التالية:

(أ) إذا تضاعفت مساحة الألواح المتوازية.

(ب) إذا خفضت مسافة التباعد بين اللوحين إلى النصف.

(ت) إذا خفضت قيمة ثابت العزل k بمقدار النصف.

(٩) جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق ذو قطر أنبوب يساوي 0.02 m ، إذا كانت كثافة المجال المغناطيسي تساوي 0.1 Tesla ، وكانت سرعة تدفق المائع قدرها 0.5 m/sec ، احسب القوة الدافعة الكهربائية المتولدة.

(١٠) جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق ذو قطر أنبوب يساوي 0.02 m ، إذا كانت كثافة المجال المغناطيسي تساوي 0.5 Tesla ، وكان القوة الدافعة الكهربائية المتولدة قدرها 0.3 V ، احسب سرعة تدفق المائع.

(١١) احسب الجهد الكهربائي الناتج من مزدوج حراري، إذا وضع في درجة حرارة $T_1 = 80^\circ\text{C}$ ، كان الخرج $0.05 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ وكان الثابت $k = 5 \times 10^{-5}$ حيث وضعت الوصلة الباردة في الثلج.

(١٢) احسب الجهد الكهربائي الناتج من مزدوج حراري مصنع من مادتي النحاس والكونستانتان، إذا كان الثابت $c = 4 \times 10^{-2}$ و الثابت $k = 5 \times 10^{-5}$ حيث وضعت الوصلة الساخنة في درجة غليان الماء ووضعت الوصلة الباردة في الثلج.

بسم الله الرحمن الرحيم

المراجع (References)

- [١] "Electronic Instruments And Measurements."
Larry D. Jones, A. Foster Chin.
Prentice-Hall, Inc.
A Division of Simon & Schuster
Englewood Cliffs, New Jersey, ١٩٩١.
- [٢] "Electrical Measurements and Calibration: Fundamentals and Applications."
Lawrence M. Thompson
Instrumentation System & Paperback – June ١٩٩٤.
- [٣] "The Measurements, Instrumentation and Sensors Handbook."
J. G. Webster
Spring -Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG
Hardcover- December ١٩٩٨.
- [٤] "Sensors for Measurement and Control."
Peter Elgar
Longman
Paperback – ١٩ January ١٩٩٨.

المحتويات

الموضوع	الصفحة
مقدمة	
الوحدة الأولى: المدخل إلى القياسات الكهربائية والإلكترونية	
الأهداف العامة للوحدة الأولى	١
١- مقدمة	٢
١- ٢ مفاهيم عامة	٢
١- ٣ أجهزة القياس الكهربائية والإلكترونية	٣
١- ٣- ١ وظائف وخصائص أنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية	٣
١- ٣- ١- ١ الوحدات الكهربائية	٤
١- ٤- ١ مصادر الأخطاء في عملية القياسات	٥
١- ٥- ١ التحليل الإحصائي للأخطاء في عمليات القياس	١٠
١- ٥- ١ القيمة المتوسطة أو المتوسط الحسابي	١٠
١- ٥- ٢ الانحراف	١٠
١- ٥- ٢- ١ الانحراف المتوسط	١١
١- ٥- ٢- ٢ الانحراف المعياري	١١
١- ٦- ١ الأخطاء المحدودة	١٣
١- ٧- ١ عناصر أجهزة القياس الإلكترونية	١٤
١- ٨- ١ اختيار واستخدام والعناية بأجهزة القياس	١٥
تدريبات على الوحدة الأولى	١٦
الوحدة الثانية: أجهزة قياس التيار المستمر والتيار المتردد	
الأهداف العامة للوحدة الثانية	١٩
٢- ١ مقدمة	٢٠
٢- ٢ جهاز دارسونفال للقياس ذو الملف المتحرك	٢٠
٢- ٢- ١ تركيب جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك	٢٠

٢١	٢- ٢- ٢ نظرية تشغيل جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك
٢١	٢- ٢- ٣ استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك في دوائر التيار المستمر
٢١	٢- ٢- ٣- ١ استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك لقياس التيار المستمر
٢٣	٢- ٢- ٣- ١- ١ دائرة توازي أيرتون
٢٨	٢- ٢- ٣- ١- ٢ تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز الملف المتحرك كجهاز قياس للتيار
٢٩	٢- ٢- ٣- ٢ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد المستمر
٣٢	٢- ٢- ٣- ١- ٢ تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز الملف المتحرك كجهاز قياس للجهد
٣٤	٢- ٢- ٣- ٣ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك كجهاز قياس للمقاومة
٣٦	٢- ٢- ٤- ٢ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك في دوائر التيار المتردد
٣٦	٢- ٢- ٤- ١ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع توحيد نصف موجة
٤٣	٢- ٢- ٤- ٢ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع توحيد موجة كاملة
٤٧	تدريبات على الوحدة الثانية
	الوحدة الثالثة : أجهزة القياس الرقمية
٥٢	الأهداف العامة للوحدة الثالثة
٥٣	٣- ١ مقدمة
٥٤	٣- ٢ أجهزة قياس الجهد الرقمية
٥٤	٣- ٢- ١ أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد
	٣- ٢- ٢ أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج
٦١	٢- ٣ أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات
٦٤	٦٤ تدريبات على الوحدة الثالثة
	الوحدة الرابعة : راسمات الإشارة
٦٥	الأهداف العامة للوحدة الرابعة
٦٦	٤- ٤ مقدمة
٦٦	٤- ٥ المخطط الصندوقي لراسم الإشارة
٦٩	٤- ٦ استخدام راسم الإشارة كجهاز للقياسات

