وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني العمارة
قسم التقنيات الالكترونيه والاتصالات

الحقيبة التدريسية لمادة اجهزة القياس الالكترونيه

الصف الثاني

تدريسي المادة

رئيس مدربين فنيين اقدم
محمد عبد الحسن عبد

الفصل الدراسي الاول

.

جدول مفردات مادة اجهزة القياس الالكترونيه

الاسبوع	المفردات
الاول	علم القياس – نظام الوحدات العالمي للقياس– وحدات القياس الاساسية – وحدات القياس المشتقة- المضاعفات العشريةواجزاء المضاعفات - اخطاء القياس - امثلة
الثاني	الكلفانوميتر- حساسية الكلفانوميتر –الانحراف النهائي- السلوك الحركي- الية التضاؤل.أمثلة
الثالث	تصنيف اجهزة القياس-اجهزة التاشيروالاسس المعتمد عليها-انواع العزوم ألمؤثرة،-عزم الانحراف- عزم السيطرة-عزم التضاؤل
الرابع	اجهزة القياس ذو الملف المتحرك – التركيب – مبدأ العمل – معادلات العزوم –– المميزات – المساؤي
الخامس	اجهزة القياس ذات الحديدة المتحركة – نوع التجاذبي – نوع التنافري- التركيب- مبدأ العمل -المحاسن –المساؤي.
السادس	انواع المقاومات من حيث قيمها-طرق قياس المقاومة الكهربائية- طريقة الاميتر والفولتميتر – جهاز الاوميتر- نوع التوالي – نوع التوازي - أمثلة
السابع	جهاز الميكر لقياس العازلية والمقاومات العالية القيمة -المكونات – مخطط الدائرة الكهربائية- مبدأ العمل
الثامن	قناطر التيار المستمر – قنطرة وتستون للتيار المستمر لقياس المقاومة المجهولة – مبدأ العمل- حالة الاتزان – عدم الاتزان – اشتقاق معادلة الاتزان للقنطرة – أمثلة-قنطرة كلفن المزدوجة
التاسع	أميتر التيار المستمر- مقاومة على التوازي – اشتقاق معادلة حساب مقاومة التوازي – أميتر متعدد ألمديات – اجراءات الامان عند الاستخدام -أمثلة
العاشر	فولتميتر التيار المستمر- مقاومة على التوالي-اشتقاق معادلة حساب مقاومة التوالى – فولتميتر متعدد المديات –أجراءات الامان عند الاستخدام-أمثلة
الحادي عشر	ألاوفوميتر -المخطط التفاضلي -دائرة مقياس تيار وفولتية- دائرة مقياس تيار وفولتية ومقاومة احادي المدى تيار مستمر– معايرة اجهزة التيار المستمر-معايرة الفولتميتروالاميتر.
الثاني عشر	جهازراسم الاشارة ثنائي الحزمة (الاوسلوسكوب)
الثالث عشر	معايرةاميترالرقمي باستخدام جهاز الاوسلوسكوب

الرابع عشر	معايرةالفولتميترالرقمي باستخدام جهازالاوسلوسكوب
الخامس عشر	فولتميترالتيارالمستمروتوسيع مداه.

الهدف من دراسة مادة اجهزة القياس الالكترونيه (الهدف العام): الهدف العام والخاص :اكتساب الطالب المهارة في مجال استخدام اجهزة القياس الالكترونية والكهربائية المختلفة.
ومعرفة المكونات الاساسية لهذه الاجهزة وكيفية استخدامها بالصورة الصحيحة وبعيدا عن المخاطر في العمل عليها.
والتعرف على كيفية معايرة اجهزة القياس التناظرية والرقمية. وكذلك التعرف على العوامل المؤثرة في دقة القراءة وكيفية اختيار الجهاز المناسب للقياس .بحيث يتمكن الطالب من استخدام اجهزة القياس المختلفة بعد التخرج بصورة

(تذكر الأهداف الموجودة في الخطط الدراسية او مفردات المنهج)

الفئة المستهدفة:

طلبة الصف الثاني / قسم تقنيات الالكترونيك والاتصالات

التقنيات التربوية المستخدمة:

١. سبورة واقلام
٢. السبورة التفاعلية
٣. عارض البيانات Data Show
٤. جهاز حاسوب محمول Laptop

مفاهيم عامة للقياس

الحاجة الى القياس

المعروف أن قدرات الإنسان الذاتية محدودة ولكن يزيد الإنسان من قدراته ويوسع إمكانياته فلذلك كان لابد له من أن يخترع كثيراً من الأجهزة العلمية التي تساعد على فهم ودراسة الأشياء والظواهر المحيطة به ومن أهم الأجهزة التي ساعدت الإنسان على التوصل إلى حقائق الأشياء هي أجهزة القياس التي تطورت تطوراً هائلًا في إطار التطور الصناعي الضخم الذي أعقب الحرب العالمية الثانية . وكما أننا لا نستطيع أن نفصل بين التقدم العلمي والتقدم الصناعي كذلك لا نستطيع الفصل بين التقدم الصناعي وتقدم أجهزة القياس لأن أي اكتشاف علمي يتبعه اكتشافات في مجال الصناعة والتكنولوجيا كما يتبعه ويلزمه استحداث طرق ووسائل جديدة للقيام بعمليات القياس أو المراقبة أو التسجيل .

وهكذا ازدادت المتغيرات التي تحتاج إلى القياس الدقيق، وزاد الاهتمام بتحسين طرق القياس وتطوير أجهزة القياس وحتى في حياة الإنسان الخاصة انتقل الاهتمام من النوع إلى اهتمام بالنوع و الكم معاً , والكم معناه القياس والقياس يتطلب استخدام الجهاز ومعرفة استخدامه صحيحاً.

ما هو القياس

إيجاد مقدار كمية فيزيائية أو متغير فيزيائي أو تقدير حالة ما باستخدام جهاز مناسب أو أداة مناسبة وإذا كان الجهاز المستخدم جهازاً عيارياً متفق عليه عالمياً اعتبرت عملية القياس عملية معايرة، وتكون عندئذ الكمية المقاسة كمية ستاندر أما إذا لم يكن الجهاز عيارياً فتكون عملية القياس عبارة عن مقارنة بالكمية القياسية وقد يستخدم في ذلك جهاز تمت معايرته من قبل . **والمعايرة** هي مقارنة الأجهزة المستخدمة بأجهزة متفق عليها عالمياً من حيث الدقة ومحفوظة تحت ظروف بيئية محددة. هناك اتفاق عالمي على عملية القياس العيارية وعلى وحدات القياس مثل المتر والكيلو جرام والثانية والأمبير

- **والخلاصة** ان القياس عملية مقارنة يستخدم فيها جهاز دقته معلومة للتوصل إلى معرفة مقدار كمية أو مقدار متغير أو تحديد حالة ما وفي أي عملية قياسية لابد من تحويل طاقة لتشغيل الجهاز ولا يتم ذلك عادة دون التأثير على حالة الشيء الذي يراد استنباط المعلومات عنه. فأنت لا تستطيع قياس درجة كمية من الماء دون إدخال الثرمومتر في الماء. يتأثر الثرمومتر بحرارة الماء فهو يمتص جزء من الحرارة فيتمدد الزئبق ويظهر درجة حرارة الماء على الأنبوبة الشعرية المعايرة.

- **بعض المفاهيم التي تستخدم في عملية القياس في أجهزة القياس .**

- **الدقة Accuracy**

دقة الجهاز هي مقدرته على إعطاء قراءة تكون أقرب إلى القراءة الحقيقية " العيارية ". وكلما أعطى الجهاز قراءة أقرب إلى المقدار الحقيقي للكمية المقاسة كلما كان الجهاز دقيقاً أكثر. وتعتبر الدقة **مقياساً لدرجة الخطأ** في النتيجة النهائية المقاسة ويمكن تحديد دقة الجهاز بإعطاء مدى الخطأ الذي يعطيه الجهاز عند قياس مدى معين من المقدار المقاس مثل : ثرمومتر وصف بأنه يعطي خطأ قدره ($\pm 0.5^\circ C$) في المدى ($50^\circ C$ to $100^\circ C$)يمكن أن يقال أن دقته هي ($\pm 0.5^\circ C$) في هذا المدى .

- **الضبط الإحكام Precision**

الضبط هو مقدرة الجهاز على إعطاء نفس القراءة عند تكرار عملية القياس بنفس الجهاز، وكلما كان الجهاز مضبوطاً كلما كانت القراءات التي يعطيها لنفس الكمية عند تكرار عملية القياس متقاربة مع بعضها البعض .

مثال :استخدم ثرمومتر عياري لقياس درجة حرارة سائل فوجدت تساوي $65^\circ C$ وعندما استخدم ثرمومتر زئبقي وجدت درجة الحرارة تساويً $64.5^\circ C$ ووجد أن الثرمومتر الزئبقي يعطي نفس قراءته السابقة عند تكرار التجربة فما هي دقة وأحكام الثرمومتر الزئبقي ؟

ج/ دقة الثرمومتر تساوي $65^\circ C - 64.5^\circ C = 0.5^\circ C$

أي أن الخطأ في هذا المدى هو $\pm 0.5^\circ C$ وهذا مقياس الدقة . لكن الثرمومتر مضبوطاً ومحكماً بدرجة عالية لأنه يعطي نفس القراءة عند تكرار القياس .

الحساسية Sensitivity

هي نسبة الإشارة الخارجة إلى التغير في الإشارة الداخلة . ويختلف تعريف الحساسية حسب نوع الجهاز فمثلاً الكلفانومتر يمكن استخدامه لقياس التيار فتعرف الحساسية SI في هذه الحالة بنسبة مقدار الانحراف بالمليمتر أو التقسيمات (d) إلى شدة التيار بالمايكروأمبير.

$$S_i = \frac{d(mm)}{i(\mu A)}$$

- إذاً وعند استخدام الفولتميتر تكون الحساسية عبارة عن نسبة الانحراف إلى فرق الجهد بالمللي فولت الذي يحدث ذلك الانحراف.

$$S_i = \frac{d(mm)}{Vi(mv)}$$

- أما في حالة جهاز الأوسيلسكوب فتعرف حساسية الانحراف So بأنها نسبة الانحراف بالمتر D إلى فرق الجهد الذي يحدث الانحراف Vd.

$$\mathrm{So} = \frac{\mathrm{D}}{\mathrm{Vd}} = \frac{\mathrm{m\,m}}{v}$$

- ويعرف أيضاً معامل الانحراف بأنه معكوس الحساسية أي أن : deflection factor G

$$G = \frac{1}{\mathrm{So}} \qquad = \frac{\mathrm{Vd}}{\mathrm{D}}$$

استجابة الجهاز Response

هي مقدار الإزاحة التي يمكن أن يحدثها أقل مقدار من الكمية المقاسة يكون مقروءاً مثل إذا كان مقياس ضغط يقيس ارتفاع الزئبق 200 mm ويتراوح مقداره $\pm 2mm$ ستكون استجابته إذن :

$$R_s = \frac{2}{200} \times 100 = 1\%$$

وإذا كان ثرمومتر يستجيب لمتغير في درجة الحرارة قدره $\pm 0.1\ C$ عندما تكون درجة الحرارة $50°\ C$ إذن استجابته تكون :

$$R_s = \frac{0.1}{50} \times 100 = 0.2\%$$

القدرة على التمييز Resolution

هي المقدرة على الفصل بين صورتين صغيرتين متلاصقتين فإذا كانت مقدرة الجهاز مثلاً جهاز التلفزيون أو الأوسيلسكوب " غير عالية فإن صورتين متلاصقتين تظهران كأنهما صورة واحدة وكلما كانت مقدرة الجهاز على التمييز عالية كلما كان الجهاز قادراً على الفصل بين الصور المتقاربة وإظهارها واضحة .

خطأ القياس Error

- هو الفرق بين مقدار الكمية المقاسة والمقدار الحقيقي أو " العياري " للكمية . ومن المهم جداً معرفة مصادر الخطأ وكيفية التقليل من آثارها وقد تتطلب القياسات الدقيقة اختيار الأجهزة المناسبة و إجراء العديد من القياسات للتوصل إلى نتائج دقيقة .

- وعند إجراء أي تجربة لإيجاد كمية معينة لابد من عمل الاحتياطات اللازمة لتجنب الأخطاء التي يمكن أن تدخلها الأجهزة والظروف المحيطة بها كما يجب تكرار قياس الكمية لتقليل الأخطاء العشوائية والوصل إلى نتيجة دقيقة.

أخطاء القياس Errors

لا يمكن قياس أي كمية بدقة كاملة لذلك من المهم جداً معرفة تقدير الدقة التي تم بها القياس وحساب مقدار الخطأ المتوقع في النتيجة و دراسة أخطاء القياس و أخطاء أجهزة القياس هي الخطوة الأولى لإيجاد الطرق والوسائل للتقليل منها . وسنرى فيما يلي أن مصادر الأخطاء متعددة , بعضها من الأجهزة وطرق استخدامها و البيئة التي يعمل فيها وبعضها من الشخص الذي يقوم بعملية القياس لافتقاره للخبرة أو بسبب عادات مكتسبة وبعض الأخطاء لها أسباب عشوائية غير معروف يمكن التقليل من مقاديرها بتكرار عملية القياس واستخدام الوسائل الإحصائية لحسابها .

- **ويمكن تصنيف اخطاء القياس الى ثلاث مجموعات هي :**

1. **- الخطأ الإجمالي Gross Error**

هذا النوع من الخطأ يتضمن الأخطاء الإنسانية في قراءة واستخدام الأجهزة وفي تسجيل وحساب نتائج القياس . هذه الأخطاء كثيراً ما تحدث ويمكن توقعها وتجنبها . ومن هذه الأخطاء أخطاء عدم التطابق وتحدث لإفتقار الخبرة عند قراءة موقع مؤشر بالنظر إلى المؤشر والتدريج بزاوية معينة بدلاً من أن يكون خط الرؤية والمؤشر والتدريج على مستقيم واحد .

ومن الأخطاء الشائعة بين المستجدين عدم اختيار الجهاز المناسب للقياس مثل استخدام فولتميتر مقاومته غير عالية لقياس فرق جهد بين طرفي مقاومة عالية وتكون النتيجة وجود ما يعرف بخطأ "أثر التحميل" وكثيراً ما تنتج الأخطاء من الإهمال مثل عدم التأكد من ضبط الموقع الصفري لمؤشر الجهاز وينتج من ذلك أن تتضمن جميع القراءات خطأ صفريا, **هذه الأخطاء لا يمكن معالجتها حسابياً ولكن يجب تجنبها بالاهتمام والعناية ومعرفة أخذ القراءات الصحيحة وتسجيلها بالممارسة والتمرين.**

2. **الأخطاء الرتيبة Systematic Errors**

تنقسم عادة إلى مجموعتين هما (i) أخطاء الأجهزة التي تحدث من عيوب الأجهزة و (ii) الأخطاء البيئية التي تحدث من تأثير الوسط المحيط بالأجهزة .

i. **أخطاء الأجهزة** : هي أخطاء متأصلة في أجهزة القياس نسبة للأجهزة الميكانيكية المتحركة التي تتأثر بالاحتكاك وينشأ من ذلك ما يعرف "بخطأ الاحتكاك" أو نتيجة لسوء استخدام الجهاز مثل تمرير تيار أعلى من المسموح به فتؤدي هذه العيوب إلى أخطاء في القراءة تعرف "بأخطاء التشوه" . ومن الأخطاء أيضاً أخطاء تحدث نتيجة لقدم الجهاز مثل ضعف المغنطيس الدائم المستخدم في الكلفانومتر.

ii. **الأخطاء البيئية أو الوسطية:** هي أخطاء المؤثرات الخارجية مثل الآثار الحرارية و أثر الرطوبة أو الضغط الجوي أو المجالات الكهربائية و المغناطيسية على الأجهزة . **وهذه الأخطاء يمكن التخلص منها بإتخاذ الاحتياطات اللازمة ومعالجة الظروف المحيطة بالأجهزة قبل استخدامها.**

3. الاخطاء العشوائية Random Errors

هذه الأخطاء لا يعرف أسبابها وتكون موجودة دائماً حتى بعد التخلص من كل الأخطاء الرتيبة وبالرغم من إن الأخطاء العشوائية في التجارب التي يخطط لها تخطيطاً دقيقاً تكون عادة صغيرة لكنها ذات أهمية بالغة متى كانت الدقة المطلوبة عالية.

لنفترض أننا نسجل مقدار فرق جهد ما كل نصف ساعة باستخدام فولتميتر محكم و إننا تحكمنا في ظروف مثالية فإننا سوف نجد أن القراءات تختلف عن بعضها اختلفات طفيفة ولن يكون من السهل معرفة أسباب هذه الفروقات في القراءات **ولكننا يمكن أن نقلل الآثار المترتبة عليها بزيادة عدد القراءات وإيجاد المتوسط الحسابي.**

- وفيما يلي سنستعرض انواع الاخطاء بالتفصيل :

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 خارجية (Environmental Error)

(أ) العوامل الجوية المختلفة من: درجة الحرارة و الضغط 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.

(٣) 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

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 و القيمة المقاسة فعلياً.

ويمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً كما يأتي:

$$e = Y_x - X_n$$

حيث:

e : الخطأ المطلق

Y_n : القيمة المتوقعة للقياس

X_n : القيمة المقاسة فعلياً

تعريف النسبة المئوية للخطأ Percentage Error

هي النسبة بين الخطأ المطلق للقياس و القيمة المتوقعة للقياس كنسبة مئوية.

وبمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً كما يأتي:

$$\text{Percentage Error} = \frac{e}{Y_n} \times 100 = \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100$$

القيمة المتوسطة أو المتوسط الحسابي Average value (arithmetic mean)

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

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + ... + X_n}{n}$$

الانحراف deviation

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

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

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

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

وبمكن وضع المعادلة السابقة على الصورة المختصرة:

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

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

مثال :

من الجدول التالي، احسب:

(أ) المتوسط الحسابي للقراءات $\overline{X}$.

(ب) انحراف كل قيمة d_i.

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

المتغير	القيمة
X_1	٥٠.١
X_2	٤٩.٧
X_3	٤٩.٦
X_4	٥٠.٣

الحل:

(أ) المتوسط الحسابي $\overline{X}$:

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

(ب) انحراف كل قيمة d_i :

$$d_1 = 50.1 - 49.9 = 0.2$$

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

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

$$d_4 = 50.2 - 49.9 = 0.3$$

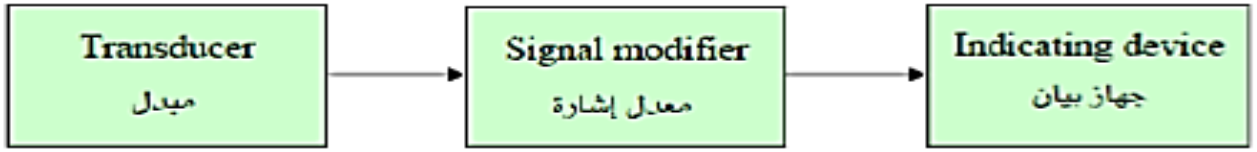
(ج) المجموع الجبري للانحرافات $\sum_{i=1}^{n} d_i$:

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

أجهزة القياس الالكترونية

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 أيضا، 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 وتدريج 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 تدريج الجهاز ليقرأ الكمية الفيزيائية المتوط بالجهاز قياسها.

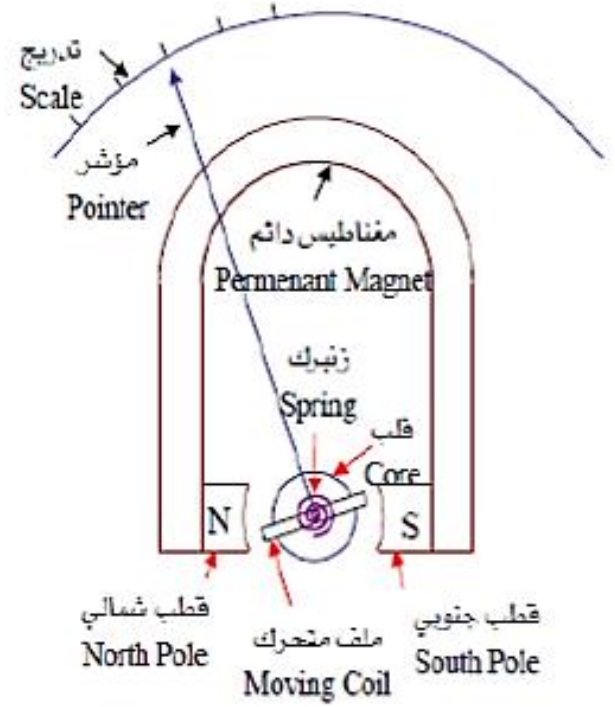
أجهزة قياس التيار المستمر والتيار المتردد

جهاز دارسونفال للقياس ذو الملف المتحرك (الكلفانومتر)

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

تركيب جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك (الكلفانومتر)

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



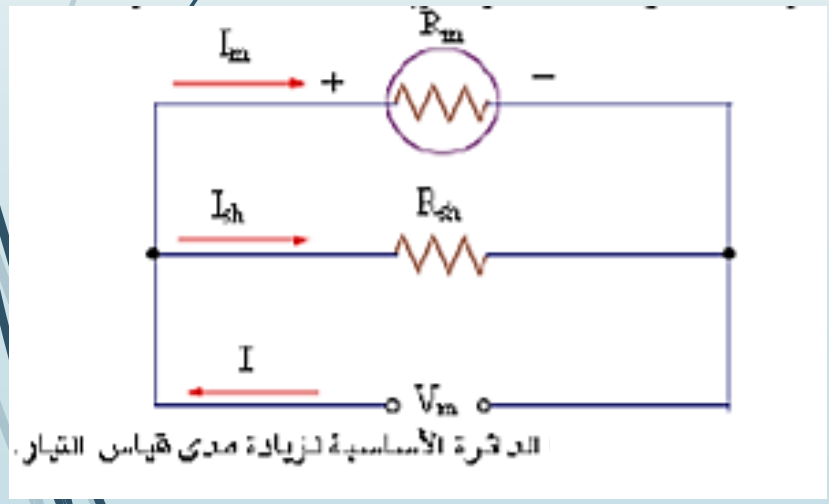
تركيب جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك.

نظرية تشغيل جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك

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

استخدام جهاز دارسونفال ذو الملف المتحرك في دوائر التيار المستمر

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 50mA. وهذا يعني أن قدرة الجهاز على قياس التيار محدودة. وللتغلب على هذا العيب، ولاستخدام الجهاز لقياس تيارات عالية، يوصل على التوازي مع الملف مقاومة تسمى (R_{sh}) تعمل على تجزئة التيار، حيث يمر في الملف التيار الذي يستطيع تحمله ويمر الباقي في المقاومة المتوازية معه. يوضح شكل رقم (٢ -٢٠) الدائرة الأساسية لاستخدام مقاومة التوازي في جهاز القياس ذو الملف المتحرك لزيادة مدى القياس للتيار.



الدائرة الأساسية لزيادة مدى قياس التيار.

في معظم الدوائر يكون التيار I_{sh} أكبر بكثير جدا من التيار I_m الذي يمر في الملف المتحرك نفسه. ويمكن حساب قيمة مقاومة التوازي التي توصل مع الملف المتحرك عن طريق تطبيق قانون أوم على الدائرة في شكل رقم (٢ -٣)، بفرض أن:

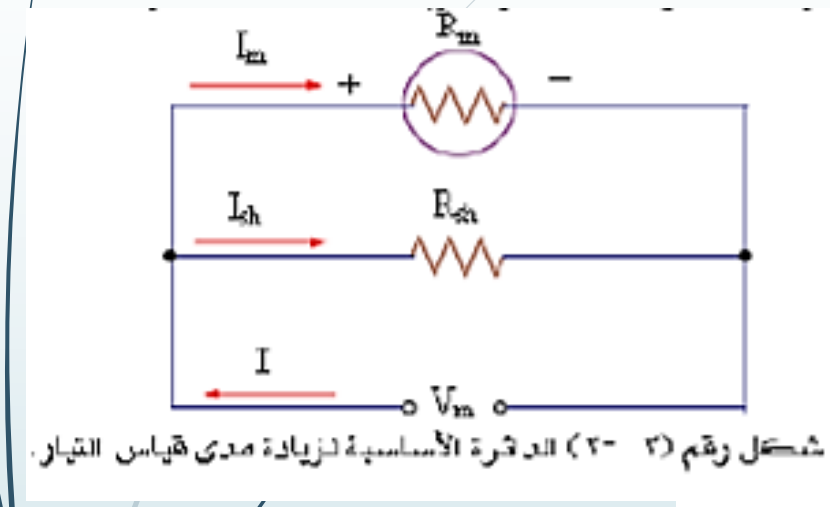
R_{sh}: مقاومة التوازي

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



شكل رقم (٢ -٣) الدائرة الأساسية لزيادة مدى قياس التيار.

بالرجوع إلى شكل رقم (٢ -٣) نجد أن الجهد على طرفي الملف المتحرك يساوي:

$$V_m = I_m \cdot R_m \qquad (٢-١)$$

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

$$V_m = V_{sh} \qquad (٢-٢)$$

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

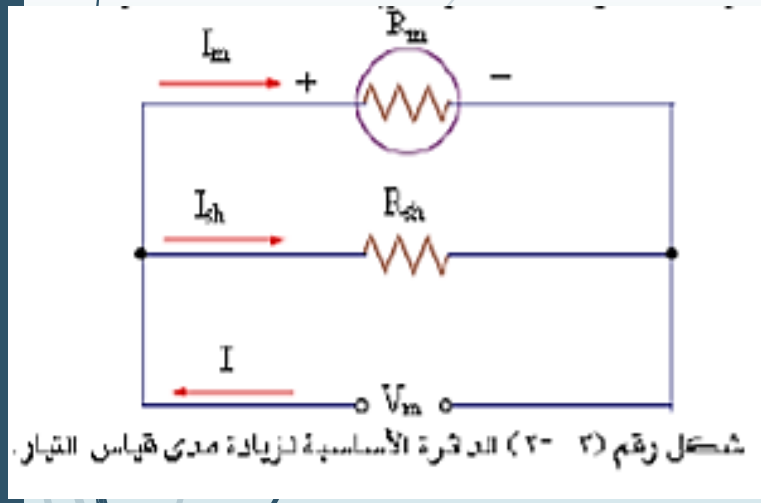
$$I = I_m + I_{sh} \qquad (٢-٣)$$

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

$$I_{sh} = I - I_m \qquad (٢-٤)$$

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

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



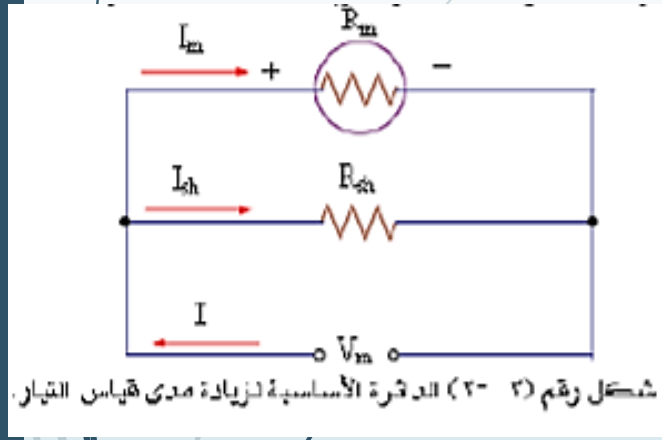
شكل رقم (٢-٣) الدائرة الأساسية لزيادة مدى قياس التيار.

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

$$n = \frac{I}{I_m} \qquad (٢-٦)$$

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

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



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

مثال رقم (٢-١)

جهاز قياس دارسونفال ذو الملف المتحرك بالمواصفات التالية:

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

الحل:

بتطبيق المعادلة (٢-٥):

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

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

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

ثم يتم تطبيق المعادلة (٢-٧) كما يلي:

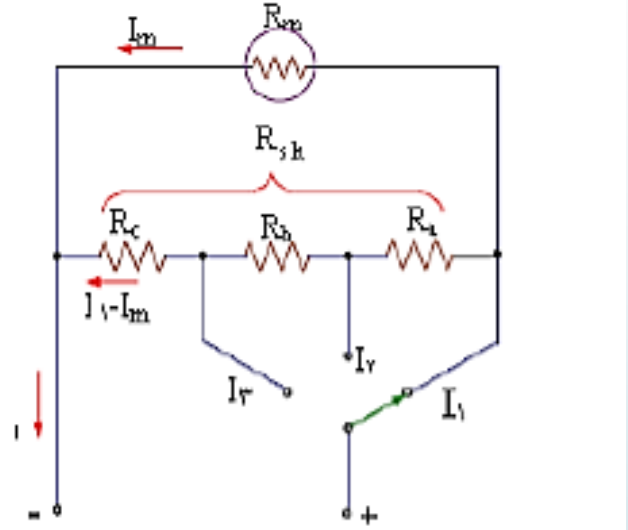
$$R_{sh} = \frac{R_m}{(n-1)} = \frac{100\Omega}{10-1} = \frac{100}{9} = 11.11\ \Omega$$

١ دائرة التوازي أيرتون The Ayrton shunt

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

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

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



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

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

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

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

حيث:

$$n = I_1 / I_m \qquad (٣ - ١٠)$$

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

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

$$V_{R_b+R_c} = V_{R_a+R_m} \qquad (11-2)$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كما يلي:

$$(R_b + R_c)(I_2 - I_m) = I_m(R_a + R_m) \qquad (12-2)$$

وبفك هذه المعادلة، نحصل على:

$$I_2(R_b + R_c) - I_m(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_m) \qquad (13-2)$$

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

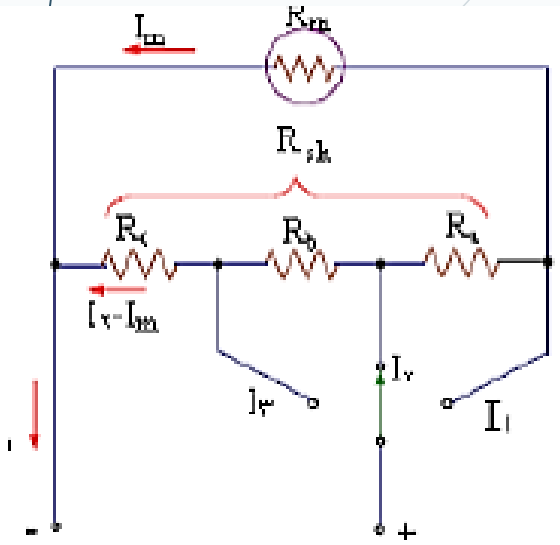
$$I_2(R_b + R_c) = I_m(R_a + R_b + R_c + R_m) = I_m(R_{sh} + R_m) \qquad (14-2)$$

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

$$R_b + R_c = \frac{I_m(R_{sh} + R_m)}{I_2} \qquad (15-2)$$

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

$$R_a = R_{sh} - (R_b + R_c) \qquad (16-2)$$



شكل رقم (2-14) دائرة التوازي لأيرتون مع تطاق التيار [I_2].

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

فإن المقاومة R_b تخرج من التوازي مع R_c وتدخل على التوالي مع R_a+R_m وبذلك تكون المقاومة R_c على التوازي مع المقاومة $R_m+R_a+R_b$ وحيث إن الجهد يكون ثابتاً على التوازي فإن:

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

ويمكن كتابة هذه المعادلة بدلالة التيارات والمقاومات كالآتي:

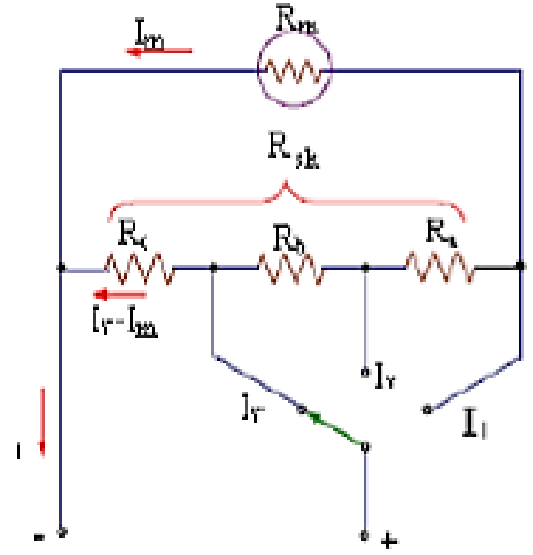
$$R_c(I_3 - I_m) = I_m(R_a + R_b + R_m) \qquad (٣-١٨)$$

وبفك هذه المعادلة:

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

وبنقل R_cI_m إلى الطرف الأيمن من المعادلة:

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



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

وبالتالي فإن قيمة المقاومة (R_c) تعطى بالعلاقة الآتية

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

وهكذا يمكن حساب قيمة المقاومة R_b من العلاقة الآتية:

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

مثال رقم (٢ -٣)

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

الحل:

نسبة التكبير للمدى الخارجي:

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

يمكن حساب مجموع المقاومات الثلاثة كالآتي:

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

ثم نحسب قيمة $R_b + R_c$ كالآتي:

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

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

إذن:

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

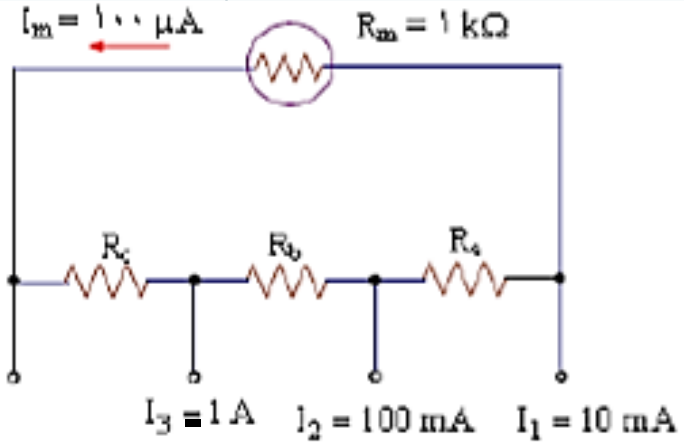
ثم نحسب قيمة R_c كالآتي:

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

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

وبالتالي يمكن حساب R_b كالآتي:

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

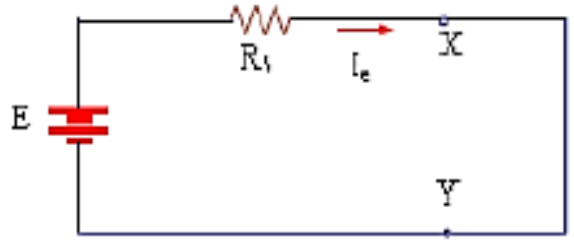


شكل رقم (٢ -٦) تمثل دائرة توازي أيرتون للمثال رقم (٢ -٣).

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

٨

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



شكل رقم (٢ -٧) قياس القيمة الفعلية للتيار بدون أميتر

فإذا أردنا قياس هذا التيار بواسطة جهاز أميتر له مقاومة داخلية (R_m)، كما هو موضح في شكل رقم (٢ -٨)، فسوف تتغير قيمة التيار، وبتطبيق قانون أوم نجد أن:

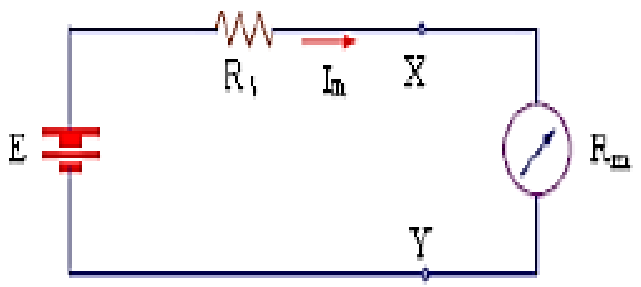
$$I_m = E / (R_1 + R_m) \qquad (٢ -٣٣)$$

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

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

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

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

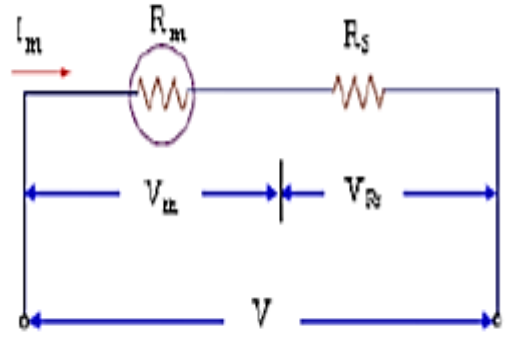


شكل رقم (٢ -٨) قياس القيمة الفعلية للتيار باستخدام أميتر

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

جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد المستمر

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



شكل رقم (٣-١٠) دائرة جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك لقياس الجهد الكهربائي.

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

$$I_m = V/(R_m + R_S) \qquad (٣-٤)$$

$$R_S = (V/I_m) - R_m \qquad (٣-٥)$$

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

$$S = 1/I_{FS} \qquad (٣-٢٦)$$

حيث:

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

وحدات S هي:

$$S \equiv \frac{1}{\text{Ampere}} = \frac{1}{\text{volt/ohms}} = \text{ohm / volt} = \Omega/V \qquad (٣-٢٧)$$

وبالتالي يمكن حساب المقاومة R_S كالآتي:

$$R_S = S \cdot V - R_m \qquad (٣-٢٨)$$

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

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

الحل

من المعادلة رقم (٣-٢٨)

$$R_S = SV - R_m$$

ونبدأ بحساب حساسية الجهاز S كما يلي:

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

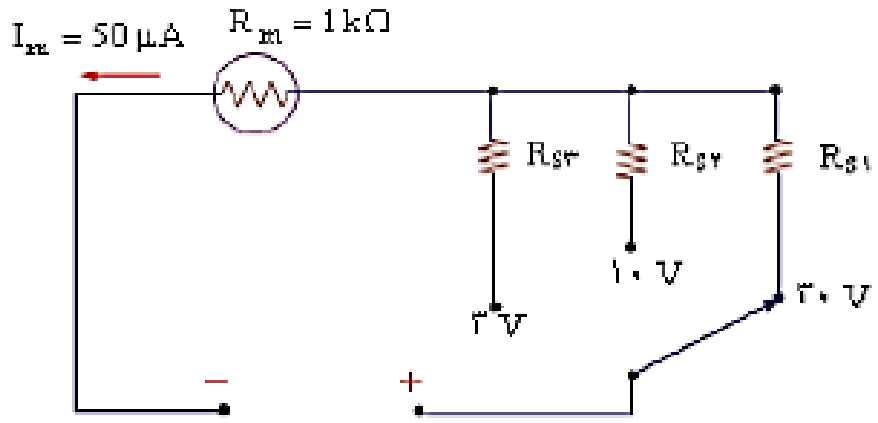
وبتطبيق S في معادلة R_S:

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

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

مثال رقم (٢ -٤)

احسب قيم للمقاومات المجهولة R_{S1}, R_{S2}, R_{S3} في نظام جهاز قياس الجهد المبين بشكل رقم (٢ -١٠٠).



شكل رقم (٢ -١٠٠) دائرة قياس الجهد الكهربائي للمثال رقم (٢ -٤).

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز S:

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

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

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

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

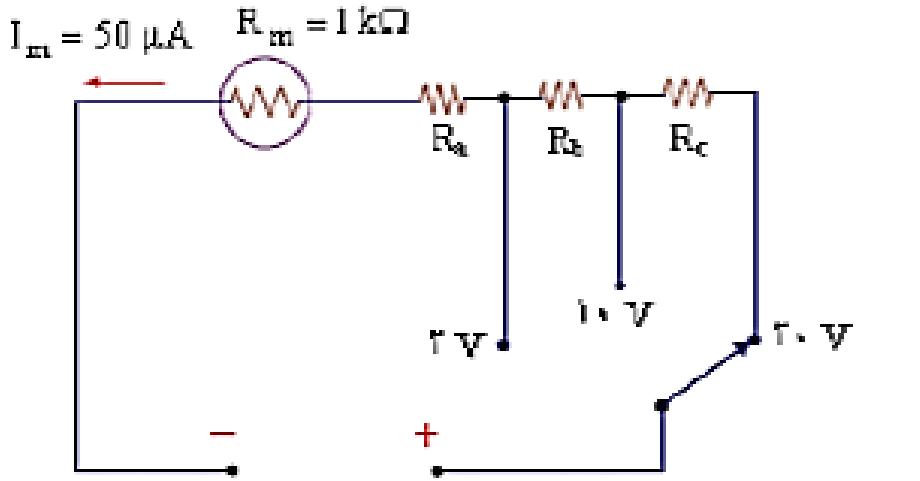
$$R_{S2} = S \cdot V_2 - R_m = 20\ k\Omega/V \times 10V - 1\ k\Omega = 199\ k\Omega$$

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

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

مثال رقم (٢-٥)

احسب قيم المقاومات المجهولة R_a, R_b, R_c في نظام جهاز قياس الجهد المبين بشكل رقم (٥-١١).



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

الحل:

نبدأ بحساب حساسية الجهاز S:

$$S = 1/I_m = 1/50\ \mu A = 20\ k\Omega/V$$

لحساب R_a نعتبر نطاق القياس الأول ٣ V:

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

لحساب R_b نعتبر نطاق القياس الثاني ١٠ V:

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

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

لحساب R_c نعتبر نطاق القياس الثالث ٣٠ V:

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

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

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

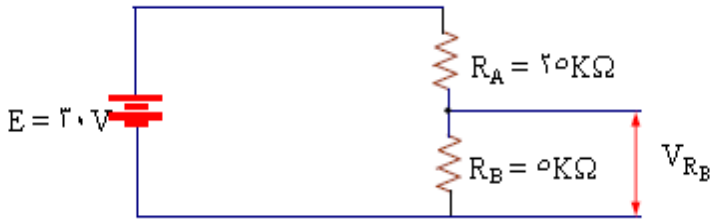
١

يجب أن تكون مقاومة جهاز قياس الجهد كبيرة جدا 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 (٣ -١٣) وضعا يؤدى 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:

$$V_{R_B} = E \times \frac{R_B}{R_A + R_B} \qquad (٣-٣٩)$$

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



شكل رقم (٣ -١٣) دائرة توضح تأثير الحمل في حالة الفولتميتر.

بقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر له مقاومة داخلية مقدارها ١٠kΩ، ففى هذه الحالة يقل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة، لأنه موصل على التوازي مع المقاومة R_B، وبالتالي تكون محصلة المقاومتين على التوازي R_{eq} تساوي:

$$R_{eq} = R_B \,//\, R_V$$

$$= \frac{R_B \times R_V}{R_B + R_V}$$

$$= \frac{5\,k\Omega \times 10\,k\Omega}{5\,k\Omega + 10\,k\Omega} = 3.33\,k\Omega$$

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

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

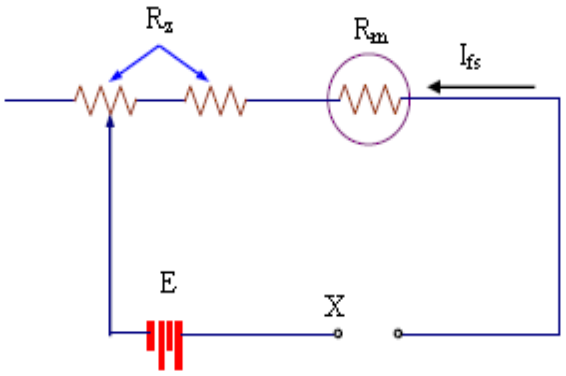
وهنا نجد أن نسبة الخطأ في قيمة الجهد نتيجة لتأثير الحمل تساوي ٢٩.٤ % ، وهذا التأثير كبير نظرا لأن مقاومة مقياس الجهد صغيرة جدا.

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 (٣ -١٢) أن تزيد مقاومة مقياس الجهد الداخلية ، عن مئة ضعف قيمة مقاومة الحمل ، أي أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل ٥٠٠ kΩ أو أكثر.

٢ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك كجهاز قياس للمقاومة

الأوميتر 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 و الأميتر.

ويمكن استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع بطارية ومقاومة معلومة للحصول على دائرة أوميتر بسيطة كما هو موضح في شكل رقم (٣ -١٣)، وهو ما يطلق عليه بأوميتر التوالي.



شكل رقم (٣ -١٣) الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتر

تتكون الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتر كما هو مبين في شكل رقم (٣ -١٣)، من مقاومة معلومة (R_s) وميللي أميتر ذو ملف متحرك (R_m) وبطارية (E)، وتكمل المقاومة المجهولة (R_x) الدائرة عندما توصل بين طرفي دخل الأوميتر [النقطتين X, Y في شكل رقم (٣ -١٣)] وتكون جميع هذه العناصر متصلة على التوالي.

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

$$I = \frac{E}{R_z + R_m + R_x} \qquad (٣٠-٣)$$

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:

$$I = \frac{E}{R_z + R_m} \qquad (٣١-٣)$$

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

$$I_{f.s} = \frac{E}{R_z + R_m} \qquad (٣٢-٣)$$

وإذا كانت $R_x = R_z + R_m$، فإن:

$$I = \frac{E}{2(R_z + R_m)} = \frac{1}{2} I_{FS} \qquad (٣٣-٣)$$

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

$$I = \frac{E}{3(R_z + R_m)} = \frac{1}{3} I_{FS} \qquad (٣٤-٣)$$

وإذا كانت $R_x = 3(R_z + R_m)$، فإن:

$$I = \frac{E}{4(R_z + R_m)} = \frac{1}{4} I_{FS} \qquad (٣٥-٣)$$

وهكذا، وحيث إن زاوية انحراف المؤشر تتناسب مع التيار فيمكن أن يعاير تدريج الجهاز بحيث يبين قيمة المقاومة المجهولة مباشرة، ويلاحظ أن تدريج هذا النوع من الأجهزة معكوس، أي يبدأ من (∞) حتى الصفر دائما، وأن قيمة المقاومة المجهولة (R_x) عند منتصف التدريج تساوي مقاومة دخل الأوميتر ($R_z + R_m$)، وهي قيمة هامة في دراسة خواصه، كما أن التدريج 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 (٣-١٣)، أي عمل دائرة قصر(short) وضبط مؤشر الجهاز على صفر التدريج. ويتم ضبط الصفر للجهاز بتغيير الجزء المتحرك من المقاومة (R_z).

استخدام القناطرفي القياس

مقدمة Introduction

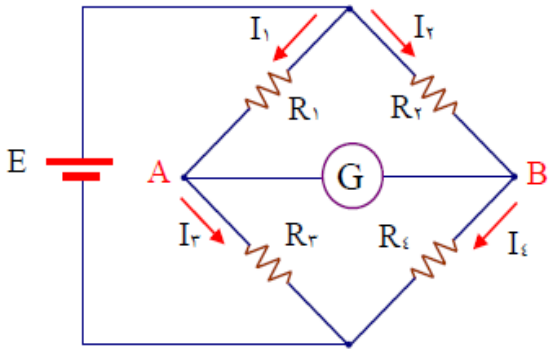
تعد تقنية القياسات الكهربائية بطريقة قنطرات القياس من أدق أساليب القياس التي تعتمد في أساس عملها على مقارنة العنصر الكهربائي المقاس بمجموعة أخرى من العناصر الموجودة في دائرة القنطرة. وبهذا فإنها لا تعتمد في تقنيتها على معايرة جهاز القياس المستخدم أو خواصه الفيزيائية. وتستخدم قنطرات القياسات على نطاق واسع لقياس المقاومات والمكثفات والملفات والممانعات. وتستخدم دوائر القنطرات أيضاً في دوائر التحكم المختلفة، حيث يحتوي أحد أذرع القنطرة على عنصر كهربائي له خاصية التأثر 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.

القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges

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_1) 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.

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_2، أي:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \qquad (٥-١)$$

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

$$I_3 R_3 = I_4 R_4 \qquad (٥-٢)$$

وبما أن تيار الجلفانوميتر يساوي صفراً، إذن:

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

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

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

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

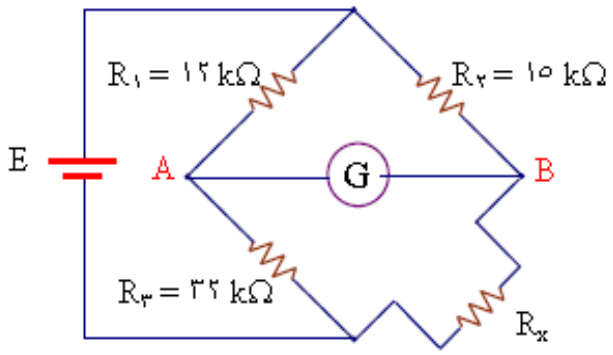
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \qquad (٥-٦)$$

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

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \qquad (٥-٧)$$

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:

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

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:

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

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).

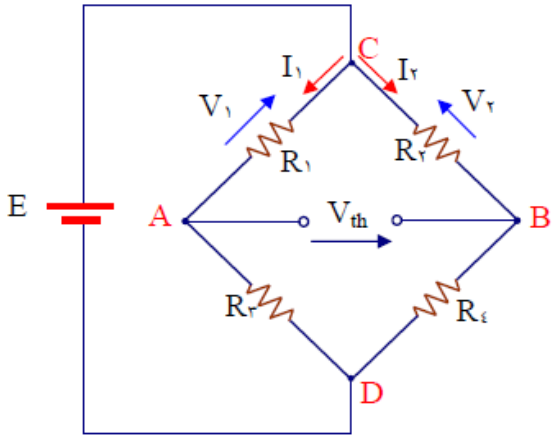
ويتم حساب V_{th} من قانون كيرشوف للجهود الذي ينص على أن مجموع الجهود في أي دائرة مغلقة يساوي صفراً. ومن شكل رقم (٥ -٣) يمكن حساب V_{th} كما يلي:

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

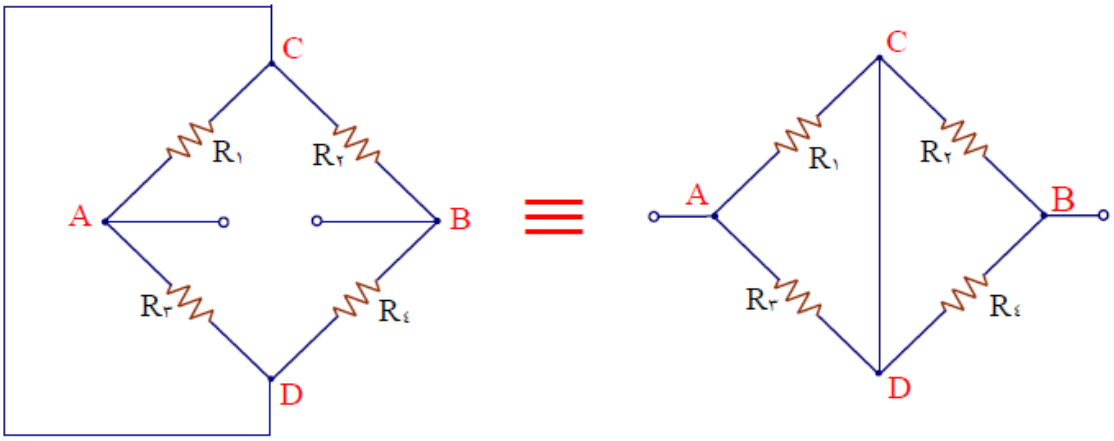
$$V_{th} = \frac{E}{R_1 + R_3} R_1 - \frac{E}{R_2 + R_4} R_2 = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4}\right) \qquad (٥ -١٠)$$

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.



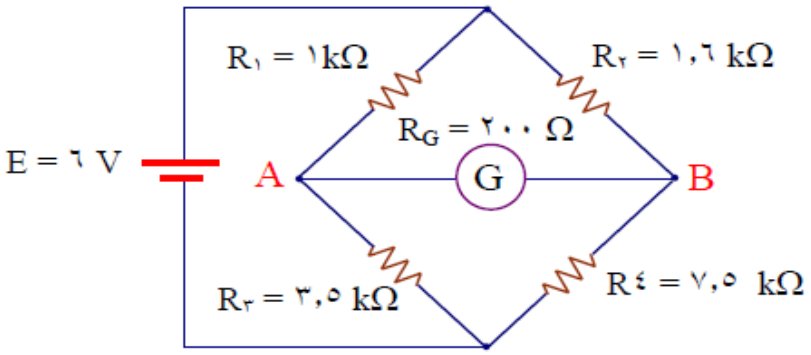
شكل (٥ -٤) دائرة حساب المقاومة المكافئة r_{th}.

وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة المكافئة r_{th} على اعتبار المقاومتين $R_١$ و $R_٢$ موصلتين على التوازي، وكذلك المقاومتين $R_٣$ و $R_٤$ موصلتين على التوازي، والمجموعتين موصلتين معاً على التوالي. ويمكن بالتالي التعبير عن المقاومة r_{th} رياضياً كما يلي:

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

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:

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

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

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

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

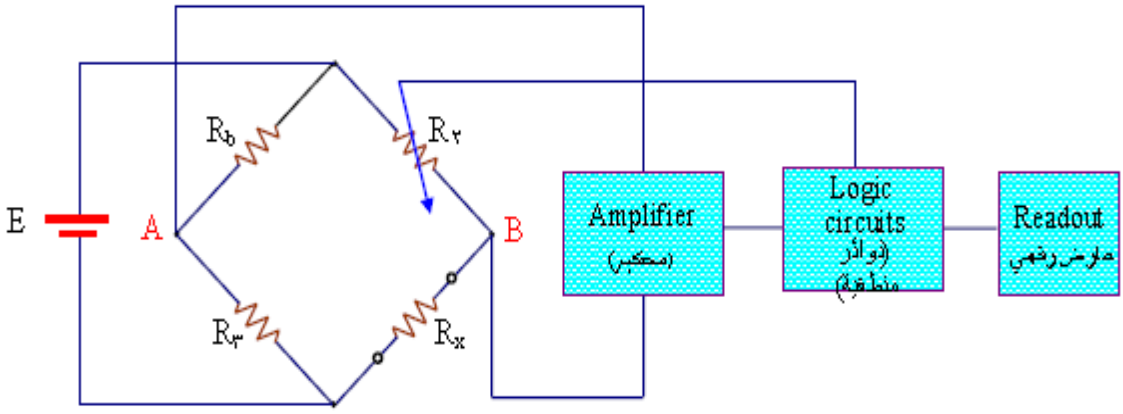
$$r_{th} = \frac{1\,k\Omega \times 3.5\,k\Omega}{1\,k\Omega + 3.5\,k\Omega} + \frac{1.6\,k\Omega \times 7.5\,k\Omega}{1.6\,k\Omega + 7.5\,k\Omega} = 2.096\,k\Omega$$

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

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

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 ويستون 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.

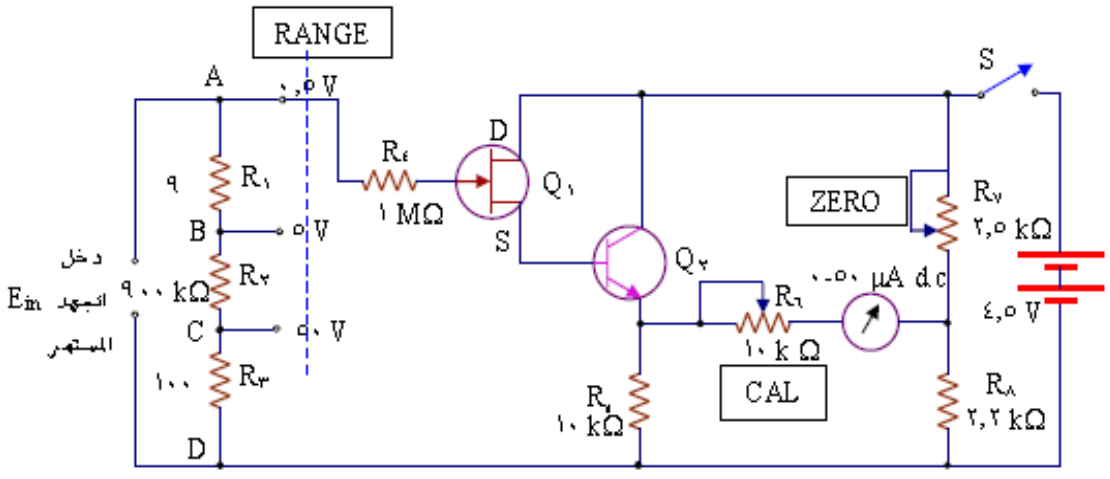


شكل رقم (٥ -٩) المخطط الصندوقي لقنطرة ويستون ذات القراءة الرقمية.

الفولتميتر الالكتروني

في كثير من الأحيان يكون الجهد المستمر المطلوب قياسه صغيراً لدرجة أن جهاز قياس الجهد المستمر يكون غير قادرٍ على قياسه، لهذا وجب أولاً تكبير إشارة هذا الجهد لكي يتمكن الجهاز من استشعار هذه القيمة الصغيرة. من جهة أخرى، في معظم حالات قياس الجهد المستمر يكون لمقاومة جهاز

قياس الجهد تأثير على دقة القياس حيث تضاف قيمة هذه المقاومة إلى الدائرة الكهربائية مسببة تغيير في قيمة الجهد المراد قياسه. ولحل هذه المشكلة فمن الأفضل أن تكون قيمة مقاومة جهاز قياس الجهد كبيرة بالقدر الكافي لكي لا تتسبب في أخطاء القياس السابق ذكرها، ويا حبذا لو كانت قيمة مقاومة جهاز القياس لانهائية. وجهاز الفولتميتر الإلكتروني يفي بالغرض لحل المشكلتين السابق ذكرهما. ويتكون الفولتميتر الإلكتروني من مرحلة تكبير أو أكثر مع جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك. شكل (١٩) يبين الرسم التخطيطي للدائرة الأساسية للفولتميتر الإلكتروني ذي ارتباط مباشر بمكبر تأثير المجال. حيث الجهد المستمر الداخل إلى الدائرة يوزع مباشرة على مقسم جهد المكون من المقاومات R_1, R_2 &R_3. ويسمح بجهد أقصى قيمته ٠.٥ V بالتواجد على بوابة القناة n لترانزستور تأثير المجال (Q_1) بدون أي تشويش على شكل الموجة. وينقل ترانزستور تأثير المجال الإشارة بدوره إلى المرحلة الثانية وهي ترانزستور (Q_2) من النوع n-p-n. ويعمل الترانزستور (Q_2) كأحد أذرع دائرة قنطرة المكونة (بالإضافة للترانزستور من مقاومة ١٠ kΩ كباعث للترانزستور، مقاومة متغيرة ثلاثية الأطراف ٢.٥ kΩ بالإضافة إلى مقاومة ٢.٢ kΩ، ويحدث الاتزان للقنطرة بضبط المقاومة المتغيرة ثلاثية الأطراف ٢.٥ kΩ، وتتم المعايرة على أقصى انحراف لجهاز دارسونفال لقياس الجهد بضبط المقاومة المتغيرة ثلاثية الأطراف ١٠ kΩ الموصلة على التوالي مع جهاز دارسونفال لقياس الجهد. وبالتالي تكون ممانعة الدخل بالنسبة لجهاز الفولتميتر الإلكتروني ١٠ MΩ، التي هي في الواقع قيمة كبيرة بما فيه الكفاية بحيث لا تؤثر في قيمة الجهد المقاس.



شكل (١٩)

القياس باستخدام جهاز الاوسلسكوب

جهاز راسم التذبذبات شكل (1) هو جهاز متعدد الأغراض يستخدم لرسم قيمة وشكل الإشارات الكهربائية (الموجات) المختلفة على شكل نقطة مضيئة تتحرك من يسار إلى يمين الشاشة بسرعة معينة يتحكم في سرعتها مفتاح قاعدة الزمن . والجهاز أيضاً يمكنه قياس ارتفاع الموجة والتي تمثل قيمة الإشارة وقياس الزمن الدوري لها ومن ثم قياس التردد . كذلك يمكن استخدام الجهاز لقياس فرق الطور بين موجتين مختلفتين، وكذلك قياس تردد مجهول بمعرفة تردد معلوم باستخدام أشكال ليساجو. ويوجد من الجهاز نوعان : تماثلي ورقمي. ويستخدم راسم الإشارة الرقمي لتخزين الإشارات التي تظهر على الشاشة لاستخدامها فيما بعد ومعالجتها بالحاسب الآلي. و يكون عادة الجهاز بقناتين أو أكثر ولكل قناة مفاتيحها التي تتحكم فيها ويكون طرف الأرضي (GND) لجميع القنوات متصلاً داخلياً بالجهاز .

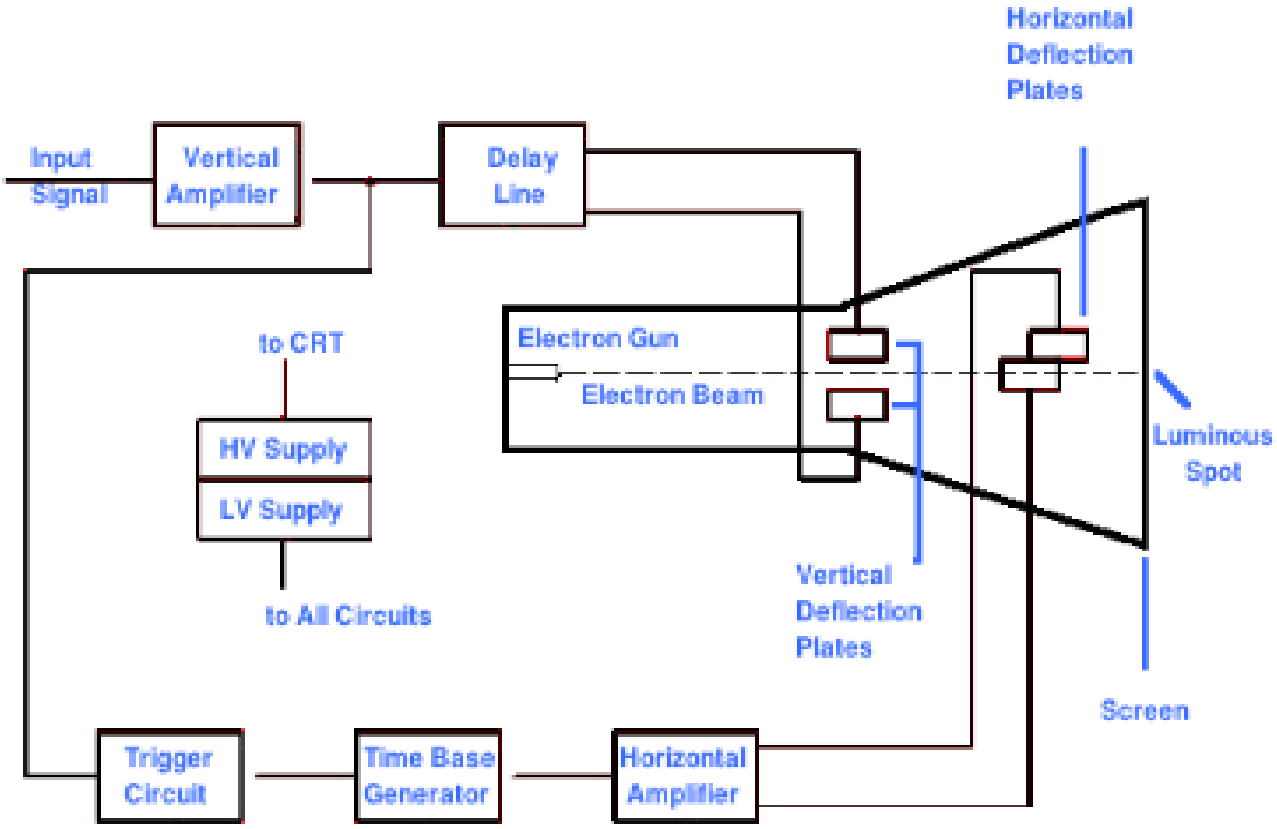
شكل (1) جهاز راسم تذبذبات بقناتين.

وتقسم شاشة الجهاز إلى مربعات رأسية وأفقية، وتمثل المربعات الرأسية قيمة الإشارة بينما تمثل المربعات الأفقية الزمن. وباستخدام المفاتيح المختلفة للجهاز يمكن تحديد الوضع المناسب للقياس حسب الإشارة المقاسة والذي يعطي دقة عالية في القياس.

-

تركيب جهاز الاوسلسكوب

يستخدم الجهاز صمام أشعة المهبط (CRT) والذي يعتبر قلب الإسيلسكوب فهو الذي يولد الشعاع الإلكتروني ويعطي له السرعة العالية ويحرفه وذلك لخلق الصورة وإظهارها على الشاشة الفسفورية. ولإتمام هذه الأعمال فإنها تتطلب إشارات كهربائية وجهود عديدة. والتي يُزَود بها الجهاز بواسطة منبع قدرة مناسب. الجهد المنخفض مطلوب للمسخن الخاص بمدفع الإلكترون المتولد ثم تأتي الجهود العادية اللازمة لعملية التحكم في دوائره المختلفة.

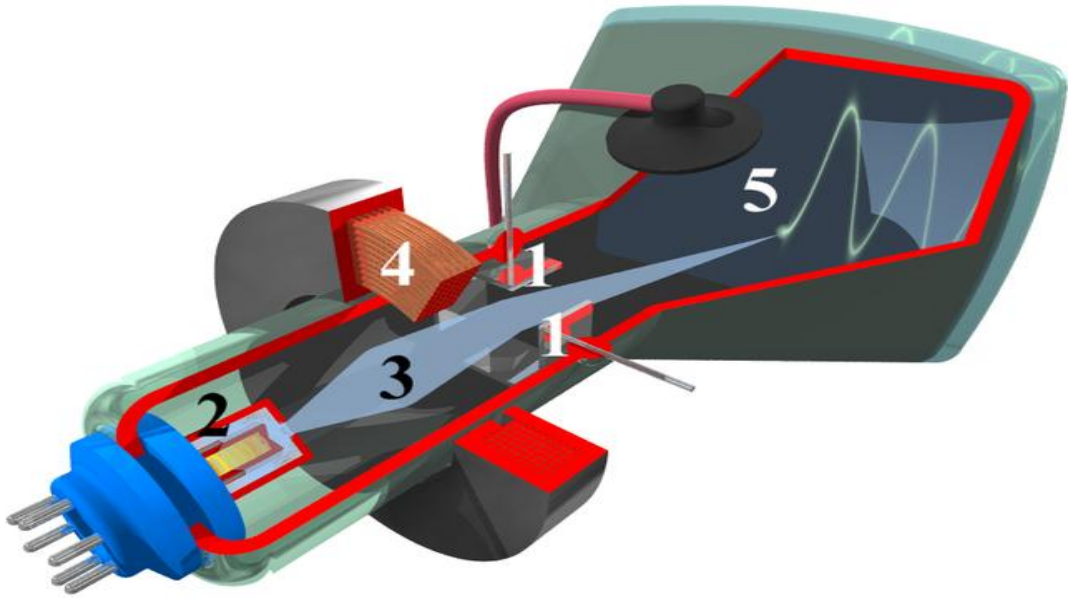


وتثبت الألواح الأفقية والرأسية بين المدفع الإلكتروني والشاشة وذلك لكي تحرف الشعاع الإلكتروني طبقاً لإشارة الدخل. فيضرب الشعاع الإلكتروني الشاشة ويعطي نقطة مضيئة. هذه النقطة تحرف على الشاشة في الاتجاه

الأفقي (المحور السيني) بمعدل زمني ثابت. ويتم ذلك بدائرة القاعدة الزمنية بالإسيلسكوب. وتدخل الإشارة المطلوب رؤيتها إلى ألواح الانحراف الرأسي من المكبر الرأسي. الذي يرفع قيمة إشارة الدخل إلى المستوى الذي يحرف الشعاع الإلكتروني بالصورة المطلوبة. وبالتالي فإن الشعاع الإلكتروني ينحرف في اتجاهين أفقياً على المحور السيني ورأسياً على المحور الصادي. ويُزَود الجهاز بدائرة اشعال لضبط الانحراف على المحورين بحيث يبدأ الانحراف على المحور السيني عند نفس النقطة لإشارة الدخل الرأسية في كل وقت بدأ فيه المسح.

أ- صمام شعاع المهبط

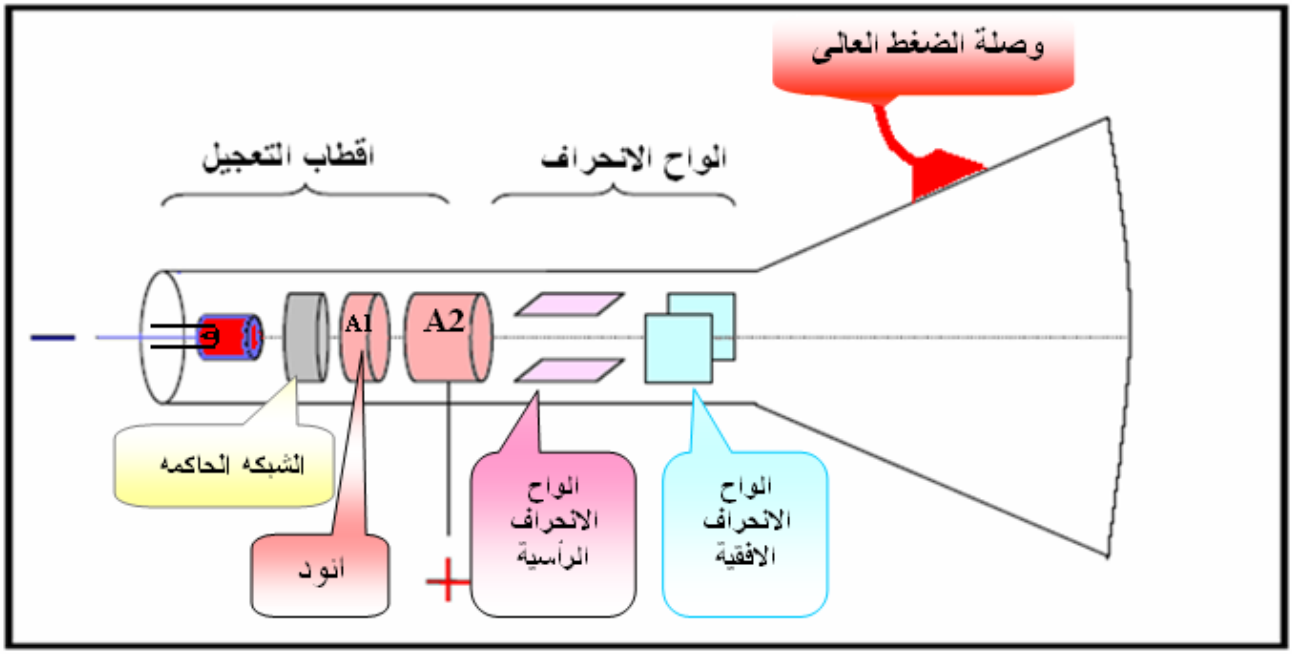
ويُعرف اختصاراً (CRT) وهي حروف آوائل الكلمات (Cathode Ray Tube) بالعربية (صمام شعاع المهبط) يتكون صمام شعاع المهبط أساساً من المدفع الإلكتروني لإنتاج سيل من الإلكترونات وكذلك مصعد كهربائي (أنود) للتسريع والتركيز وذلك لإنتاج شعاع ضيق وشديد التركيز من الإلكترونات. ويتكون من الألواح الأفقية والرأسية للتحكم في مسار الشعاع. وغلاف من الزجاج مفرغ. بالإضافة إلى شاشة فسفورية والتي تعطي نقط مضيئة عندما تضرب بشعاع إلكتروني عالي السرعة.



شكل توضيحي يظهر المكونات الداخلية لصمام شعاع المهبط، وفي الصورة حسب الأرقام.
(1) إلكترود جهد الانحراف ، (2) مدفع إلكتروني، (3) شعاع إلكتروني، (4) ملف تركيز الشعاع الإلكتروني (5) شاشة فسفورية

ب- المدفع الإلكتروني

يتكون المدفع الإلكتروني في الإوسيلسكوب من مهبط يتم تسخينه بطريقة غير مباشرة، وشبكة تحكم تحيط بالمهبط، ومصعد تركيز، ومصعد تسريع. والوظيفة الفريدة لمكونات المدفع الإلكتروني هي إعطاء شعاع لإلكتروني مركز، والذي يتم تسريعه إلى الشاشة الفسفورية.



والمهبط (الكاثود) هو أسطوانة من النيكل مغطاة بغطاء مؤكسد. وينبعث منها العديد من الإلكترونيات عند التسخين. والسطح الباعث من الكاثود يجب أن يكون صغيراً قدر الإمكان، نظرياً نقطة، ومعدل الانبعاث الإلكترونية (كثافة الشعاع الإلكتروني) تعتمد على تيار الكاثود، والذي يمكن التحكم فيه بشبكة التحكم مثل الصمامات المفرغة التقليدية.

وشبكة التحكم هي أسطوانة معدنية مغطاة في أحد أطرافها مع وجود ثقب صغير في الغطاء. ويكون جهد الشبكة سالب متغير(-ve) ، وبالنسبة للمهبط وظيفتها تغيير الانبعاث الإلكتروني بحيث يتألق في نقطة تقابله مع الشاشة ووظيفة الثقب الصغير في الشبكة هو أن تمر الإلكترونات من خلاله ويتم تركيز الشعاع على طول محور الأنبوبة (الصمام)، ويخرج الشعاع من الثقب ويدخل مصعد ما قبل التسريع. والذي يأخذ شكل الأسطوانة المجوفة وجهد ذو مئات من الفولتات. ويكون موجباً (+ve)أكثر من الكاثود لكي يسرع الشعاع الإلكتروني في المجال الكهربائي. وسوف يتبعثر الشعاع الإلكتروني الآن بسبب اختلاف الطاقة ويعطي نقطة مضيئة ضعيفة وعريضة. ويتم تركيز هذا الشعاع على الشاشة بواسطة عدسات الكترواستاتيكية تتكون من اثنين أو أكثر من المصاعد الأسطوانية تسمى مصاعد التركيز. ومصعد التسريع منفصل عن مصعد ما قبل التسريع.

ومصاعد التركيز والتسريع يمكن أن تكون مفتوحة أو مغلقة في كلا الجانبين، وإذا تم تغطيتها فيجب أن يكون بها ثقوب في غطاء المصعد لتمر منها الإلكترونات ووظيفة هذه المصاعد هو التركيز والتوضيح للشعاع على الشاشة و أن تعجل من سرعة الإلكترونات، ويوجد فرق جهد بين هذين الإلكترودين حتى يتولد مجال كهربائي بينهما. وانتشار المجال الكهربائي يكون بسبب التنافر بين الخطوط الكهربائية فإذا رسمنا

الخطوط متساوية الجهد، فإننا نجدها تنتفخ في منتصف المصعدين. وتتكون العدسات الالكترواستاتيكية من ثلاثة مصاعد.

3-- تجميع لوحة الانحراف

عندما يغادر الشعاع الإلكتروني المدفع الإلكتروني فإنه يمر خلال زوجين من ألواح الانحراف، ويُثبت أحد زوجي الألواح رأسياً ويحرف الشعاع أُفقياً، أي في اتجاه المحور السيني، ولذلك تسمى الألواح الأفقية أو ألواح المحور السيني (ألواح المحور.(X

والزوجين الآخرين يثبتا أُفقياً ويحرف الشعاع الإلكتروني في الاتجاه الرأسي، أي في اتجاه المحور الصادي، وتسمى ألواح المحور الصادي (ألواح المحور .(Y وهذه الألواح تحرف طبقاً لقيمة الجهد المسلط عليها. مثال ذلك إذا سُلط فرق جهد على مجموعة ألواح المحور الصادي فإن الشعاع سوف ينحرف إلى أعلى إذا كان اللوح العلوي(+ve) ، وينحرف الشعاع إلى أسفل إذا كان اللوح السفلي .(+ve) وكذلك بالنسبة لألواح المحور السيني عند تسليط فرق جهد عليها فإن الشعاع سوف ينحرف شمالاً أو يميناً طبقاً لما هو اللوح الموجب شمالاً أو يميناً

وعندما يسلط جهد جيبي متغير على ألواح المحور الصادي فإن الشعاع سوف يتحرك إلى أعلى أو أسفل طبقاً لتغير جهد الألواح. فإذا كان تردد التغير أكثر من 16 هيرتز (Hz) فإن الانحراف سوف يبقى خط رأسي عند منتصف الشاشة. وفي حالة تسليط الجهد الجيبي على ألواح المحور السيني، وكان تردد التغير أكثر من 16 هيرتز. فإن الانحراف سوف يكون خطاً أُفقياً وإذا سلط هذه الجهود على الألواح في نفس الوقت فإن الانحراف سوف يتناسب مع الجهد المسلط على زوجي الألواح.

4- الشاشة الفسفورية

بعض المواد البلورية، مثل الفسفور لها خاصية بعث الضوء عند تعرضها إلى شعاع. وتسمى هذه الخاصية الفلورنسية للمواد. وهذه المواد الفلورنسية، تستمر في بعث الضوء حتى بعد توقف تعرضها للإشعاع، وتسمى الخاصية الفسفورية للمواد. والفترة الزمنية التي يحدث خلالها الانبعاث الفسفوري تسمى الثبات الفسفوري. والحائط النهائي للـ CRT يسمى الشاشة وهي تغطى بالفسفور، وعندما يضرب الشعاع الإلكتروني الشاشة

فإن بقعة مضيئة تظهر على الشاشة. والفسفور يمتص طاقة الحركة للإلكترونات التي تضربها وتبعث طاقة ذات تردد منخفض في الطيف المرئي.

ومن بين المواد الفلورنسية المستخدمة أورثوسيلكات الزنك، ويعطي أثر أخضر اللون وهو مناسب للملاحظات المرئية. وتنجستات الكالسيوم، يعطي اللون الأزرق. والإشعاعات فوق البنفسجية تناسب التصوير. وسلفات الزنك مع مواد أُخرى، تعطي ضوء أبيض مناسب للتلفاز. وكذلك فوسفات الزنك يعطي أثر بعد التوهج وهو مفيد عند دراسة الظواهر اللحظية حيث يثبت الأثر لفترة ما بعد اختفاء الظاهرة.

يمكن التحكم بشدة إضاءة النقطة المضيئة على الشاشة بواسطة مفتاح الشدة، ويمكن التحكم بحجمها بواسطة مفتاح الإحكام. وتوضع على الشاشة علامات أفقية وأخرى رأسية لتعطي المستخدم قياسات صحيحة وتأخذ هذه العلامات شكل المستطيل

5- القاعدة والجسم الزجاجي

وكل التجميع للمكونات يتم حمايتها في بيت زجاجي مفرغ تماماً وله الشكل لمخروطي بواسطة دعامات مناسبة. والجدران الداخلية للـ CRT بين الرقبة والشاشة تُغَطى بمادة موصلة تعرف بالأكيوداج وهذه الطبقة توصل

كهربائياً إلى الأنود المعجل. وتزود هذه الطبقة لكي تسرع الشعاع الإلكتروني بعد مروره بين ألواح الانحراف ولكي تجمع الالكترونات الناتجة عن الانبعاث الثانوي الذي يخرج عندما يضرب الشعاع الإلكتروني الشاشة. وبذلك تمنع هذه الطبقة ظاهرة تجميع الشحنة السالبة (-ve) على الشاشة. ونصMل إلى حالة الاتزان على هذه الشاشة.

وسائل التحكم الأساسية

توفر عدد من وسائل التحكم على لوحة جهاز الاسيسلسكوب لتسهيل العمل الصحيح لوظائفه. فالتحكم في الشدة هي وسيلة لضبط شدة الإضاءة على الشاشة. وتتم بتغيير الجهد بين الأنود الأول والثاني. والتحكم في الوضع الرأسي والأفقي بتحريك الشعاع الإلكتروني على أي جزء من الشاشة، وتتم بتسليط جهد تيار مستمر على حينها.

نظام الانحراف الرأسي

وظيفة هذا النظام أن يعطي إشارة مكبرة بمستوى مناسب لتشغيل ألواح الانحراف الرأسية وبدون ادخال أي تشوية إلى النظام.

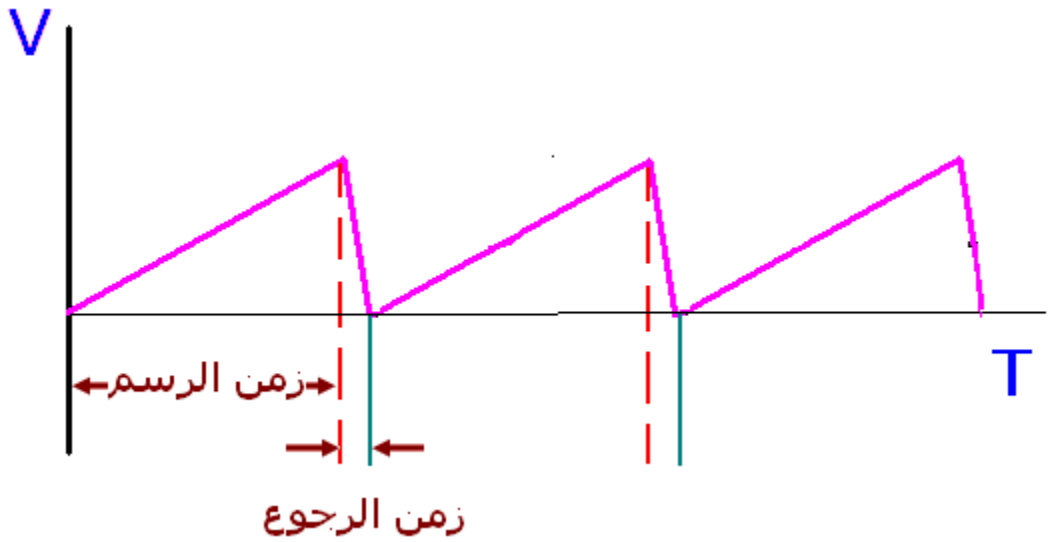
حساسية الدخل للكثير من الاسيلسكوبات هي في حدود قسم (milli-Volt) والجهد المطلوب لانحراف الشعاع الإلكتروني يتراوح بين 100 إلى 500 فولت (من قمة إلى قمة)، وهذا يعتمد على جهد التعجيل وتكوين الأنبوبة. وبالتالي فإن المكبر الرأسي يجب أن يعطي الكسب المطلوب من دخل المللي فولت إلى عدة مئات من الفولتات (من قمة إلى قمة) بالخرج. وكذلك يجب أن لا يشوه المكبر الرأسي شكل الموجة الداخلة وأن تكون استجابته جيدة لكل مدى التردد المقاس.

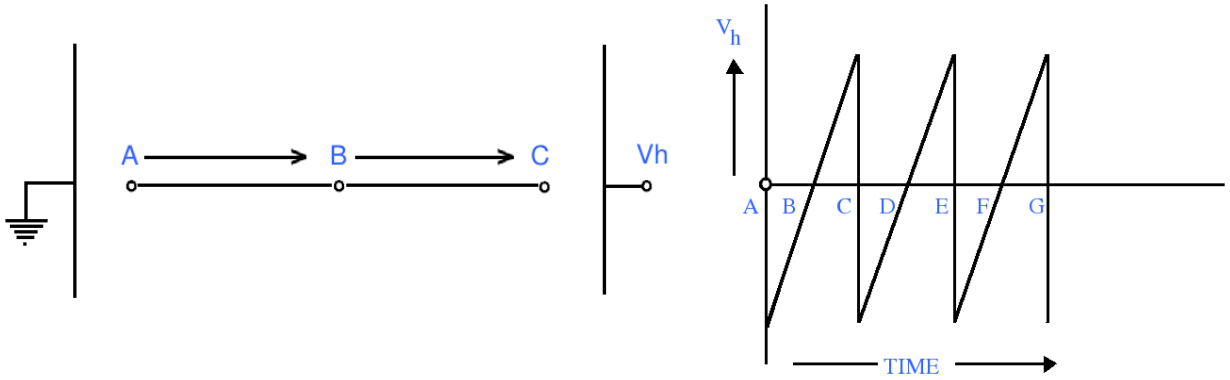
وتمثل ألواح الانحراف في الاسيلسكوب ألواح مكثف، وعندما تزيد تردد إشارة الدخل عن 1 ميجا هرتز (1 .(MHZعندها يزيد تيار الشحن. والتفريغ لمكثف ألواح الانحراف. لذا فإن المكبر الرأسي، يجب أن يكون قادراً على تغذية التيار الكافي لشحن وتفريغ ألواح الانحراف.

نعرف أن الإشارة الكهربائية تؤخر لفترة زمنية معينة عندما ترسل خلال دائرة إلكترونية في الاسيلسكوب. وأن جهد إشارة الخرج للمكبر الرأسي يغذي الألواح الرأسية لصمام شعاع المهبط. ويستخدم جزء منه لإثارة دائرة مولد القاعدة الزمنية، الذي يغذي خرجه ألواح الانحراف الأُفقية خلال المكبر الأُفقي. وكل العملية التي تشمل توليد وتشكيل نبضة الإثارة، وبدء عمل مودل القاعدة الزمنية وتكبيرها يستغرق زمناً في حدود 100 نانو ثانية (100 .(nsلذا فإن إشارة الدخل لألواح الانحراف الرأسي لصمام شعاع المهبط، يجب أن تؤخر على الأقل نفس الزمن السابق أو أكثر قليلاً منه. لكي تسمح للمشغل لرؤية الحافة الأمامية لشكل الإشارة تحت الدراسة على الشاشة. ولهذا الغرض توضع دائرة خط تأخير بين المكبر الرأسي وألواح صمام شعاع المهبط.

نظام الانحراف الأُفقي

دخل الإشارة الخارجية إلى ألواح الانحراف الأُفقية، من خلال المكبر الأُفقي .والمكبر الأُفقي يماثل المكبر الرأسي حيث يزيد من قيمة إشارة الدخل إلى المستوى المطلوب، لألواح الانحراف الأُفقية لصمام شعاع المهبط. وعندما يتطلب الأمر إظهار دالة الزمن على شاشة صمام شعاع المهبط. .

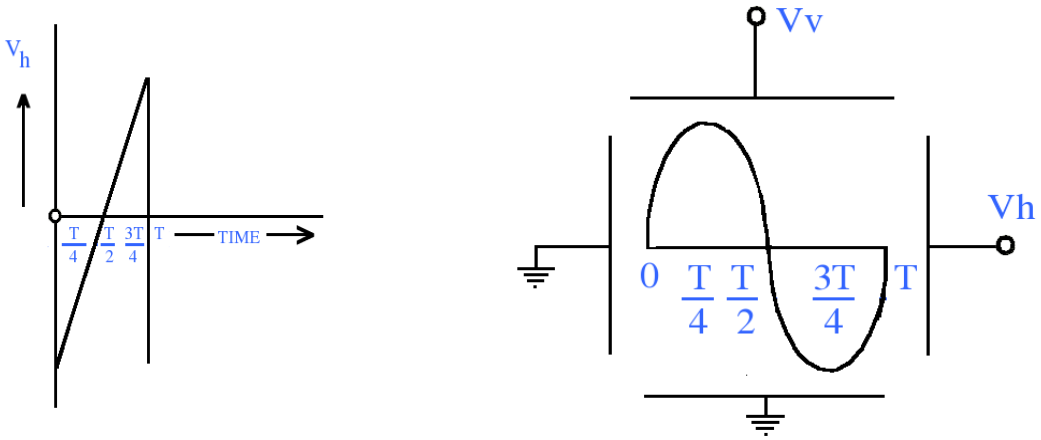




ولتوضيح نموذج القاعدة الزمنية الخطية، نفرض أننا أدخلنا إشارة جهد سن المنشار المثالية إلى ألواح الانحراف الأُفقية مع بقاء جهد ألواح الانحراف الرأسية عند قيمة الصفر، الأشكال في الأعلى.

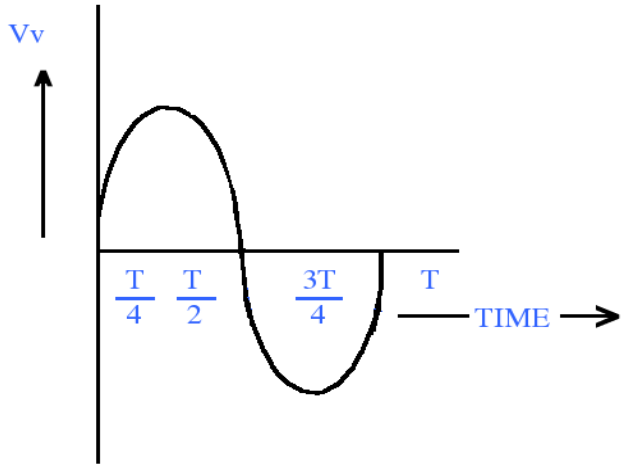
في البداية عند النقطة A للزمن، جهد الإشارة أقصى ما يمكن، لكن (-ve) سالب لذا فإن النقطة المضيئة على الشاشة للإسليسكوب سوف تكون عند أقصى وضع في الشمال ثم عند النقطة B للزمن فإن جهد الإشارة المسلط على الألواح الأفقية يساوي صفراً لذا فإ`ن النقطة المضيئة سوف تكون في مركز الشاشة. وعندما يزيد الجهد في الاتجاه الموجب (+ve) ويصبح قيمة عظمى قبل النقطة C مباشرة. فإن النقطة المضيئة سوف تكون في أقصى يمين الشاشة (قبل النقطة مباشرة). ثم تبدأ الدورة التالية لجهد سن المنشار ويصبح الجهد مرةً أُخرى أقصى قيمة سالبة (-ve) فتذهب النقطة المضيئة من أقصى يمين الشاشة. إلى أقصى يسارها في لا وقت.

إذن تتحرك النقطة المضيئة من اليسار إلى اليمين على نفس المسار مرات عديدة مع كل دورة جهد سن المنشار المسلط على الألواح الأُفقية. لذا فإن خط مستقيم أُفقي يظهر على شاشة الإسيلسكوب.



نستنتج من السابق أن النقطة المضيئة تتحرك من اليسار إلى اليمين بسرعة منتظمة، فتعطي قاعدة زمنية خطية ظاهرة على الشاشة كدالة الزمن. ولتوضيح فكرة القاعدة الزمنية نفرض إشارة ذات جهد جيبي V_v وذات فترة زمنية T سلطت على ألواح الانحراف الرأسية، وإشارة جهد سن المنشار V_h ذات الفترة الزمنية T سلطت على ألواح الانحراف الأفقية كما هو موضح في الأشكال جانباً.

عند الزمن صفر فإن النقطة المضيئة سوف تكون في أقصى يسار مركز الشاشة، لأن قيمة V_v = صفر، V_h = أقصى قيمة سالبة. وعند الزمن $\frac{T}{4}$ فإن النقطة الم ضيئة تكون على ربع الطريق في الاتجاه الأفقي على الشاشة، وعند أقصى قيمة موجبة فوق خط السنتر وفي الاتجاه الرأسي بسبب وجود أقصى قيمة موجبة.V_v



وعند الزمن $\frac{T}{2}$ فإن قيم كل من V_h ، V_vتساوي صفراً. وتكون النقطة المضيئة في منتصف الشاشة.

وعند الزمن $\frac{3}{4}T$ ، تكون النقطة المضيئة عند $\frac{3}{4}$ المسافة على الخط الأفقي على الشاشة، وعند القيمة القصوى السالبة للانحراف في الاتجاه الرأسي.

وفي النهاية وعند نهاية الزمن تصبح النقطة المضيئة في أقصى اليمين على الخط الأُفقي والقيمة صفر على الخط الرأسي على الشاشة. ثم تعود النقطة إلى البداية لعمل أثر جديد. وبهذه الطريقة فإن الجهد الجيبي المسلط على ألواح الانحراف يظهر على الشاشة. فإذا خفضنا الفترة الزمنية للموجة الجيبية إلى النصف عندئذٍ تظهر دورتين للموجة الجيبية بدلاً من واحدة على الشاشة.

ومن السابق يتضح أنه يجب أن تتوفر الظروف الآتية لكي نحصل على شكل موجي لإشارة الدخل، التي تسلط على نظام الانحراف الرأسي، بحيث يكون نموذج ثابت على شاشة الاسيلسكوب:

- كلا الإشارتين الأفقية والرأسية يجب أن تبدأ في نفس اللحظة. النسبة بين تردد الإشارة الأُفقية، والإشارة الرأسية يجب أن يكون عدد صحيح أو كسر. ولتحقيق هذه الظروف يتم توليد موجة سن المنشار ويتم تزامنها مع إشارة الدخل الرأسية بواسطة دائرة الاشعال ومولد القاعدة الزمنية.

وعند وضع مفتاح الاختيار في الوضع .(INT) فإن المكبر الأُفقي يستقبل دخله من مولد القاعدة الزمنية. والذي يعطي القاعدة ويتحكم في معدل مسح الشعاع على وجه شاشة صمام المهبط. ويتم إثارة أو بدء تشغيل مولد القاعدة الزمنية بواسطة دائرة الاشعال (البدء). والتي تؤكد أن المسح الأُفقي يبدأ عند نفس النقطة الخاصة بإشارة الدخل الرأسية.

ومن الضروري أن يتزامن المسح بالإشارة تحت القياس لكي نحصل على نموذج ثابت. ونسبة تردد القاعدة الزمنية وتردد الإشارة تحت الاختبار يجب أن يكون عدد صحيح. وإلا فإن النموذج لن يكون ثابتاً. ولاختيار نوع التزامن يُستخدم مفتاح تزامن. وفي حالة وضع المفتاح على وضع داخلي (Internal mode) فإننا نحصل على إشارة بدء التشغيل من المكبر الرأسي الذي يكون دخله هو الإشارة تحت القياس.

وعند وضع المفتاح على وضع خارجي. فإن إشارة بدء التشغيل تأتي من مصدر خرجي وعند وضع المفتاح على وضع خط(Line) ، نحصل على إشارة البدء من منبع القدرة أي 230 V، 50HZ

يستخدم عادةً نوعين من مولدات المسح. الأول يولد إشارة سن المنشار ذات التردد الثابت سواء توجد إشارة دخل رأسية أو لا توجد، وتسمى هذه الحالة التشغيل الحر (Free running) وفي هذا النوع فإنه من الضروري ضبط تردد إشارة سن المنشار، لنحصل على النموذج الثابت. والنوع الثاني من مولد المسح. يتم فيه إثارة المسح بواسطة الإشارة تحت القياس، وبالتالي فليس هناك حاجة لضبط التزامن.

وأحياناً يتم المسح بدون إشارة سن المنشار في الإسيلسكوب لبعض التطبيقات الخاصة.

التحكم في الوضع العمودي والافقي

يوجد في جهاز الاسيلسكوب مفتاحين دوارين، الأول للتحكم في الوضع الأفقي والثاني للتحكمفي الوضع الرأسي. وبالتالي فإن النقطة المضيئة يمكن تحريكها إلى اليسار وإلى اليمين أي أُفقياً بواسطة المفتاح الدوار. والذي ينظم جهد التيار المستمر المسلط على ألواح الانحراف الأُفقية. بالإضافة إلى موجة سن المنشار. وبالمثل فإن النقطة المضيئة يمكن تحريكها إلى أعلى وإلى أسفل أي رأسياً بواسطة المفتاح الدوار الآخر. وهو ينظم جهد التيار المستمر المسلط على الألواح الرأسية بالإضافة إلى الإشارة.

التحكم في شدة الإضاءة

تم التحكم في جهد شبكة التحكم بالنسبة للمهبط (الكاثود) بواسطة مقاومة متغيرة لكي تتحكم في شدة الإضاءة.

التحكم في التركيز

في المدفع الإلكتروني الخاص بصمام شعاع المهبط فإن المصعد (الأنود) المتوسط يكون جهده منخفض القيمة بالنسبة للأنودين الآخرين. وهو يعمل مثل عدسات إلكتروستاتيكية، والبعد البؤري لهذه العدسات يمكن تغييره بتغيير الجهد للأنود المتوسط بالنسبة للأنودين الآخرين. وبالتالي فإن تركيز الشعاع الإلكتروني يتم التحكم به بواسطة مقاومة متغيرة، وبزيادة الجهد الموجب (+ve) المسلط على أنود التركيز، فإن الشعاع الإلكتروني يضيق وتظهر النقطة المضيئة على الشاشة صغيرة جداً كسن الدبوس.

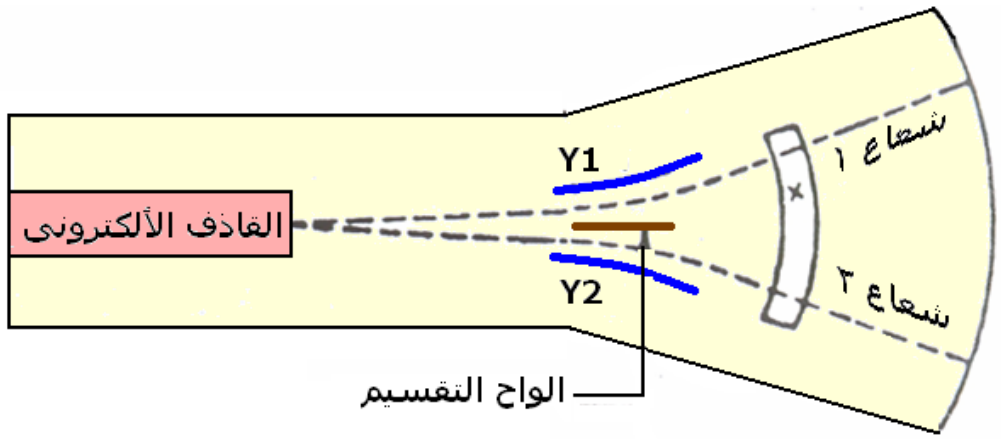
انواع الاوسلسكوب :

هنالك أنواع من أجهزة الاوسلسكوب تنفع في تطبيقات خاصة مثل قياس إشارتين في نفس الوقت ومن هذه الأنواع :

الاوسيلسكوب مزدوج الشعاع (Dual Beam Oscilloscope)

يستخدم هذا النوع شعاعين إلكترونيين منفصلين. ومجموعتين من ألواح الانحراف الرأسية، مع ألواح انحراف أُفقية عامة. وأنبوبة أشعة المهبط. ومولد القاعدة الزمنية، ويمكن أن يكون عاماً للشعاعين الإلكترونيين، أو هناك قاعدة زمنية لكل شعاع، وفي حالة القاعدة الزمنية المشتركة (العامة) فإن شعاع واحد فقط يتزامن مع الوقت، ولذلك فإن إشارات الدخل يجب أن تكون بنفس التردد أو يكون هناك توافق بينهما لكي يظهر كلا الشعاعين على شاشة صمام أشعة المهبط. ووجود مولد مستقل للقاعدة الزمنية يسمح بمعدلات مسح مختلفة للشعاعين لكن حجم ووزن الإسيلسكوب سوف يزيد.

ومثل هذا الإسيلسكوب يجعل من الممكن ملاحظة شكلين موجيين لهما علاقة زمنية عند نقاط مختلفة ومناسبة تماماً لإشارات دخل منفصلة.



الاوسيلسكوب مزدوج الأثر (Dual Trace Oscilloscope)

يستخدم هذا النوع مدفع إلكتروني واحد. ويعطي أثر مزدوج، مرسوم بواسطة التشغيل الإلكتروني لإشارتين منفصلتين، وتوجد قناتي دخل رأسية منفصلتين أو الدائرة A والدائرةB ، ويستخدم كذلك في هذا الإسيلسكوب موهنين منفصلين. ومراحل تكبير ابتدائية. وبذلك فإن قيمة كل إشارة يمكن التحكم فيها مستقلة. وخرج مرحلة

المكبر الابتدائي يدخل إلى مفتاح إلكتروني الذي يمكنه تمرير إشارة واحدة وقتياً إلى المكبر الرأسي للإسيلسكوب ويكون إظهار الدخل مستمراً ومتصلاً في نفس الوقت مع العينات بالرغم أنه يظهر كعينة.

وتوجد حالتين عامة لتشغيل المفتاح الإلكتروني. تسميان حالة **التناوب**، وحالة **القطعة** .ففي الحالة الأولى (التناوب) فإن المفتاح الإلكتروني يغذي كل إشارة بالتناوب إلى المكبر الرأسي وإلى القناة B ، Aويضيف مركبات تيار مستمر لكل إشارة. وهذه المركبة الـ DC توجه الشعاع بالتناوب إلى أعلى وأسفل نصف الشاشة. ويحدث التوصيل عند بداية كل مسح جديد للمسح أو القاعدة الزمنية للمولد. ومعدل توصيل المفتاح الإلكتروني يتزامن مع معدل المسح لكي ترسم النقطة المضيئة لصمام شعاع المهبط إشارة القناة A على مسح معين، وإشارة القناة B على المسح التالي. وحالة التناوب لا يمكن استخدامها في إظهار إشارات ذات تردد منخفض جداً.

أما في حالة **القطعة** فإن المفتاح الإلكتروني يعمل حراً عند تردد عالي (في حدود 100 إلى 500 كيلو هرتز ("KHz"، ومستقل تماماً عن تردد القاعدة الزمنية للمولد. والنتيجة أن عينة صغيرة من القناة B ، Aيتم توصيلها بالتناوب للمكبر الرئيسي الرأسي عند معدل قطع سريع نسبياً (حوالي 500 (KHzويظهر على الشاشة في حالة القطع بمعدل أسرع بكثير من معدل المسح الأُفقي. فإن الإظهار سوف يكون خط متصل لكل قناة. وإذا كان معدل القطع بطيء تفقد استمرارية الإظهار ويفضل استعمال حالة التشغيل المتناوب.

وفي حالة التشغيل X-Y يفصل مولد القاعدة الزمنية وتوصل القناة B إلى المكبر الأُفقي وحيث أن المكبرات الابتدائية متماثلة ولها نفس خط التأخير فإنه يمكن عمل قياسات X-Y دقيقة، والإسيلسكوب مزدوج الأثر يستخدم في الصناعة على نطاق واسع وفي معامل الأبحاث.

اوسيلسكوب أخذ العينة (Sampling Oscilloscope)

وهذا يعني ملاحظة الإشارات الكهربائية بأخذ عينة من شكل موجة الدخل وإعادة بناء شكلها من العينة. ومثل هذه العينات ذات التردد العالي لا يمكن رؤيتها بالإسيلسكوبات العادية لأن مدى التردد محدود بمدى الكسب في عرض المدى الناتج عن المكبر الرأسي. وعينة التردد يجب أن تكون منخفضة إلى من تردد إشارة الدخل. وهذا يعني أنه يمكن استخدام اسيلسكوب ذو مدى عرض تردد 10 MHzلملاحظة إشارة دخل ذات تردد عالي جداً مثل MHz1000، ويمكن أخذ عدد من العينات يصل إلى 1000 عينة لإعادة تكوين الشكل الموجي الأصلي.

في إسيلسكوب أخذ العينة تُشكل موجة الدخل المتكررة وتُسلط على بوابة أخذ العينة، ونبضات العينة تؤثر لحظياً على الموحدات الخاصة باتزان بوابة أخذ العينة في الاتجاة الأمامي ولذلك يوصل مكثف بوابة الدخل إلى نقطة الاختبار. هذه المكثفات تُشحن قليلاً وحتى مستوى الجهد لدائرة الدخل. ثم يكبر جهد المكثف بواسطة مكبر رأسي يسلط على ألواح الانحراف الرأسية. وهذه العينة يجب أن تتزامن بتردد إشارة الدخل. وتؤخر الإشارة في المكبر الرأسي لتسمح للمسح الأُفقي بأن يبدأ بإشارة الدخل.

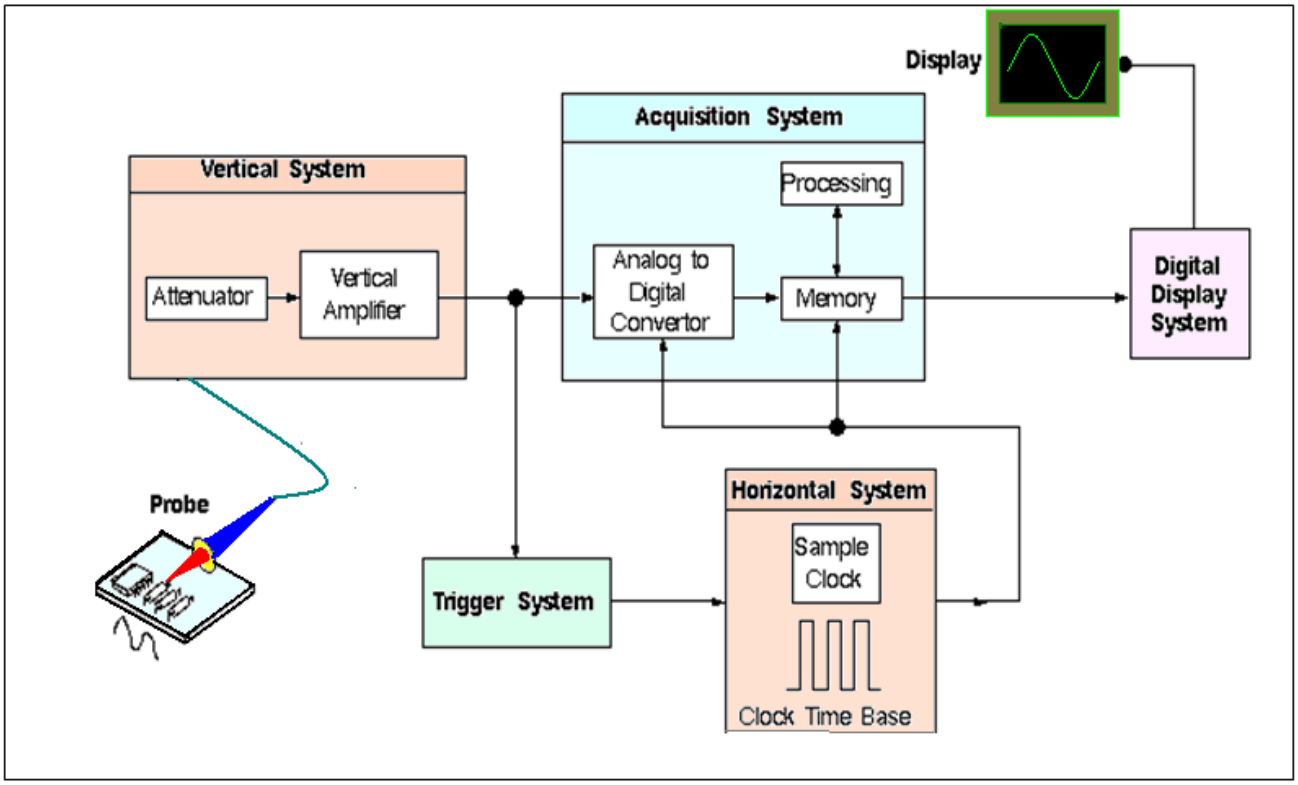
وعند بداية كل دورة عينة، فإن نبضة الإشارة تشغل المذبذب ويتولد جهد خطي مائل، هذا الجهد المائل يُسلط على مقارن جهد الذي يقارن الجهد المائل بجهد الخرج لمولد الجهد المتدرج، وعندما يتساوى الجهدان في القيمة، فإن مولد الجهد المتدرج يسمح له بأن يتقدم خطوة واحدة، وبالمثل فإن نبضة العينة تُسلط على بوابة أخذ العينة، عند هذه اللحظة، وتؤخذ عينة من جهد الدخل، وتكبر وتسلط على ألواح الانحراف الرأسية، ويكون تباين الصورة النهائية على شاشة صمام الأشعة المهبطية يُحدد بحجم الخطوات الخاصة بمولد الدرج، وكلما كان حجم هذه الخطوات صغيراً، كلما زاد عدد العينات كلما كان تباين الصورة أعلى.

الاوسيلسكوب الرقمي (Digital Oscilloscope)

يعطي هذا النوع من الإسيلسكوبات قراءات رقمية لمعلومات الإشارة مثل قيمة الجهد، الزمن، بالإضافة إلى الإظهار العادي للإشارة على شاشة أنبوبة الأشعة المهبطية. ويتكون الجهاز من CRO معملي ذو سرعة عالية بالإضافة إلى عداد إلكتروني. كل ذلك في جهاز واحد. نطاق المواضع من 0% إلى 100% تتحقق بجزئين واضحين في الأثر المرسوم على صمام أشعة المهبط. وكل منطقة (نطاق) يمكن تحريكها إلى أي جزء من الشاشة. وخطوات تقسيم الجهد من 0 وحتى 100% من جهود الذاكرة. توضع لتوقيت البدء وتوقيت الإيقاف وعند التطابق.

أي من الأشكال الموجية الداخلة مع النسبة المئوية المختارة. يتم الإحساس بها بمقارن الجهد. وعدد نبضات الساعة الخاصة بالعينة الحقيقية المأخوذة يتم قراءتها رقمياً في لحظة على شاشة أنبوبة العرض السريعة الرقمية في نانو/ميكرو/مللي ثانية.

ويتم الحصول على الإظهار على الشاشة بأخذ عينة الـ 0% كجهد أساس كما اختير بواسطة دائرة الذاكرة. وعندما ينتج جهد خطي مائل بواسطة مولد الخطوط المائلة يساوي 0% كأساس، تفتح البوابة، وعندما يساوي هذا الجهد السابق 100% كأساس تغلق البوابة. ويتم قراءتها بالميللي فولت أو الفولت على الشاشة الرقمية.



المبدلات والحساسات

٦ -١ مقدمة Introduction

أحدى الوظائف المهمة للإلكترونيات علمياً وعملياً وصناعياً هي عملية قياس الكميات الفيزيائية مثل الموضع 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 والكومبيوتر.

٦ -٢ مفاهيم عامة General concepts

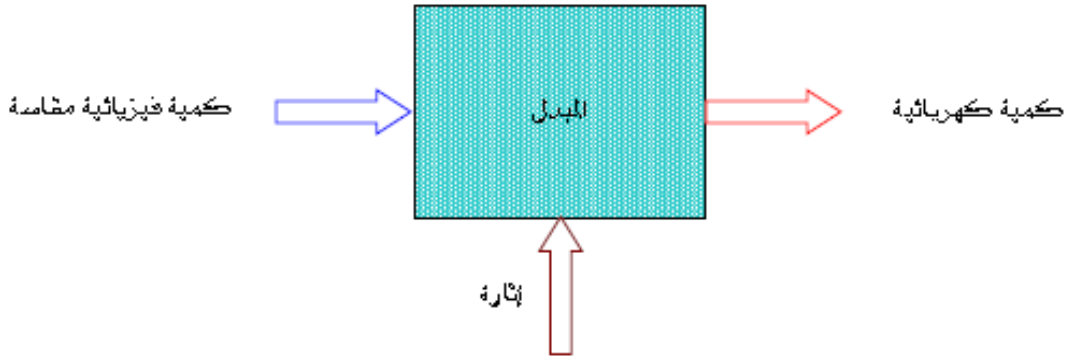
٦ -٢ -١ تعريف الحساسات والمبدلات

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).



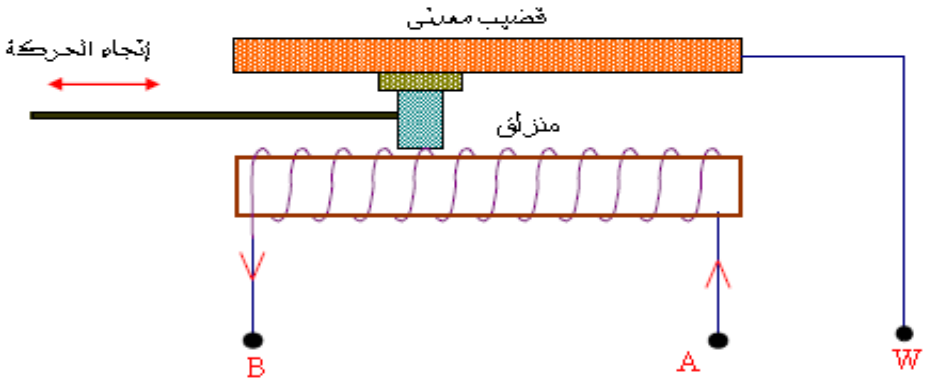
شكل رقم (٦ -١) رسم تخطيطي للمبدل.

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

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

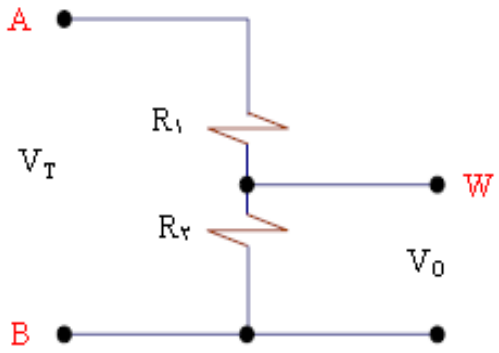
الفكرة الأساسية لحساس أو مبدل الإزاحة الأومي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل. فمن المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم هو أن تستطيع أن تستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء.

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 -٣).



شكل رقم (٦ -٣) حساس الإزاحة الأومي.

وبهذا فإن المقاومة مابين 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 وضعيين قياسيين: وضع A ووضع B.



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

وعلى هذا يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يأتي:

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

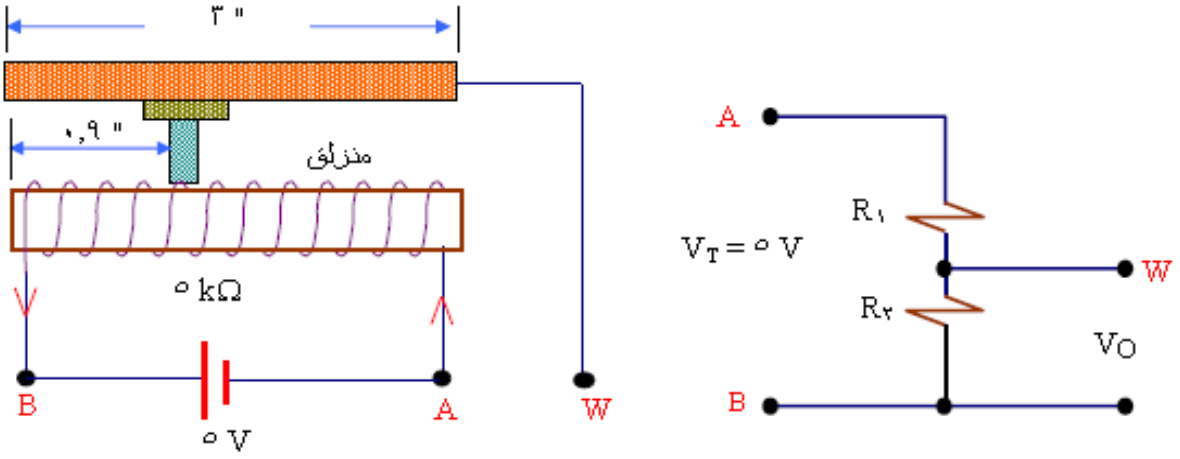
$$V_O = I\,R_2 \qquad (٦-٢)$$

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (٦-٣)$$

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 $V_T = 5$ 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):

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

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

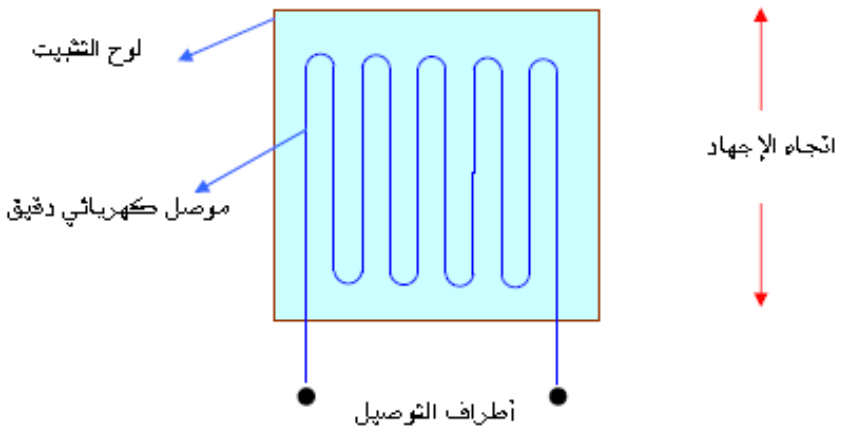
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{1500}{5000}$$

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

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:

$$R = \rho L/a \qquad (٦ -٤)$$

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:

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

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:

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

وهذا الثابت يكون دائما 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:

$$E = \frac{S}{G} \qquad (٦-٧)$$

حيث:

E: معامل اللدونة

S: الضغط الداخلي

G: الإجهاد

ويمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة الآتية:

$$S = \frac{F}{A} \qquad (٦-٨)$$

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 $G = 1\times10^{-6}$، فإذا كانت المقاومة الابتدائية $R_0 = 130\ \Omega$، احسب التغير في المقاومة ΔR.

الحل

من المعادلة رقم (٦ -٦) لثابت المقياس:

$$K = 2 = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R_0}{G} = \frac{\Delta R/130\ \Omega}{1\times10^{-6}}$$

$$\Delta R = 2\times130\times1\times10^{-6} = 260\ \mu\Omega$$

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 $E = 2\times10^{10}\ kg/m^2$، احسب الاستطالة ΔL.

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\times(0.02)^2 = 3.14\times10^{-4}\ m^2$$

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

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

$$\therefore \Delta L = \frac{F\times L}{A\times E} = \frac{33000\ kg\times0.4\ m}{3.14\times10^{-4}\times2\times10^{10}} = 2.1\times10^{-3}\ m = 2.1\ mm$$

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 $E = 2\times10^{10}\ kg/m^2$ ، احسب الاستطالة ΔL .

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\times(0.02)^2 = 3.14\times10^{-4}\ m^2$$

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

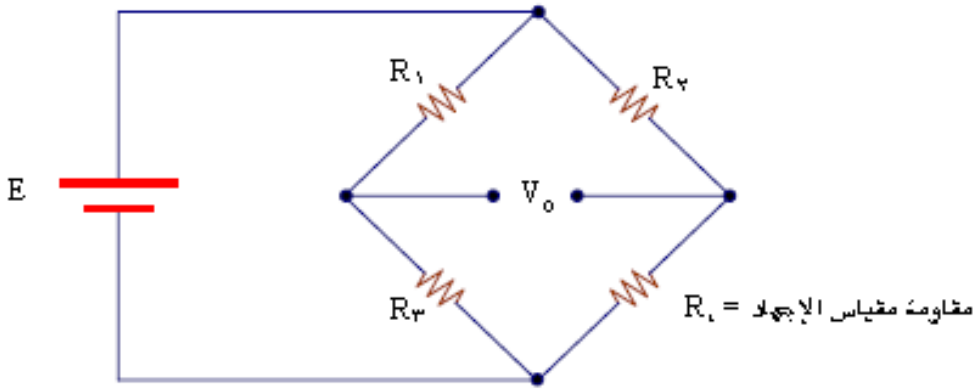
$$E = \frac{S}{G} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F\times L}{A\times\Delta L}$$

$$\therefore \Delta L = \frac{F\times L}{A\times E} = \frac{33000\ kg\times0.4\ m}{3.14\times10^{-4}\times2\times10^{10}} = 2.1\times10^{-3}\ m = 2.1\ mm$$

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

إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد

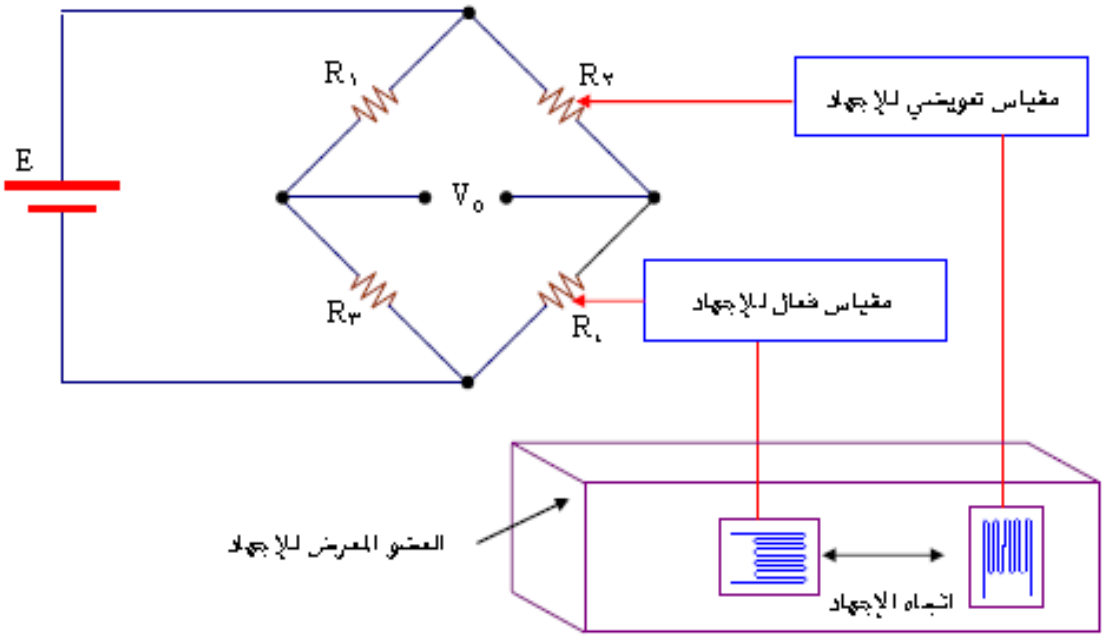
في العادة يستخدم مقياس الإجهاد كذراع رابع في قنطرة ويتستون (المتزنة في حالة عدم وجود أ
إجهاد) ، وبالتالي يمكن تحويل الإجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع ، وبالتالي إلى قيمة للجهد
الذي يمكن قياسها ، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -٦).



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 تأثر 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 متعامد 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.



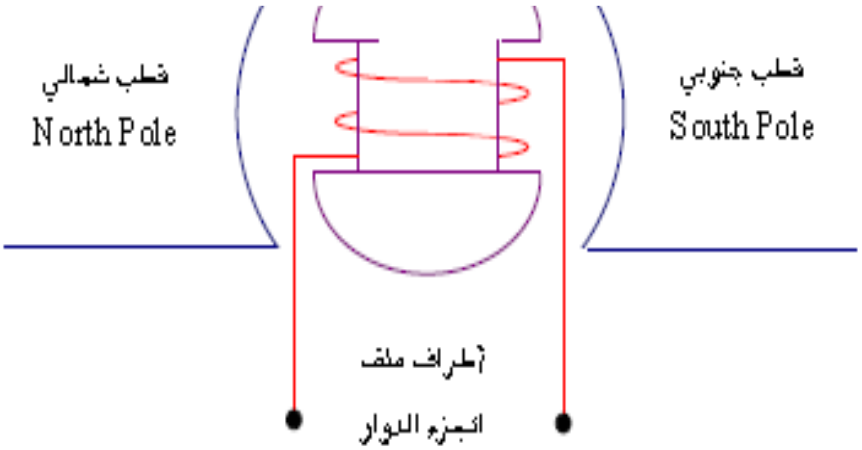
شكل رقم (٦ -٧) النظام التعويضي لبدل مقياس الإجهاد لإلغاء تأثير درجة الحرارة.

٦ -٢ -٢ 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.

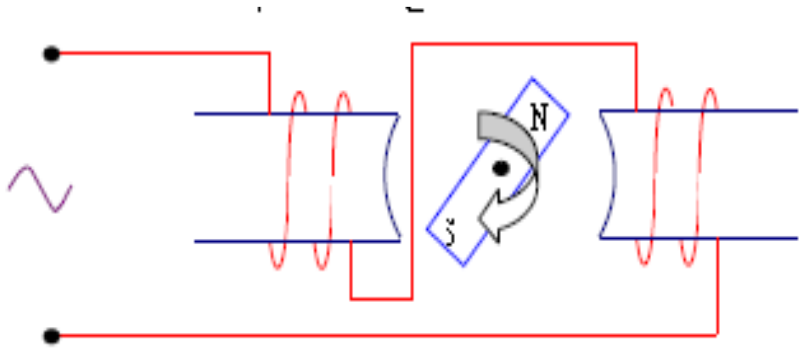
٦ -٢ -٢ -١ مقياس السرعة الدوارة (Tachometer)

شكل رقم (٦ -٨) يبين مقياس السرعة الدوارة وهو مبدل حثي يمكنه تحويل السرعة الدوارة مباشرةً 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) معاير 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

وللخروج 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 التركيبة يمكن لإشارة الجهد (المتردد) أن تنقى 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 التالية:

$$n = \frac{120\ f}{P} \qquad (٦ -٩)$$

حيث:

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

f: التردد ويقاس بوحدة cycle/sec = Hertz

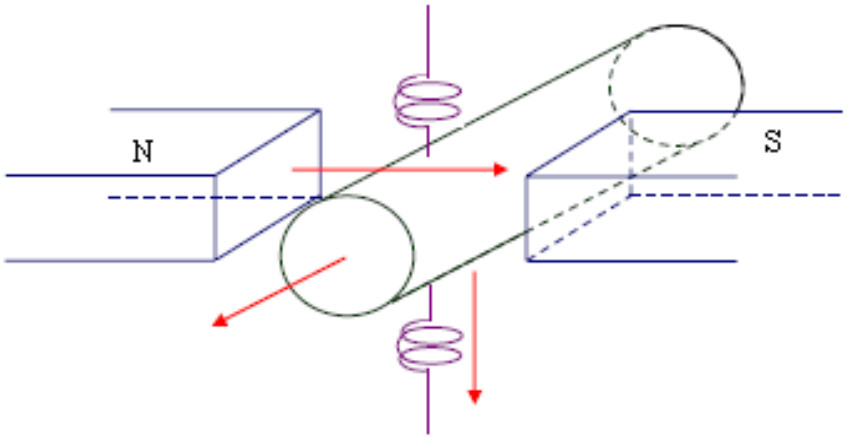
P: عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس

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

Electro-magnetic transducer

تطبيق آخر للمبدل الحثي هو مقياس سرعة تدفق المواقع 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 باثنين 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:

$$E = B L v \qquad (٦ - ١٠)$$

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 ٠,٠٥ siemens/m. ومن عيوب هذا النظام أيضاً أن الأقطاب لابد 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:

$$v = \frac{E}{B\,L} = \frac{25\times10^{-3}}{0.2\times1.25\times10^{-2}} = 10\ m/sec$$

٦ -٢ -٤ الحساس والمبدل السعري Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم (٦ -١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{kA\varepsilon_0}{d} \quad (Farads) \qquad (٦ -١١)$$

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:

$$E = B\,L\,v$$

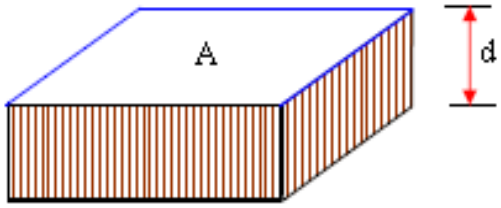
يمكن حساب السرعة v:

$$v = \frac{E}{B\,L} = \frac{25\times10^{-3}}{0.2\times1.25\times10^{-2}} = 10\ m/sec$$

٦ -٢ -٤ الحساس والمبدل السعري Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم (٦ -١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{kA\varepsilon_0}{d} \quad (Farads) \qquad (٦ -١١)$$



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

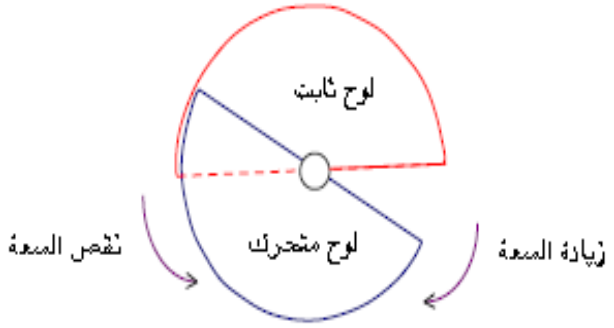
$(\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ \text{Farad/m})$

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

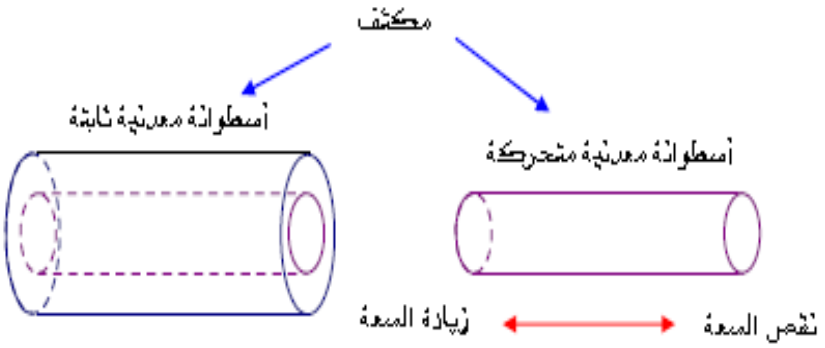
وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين على شكل أنصاف دوائر مشتركين في المحور أحدهما ثابت والآخر قابل للحركة حول المحور المشترك كما هو مبين بشكل رقم (٦ -١٢). وتؤدي حركة اللوح إلى زيادة المساحة المشتركة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦ -١٢) مقياس الإزاحة الدورانية.

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

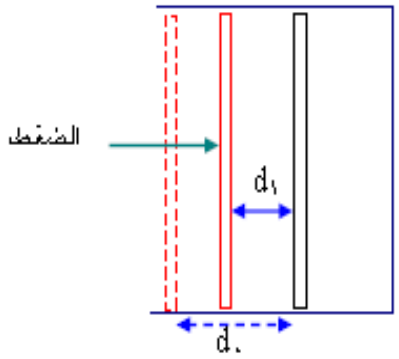
وهو عبارة عن مكثف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحداهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -١٣). وتؤدي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكثف.



شكل رقم (٦ -١٣) مقياس الإزاحة الخطية.

٦ -٢ -٤ -٢ 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 إلى المسافة الجديدة d_1، 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 = $5 \times 10^{-3}\ m^2$
- المسافة بين اللوحين = $1 \times 10^{-3} m$

الحل

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

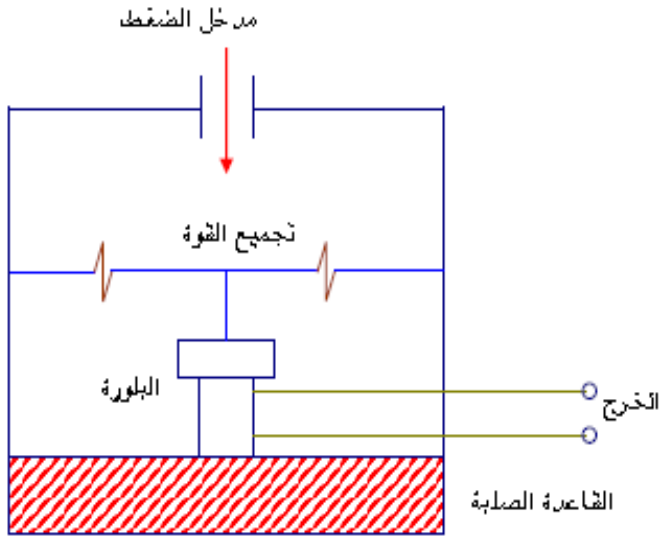
$$C = \frac{kA\varepsilon_0}{d} \quad (Farads)$$

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

$$C = 44.25\ pF$$

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 الثالية:

(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 -٦ -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:

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

حيث:

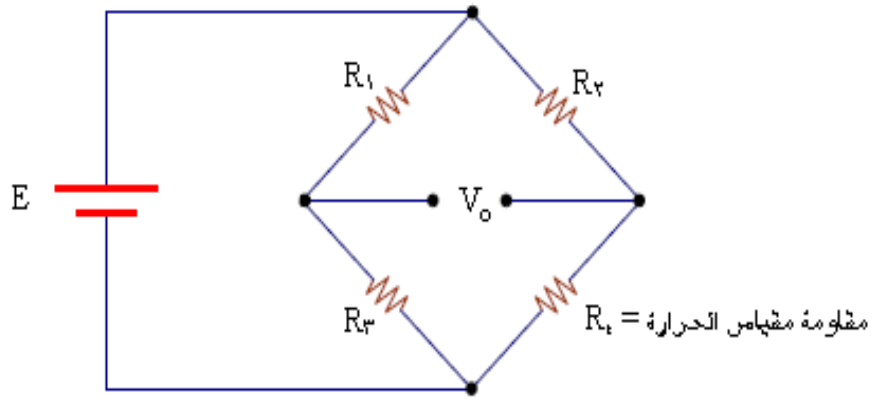
R : مقاومة الموصل عند درجة حرارة t مقاسة بالدرجات المئوية

R_0 : مقاومة للوصل عند درجة حرارة مرجعية (عادة عند 20 ° 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 للمقاومة ΔR يمكن قياسه باستخدام قنطرة ويتستون التي يمكن معايرتها لبيان درجة الحرارة المسببة في تغير المقاومة كما هو مبين بشكل رقم (٦ -١٦).



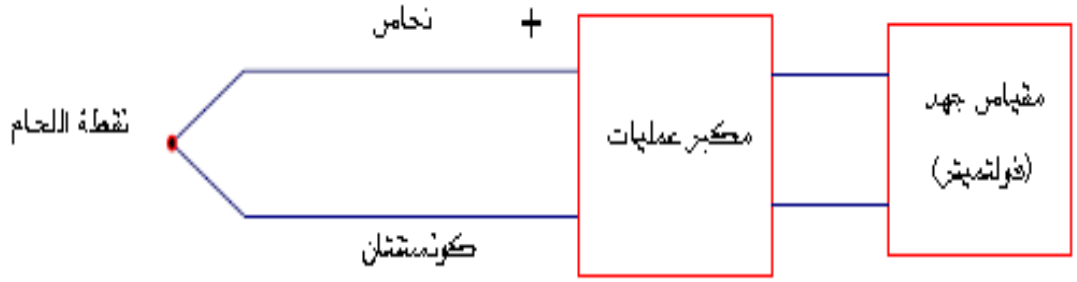
شكل رقم (٦ -١٦) مبدل مقياس حرارة للمقاومة الكهربائية.

٦ -٣- ٦- 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 الأخرين. وهذا الجهد يتناسب مع فرق درجات الحرارة مابين درجة حرارة الطرفين المتصلين معا و درجة حرارة الطرفين الأخرين. كمثال على ذلك عند توصيل طرف سلك مصنع من مادة النحاس الأحمر Copper مع طرف سلك مصنع من مادة الكونستنان

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 ليقرأ 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:

$$E = c\,(T_1 - T_2) + k\,(T_1^2 - T_2^2) \quad mV \qquad (٦ -١٣)$$

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 السلزيوس (المئوية)

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

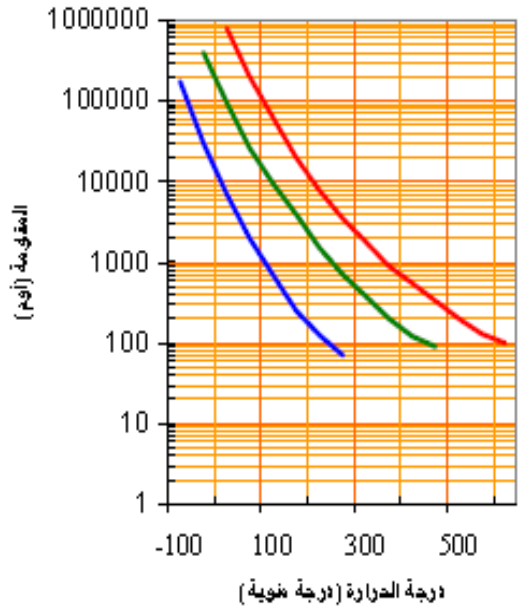
من المعروف أن درجة حرارة غليان الماء هي: $T_1 = 100°C$ و درجة حرارة الثلج هي: $T_2 = 0°C$. وبتطبيق المعادلة رقم (٦ -١٣) التي تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج و درجات الحرارة:

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

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

٦ -٣- ٦- ٣- 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 و النيكل و الكوبالت و النحاس و اليورانيوم و غيرها وتتراوح قيمة المقاومة من

0.5 Ω إلى 75 MΩ. شكل رقم (٦ -١٩) يوضح رمز المجس الحراري.

شكل رقم (٦ - ١٩) رمز المجس الحراري

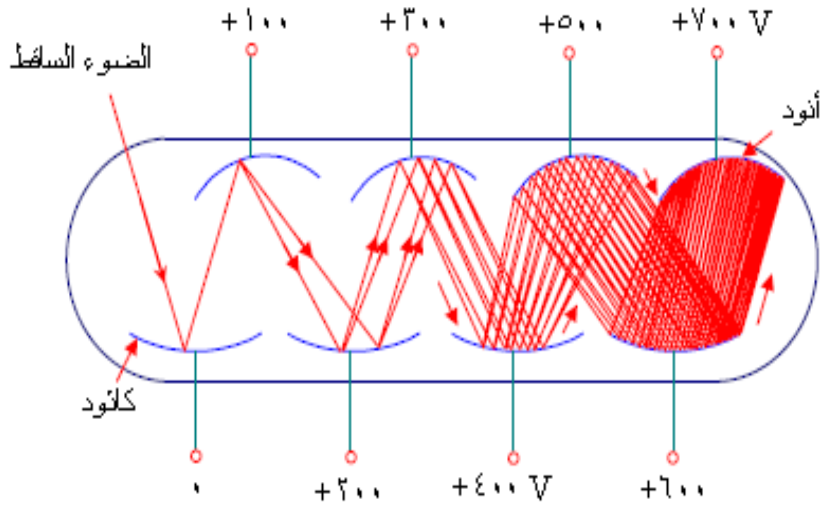
٦ -٣ -٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية Photo – Electric Transducers

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) الأنبوب الضوئي المضاعف.

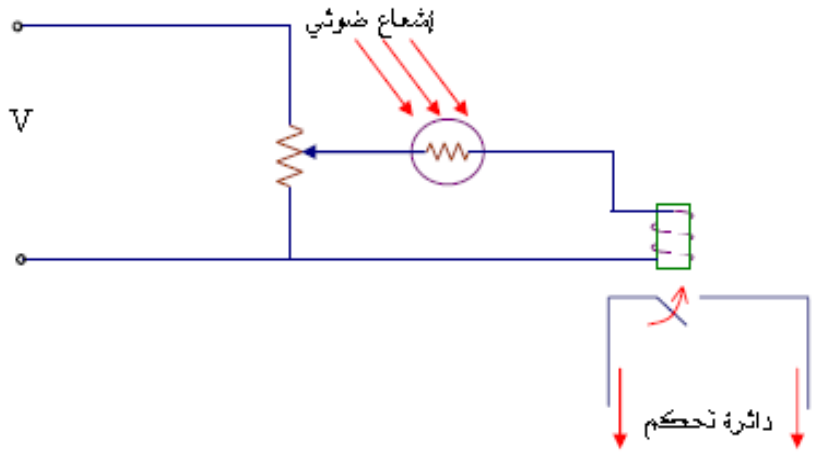
نتيجة لسقوط الضوء على المهبط تنبعث الإلكترونات منه وتنجذب إلى الأنود الأول بسرعة عالية (حيث جهده أعلى) وتصطدم به مسببة انبعاث عدد أكبر من الإلكترونات بما يسمى بظاهرة الانبعاث الثانوي، ويتكرر نفس الشيء بين الأنود الأول و الأنود الثاني (ذي الجهد الأعلى) وهكذا يمكن تحويل الضوء إلى تيار كهربائي ذي قيمة محسوسة (من ١٠٠μA إلى 1mA).

٦ -٢ -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 الكادميوم) 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.

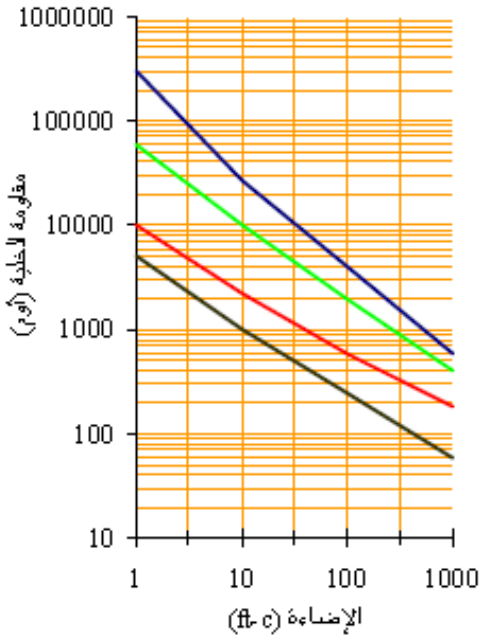
شكل رقم (٦ - ٢١) الرمز الكهربائي للخلية الضوئية و تركيب الخلية الضوئية.

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 -٢ -٧ -٣ الحساسات والمبدلات ذات فولطية ضوئية

الخلايا الفولطية 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).

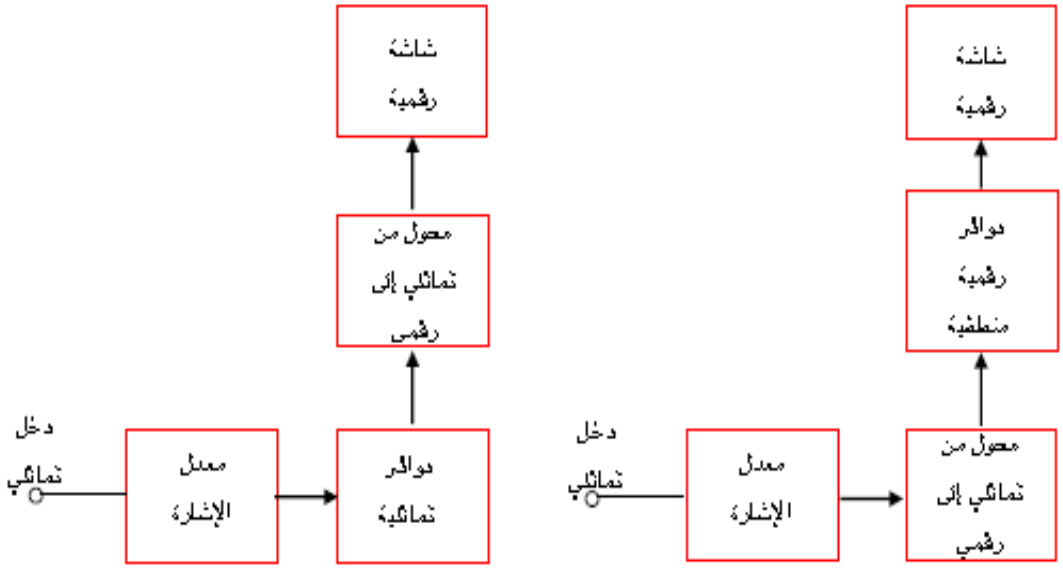
اجهزة القياس الرقمية

٣ -١ مقدمة (Introduction)

تقدم أجهزة القياس الرقمية مزايا عديدة بالمقارنة مع غيرها من أجهزة القياس التماثلية (أجهزة القياس ذات الملف للتحرك – 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 أولا 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.



(أ) أجهزة القياس الرقمية (ب) أجهزة القياس ذات القراءة 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 و الثاني فقط.

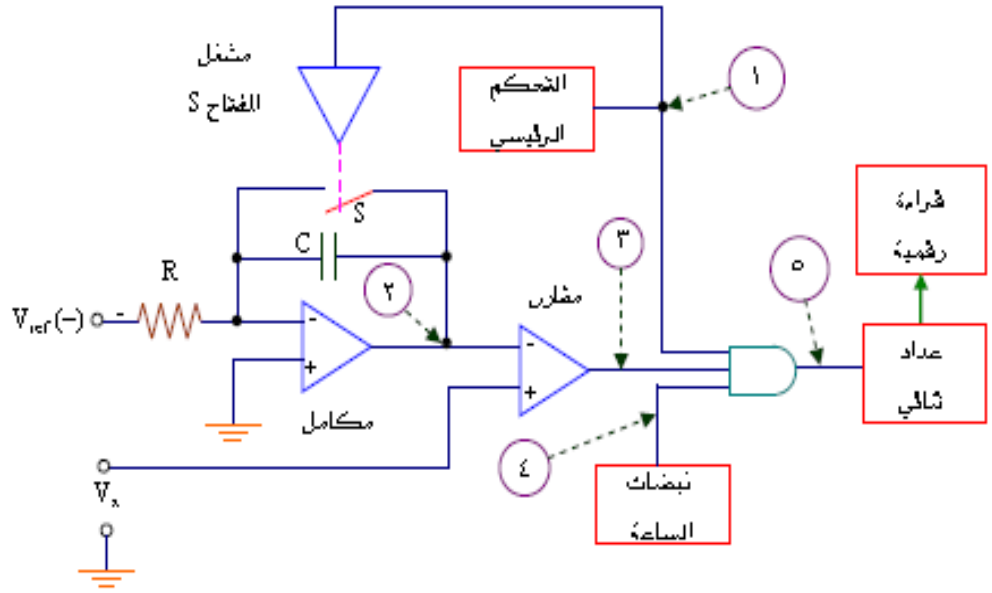
٣ -٢ -١ أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)

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 -٣) يوضح دائرة جهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد، ونلاحظ أن الدائرة لها دخلان، احدهما هو الجهد المقارن ($-V_{ref}$)، ونلاحظ أنه سالب الإشارة والأخر جهد الدخل غير المعلوم 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 المعلوم كالآتي:

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 (٢) في شكل رقم (٣ -٢)]. ، 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 - ٢)] تكون مسلطة 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 -٢)] والتي يمكن عدها عن طريق العداد الثنائي (Binary Counter).

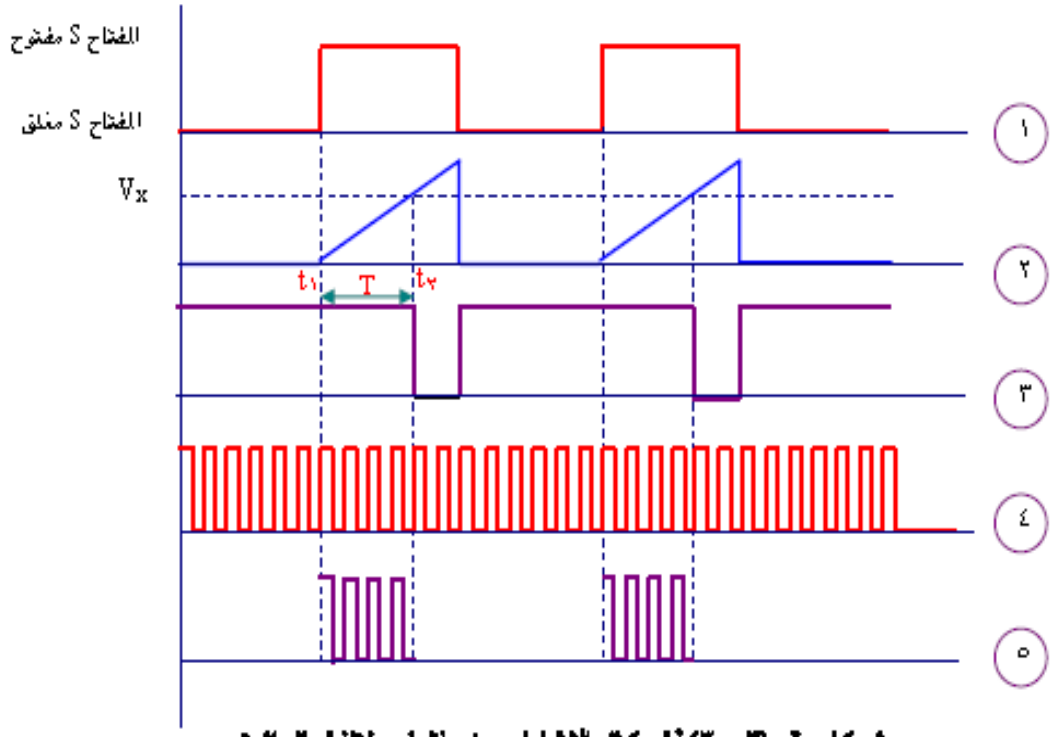
٦. عندما تصل الشحنة على المكثف إلى مستوى أعلى بقليل من V_x، يتحول خرج مقارن الجهد إلى الصفر، وهذا يعني أن خرج البوابة AND في هذه اللحظة يساوي صفرا، فتمنع مرور نبضات الساعة (Clock) إلى العداد الثنائي فيتوقف عن العد.

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 للفتاح 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 أثنائها 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:

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

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

حيث t_1 هي اللحظة الزمنية التي يبدأ المكثف عندها في الشحن ، فإذا كانت t_2 هي اللحظة التي عندها يتساوى خرج دائرة المكامل مع الجهد المراد قياسه:

$$\text{at} \quad t = t_2 \quad \Rightarrow \quad V_{io}(t_2) = V_x \qquad (٣-٣)$$

$$\therefore V_{io}(t_2) = V_x = \frac{1}{RC} V_{ref}(t_2 - t_1) \qquad (٣-٤)$$

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

$$T = t_2 - t_1$$

$$\therefore V_x = \frac{1}{RC} V_{ref} T \qquad (٣-٥)$$

$$\text{or} \quad T = RC \frac{V_x}{V_{ref}} \qquad (٣-٦)$$

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 تأثر عملية تحويل الجهد إلى زمن بدرجة الحرارة (درجة الحرارة تؤثر على قيمة R, C 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 $R = 10\ k\Omega$ وقيمة سعة المكثف $C = 0.1\ \mu f$، علماً بأن قيمة الجهد $V_x = 5\ V$، وقيمة الجهد المقارن $V_{ref} = -10\ V$.

الحل

باستخدام المعادلة رقم (٣-٦)، نجد أن:

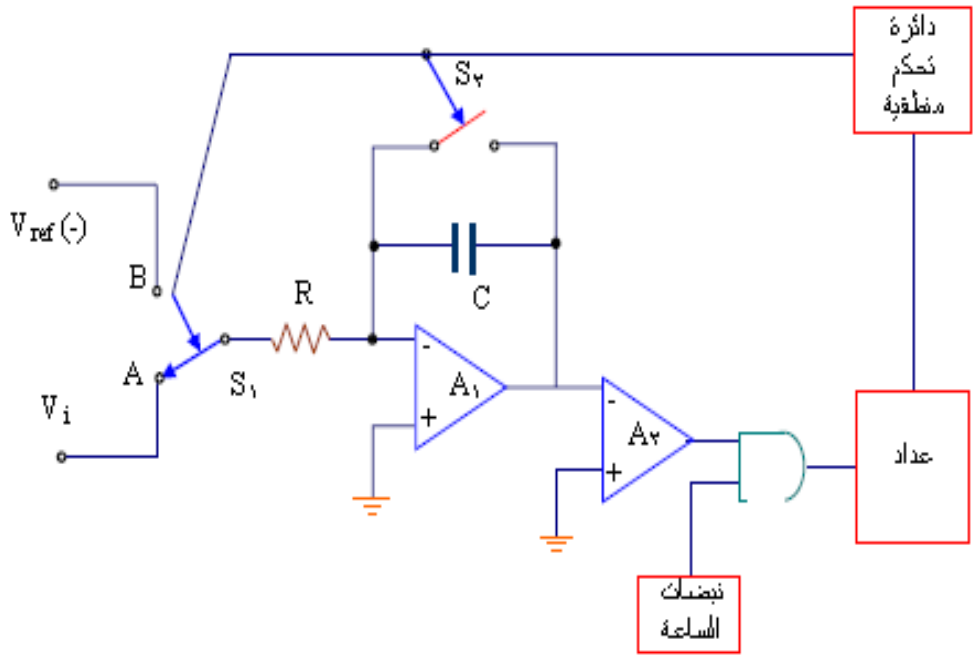
$$T = RC \frac{V_x}{V_{ref}} = 100 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} \times \frac{5}{10} = 5 \times 10^{-3}\ \text{sec} = 5\ \text{m sec}$$

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

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.

ويلاحظ أن الجزء الأساسي فيه هو المكامل A_1 الذي يتكون من مكبر تشغيلي مع المقاومة R والمكثف C ، هذا بالإضافة إلى دائرة مقارن الجهد A_2، حيث إن هذا المقارن يعطى خرجاً منخفضاً [Low] عندما يكون خرج المكامل سالباً، كما يعطى خرجاً عالياً [High] عندما يكون خرج المكامل موجباً. يتلخص عمل الدائرة كما يلي:

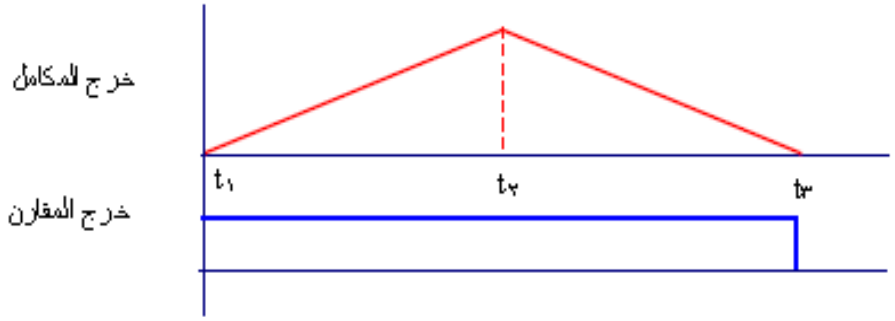
١. في البداية تقوم دائرة التحكم المنطقية بعمل الآتي:
   ١ - غلق المفتاح S_2 لفترة وجيزة لتفريغ أي شحنة بالمكثف C.
   ٢ - تحويل المفتاح S_1 إلى الوضع A.
   ٣ - تصفير العداد (٠٠٠٠.....٠).



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

٢. يبدأ مكثف المكامل في الشحن وبالتالي يبدأ خرج المكامل في الزيادة في الاتجاه السالب كما هو موضح في شكل رقم (٣ -٥)، مع ملاحظة أن الشكل مرسوم بطريقة عكسية للسهولة.

٣. بمجرد أن يصبح خرج المكامل أقل من الصفر يؤدي ذلك إلى أن يكون خرج مقارن الجهد [High]، وعليه تسمح البوابة AND بمرور نبضات الساعة (Clock) إلى العداد.



شكل رقم (٣ -٥) موجة الخرج للمكامل و المقارن 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_2 في شكل رقم (٣ -٥)، فتولد نبضة تسمى [Overflow Pulse] والتي تجعل دائرة التحكم المنطقية تعمل على تحويل المفتاح S، إلى الوضع B ، وبذلك يوصل الجهد المقارن V_{ref} إلى دخل المكامل، وفي نفس الوقت (at time t_2) يكون العداد في حالة تصفير (٠٠٠٠ ..... ٠).

٥. يبدأ المكثف C في تفريغ شحنته بمعدل ثابت خلال الفترة من t_2 إلى t_3 وفي نفس الوقت يبدأ العداد في العد من جديد، ويستمر في العد إلى أن تصل الشحنة على المكثف صفرا عند الزمن t_3، فيصبح خرج مقارن الجهد يساوي صفرا [Low]، وبالتالي تمنع البوابة AND نبضات الساعة (Clock) من المرور إلى العداد فيتوقف عن العد، ويكون العدد الذي قد تم عده خلال الفترة من t_2 إلى t_3 ممثلا لقيمة جهد الدخل.

٦. عند الزمن t_3 تقوم دائرة التحكم المنطقية بإرسال نبضة للمبين الرقمي لكي يظهر القيمة الرقمية لجهد الدخل.

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

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

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

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

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

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

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

وفي خلال الفترة الزمنية لتفريغ المكثف، من t_2 إلى t_3، يكون الجهد $V_2(t)$ عند خرج المكامل كما يأتي:

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

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

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

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

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

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

which equal,

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

من المعادلة الأخيرة يمكننا القول بأن القيمة الرقمية طبقا لجهد الدخل المراد قياسه تتناسب مع الفترة الزمنية T_2.

مثال رقم (٣ -٢)

إذا كانت قيمة الجهد المقارن V_{ref} عند اللحظة t_1 لجهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميلين هي ٥ V ، فما هو مقدار الفترة الزمنية من t_1 إلى t_2 ؟ علماً بأن قيمة الجهد V_i =١ V وقيمة T١=١ sec.

الحل

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

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