# الباب الثالث

# أساسيات التحكم الاسترجاعى

# Feed Back Control

obeikandl.com

obeikandl.com

# أساسيات التحكم الاسترجاعى

# Feed back Control

## ٣ / ١ - مقدمة

يمكن وصف أى نظام تحكم بأنه مجموعة من العناصر التى تؤدى سويًا أداء معينًا للمحافظة على خرج الآلة عند المستوى المطلوب.

وهناك عدة أنواع لأنظمة التحكم: مثل التحكم الكهربى، والتحكم الميكانيكى، والتحكم الالكترونى. وفى هذا الكتاب سنركز على التحكم الالكترونى باستخدام مكبرات العمليات .Op. Amp .

والجدير بالذكر أن الهدف من التحكم ليس فقط المحافظة على خرج النظام أو الآلة عند المستوى المطلوب، ولكن يستخدم التحكم الاسترجاعى للتحكم فى العمليات الصناعية والآلات فى الظروف الصعبة، والتى لا يستطيع الإنسان أن يعمل فيها، بالإضافة إلى أن التحكم الاسترجاعى يعمل على رفع سرعة الإنتاج وجودته وانخفاض تكلفة التصنيع.

وحتى يتثنى للقارئ استيعاب تطبيقات التحكم الاسترجاعى يتطلب ذلك الإلمام بالموضوعات التالية:

**الموضوع الأول**: مكبرات العمليات والدوائر الأساسية لها.

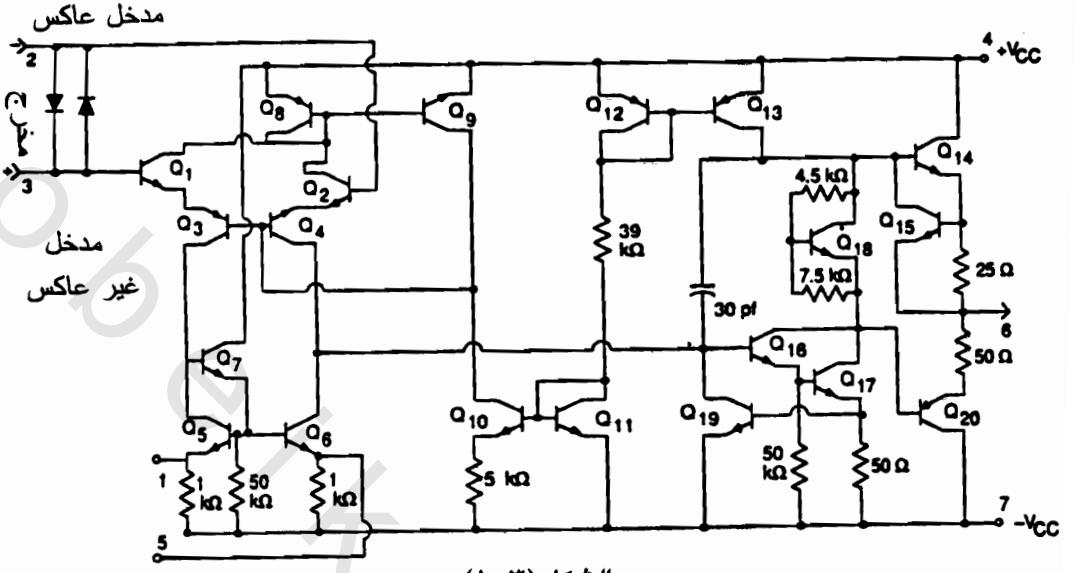
**الموضوع الثانى**: مصادر التيار المستمر المنتظمة.

**الموضوع الثالث**: أنظمة التحكم ذات الدائرة المفتوحة وكذلك أنظمة التحكم ذات الدائرة المغلقة والعناصر المكونة لكليهما.

وسوف نتناول هذه المواضيع بشىء من الإيجاز فى هذا الباب.

## ٣ / ٢ - مكبر العمليات 741 :

والشكل (٣-١) يعرض الدائرة الالكترونية لمكبر العمليات 741 .




**الشكل (٣-١)**

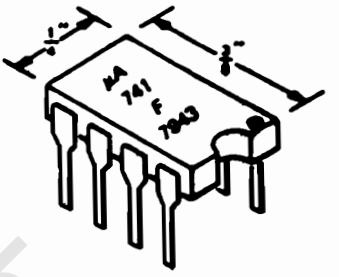
ولحسن الحظ أنه يمكن استخدام مكبر العمليات بدون الدخول فى تفاصيل عن تركيبه الداخلى لصعوبة ذلك. لذلك سوف نتعامل مع الأطراف الخارجية لمكبرات العمليات، ويلاحظ من رمز مكبر العمليات أن مكبر العمليات له مدخلان، أحدهما عاكس (−) والآخر غير عاكس (+) ومخرج Output . والجدير بالذكر أن هناك أطرافًا أخرى لمكبر العمليات لا تظهر فى الرمز فى أغلب الأحيان. وسوف نتعرض لباقى هذه الأطراف فيما بعد.

والشكل (٣-٢) يعرض نموذجًا لمكبر عمليات 741 من نوع DIL (أى له أرجل فى صفين وكذلك مسقط أفقى يبين جميع المداخل والمخارج ووظيفة كل منها.

ويلاحظ وجود تجويف نصف دائرى على أحد جانبى الدائرة المتكاملة، وحتى يمكن معرفة أرقام أرجل الدائرة المتكاملة تمسك الدائرة المتكاملة باليد بحيث يكون التجويف فى اليسار فتكون الرجل اليسرى هى الرجل رقم 1، ويكون العد فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

**التعريف بوظيفة أرجل الدائرة المتكاملة:**

الرجل 1 : ضبط الخرج عند الصفر.



2 : المدخل العاكس.

3 : المدخل الغير عاكس.

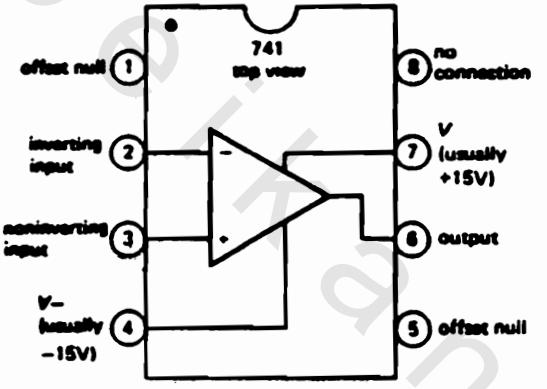
4 : منبع الجهد السالب ويساوى 15V - .

5 : ضبط الخرج عند الصفر .

6 : الخرج يؤخذ منه الإشارة المكبرة.

7 : منبع الموجب ويساوى 15V + .

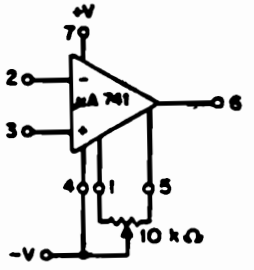
8 : غير مستخدم .




**الشكل (٣-٢)**

ويستخدم الطرفان 5,1 لضبط الخرج عند الصفر، حيث يوصل بينهما مجزئ جهد، ويوصل الطرف المنزلق للمجزئ بالطرف السالب للمنبع.

وعندما ترتفع درجة حرارة المكبر يتواجد خرج للمكبر حتى ولو لم يكن هناك دخل على الطرفين، وفى هذه الحالة يمكن بواسطة مجزئ الجهد الوصول لخرج مساو للصفر. والشكل ( ٣-٣ ) يوضح طريقة ضبط الخرج عند الصفر.




**الشكل (٣-٣)**

**وفيما يلى أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع مكبرات العمليات:**

١ – جهد الدخل المعادل ($V_{IO}$) Input Offset Voltage : وهو الجهد الواجب تطبيقه بين المدخلين لنحصل على جهد خرج صفرى ويساوى 1mV لمكبر العمليات μA741 .

٢ – تيار الدخل المعادل Input Offset Current ($I_{OS}$) : وهو الفرق بين تيارات المدخلين عندما يكون الخرج فى حالة جهد صغرى ويساوى 20nA لمكبر العمليات 741.

٣ – تيار الدخل الانحيازى Input Bias Current ($I_{IO}$) : وهو متوسط تيارات المدخلين عندما يكون الخرج فى حالة جهد صفرى.

٤ – جهد الدخل التفاضلى Differential Input Voltage ($V_{ID}$) : وهو فرق الجهد الأقصى بين المدخلين العاكس والغير عاكس.

٥ – كسب الجهد للدائرة المفتوحة Open Loop gain ($A_V$) : وهو النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل عندما تكون مقاومة الحمل2kΩ.

٦ – مقاومة الدخل Input Resistance ($R_I$) : وهى المقاومة بين كل من المدخلين والأرض.

٧ – مقاومة الخرج Output Resistance: وهى المقاومة بين كل من الخرج والأرض.

٨ – معدل الميلان Slew Rate (SR) : ويساوى النسبة بين التغير فى جهد الخرج إلى زمن هذا التغير عندما تكون مقاومة الحمل $R_L$ مساوية 2KΩ .

$$S_R = \frac{\Delta V_O}{\Delta t} \rightarrow 3.1$$

وهو يساوى 0.5 V/μS لمكبرات العمليات μA741 .

٩ – النطاق العرضى للترددات Band Width (BW) : وهو حدود الترددات التى يعمل عندها المكبر باستقرار.

١٠ – حاصل ضرب النطاق العرضى فى الكسب (GBW) : ونحصل عليه من المعادلة التالية:

$$GBW = A_v \times Bw$$

وهو يساوى $1MH_Z$ لمكبر العمليات μA741 .

والجدول ( ٣-١ ) يعقد مقارنة بين الخواص الفنية لبعض مكبرات العمليات.

**الجدول ( ٣-١ )**

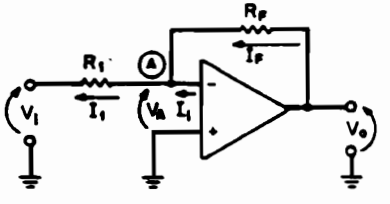
| المتغير | 709 | 201 | 301 | 741 |
|---|---|---|---|---|
| تيار الدخل الانحيازى (nA) ($I_{IO}$) | 1500 | 1500 | 250 | 500 |
| جهد الدخل المعادل mV ($V_{IO}$) | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 6 |
| تيار الدخل الانحيازى nA ($I_{OS}$) | 500 | 200 | 50 | 200 |
| حاصل ضرب الكسب فى النطاق الترددى (MHZ) GBW | 1 | 1 | 1 | 1 |
| معامل الإمالة ($V/\mu S$) $S_W$ | 3 | 2 | 2 | 0. 5 |
| مقاومة الدخل ($M\Omega$) $R_I$ | 0.7 | 4.0 | 2.0 | 2.0 |

## ٣ / ٣ - الدوائر الأساسية لمكبرات العمليات :

حيث إن معامل تكبير الدائرة المفتوحة لمكبرات العمليات تكون كبيرة وتصل إلى200 000 لذا فإن مكبرات العمليات عادة لا تستخدم فى دوائر مفتوحة ولكن تستخدم فى دوائر مغلقة، ولكى يكون المكبر فى حالة استقرار فإن هذا الغلق يتم بواسطة تغذية خلفية سالبة ؛ لذلك يتم توصيل مقاومة بين الخرج والدخل السالب. وتوجد عدة تطبيقات لمكبرات العمليات ستتناولها فى الفقرات التالية :

### ٣ / ٣ / ١ - المكبر العاكس Inverting Amplifier :

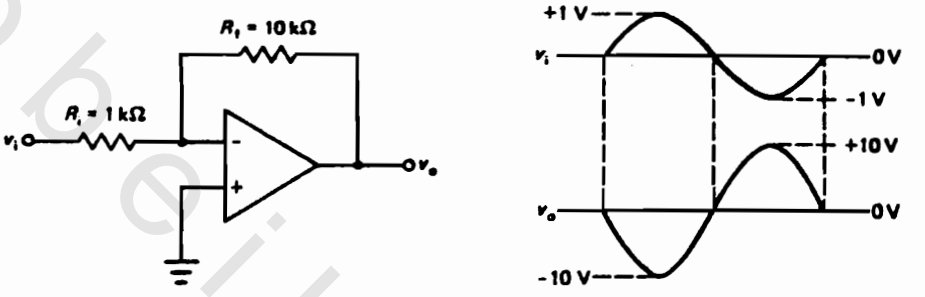
الشكل ( ٣-٤ ) يعرض دائرة مكبر عمليات يعمل كمكبر عاكس. وتسمى المقاومة $R_F$ بمقاومة التغذية الخلفية، أما المقاومة $R_I$ فهى مقاومة توالى توصل بين الطرف السالب ( - ) للمكبر وإشارة الدخل المطلوب تكبيرها، ويكون معامل كسب الجهد ( معامل التكبير ) $A_V$ مساويًا :




**الشكل (٣-٤)**

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-R_F}{R_1} \rightarrow 3.2$$

ولمزيد من الإيضاح إليك المثال الموضح بالشكل (٣-٥)




**الشكل (٣-٥)**

فإذا كانت إشارة الدخل $V_i$ عبارة عن موجة جيبية قيمتها العظمى 1V+ فإن إشارة الخرج $V_O$ ستكون موجة جيبية أيضًا بإزاحة $180^\circ$ وقيمتها العظمى 10V، حيث إن معامل كسب الدائرة يساوى :

$$A_V = \frac{-R_F}{R_1} = \frac{-10}{1} = -10$$

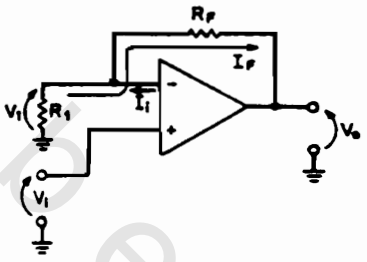
ويجب ملاحظة أن جهد الخرج فى هذه الحالة لن يتعدى جهد منبع التغذية وهو 15V ± ، مهما كانت قيمة جهد الدخل وقيمة معامل الكسب؛ لأن المكبر سوف يكون فى حالة تشبع ومن الناحية العملية فإن الطرف الموجب للمكبر لا يوصل مباشرة بالأرض بل يوصل من خلال مقاومة $R_P$ تساوى:

$$R_P = \frac{R_1 R_F}{R_1 + R_F} \rightarrow 3.3$$

وهذه المقاومة تعمل على ضبط أى جهد للخرج عن الصفر فى حالة ما إذا كان الدخل على طرفى المكبر مساويًا صفرًا.

### ٣ / ٣ / ٢ - المكبر الغير عاكس Non Inverting Amplifier :

الشكل ( ٣-٦ ) يعرض دائرة مكبر العمليات الذى يعمل كمكبر غير عاكس.




الشكل (٣-٦)

ويلاحظ أن إشارة الدخل يسمح لها بالدخول على المدخل الغير عاكس للمكبر +.

وفيما يلى معادلة كسب الجهد للمكبر الغير عاكس:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{-R_F}{R_1} \rightarrow 3.4$$

فإذا كانت:

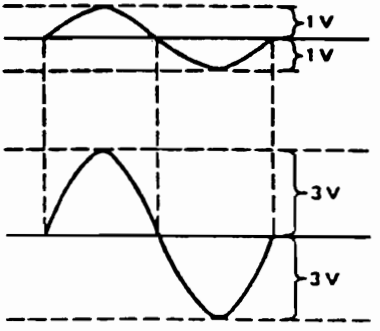
$$R_1 = 10\ K\Omega\ ,\ R_F = 20\ K\Omega$$

ودخلت موجة جيبية على المدخل العاكس وكانت القيمة العظمى لها ± 1V فإن القيمة العظمى لجهد الخرج $V_O$ تساوى:

$$V_O = A_V = V_i = (1 + \frac{R_F}{R_1})\ V_i$$

$$= (1 + \frac{20}{10}) * \pm 1 = \pm 3V$$

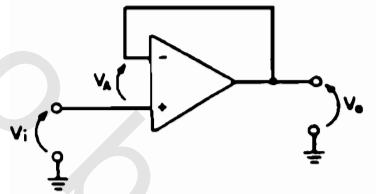
والشكل ( ٣-٧ ) يبين العلاقة بين $V_i$ مع الزمن، وكذلك $V_O$ مع الزمن، ويُلاحظ أنه لا توجد إزاحة وجهية بين $V_i$ ، $V_O$ .




الشكل (٣-٧)

### ٣ / ٣ / ٣ - مكبر الوحدة Unity Follower :

هذا المكبر يعطى جهد خرج $V_O$ مساوٍ تقريبًا لجهد الدخل $V_i$ فى القيمة، وله نفس القطبية؛ لذلك سمى بمكبر الوحدة. وهو يستخدم عادة فى العزل. والشكل (٣-٨) يعرض دائرة مكبر وحدة غير عاكس.



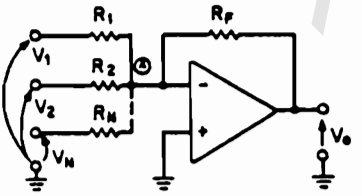

الشكل (٣-٨)

ويكون معامل الكسب مساويًا:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 \rightarrow 3.5$$

### ٣ / ٣ / ٤ - المكبر الجامع العاكس The Summing Op. Amp. :

يعتبر المكبر الجامع هو أحد تطبيقات المكبر العاكس، ويجرى المكبر الجامع عملية جمع لجهود الدخل. والشكل (٣-٩) يعرض دائرة جامع بثلاثة مداخل فقط. بالطبع يمكن زيادة عدد المداخل حسب الاستخدام لأى عدد من المداخل.




الشكل (٣-٩)

ونحصل على قيمة جهد الخرج لهذه الدائرة من العلاقة التالية:

$$V_O = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \frac{R_F}{R_N} V_N\right) \rightarrow 3.6$$

فإذا كانت:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_F$$

تصبح:

$$V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

فإذا كانت:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_F = 10\ K\Omega$$

وكان جهود المداخل كالآتى:

$$V_1 = V_5\ ,\ V_2 = 6V\ ,\ V_3 = 8V$$

obeikandl.com

فإن جهد الخرج سيساوى:

$$V_O = -(5 + 6 + 8) = -19V$$

فإذا كان جهد المنبع مساويًا 15V ± فإن المكبر سوف يتشبع، وبالتالى يصبح جهد الخرج مساويًا جهد التشبع، أى Vsat - ، حيث إن جهد التشبع فى هذه الحالة يساوى 13V - تقريبًا.

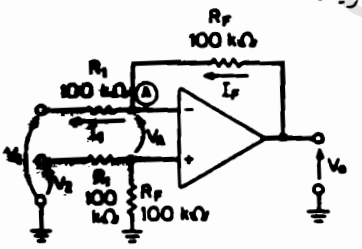
### ٣ / ٣ / ٥ - المكبر الفرقى The Differential Amplifier :

فى التطبيقات السابقة لاحظنا أن الإشارة الداخلة تدخل على أحد طرفى الدخل لمكبر العمليات، أما إذا سمح لإشارتي دخل الدخول معًا على مدخلى مكبر العمليات يسمى المكبر فى هذه الحالة بالمكبر الفرقى (الطارح)، وسمى بهذا الاسم نظرًا لأنه يقوم بتكبير الفرق بين الدخلين، وفى الوضع المثالى لهذه الدوائر فإن الخرج يساوى صفرًا عند تساوى جهد مدخلى الجهد، ودائرة مكبر العمليات الفرقى موضحة بالشكل (٣-١٠).

وتكون قيمته جهد الخرج لدائرة المكبر الفرقى مساويًا:

$$V_O = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1) \rightarrow 3.7$$

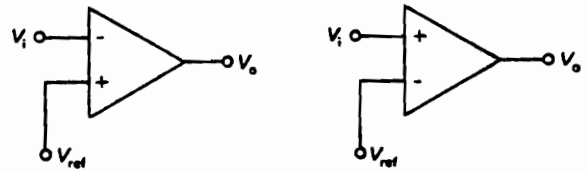
وتقوم المقاومة $R_F$ بضبط أى صعود للخرج عن الصفر فى حالة تساوى الجهدين $V_2$ , $V_1$ أو مساواتهما بالصفر.




الشكل (٣-١٠)

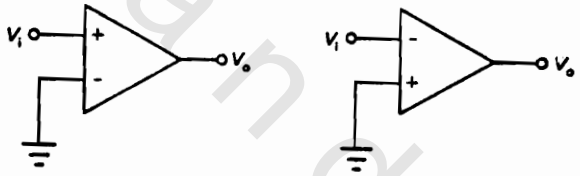
### ٣ / ٣ / ٦ - مقارن الجهد Voltage Com-parator :

يستخدم مكبر العمليات كمقارن للجهد بحيث يقارن الجهد على أحد المداخل مع جهد الأساس الموجود عند المدخل الآخر. وهناك نوعان من المقارنات مقارن عاكس وآخر غير عاكس. والشكل (٣-١١) يعرض مقارن جهد بسيط غير عاكس (أ) ومقارن عاكس (ب) ويسمى المقارن بمقارن عاكس عند دخول إشارة الجهد على المدخل العاكس فى حين يسمى بمقارن غير عاكس عند دخول إشارة الجهد على المدخل الغير عاكس.



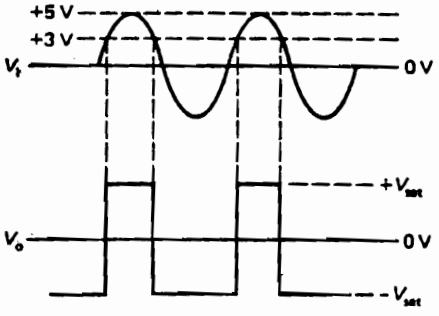

**الشكل (٣-١١)**

وحيث إن معامل الكسب (التكبير) لمكبر العمليات الذى يعمل فى دائرة مفتوحة كما هو الحال فى المقارن كبير جداً؛ لذا فإن جهد إشارة بالملى فولت يكفى لتشبع المكبر وخرج مقارن الجهد دائمًا جهد التشبع موجبًا أو سالبًا Vsat ± . وفى حالة قيام المقارن بمقارنة إشارة جهد مع 0V فإنه يسمى بكاشف عبور الصفر Zero Crossing Detector كما بالشكل (٣-١٢).




**الشكل (٣-١٢)**

حيث تتغير حالة خرج المقارن عند عبور جهد الدخل بالصفر. فإذا افترضنا أن مقارن للجهد غير عاكس يقارن موجه جيبية جهدها الأقصى 5V بجهد أساس مستمر يساوى 3V+ فإن شكل موجة الدخل وموجة الخرج المتوقع كما بالشكل (٣-١٣).



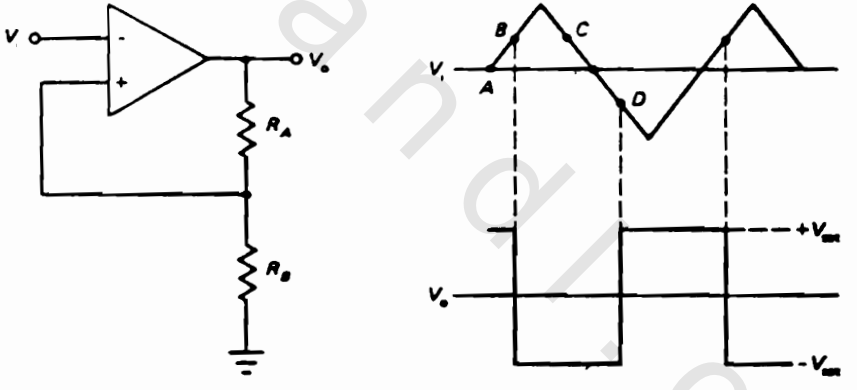

**الشكل (٣-١٣)**

ويلاحظ أنه عندما يكون جهد الدخل أكبر من 3V فإن خرج المقارن

يكون مساويًا Vsat + ، وعندما يكون جهد الدخل أصغر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويًا Vsat - . علمًا بأن Vsat تساوى 13V تقريبًا عندما يكون جهد المنبع مساويًا 15V .

والجدير بالذكر أن المقارن قد يتعرض لتأرجح فى خرجه نتيجة لوجود أى جهود صغيرة بفعل الضوضاء فى المداخل، ويجب تجنب ذلك بإضافة مقاومة تغذية عكسية موجبة ( للدخل الموجب ) .

وهناك نوع آخر من المقارنات تسمى بمقارنات برجوعية، وتستخدم المقارنات ذات الرجوعية فى الحاكم ذى الموضعين Two Position Conroller . والشكل ( ٣-١٤ ) يعرض دائرة لمقارن برجوعية وشكل الموجة الخارجة $V_O$ عندما تكون الموجة الداخلة $V_i$ على شكل أسنان منشار. والمقصود بالرجوعية هو اعتماد خرج الدائرة على الحالة السابقة.




**الشكل (٣-١٤)**

فكما هو واضح أن خرج المقارن يكون مشبعًا موجبًا فى المنطقة بين النقطتين A,B تمامًا كالحالة السابقة للمقارن، فى حين يتحول خرج المقارن ليصبح مشبعًا سالبًا بعد النقطة B ، ويظل الخرج مشبعًا سالبًا فى المنطقة ED اعتمادًا على الحالة السابقة وهكذا.

ويمكن تعيين حدود الرجوعية من المعادلة التالية :

$$V_{ref} = \frac{R_B}{R_A + R_B} (\pm V_{sat}) \rightarrow 3.8$$

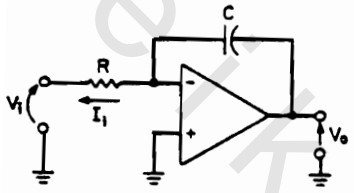
**حيث إن**

$V_{ref}$ هو جهد الأساس وهو جهد النقطة B أو النقطة D .

$V_{sat}$ هو جهد التشبع لمكبر العمليات .

**٣ / ٣ / ٧ - المكبر المكامل Integrator :**

تعرف عملية التكامل بأنها جمع قيم إشارة الدخل خلال فترة زمنية معينة. والشكل ( ٣-١٥ ) يعرض دائرة لمكامل وهى تشبه دائرة المكبر العاكس عدا أن مقاومة التغذية الخلفية $R_F$ استبدلت بالمكثف C . والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة :




الشكل (٣-١٥)

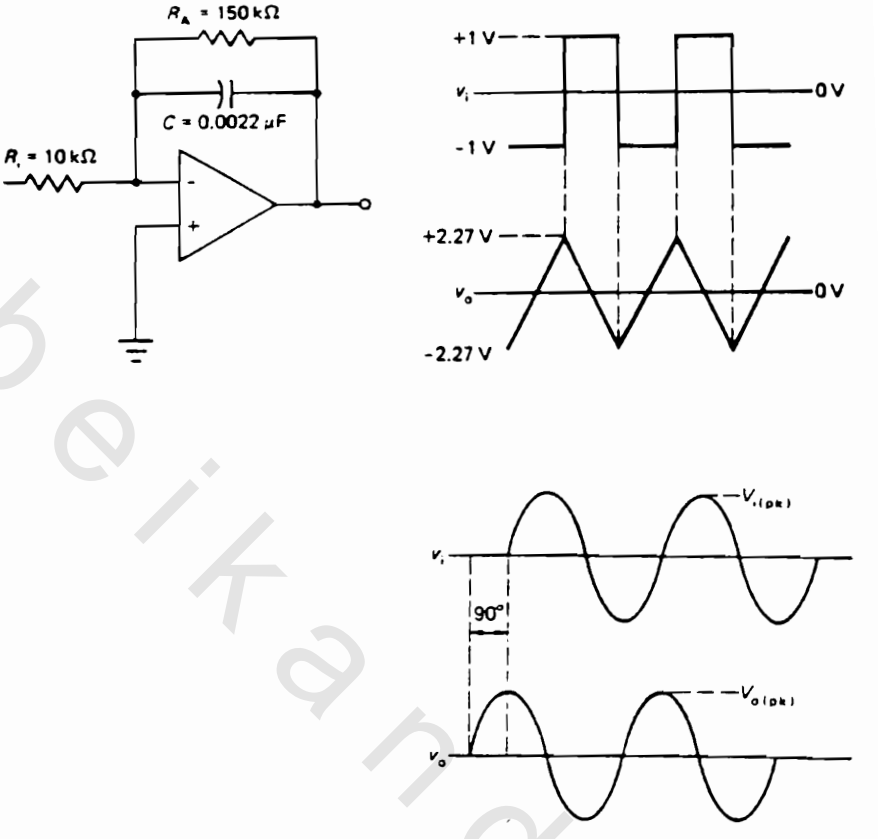
$$V_O = \frac{-1}{RC} \int_o^t V_i \, d_t \rightarrow 3.9$$

وعادة توصل مقاومة بالتوازى مع مكثف دائرة المكامل للأسباب التالية :

١ - منع المكبر من تكامل الجهود المستمرة حتى ولو صغيرة والتى قد تؤدى لفقدان الدائرة لصفة التكامل .

٢ - تحافظ على معامل كسب لا يقل عن $\frac{R_A}{R}$ عند الترددات القليلة، حيث إن $R_A$ هى قيمة المقاومة الموصلة بالمكثف على التوازى، أما R هى مقاومة الدخل .

والشكل ( ٣-١٦ ) يبين مكامل عملى وشكل الموجة الداخلة والخارجة فى حالتين عندما تكون الموجة الداخلة مربعة وعندما تكون الموجة الداخلة جيبية .




**الشكل (٣-١٦)**

ويلاحظ أن الموجة المربعة عند تكاملها تتحول لموجة مثلثة، أما الموجة الجيبية عند تكاملها تكون جيبية ولكن بإزاحة 90° جهة اليسار.

علمًا بأن جهد الخرج الأقصى للمكامل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى:

$$V_O(P_K) = \frac{V_i(P_K)}{2\pi F RC} \rightarrow 3.10$$

**حيث إن:**

$V_O(P_K)$ جهد الخرج الأقصى.

$V_i(P_K)$ جهد الدخل الأقصى.

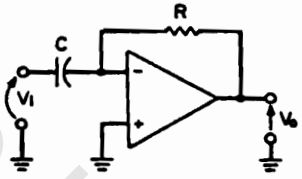
F تردد الموجة الجيبية الداخلة.



obeikandl.com

### ٣ / ٣ / ٨ - المكبر المفاضل The Differentiator :

الشكل ( ٣-١٧ ) يعرض دائرة مفاضل للموجة الداخلة، وهى تشبه دائرة المكامل مع تبديل أوضاع المكيف.




الشكل (٣-١٧)

والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة:

$$V_O = - RC \frac{d_{vi}}{d_t} \rightarrow 3.11$$

وعادة توصل مقاومة $R_S$ على التوالى مع المكثف C للمحافظة على الكسب فى الترددات العالية مساويًا $\frac{-R}{R_S}$ والشكل ( ٣-١٨ ) يبين دائرة مفاضل عملية وشكل الموجة الداخلة والخارجة فى حالتين عندما تكون الموجة الداخلة جيبية وعندما تكون الموجة الداخلة مربعة.

ويلاحظ أن الموجة الجيبية عند تفاضلها تكون جيبية، ولكن بإزاحة 90° جهة اليمين. علمًا بأن جهد الخرج الأقصى للمفاضل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى:

$$V_O (P_K) = 2 \pi F RC Vi (PK) \rightarrow 3.12$$

**حيث إن:**

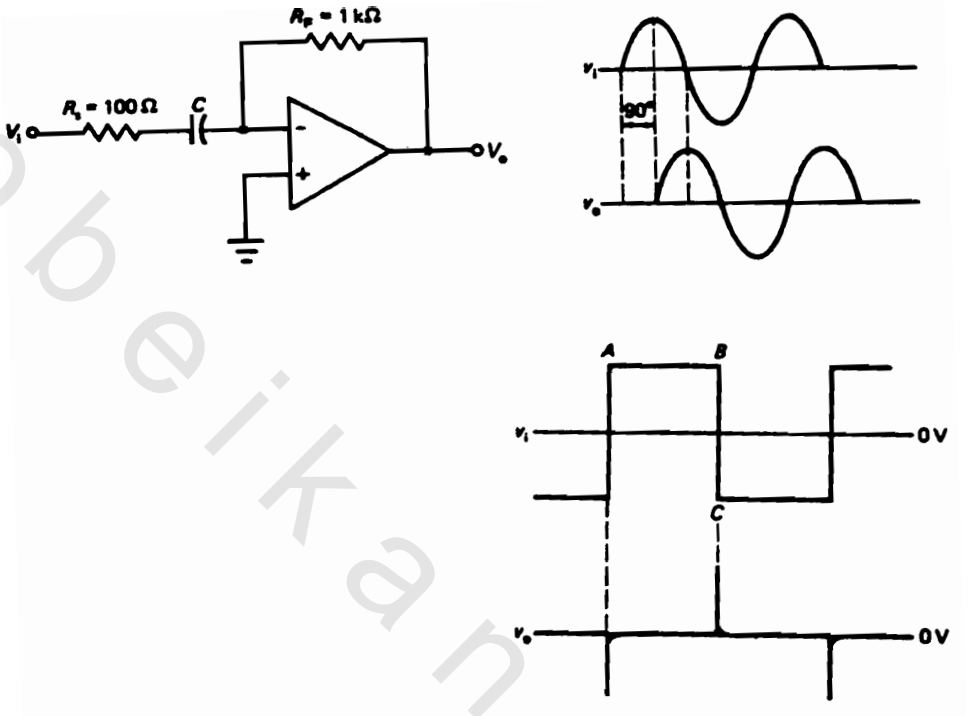
$V_O (P_K)$ جهد الخرج الأقصى.

$V_i (P_K)$ جهد الدخل الأقصى.

F تردد الموجة الجيبية الداخلة.

فى حين أن الموجة المربعة عند تفاضلها تتحول لنبضات موجبة ونبضات سالبة.

obeikandl.com

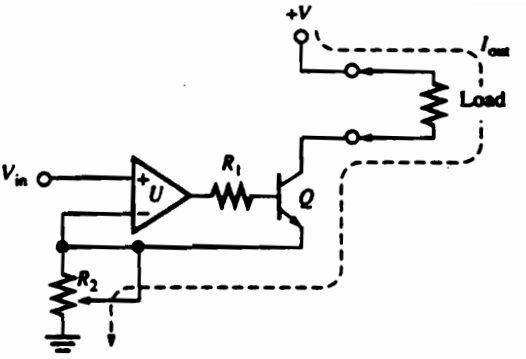



**الشكل (٣-١٨)**

### ٣ / ٣ / ٩ - محول الجهد لتيار :

من المعلوم أن مكبرات العمليات هى مكبرات جهد وأكثر هذه المكبرات يكون لها خرج تيار محدد. وحيث إن هناك الكثير من عناصر الفعل Actuators يتم التحكم فيها بالتحكم فى شدة التيار دخلها، على سبيل المثال الصمامات ذات المحرك Motor Valves الأمر الذى جعلنا نحتاج لطريقة لتحويل الجهد لتيار. والشكل (٣-١٩) يبين دائرة محول جهد لتيار باستخدام مكبر عمليات.

obeikandl.com




**الشكل (٣-١٩)**

وهذه الدائرة تعطى تيار خرج يتناسب مع جهد الدخل. وعند التدقيق فى هذه الدائرة نجد أنها دائرة مكبر عاكس، حيث يتحكم جهد الخرج فى الترانزستور Q ، فكلما زاد جهد الخرج ازداد تيار مجمع الترانزستور Q .

ويصل المكبر لحالة الاتزان عندما يكون الجهد الواقع على الرجل العاكسة يساوى جهد الدخل على الرجل الغير عاكسة أى عندما يكون :

$$V_{in} = I_{out} R_2$$

وبالتالى نحصل على قيمة تيار الخرج من المعادلة التالية :

$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_2} \rightarrow 3.13$$

ويمكن التحكم فى شدة تيار الخرج المقابل لجهد الدخل بالتحكم فى قيمة المقاومة $R_2$ ، ويجب اختيار $R_1$ بحيث تكون كافية لتحديد تيار قاعدة الترانزستور.

والجدير بالذكر أن الترانزستور Q يعمل على زيادة مستوى تيار خرج المكبر؛ ولذلك يختار بحيث يكون قادراً على حمل التيار المطلوب.

كما أنه يجب أن يكون الجهد V+ كافياً لإمرار التيار المطلوب فى الحمل، فإذا

كانت مقاومة الحمل 50KΩ وكان التيار المطلوب 2mA فإن الجهد V+ يجب أن يكون أكبر من 100V .

## ٣ / ٤ – منظمات الجهد المتكاملة ذات الأطراف الثلاثة :

**3 Terminal Regulators**

تستخدم منظمات الجهد المتكاملة فى بناء مصادر التيار المستمر المنتظمة، وتنقسم إلى :

١ – منظمات لها خرج ثابت Fixed Voltage Regulators .

٢ – منظمات لها خرج قابل المعايرة Variable Voltage Regulators .

وسوف نركز فى هذا الباب على المنظمات ذات الخرج الثابت الثلاثية الأرجل. فهى تنقسم لعائلتين، وهما :

أ – منظمات الجهد الموجبة طراز .....78 .

ب – منظمات الجهد السالبة طراز .....79 .

علمًا بأن هذه المنظمات تتواجد بقيم مختلفة لتيار وجهد الخرج، ويشار لقيم التيار والجهد بالامتداد .... فالتيار الأقصى يشار له بالجزء الأول من الامتداد، حيث إن :

L = 100mA بدون = 1A , S = 2A

بينما الجهد المقنن يشار إليه بالجزئين التاليين من الامتداد، وأهم الجهود المقننة القياسية هى (5, 6, 9, 12, 15, 24V) .

على سبيل المثال 7805 هو منظم جهد ثلاثى ثابت الخرج، يعطى جهد خرج 5V+ وتيار أقصى 1A فى حين الدائرة المتكاملة 79L15 هى منظم جهد ثلاثى ثابت الخرج يعطى جهداً مقننًا 15V- وتيار أقصى 100mA وهكذا.

وعادة فإن جهد دخل المنظم نحصل عليه من المعادلة :

$$V_O + 3 \le V_i \le V_O + 6$$

**حيث إن :**

$V_O$ جهد الخرج للمنظم.

$V_i$ جهد الدخل للمنظم.

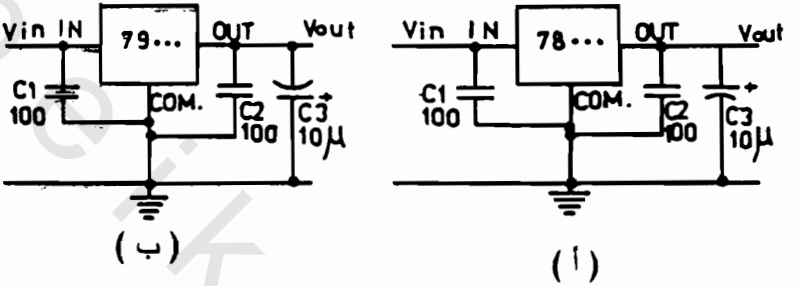
والجدول (٣-٢) يعرض خواص منظمات الجهد الثابتة.

**الجدول (٣-٢)**

| الطراز | حدود الدخل | تنظيم الخط | تنظيم الحمل | معامل طرد الذبذبات |
|---|---|---|---|---|
| MC 7805-CT | 7.2: 35V | 7mV<br>$7V \le V_i \le 25V$ | 40 mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | 68 dB<br>$8 \le V_i \le 18V$ |
| MC 7812-CT | 14.5 V<br>:<br>35V | 13mV<br>$14.5V \le V_i \le 30V$ | 46mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | |
| MC7815-CT | 17.6V<br>:<br>35V | 13mV<br>$27V \le V_i \le 38V$ | 52mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | 56 dB<br>$18.5V \le V_i \le 28.5V$ |
| MC 7905-CT | - 7.2V<br>:<br>- 35V | 35mV<br>$-7V \ge V_i > -25$ | 11mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | 70dB<br>$I_O = 20mA$ |
| MC 7912-CT | - 14.5V<br>:<br>- 32V | 55mV<br>$-14.5V \ge V_i \ge -30V$ | 46mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | 61 dB<br>$I_O = 20mA$ |
| MC 7915-CT | -17.6V<br>:<br>- 35V | 57mV<br>$-17.5 \ge V_i \ge -30V$ | 68mV<br>$5mA \le I_O \le 1.5A$ | 60 dB<br>$I_O = 20$ mA |

## ٣ / ٥ - دوائر مصادر القدرة ذات المنظمات الثلاثية :

والشكل ( ٣ - ٢٠ ) يعرض دائرتين أساسيتين للمنظمات الثلاثية الأرجل الثابتة الجهد، الأولى ( أ ) صممت للحصول على جهد خرج موجب، والثانية ( ب ) صممت للحصول على جهد خرج سالب.

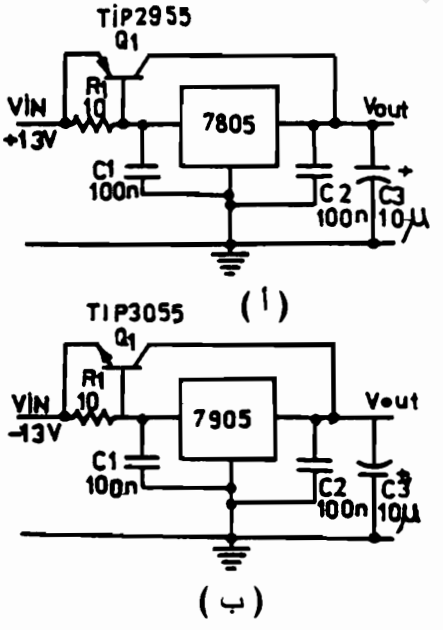



( ب ) ( أ )

**الشكل (٣ - ٢٠)**

والشكل ( ٣ - ٢١ ) يعرض دائرتين مختلفتين لزيادة تيار المنظمات الثابتة الجهد الثلاثية الأرجل، فالشكل أ يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج موجباً. والشكل ب يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج سالباً.

وعادة يتم توصيل مكثفات على التوازى مع مداخل ومخارج المنظمات الثلاثية الأرجل لتجنب عدم الاتزان عند الترددات العالية. علماً بأن جهد الدخل الغير منظم يجب أن يكون فى الحدود الموصى




( أ )

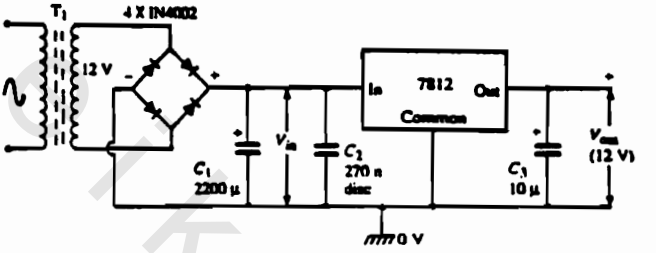
( ب )

**الشكل (٣ - ٢١)**

بها من قبل الشركة والمبينة فى الجدول ( ٣ – ٢ ).

كما أنه يجب تثبيت هذه المنظمات على مشتتات حرارة Heat sinks بأحجام تعتمد على توصيات الشركات المصنعة.

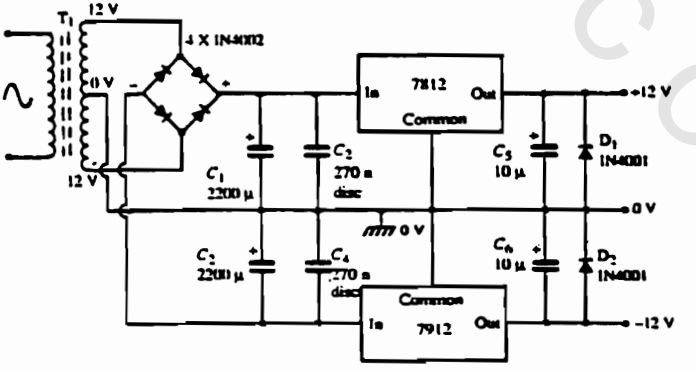
والشكل ( ٣ – ٢٢ ) يبين دائرة لمصدر تيار مستمر بخرج منظم وموجب، حيث يستخدم منظم ثلاثى الأرجل بخرج ثابت طراز 7812؛ لذلك فإن قيمة الجهد المنظم لهذه الدائرة 12V+ يساوى والحد الأقصى لتيار الحمل 1A.




**الشكل (٣ – ٢٢)**

أما الشكل ( ٣ –٢٣ ) فيبين دائرة مصدر تيار مستمر بخرج منظم ومزدوج، حيث يستخدم المنظم 7812 والمنظم 7912 وتعطى هذه الدائرة ( +12V,0V,-12V ) وتياراً أقصى 1A.

ويعمل الثنائى $D_1$ على حماية المنظم 7812 من التلف عند حدوث قصر على مخرجه، حيث يوقف تفريغ المكثف $C_5$ من المنظم وبالمثل يعمل الثنائى $D_2$ على حماية المنظم 7912 عند حدوث قصر عند مخرجه، حيث يعمل على إيقاف تفريغ المكثف $C_6$ فى المنظم.

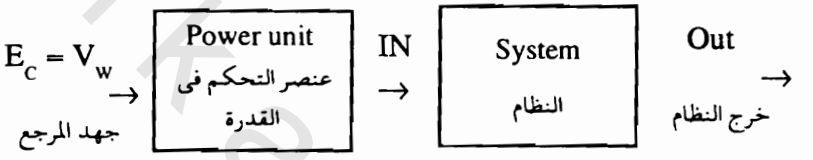



**الشكل (٣ – ٢٣)**

والجدير بالذكر أن قيمة جهد خرج المنظمات الثابتة يعتمد على جهد الرجل المشتركة Common والتى عادة تكون مؤرضة، ولكن إذا ارتفع جهد الرجل المشتركة عن الصفر فإن جهد خرج المنظم سوف يزداد، ويمكن تحقيق ذلك باستخدام مقاومة توصل بين الرجل المشتركة والأرض، وحيث إنه يمر عادة تيار صغير بالملى أمبير من المنظمات الثابتة إلى الأرض خلال الرجل المشتركة لذلك فإن جهد الرجل المشتركة سوف يرتفع معتمداً على قيمة المقاومة، وتباعاً يرتفع جهد خرج المنظم.

### ٣ / ٦ - نظام التحكم ذو الحلقة المفتوحة Open Loop :

الشكل ( ٣ - ٢٤ ) يوضح العناصر الأساسية لنظام التحكم ذا الحلقة المفتوح.




**الشكل (٣ - ٢٤)**

ويتكون نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة من:

١ - النظام System.

٢ - أجهزة التحكم فى القدرة Power devices.

**أولا: النظام:**

يعرف النظام بأنه مجموعة من العناصر التى ترتبط ببعضها لتحويل إحدى صور الطاقة لصورة أخرى، مثل: المحرك الكهربى والمولد الكهربى والمصباح الكهربى وفرن التسخين. ولكل نظام مدخل واحد أو عدة مداخل، وكذلك مخرج واحد أو عدة مخارج.

**ثانيا: أجهزة التحكم فى القدرة:**

وتقوم هذه العناصر بالتحكم المباشر فى القدرة الكهربية الداخلة للنظام تبعاً للإشارة القادمة لها من الحاكم، والجدير بالذكر أن هذه الأجهزة يمكن بناؤها

باستخدام مجموعة من العناصر الالكترونية أو شراؤها كوحدة متكاملة، حيث تتواجد فى الأسواق على صورة موديولات Modules، ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى:

١ – مفاتيح الكترونية Solid state Switches: وهى تنقسم إلى:

أ – مفاتيح تيار مستمر الكترونية لوصل وفصل مصدر التيار المستمر عن النظام، وهى تتواجد فى الأسواق فى صورة موديولات تسمى بموديولات بخرج DC.

ب – مفاتيح تيار متردد الكترونية لوصل وفصل مصدر التيار المتردد عن النظام، وهى تتواجد فى الأسواق فى صورة موديولات تسمى بموديولات بخرج AC.

٢ – أجهزة التحكم التناسبية فى القدرة

Proportional power control devices:

وهى تقوم بالتحكم فى القيمة الفعالة لجهد تشغيل النظام المتردد أو القيمة المتوسطة لجهد تشغيل النظام المستمر، وذلك بما يتناسب مع جهد إشارة دخلها، ويبنى عملها على التحكم فى زوايا إشعال الترياكات أو الثايرستورات الداخلة فى بنائها وسوف نتناول صوراً مختلفة لهذه الأجهزة فى كل من الباب الرابع والخامس والسادس.

وفى نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة يتحدد خرج جهاز التحكم فى القدرة والذى يطلق عليه أحياناً عنصر التحكم النهائى Final control element بقيمة جهد المرجع Set point، وهى إشارة جهد مستمرة تتراوح عادة ما بين (15V+ : 0) يتم إدخالها على عنصر التحكم النهائى. وللحصول على خرج محدد للنظام يتم حساب قيمة جهد المرجع اللازمة.

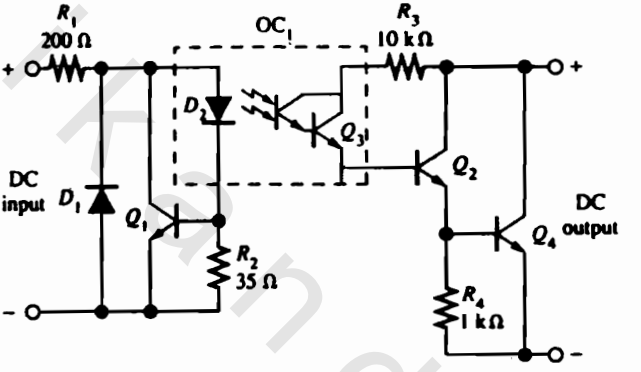
ويعاب على نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة عدم وجود مراقبة مستمرة لخرج النظام، فإذا تغير خرج النظام لأى سبب من الأسباب كتغير الحمل عليه فإن الدخل (إشارة جهد المرجع) سوف تظل ثابتة، الأمر الذى يؤدى لاختلال خرج النظام عن القيمة المطلوبة؛ لذلك يحتاج النظام فى هذه الحالة لإعادة ضبط جهد المرجع، ويتم

ذلك يدوياً؛ لذلك لا يستخدم نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة فى الأنظمة التى تحتاج لتحكم دقيق.

### ٣ / ٦ / ١ - المفاتيح الالكترونية Solid state swithes :

**أولاً: مفاتيح التيار المستمر الالكترونية:**

وتعمل مفاتيح التيار المستمر الالكترونية على وصل وفصل الجهود المستمرة عن النظام، ويتم التحكم فيها بإشارة جهد مستمر صغيرة (جهد المرجع). والشكل (٣ - ٢٥) يبين إحدى الدوائر الالكترونية لمفاتيح القدرة الالكترونية DC.

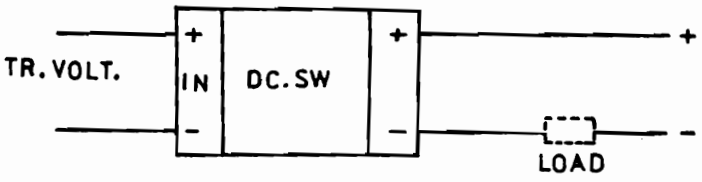



**الشكل (٣ - ٢٥)**

فعند وصول إشارة دخل 5V+ ينبعث شعاع ضوئى من $D_2$ فيتحول الترانزستور $Q_3$ لحالة الوصل فينتقل جهد مجمع $Q_3$ لقاعدة الترانزستور $Q_2$ ويتحول $Q_2$ لحالة التشبع، وتباعاً يتحول $Q_4$ لحالة التشبع، وبالتالى يمر التيار الكهربى فى الترانزستور $Q_4$ وصولاً للحمل ومن ثم يصبح كمفتاح مغلق، ويعمل الثنائى $D_1$ على حماية الدخل من انعكاس القطبية، أما الترانزستور $Q_1$ فيحمى دائرة الدخل من زيادة جهد الدخل عن الحدود المسموح بها، حيث يتحول لحالة الوصل عند زيادة التيار المار فى $D_2$ نتيجة لزيادة جهد الدخل والذى يؤدى لزيادة فرق الجهد على أطراف المقاومة $R_2$ والتى تمثل فرق الجهد بين قاعدة وباعث الترانزستور $Q_1$ وتقوم المقاومة $R_1$ فى هذه الحالة بتحديد التيار المار فى دائرة الدخل.

والشكل (٣ - ٢٦) يبين رمز موديل DC المتوفر فى الأسواق بدون الدخول فى

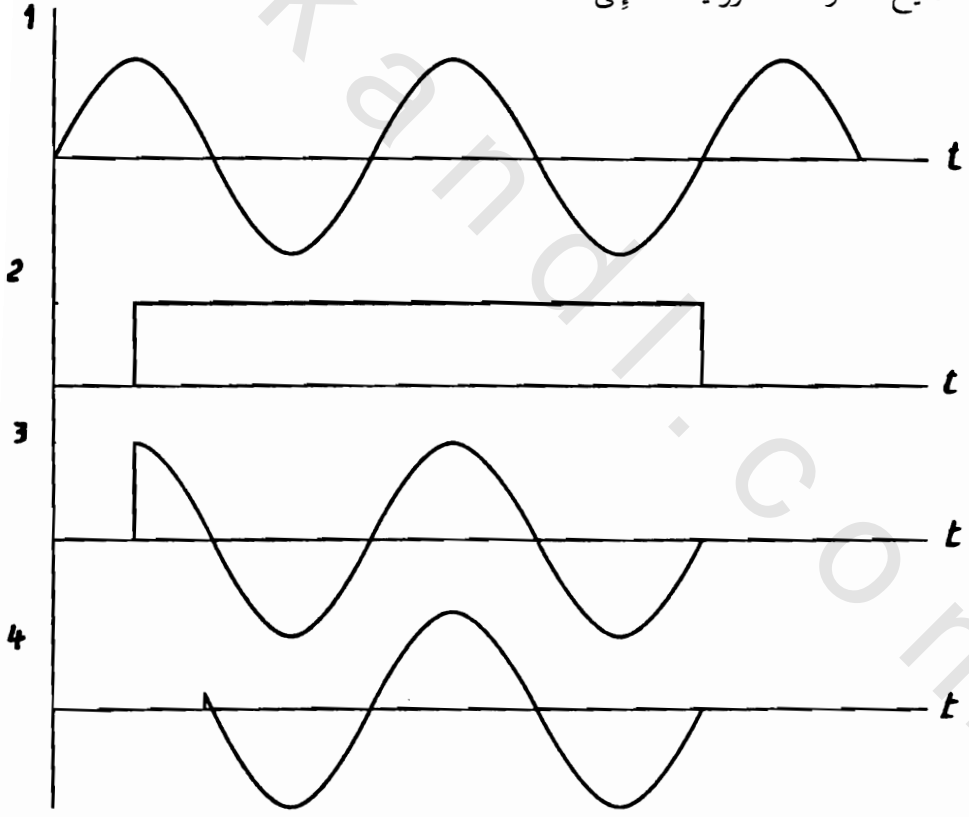
تفاصيل عن دائرته الداخلية.




**الشكل (٣ – ٢٦)**

**ثانيا: مفاتيح التيار المتردد الالكترونية:**

وتعمل مفاتيح التيار المتردد الالكترونية على وصل وفصل الجهود المترددة عن النظام، ويتم التحكم فيها بإشارة جهد مستمر صغيرة (جهد المرجع). وتنقسم مفاتيح القدرة الالكترونية AC إلى:




**الشكل (٣ – ٢٧)**

١ – مفاتيح تيار متردد الكترونية، يتم إشعالها عشوائيا Random - trigger .

٢ – مفاتيح تيار متردد الكترونية يتم إشعالها لحظة العبور بالصفر Zero voltage trigger .

والفرق بين هذين النوعين يتضح من الشكل ( ٣ – ٢٧ ) .

فالموجة 1 : لجهد المصدر الكهربى المتردد .

والموجة 2 : لجهد الإشعال ( إشارة الدخل ) .

والموجة 3 : جهد الخرج عند الإشعال العشوائى .

والموجة 4 : جهد الخرج عند الإشعال لحظة العبور بالصفر .

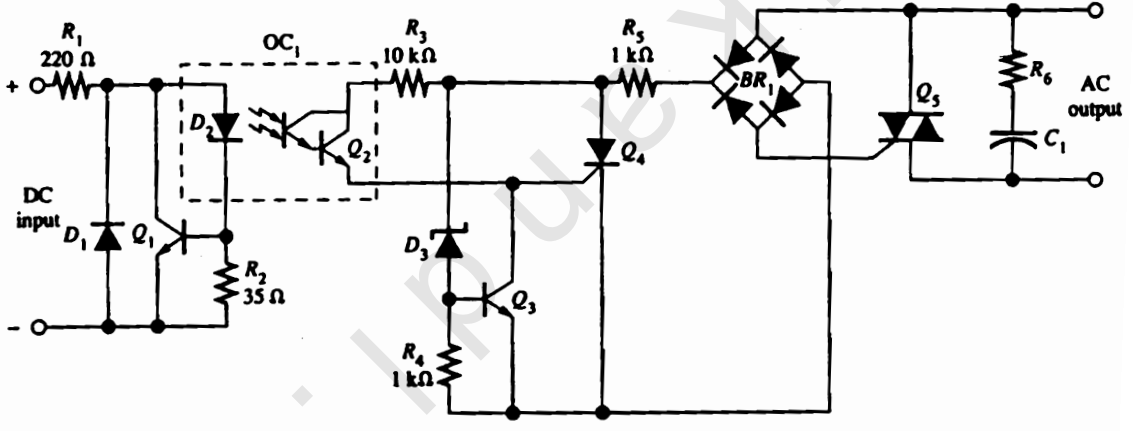
فالإشعال العشوائى يتم فى اللحظة التى تصل فيها إشارة التحكم بغض النظر عن زاوية الإشعال مما يسبب إمرار تيارات عالية، وكذلك تولد موجات راديو RFI تحدث تداخل مع الأجهزة الالكترونية القريبة، فى حين أن الإشعال لحظة العبور بالصفر خالٍ من هذه السلبيات .

والشكل ( ٣ – ٢٨ ) يبين الدائرة الالكترونية لمفتاح تيار متردد AC الكترونى يشتعل لحظة العبور بالصفر .

فعند وصول إشارة جهد مستمرة لأطراف الدخل يتشبع $Q_2$ فيشتعل الثايرستور $Q_4$ عند جهد قريب من الصفر، وتصبح $Q_4$, $R_5$ بمثابة حمل للقنطرة $BR_1$، وتباعا يمر تيار الإشعال فى بوابة التريك $Q_5$، ويتحول التريك لحالة الوصل .

والجدير بالذكر أنه عندما يكون الجهد اللحظى لمصدر التيار المتردد أكبر من 20V ينهار ثنائى الزينر $D_3$، وبالتالى يتحول الترانزستور $Q_3$ لحالة الوصل، ويحدث قصر بين بوابة ومهبط الثايرستور $Q_4$، فيمنع هذا الثايرستور من التحول لحالة الوصل، وبذلك نضمن أن الإشعال يتم عند زوايا قريبة جداً من الصفر فقط .

ويعمل الثنائى $D_1$ على حماية دائرة الدخل من انعكاس القطبية، ويعمل $Q_1$ على حماية دائرة الدخل من زيادة الجهد عن الحدود المسموح بها، وتعمل الدائرة المؤلفة من $C_1$ , $R_6$ كدائرة مصيدة Snubber لمنع إشعال التريك نتيجة للتغير السريع فى



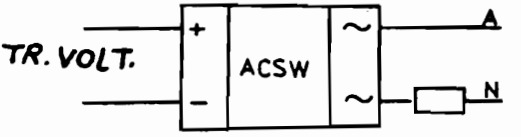

الشكل (٣ - ٢٨)

obeikandl.com

جهد المصدر المتردد.

وبمجرد تحول الترياك $Q_S$ لحالة الوصل يصل التيار الكهربى للحمل.

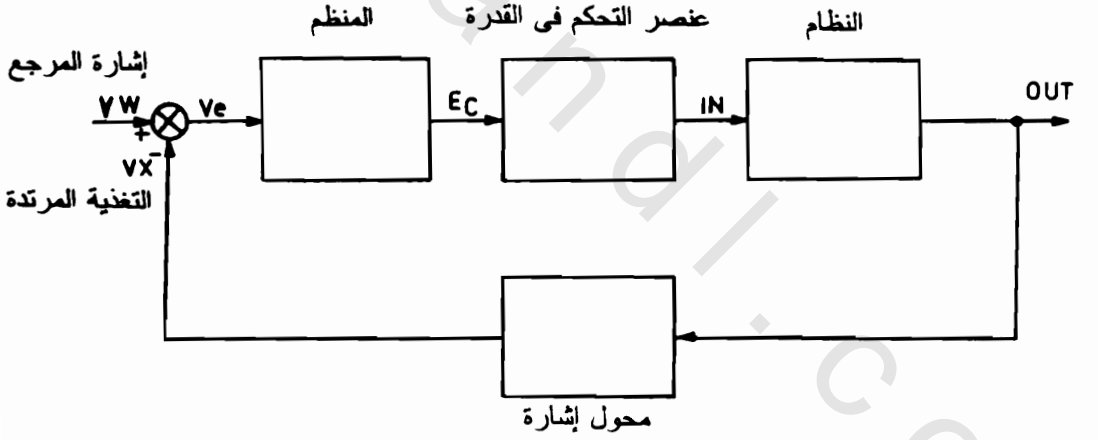
والشكل ( ٣ – ٢٩ ) يبين رمز موديول AC المتوفر فى الأسواق بدون الدخول فى تفاصيل عن دائرته الداخلية.




**الشكل (٣ – ٢٩)**

## ٣ / ٧ – نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة Closed Loop :

الشكل ( ٣ – ٣٠ ) يبين المخطط الصندوقى لنظام تحكم ذى حلقة مغلقة.




**الشكل (٣ – ٣٠)**

ويتكون نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة من:

١ – النظام System.

٢ – أجهزة التحكم فى القدرة Power Devices.

٣ – المقارن Comparator.

٤ – المنظم ( الحاكم ) Controller .

٥ – محول إشارة Transeducer .

وفى نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة يتحدد خرج النظام بإشارة المرجع $V_W$ . فعند تغير الحمل على النظام يتغير خرج النظام عن القيم المطلوبة والمناظر لجهد المرجع $V_W$، وبالتالى تتغير إشارة الجهد المرتجعة المقابلة للخرج الفعلى للنظام والقادمة من محول الإشارة $V_X$، وحيث إن جهد المرجع $V_W$ ثابت لذلك فإن إشارة الخطأ ( خرج المقارن )والتى نحصل عليها من المعادلة :

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 3.14$$

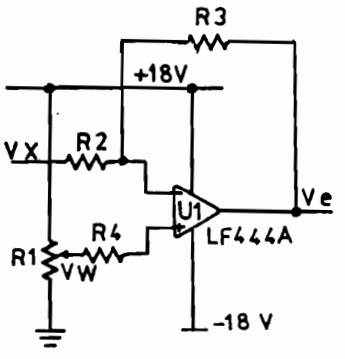
فسوف تتغير، ومن ثم يتغير خرج المنظم ( الحاكم ) وتباعاً يتغير خرج عنصر التحكم فى القدرة فيتغير دخل النظام، ومن ثم يتغير خرجه وصولاً للخرج المطلوب .

## ٣ / ٨ – المقارن Comparator :

ويقوم بإيجاد الفرق بين جهد المرجع $V_W$ والذى يمثل الخرج المثالى المطلوب، وإشارة الجهد المرتجعة والمقابلة للخرج الفعلى للنظام والقادمة من محول الإشارة $V_X$ للحصول على إشارة الخطأ error signal ($V_e$) والتى تساوى :

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 3.14$$

والشكل ( ٣ – ٣١ ) يبين دائرة الكترونية بسيطة لأحد المقارنات، فيكون دخل المدخل الغير عاكس + لمكبر العمليات $U_1$ هو الجهد القادم من محول الإشارة $V_X$، وبالتالى فإن خرج مكبر العمليات $U_1$ يمثل إشارة الخطأ .




**الشكل (٣ – ٣١)**

## ٣ / ٩ – المنظم Controller :

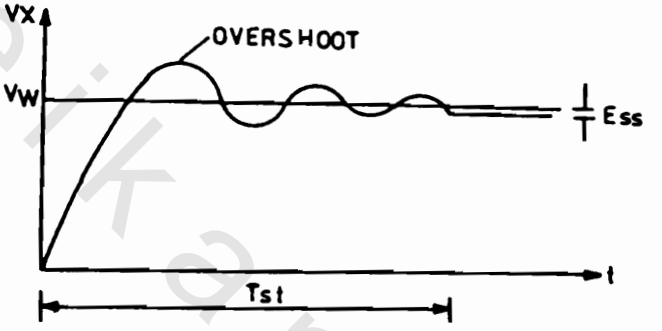
يمكن تلخيص الأهداف الأساسية للمنظمات فى أنظمة التحكم ذى الحلقة المغلقة فيما يلى :

١ – إقلال أقصى قيمة للخطأ Over shoot .

٢ – إقلال زمن الوصول لحالة الاستقرار بقدر الإمكان $T_{st}$، وهو الزمن المطلوب حتى تقل الاهتزازات فى الخرج بعد كل تغير فى الحمل.

٣ – الوصول بالخطأ النهائى $E_{ss}$ إلى قيمة صغيرة جداً.

والشكل ( ٣ – ٣٢ ) يبين خرج نظام التحكم ذى الحلقة المغلقة عند إدخال قفزة جهد Step كإشارة مرجع.




**الشكل(٣ – ٣٢)**

وفيما يلى أنواع المنظمات الالكترونية المستخدمة فى أنظمة التحكم ذى الحلقة المغلقة:

١ – منظم الوصل والفصل ON - OFF Controller .

٢ – المنظم التناسبى P Controller .

٣ – المنظم التناسبى التكاملى PI Controller .

٤ – المنظم التناسبى التفاضلى التكاملى PID Controller .

**٣ / ٩ / / ١ – منظم الوصل والفصل :**

يطلق على هذا المنظم أحياناً بالمنظم ذى الموضعين Two - Position، ويقوم هذا المنظم بالتحكم فى النظام لجعل حالة خرجه إما وصل **ON** أو فصل **OFF**. وهناك نوعان من منظمات الوصل والفصل وهما:

١ – منظمات وصل وفصل مباشرة Direct acting controllers .

٢ – منظمات وصل وفصل غير مباشرة Indirect acting controllers .

أما منظمات الوصل والفصل المباشرة فتعمل على النحو التالى :

إذا كانت القيمة الفعلية للخرج أكبر من القيمة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع يصبح خرج المنظم فصل OFF .

أما إذا كانت القيمة الفعلية للخرج أصغر من القيمة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع يصبح خرج المنظم وصل ON .

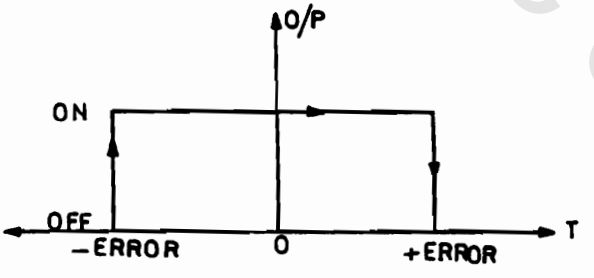
والعكس بالعكس بالنسبة للمنظمات الغير مباشرة .

وعادة فإن منظمات الوصل والفصل العملية يكون لها خواص رجوعية Hys-tresis . ولتوضيح المقصود من خواص الرجوعية سنأخذ على سبيل المثال نظام تحكم فى درجة حرارة غرفة يستخدم منظم وصل وفصل مباشر برجوعية . لنفرض أن درجة الحرارة المطلوبة للغرفة هى $25^0C$، فإذا أصبحت درجة حرارة الغرفة $28^0C+$ أى بخطأ مقداره $3^0C+$ يصبح خرج المنظم فصل OFF فيتوقف السخان، وعندما تصبح درجة حرارة الغرفة $22^0C$ أى بخطأ $3^0C-$ يصبح خرج المنظم وصل ON أى يعمل السخان وهكذا، ويقال : إن لهذا المنظم منطقة سكون Dead band تساوى :

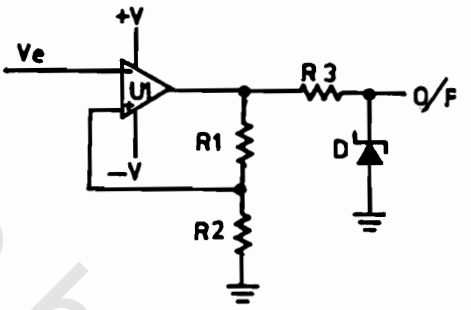
$$\text{Dead band} = + \text{Error} - (-\text{Error}) \rightarrow 3.15$$

$$= + 3 - (-3) = 6^0C$$

والشكل ( ٣ – ٣٣ ) يبين الخواص الرجوعية لمنظم وصل وفصل مباشر لنظام تسخين .




**الشكل (٣ – ٣٣)**




**الشكل (٣ - ٣٤)**

والشكل ( ٣ -٣٤ ) يبين الدائرة الالكترونية لمنظم وصل وفصل مباشر برجوعية، حيث يتم مقارنة جهد الخطأ $V_e$ والقادم من محول الإشارة مع جزء من جهد الخرج بواسطة مكبر العمليات $U_1$.

وحتى يصبح خرج مكبر العمليات $U_1$ مشبعاً سالباً فإن إشارة الخطأ $V_e$ يجب أن تكون أكبر من الجهد على أطراف $R_2$، حيث إن فرق الجهد على أطراف $R_2$ موجب فى هذه اللحظة؛ وذلك لأن خرج $U_1$ كان مشبعاً موجباً $+V_{sat}$.

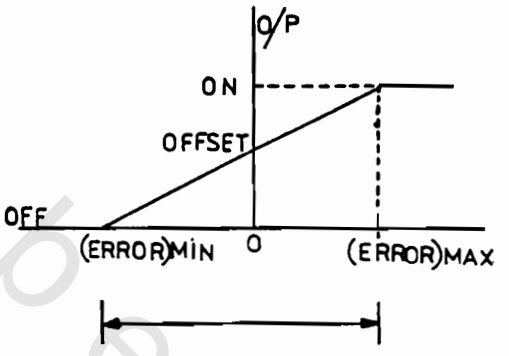
وبمجرد أن يصبح خرج $U_1$ مشبعاً سالباً $-V_{sat}$ فإن الجهد على أطراف $R_2$ يصبح سالباً مقارنة بالأرضى، وبالتالى حتى يصبح خرج $U_1$ مشبعاً موجباً $+V_{sat}$ يجب أن تكون إشارة الخطأ $V_e$ أقل من فرق الجهد على أطراف $R_2$، وتصبح منطقة السكون Dead band مساوية الفرق فى الخطأ فى الحالتين السابقتين وتساوى:

$$\text{Dead band} = 2V_{sat}\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \rightarrow 3.16$$

وعادة خرج منظمات الوصل والفصل لا يكون $-V_{sat}$ خصوصاً إذا كانت هذه المنظمات تقوم بتشغيل ملف ريلاى يعمل بالتيار المستمر؛ لذلك فإن خرجها يكون عادة $+V_{sat}$ أو 0V ولتحقيق ذلك يوصل ثنائى زينر D على خرج المنظم، فإذا اختير جهد ثنائى الزينر 5V+ فإنه عندما يكون خرج المنظم $+V_{sat}$ فإن ثنائى الزينر يجعل خرجه 5V+، وعندما يكون خرج المنظم $-V_{sat}$ فإن ثنائى الزينر يجعل خرجه مساوياً 0.7V- وتختار المقاومة $R_3$ بحيث تعمل على تحديد قيمة التيار عند الانحياز الأمامى، والعكسى لثنائى الزينر لقيمة مقبولة، وبذلك نحفظ مكبر العمليات $U_1$ من التلف.

### ٣ / ٩ / ٢ - المنظم التناسبى Proportional controller :

يتميز هذا المنظم بأن خرجه يتناسب طردياً مع إشارة الخطأ، وخواص هذا المنظم مبينة بالشكل (٣ - ٣٥).




منطقة التناسب

**الشكل (٣ - ٣٥)**

وتعمل إشارة الخطأ الكبيرة على تشبع المنظم. وعادة فإن المنظمات التناسبية تعمل فى منطقة تعرف بمنطقة التناسب Proportional band، وهى تشبه لحد كبير منطقة السكون Dead band للمنظمات ذات الموضعين، ويمكن إيجاد جهد منطقة التناسب من المعادلة التالية :

$$\text{Proportional band} = (\text{Error})\,\text{max} - (\text{Error})\,\text{min} \rightarrow 3.17$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخرى كما يلى :

$$\text{Proportional band} = \frac{(V_{out})\,\text{max} - (V_{out})\,\text{min}}{A_V} \rightarrow 3.18$$

**حيث إن :**

$(V_{out})$ max أقصى جهد خرج للمنظم.

$(V_{out})$ min أقل جهد خرج للمنظم.

$A_V$ معامل كسب المنظم.

(Error) max أقصى خطأ.

(Error) min أقل خطأ.

وهناك ثلاث كميات مهمة عند دراسة الحاكمات التناسبية وهى :

– أقصى خطأ Max Error يقود المنظم ليصبح خرجه أكبر ما يمكن.

– أقل خطأ Min Error يقود المنظم ليصبح خرجه أقل ما يمكن.

– خرج المنظم عندما يكون الخطأ مساوياً الصفر ويطلق عليه OFFSET.

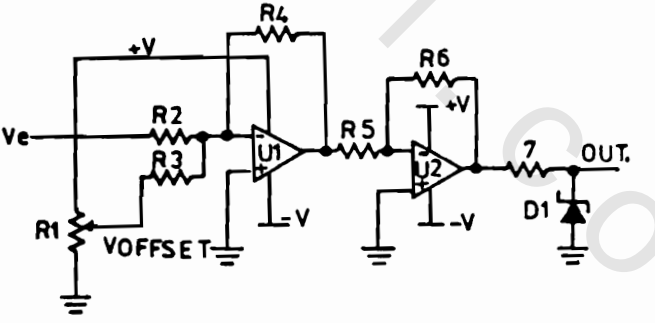
ويمكن حساب أقل خطأ (Error) min وأقصى خطأ (Error) max من المعادلتين التاليتين :

$$(\text{Error})\ \min = \frac{(V_{out})\ \min}{A_V} - V_{offset} \rightarrow 3.19$$

$$(\text{Error})\ \max = \frac{(V_{out})\ \max}{A_V} - V_{offset} \rightarrow 3.20$$

والشكل ( ٣ – ٣٦ ) يبين دائرة الكترونية لمنظم تناسبى فمكبر العمليات $U_1$ يعمل كجامع عاكس، حيث يجمع جهد $V_{offset}$ إلى جهد الخطأ $V_e$. فإذا كان :

$$R_2 = R_3$$




**الشكل (٣ – ٣٦)**

فإن خرج المكبر العمليات $U_1$ يساوى :

$$V01 = \frac{-R_4}{R_2} \quad (V_{offest} + V_e)$$

$$V01 = - A_V (V_{offest} + V_e)$$

ويعمل مكبر العمليات $U_2$ كعاكس لخرج المكبر فيصبح خرج المبكر $U_1$ مساوياً:

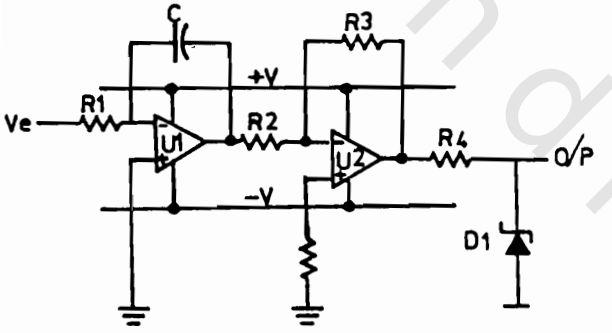
$$V02 = A_V (V_{offest} + V_e)$$

ويعمل الثنائى $D_1$ على تحديد خرج المنظم بجهد الزينر عندما يكون خرجه بالموجب، وتحديد خرج المنظم عند الانخفاض عن 0.7V- عندما يكون خرجه بالسالب.

ويعمل جهد Offset على استمرار وجود خرج للمنظم حتى عندما تصبح إشارة الخطأ $V_e$ مساوية الصفر، وبالتالى يمنع تحول المنظم التناسبى لمنظم وصل وفصل ON - OFF Controller.

### ٣ / ٩ / ٣ - المنظم التكاملى Integral Controller:

يتميز هذا المنظم بأن خرجه يتناسب مع تكامل إشارة الخطأ وصولاً لخطأ يساوى الصفر، وهذا بالطبع غير ممكن فى المنظم التناسبى. والشكل (٣ - ٣٧) يبين الدائرة الالكترونية لمنظم تكاملى، فيعمل مكبر العمليات $U_1$ كمكامل. وعادة يعمل هذا المكامل فى المنطقة الخطية لشحن المكثف C، وبالتالى يجب منع المكثف C من الشحن الكامل. وعموماً فإن شحن المكثف جزئياً أو كاملاً يعتمد على ثلاثة أمور وهى:




الشكل (٣ - ٣٧)

- قيمة جهد الخطأ $V_e$.

- الزمن الذى تتواجد فيه إشارة الخطأ.

- قيمة كل من C و$R_1$.

وبمعرفة خواص النظام المتحكم فيه يمكن اختيار القيم المناسبة لكل من C و$R_1$، أما مكبر العمليات $U_2$ فله وظيفتان: الأولى تعمل كمكبر عاكس لخرج المكامل، والثانية تعمل على عزل خرج المكامل من الحمل، وبهذه الطريقة يكون $U_1$ قادراً على المحافظة على جهد المكثف، حيث إن المكثف لا يفرغ شحنته فى الحمل.

والجدول (٣ -٣) يعقد مقارنة بين المنظم التناسبى والمنظم التكاملى عند حدوث خطأ.

**الجدول (٣ - ٣)**

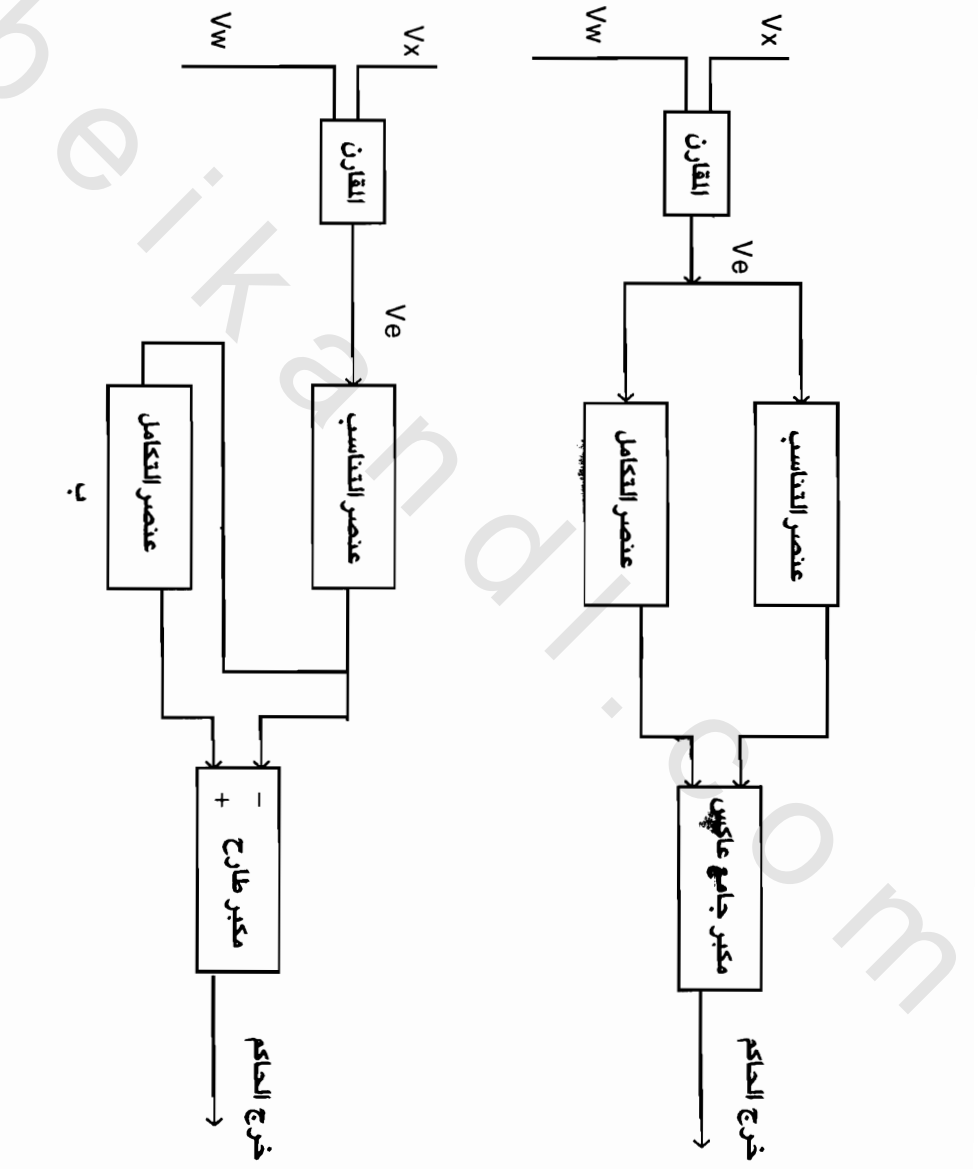
| نوع المنظم | التصرف اللحظى | التصرف فى حالة التشغيل المستقر |
|---|---|---|
| تناسبى P | تكبير لحظى لإشارة دخله | يوجد خطأ ثابت ودائم، فكلما زاد معامل كسبه $A_v$ قل هذا الخطأ وازداد الاهتزاز والعكس بالعكس. |
| تكاملى I | خرج بطئ يساوى التكامل الزمنى لإشارة دخله (جهد الخطأ $V_e$) | يصل جهد الخطأ Ve للصفر. |

**٣ / ٩ / ٤ - المنظم التناسبى التكاملى PI. Controller:**

عادة لا يستخدم المنظم التكاملى بمفرده، ولكن يدمج مع أنواع أخرى من المنظمات، والسبب فى ذلك أن له خواصاً انتقالية فقيرة، فهو بطئ جداً؛ لذلك فهو يدمج عادة مع منظم له خواص انتقالية سريعة مثل الحاكم التناسبى؛ لذلك فالمنظم التناسبى التكاملى له خواص انتقالية سريعة وقادر على الوصول بالخطأ للصفر.

ويتم توصيل المنظم التناسبى والمنظم التكاملى بإحدى الطريقتين الموضحتين بالشكل ( ٣ – ٣٨ ). فالمنظم PI المبين بالشكل أ يسمى بمنظم PI نوع التوازى، والمنظم PI المبين بالشكل ب يسمى بمنظم PI نوع التوالى.

والفرق بين الطريقتين هو: أن منظم PI نوع التوالى يكون أسرع استجابة من المنظم PI نوع التوازى.



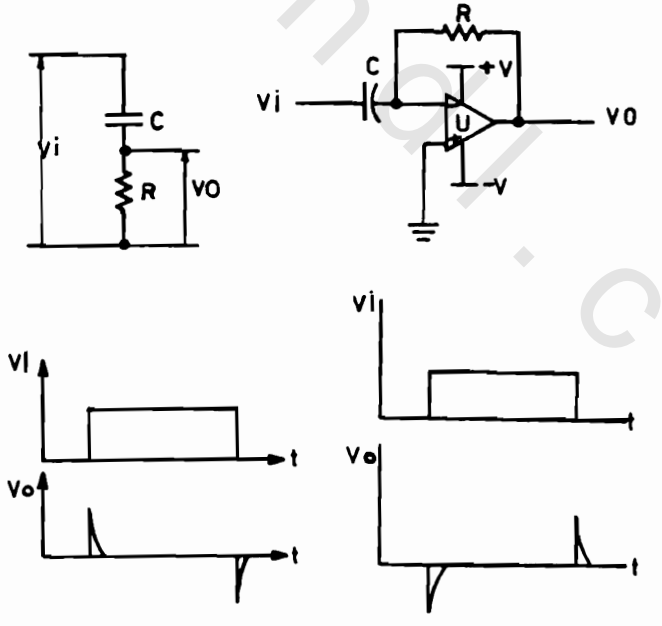

ب

الشكل (٣-٨٣)

### ٣ / ٩ / ٥ - المنظم التفاضلى Derivative Controller :

بعض العمليات يلزمها خاصية الرجوعية أو القصور الذاتى. على سبيل المثال: تسخين الماء، فقد يمر زمن تأخير من بدء التسخين حتى ارتفاع درجة حرارة الماء الفعلية؛ لذلك نحتاج لتسخين عال في البداية، ثم خفض معدل التسخين بسرعة بعد وصول درجة حرارة الماء للدرجة المطلوبة، وهذا يلزم منظم تفاضلى. فالمنظم التفاضلى قادر على الوصول بالخطأ الفجائى للصفر بسرعة عالية، ويتغير خرج المنظم التفاضلى مع تغير إشارة الخطأ. والجدير بالذكر أن المنظم التفاضلى له خرج فقط عند حدوث تغير فى إشارة الخطأ، أما عند ثبات الخطأ فإن الخرج يصبح صفراً؛ ولذلك لا يمكن استخدام منظم تفاضلى بمفرده، ولكنه يستخدم مع منظم تناسبى أو منظم تناسبى تكاملى.

والشكل ( ٣ - ٣٩ ) يبين دائرتين مختلفتين لمفاضل باستخدام مكبر عمليات ( الشكل أ )، وباستخدام مقاومة ومكثف ( الشكل ب ) بالإضافة إلى موجة دخل وخرج كليهما.

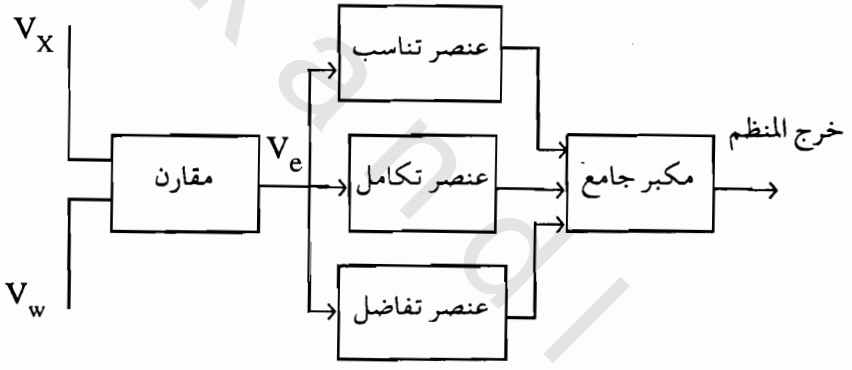



**الشكل (٣ - ٣٩)**

### ٣ / ٩ / ٦ - المنظم التناسبى التكاملى التفاضلى PID Controller :

كما هو واضح من الاسم فإن هذا المنظم يحتوى على عنصر تناسب للحصول على استجابة سريعة عند حدوث أى اضطراب بالنظام، وعنصر تفاضل للوصول بأى خطأ فجائى إلى قيمة آمنة، وعنصر تكامل يعمل على الوصول بالخطأ للصفر.

وبالرغم من وجود أشكال مختلفة للمنظم التناسبى التكاملى التفاضلى فإن الشكل ( ٣ - ٤٠ ) يبين أحد الأنواع المشهورة للمنظم التناسبى التكاملى التفاضلى.




**الشكل (٣ - ٤٠)**

وعملية ضبط كل عنصر من عناصر المنظم PID تسمى بعملية الموافقة Tunning، وهذه العملية ليست بالأمر اليسير، فهى تعتمد على طبيعة النظام المتحكم فيه.

وعادة تقوم الشركات المصنعة بإعطاء معلومات مفيدة عن هذا الموضوع. وأحياناً يعمل محاكاة للنظام بالكمبيوتر للحصول على نتائج سريعة لثوابت كل من عنصر التناسب وعنصر التكامل وعنصر التفاضل.

وهناك أمر هام يجب وضعه فى الاعتبار عند التعامل مع المنظمات PID وهو: طبيعة عمل عنصر التفاضل وعنصر التكامل. فيمكن لكليهما إلغاء عمل باقى العناصر.

**على سبيل المثال**: عند حدوث تغير سريع فى الخطأ فإن عنصر التفاضل سوف يتشبع مما يؤدى لتشبع المكبر الجامع، وهذا التغير المفاجئ يمكن أن يحدث نتيجة لاضطراب فى العملية الصناعية أو نتيجة لتغير إشارة المرجع، والنتيجة النهائية هو اهتزاز لخرج النظام.

**مثال آخر**: عند وجود خطأ كبير فى النظام لمدة زمنية طويلة فإن خرج المنظم التكاملى سوف يتشبع حتى ولو عاد الخطأ إلى الصفر والنتيجة حدوث Over shoot فى النظام إلى أن يصبح الخطأ بالسالب لإخراج عنصر التكامل من التشبع.

والجدير بالذكر أنه توجد طريقة عملية لإيجاد الثوابت $K_P$ , $K_I$, $K_D$.

**حيث إن**:

$K_P$ ثابت المنظم التناسبى ويساوى معامل كسبه.

$K_I$ ثابت المنظم التكاملى ويساوى RC.

$K_D$ ثابت المنظم التفاضلى ويساوى RC.

وذلك باستخدام قاعدة شن وهرونس وريسوك Chien, Hrones and Reswick.

وهذه القاعدة مشروحة مع تطبيق عملى فى الباب الرابع فى الدائرة رقم ١.

## ٣ / ١٠ - محولات الإشارة Transeducers:

وهذه الأجهزة تأخذ إشارة من خرج النظام وتحولها لإشارة كهربية إذا كان المنظم المستخدم منظما الكترونيا. على سبيل المثال: مولد التاكو يحول سرعة دوران محول كهربى لجهد يتناسب طردياً مع السرعة، فإذا كانت سرعة المحرك 1500RPM وكان خرج التاكو 5V+ مثلا، فإن هذا يعنى أن معامل التحويل لمولد التاكو هو

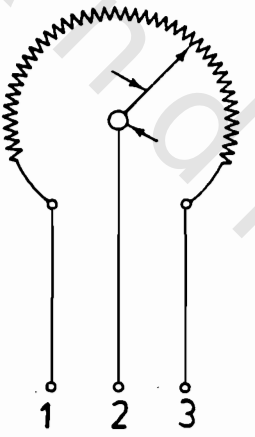
300RPM/V، وبالتالى عندما تصبح سرعة المحرك 1200RPM فإن خرج مولد التاكو يصبح $\frac{1200}{300}$ = 4V وهكذا. وفى الفقرات التالية سنتناول بإيجاز الأنواع المختلفة لمحولات الإشارة.

### ٣ / ١٠ / ١ - محولات الحركة الزاوية

**Angular - Displacement Transeducers:**

يعتبر مجزئ الجهد الدوار من أهم محولات الحركة الزاوية لجهد. فعند دوران ذراع مجزئ الجهد فى اتجاه عقارب الساعة تزداد المقاومة بين النقطتين 1, 2، وعند دوران ذراع المجزئ فى عكس اتجاه عقارب الساعة تقل المقاومة بين النقطتين 1, 2، ويمكن تسليط جهد مستمر 10V+ مثلا على النقطتين 1, 3 للحصول على خرج جهد من النقطة 2 يتناسب طردياً مع مقدار الحركة الزاوية.

وفيما يلى رمز مجزئ الجهد الدوار والذى يستخدم كمحول حركة زاوية لجهد.




### ٣ / ١٠ / ٢ - محولات الإزاحة الخطية

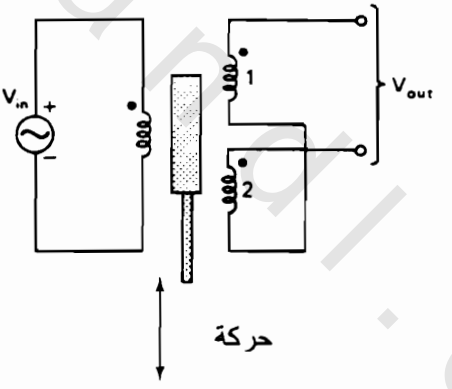
**Linear - Displacement Transeducer:**

من أشهر محولات الإزاحة الخطية محول الإزاحة التفاضلى المتغير LVDT ويتكون هذا المحول من ملف ابتدائى وملفين ثانويين وقلب مغناطيسى متحرك، ويتم تغذية الملف الابتدائى بجهد متردد 10V يتراوح تردده ما بين 50 H : I5KHZ، ويتم

توصيل الملفين الثانويين بالتوالى بحيث يكون خرج الملف الثانوى صفراً عندما يكون القلب المغناطيسى فى المنتصف، وعند إزاحة القلب المغناطيسى إلى أعلى أو أسفل يتولد فرق جهد على أطراف الملف الثانوى نتيجة للحث المتبادل بين الملفين الابتدائى والثانوى، وتزداد قيمة فرق الجهد على أطراف الملف الثانوى بزيادة الإزاحة.

والجدير بالذكر أن خرج الملف الثانوى يدخل على كاشف زاوية وجه إلكترونى Phase Detector لتحديد زاوية الوجه، فإذا كانت حركة القلب المغناطيسى للمحول لأسفل فإن خرج كاشف زاوية الوجه يكون سالباً وبقيمة تتناسب مع مقدار الإزاحة والعكس بالعكس.

والشكل ( ٣ – ٤١ ) يبين الدائرة الكهربية لمحول الإزاحة التفاضلى المتغير LVDT.



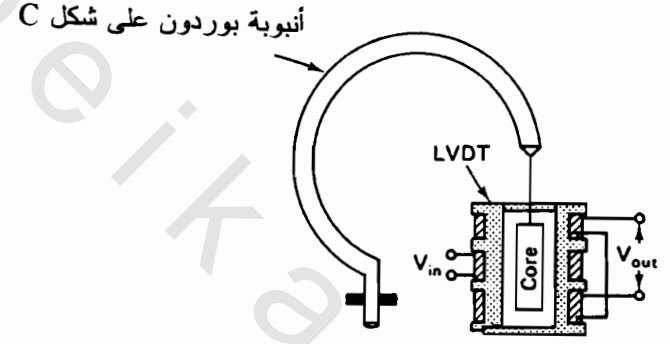

**الشكل (٣ – ٤١)**

### ٣ / ١٠ / ٣ – محولات الضغط Pressure Transeducer :

تعتبر أنبوبة بوردون Burdon tube والغشاء المطاطى Bellow من أشهر محولات الضغط، حيث تقوم هذه الأجهزة بتحويل الضغط لحركة ميكانيكية خطية أو دورانية، ثم باستخدام LVDT أو مجزئ جهد دوار يمكن تحويل الحركة الخطية أو الحركة الدورانية لجهد.

**أنبوبة بوردون :**

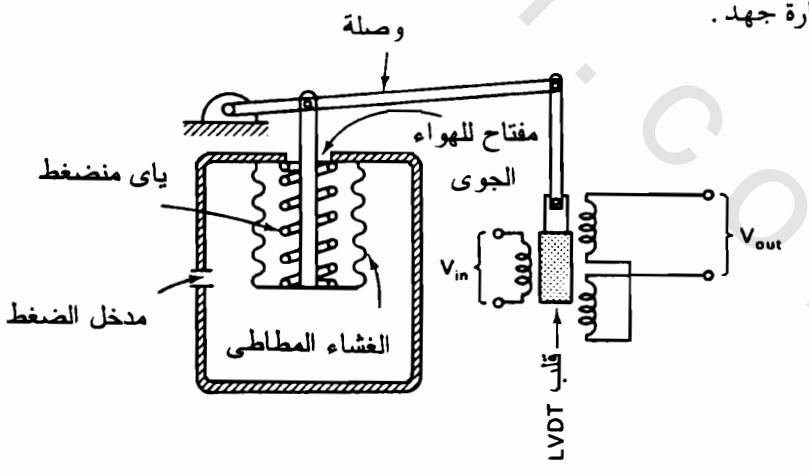
الشكل ( ٣ – ٤٢ ) يعرض طريقة استخدام أنبوبة بوردون مع LVDT لتحويل الضغط لإشارة جهد . فعند دخول المائع المضغوط داخل الأنبوبة تتمدد فيحدث إزاحة خطية لقلب LVDT فتخرج إشارة جهد تتناسب مع الإزاحة، علماً بأنه إذا كانت إشارة جهد خرج LVDT موجبة دل على أن الضغط بالموجب، وإذا كانت سالبة دل على أن الضغط بالسالب ( خلخلة ) .




**الشكل (٣ – ٤٢)**

**الغشاء المطاطى Bellow :**

الشكل ( ٣ – ٤٣ ) يعرض طريقة استخدام Bellow مع LVDT لتحويل الضغط لإشارة جهد .




**الشكل (٣ – ٤٣)**

فعند دخول المائع المضغوط فتحة الضغط ينكمش الغشاء المطاطى ضد قوة دفع الياى فتتحرك وصلة التوصيل Linkage، وبالتالى يتحرك القلب المغناطيسى لمحول LVDT فيتغير جهد خرجه تبعاً لقيمة الضغط.

### ٣ / ١٠ / ٤ - محولات درجة الحرارة Temperature Transducers :

سنتعرض فى هذه الفقرة لنوعين من محولات درجة الحرارة، وهما:

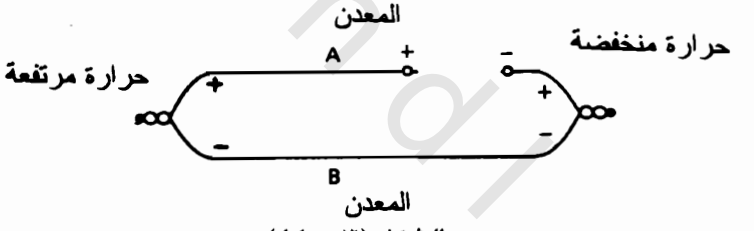
١ - الإزدواجات الحرارية Thermocouples.

٢ - محولات درجات الحرارة ذات المقاومة

Resistive Temperature Transducers.

**الازدواجات الحرارية:**

يبنى عمل الازدواج الحرارى على أنه عند عمل وصلتين بين معدنين مختلفين، إحداهما درجة حرارتها مرتفعة والأخرى درجة حرارتها منخفضة، يتولد فرق جهد بينهما كما هو واضح من الشكل (٣ - ٤٤).




**الشكل (٣ - ٤٤)**

**محولات درجة الحرارة ذات المقاومة:**

وتستخدم مقاومات حرارية فى بناء هذه المحولات. والشكل (٣ - ٤٥) يعرض نماذج بسيطة لهذه المحولات، ففى الشكل أ عندما ترتفع درجة حرارة المقاومة $R_2$ فإن قيمة المقاومة تزداد وبالتالى يزداد الجهد الخارج من أطراف المقاومة. وفى الشكل ب عند درجة الحرارة المعتادة يتم ضبط خرج القنطرة $V_O$ مساوياً صفراً بواسطة المقاومة $R_3$، وعند ارتفاع درجة حرارة المقاومة $R_4$ يتولد جهد على أطراف الخرج $V_O$ يتناسب مع درجة الحرارة.

### ٣ / ١٠ / ٥ - محـــولات الســـرعـــة
### Tachometers :

يقوم مولد التاكو بتحويل سرعة الأعمدة الدوارة إلى إشارة كهربية. وهناك نوعان من مولدات التاكو تبعاً لإشارة الخرج وهما:

١ – مولد تاكو بجهد متغير

Magnitude Tacho.

٢ – مولد تاكو بتردد متغير

Frequency Tacho.

أما مولدات التاكو ذات الجهد المتغير فهى عادة تكون مولدات تيار مستمر صغيرة لها خواص خطية، ونحصل على جهد خرج مولد التاكو من المعادلة التالية:

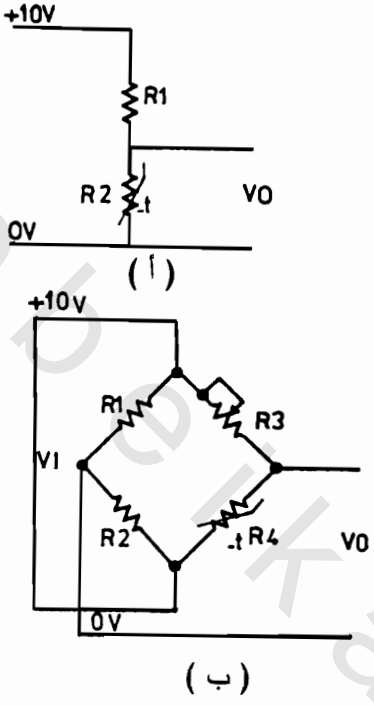
$$V = KN$$

**حيث إن**

K ثابت مولد التاكو.

N السرعة ($R_{PM}$).

V الجهد بالڤولت.




**الشكل (٣ – ٤٥)**

أما مولدات التاكو ذات التردد المتغير فهى تتواجد فى عدة صور أهمها مولد تيار متغير صغير له مجال مغناطيسى دائم فى العضو الدوار، ويقوم المجال الدوار الناتج عن دوران العضو الدوار للمولد بتوليد تيار متغير فى العضو الثابت له تردد نحصل عليه من المعادلة التالية:

$$F = \frac{PN}{120} \rightarrow 3.21$$

**حيث إن**

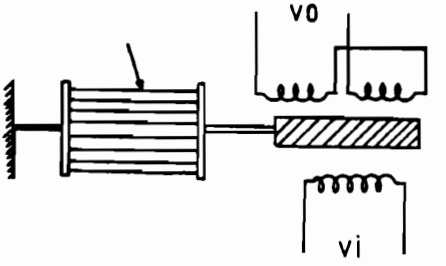
F التردد ( HZ ) .

P عدد أقطاب التاكو .

N السرعة ( RPM ) .

### ٣ / ١٠ / ٦ - محولات الرطوبة Humidity Transducer :

يقصد بالرطوبة وزن بخار الماء الموجود فى المتر المكعب من الهواء . أما الرطوبة النسبية فهى النسبة بين وزن بخار الماء الموجود فى المتر المكعب من الهواء منسوبة لوزن بخار الماء اللازم لتشبع المتر مكعب من الهواء عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة . ومن المعروف أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الهواء ازدادت قدرة الهواء على حمل بخار الماء، ويوجد العديد من الأجهزة المستخدمة لتحويل الرطوبة لجهد . وأشهر هذه الأجهزة بل وأقدمها هو الهايجرو ميتر الشعرى Hair Hygrometer، وهو يصنع من شعر الإنسان أو الحيوان، حيث يتغير طول شعر الإنسان أو الحيوان بمقدار 3% من طوله عند تغير الرطوبة النسبية من 10% إلى 100%، ويمكن تحويل هذا التغير فى الطول إلى إزاحة خطية تعمل على تشغيل LVDT، وبالتالى نحصل على إشارة جهد تكافئ الرطوبة . والشكل ( ٣ - ٤٦ ) يبين شكلاً مبسطاً لهايجروميتر شعرى .



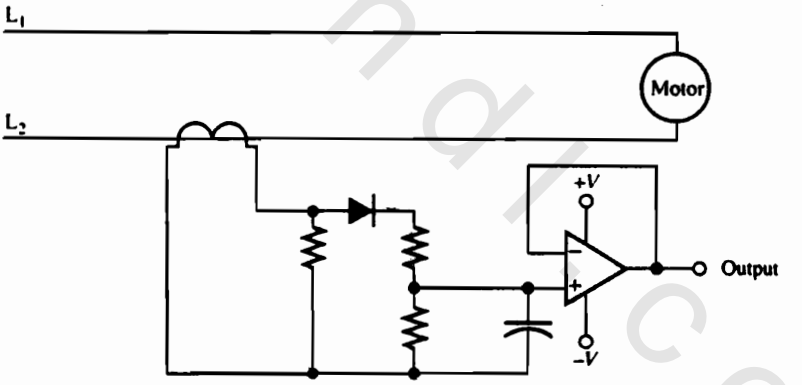

**الشكل (٣ - ٤٦)**

ويستخدم الهايجروميتر الشعرى لقياس الرطوبة النسبية التى تتراوح ما بين : 15% 90% عند درجات حرارة تتراوح ما بين $40C^{\circ}$ : 1 .

### ٤ / ١٠ / ٧ - محولات التيار Current Transducer :

يستخدم محول التيار عادة لخفض قيمة التيار المتردد إلى قيم صغيرة تتناسب مع قيمته. والشكل ( ٣ - ٤٧ ) يعرض دائرة مبسطة تستخدم محول تيار لتحويل التيار المسحوب بواسطة محرك إلى جهد يتناسب مع هذا التيار.

وعادة يكون الملف الابتدائى لمحول التيار هو سلك المحرك، أما الملف الثانوى فهو ملف يحمل تيارا بحد أقصى 1A أو 5A، ويتم توحيد تيار الملف الثانوى بواسطة ثنائى ثم تأخذ إشارة من الجهد الخارج من الثنائى بواسطة مجزئ جهد، ثم يكبر هذه الإشارة بمكبر عمليات للحصول على إشارة جهد تتناسب مع تيار المحرك.




**الشكل (٣ - ٤٧)**