٦٩	٤- ٣- ١ استخدام راسم الإشارة كجهاز لقياس الجهد المتردد
٧٠	٤- ٣- ٢ قياس التردد بالإزاحة
٧١	٤- ٣- ٣ قياس التردد بالمقارنة
٧١	٤- ٣- ٤ قياس فرق الطور
٧٥	تدريبات على الوحدة الرابعة
	الوحدة الخامسة: قنطرات القياس
٧٦	الأهداف العامة للوحدة الخامسة
٧٧	٥- ١ مقدمة
٧٧	٥- ٢ القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر
٧٧	٥- ٢- ١ قنطرة ويتستون
٧٨	٥- ٢- ١- ١ شرط اتزان دائرة قنطرة ويتستون
٧٩	٥- ٢- ١- ٢ الحل العام لدائرة قنطرة ويتستون
٨٢	٥- ٢- ١- ٣ قنطرة ويتستون الغير متزنة نتيجة اختلاف بسيط في المقاومات
٨٤	٥- ٢- ٢ قنطرة كلفن
٨٥	٥- ٢- ٢- ١ اتزان قنطرة كلفن
٨٦	٥- ٢- ٣ القنطرات ذات القراءة الرقمية
٨٧	٥- ٢- ٣ التحكم في القنطرات عن طريق المعالجات الدقيقة
٨٧	٥- ٢- ٤ تطبيقات على قنطرات التيار المستمر
٨٧	٥- ٢- ٤- ١ دائرة موراي
٩٠	٥- ٣- ٣ القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المتردد
٩١	٥- ٣- ١ اتزان دائرة قنطرة ويتستون للتيار المتردد
٩٦	٥- ٣- ٢ قنطرة الزوايا المتماثلة
٩٨	٥- ٣- ٣ قنطرة ماكسويل
١٠١	تدريبات على الوحدة الخامسة
	الوحدة السادسة: الحساسات والمبدلات
١٠٧	الأهداف العامة للوحدة السادسة
١٠٨	٦- ١ مقدمة

١٠٨	٦- ٢ مفاهيم عامة
١٠٨	٦- ٢- ١ تعريف الحساسات والمبدلات
١٠٩	٦- ٢- ٢ تصنيف الحساسات والمبدلات
١٠٩	٦- ٢- ٣ اختيار الحساسات والمبدلات
١١٠	٦- ٣ الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
١١٠	٦- ٣- ١ حساس ومبدل الإزاحة الأومي
١١٣	٦- ٣- ٢ حساس ومبدل مقياس الإجهاد
١١٧	٦- ٣- ٣ الحساس والمبدل الحثي
١١٧	٦- ٣- ٣- ١ مقياس السرعة الدوارة
١١٩	٦- ٣- ٣- ٢ المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع
١٢٠	٦- ٣- ٤ الحساس والمبدل السعوي
١٢١	٦- ٣- ٤- ١ مقياس الإزاحة الدورانية
١٢٢	٦- ٣- ٤- ٢ مقياس الإزاحة الخطية
١٢٣	٦- ٣- ٤- ٣ مقياس الضغط
١٢٣	٦- ٣- ٥ مبدل بلورة بيزو الكهربائية (مبدل الكهربائية الإجهادية)
١٢٤	٦- ٣- ٦ حساسات ومبدلات الحرارة
١٢٤	٦- ٣- ٦- ١ مقياس حرارة المقاومة الكهربائية
١٢٥	٦- ٣- ٦- ٢ المزدوج الحراري
١٢٦	٦- ٣- ٦- ٣ المجس الحراري
١٢٧	٦- ٣- ٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية
١٢٧	٦- ٣- ٧- ١ الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي
١٢٨	٦- ٣- ٧- ٢ الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية
١٣٠	٦- ٣- ٧- ٣ الحساسات والمبدلات ذات فولتية ضوئية
١٣١	تدريبات على الوحدة السادسة
١٣٤	المراجع

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS