

الباب الثالث
أساسيات التحكم الاسترجاعي
Feed Back Control

أساسيات التحكم الاسترجاعى

Feed back Control

٣ / ١ - مقدمة

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

وهناك عدة أنواع لانظمة التحكم : مثل التحكم الكهربى، والتحكم الميكانيكى، والتحكم الالىكترونى . وفى هذا الكتاب سنركز على التحكم الالىكترونى 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 ينثنى للقارئ استيعاب تطبيقات التحكم الاسترجاعى يتطلب ذلك الإلمام بالموضوعات التالية:

الموضوع الأول : مكبرات العمليات والدوائر الأساسية لها .

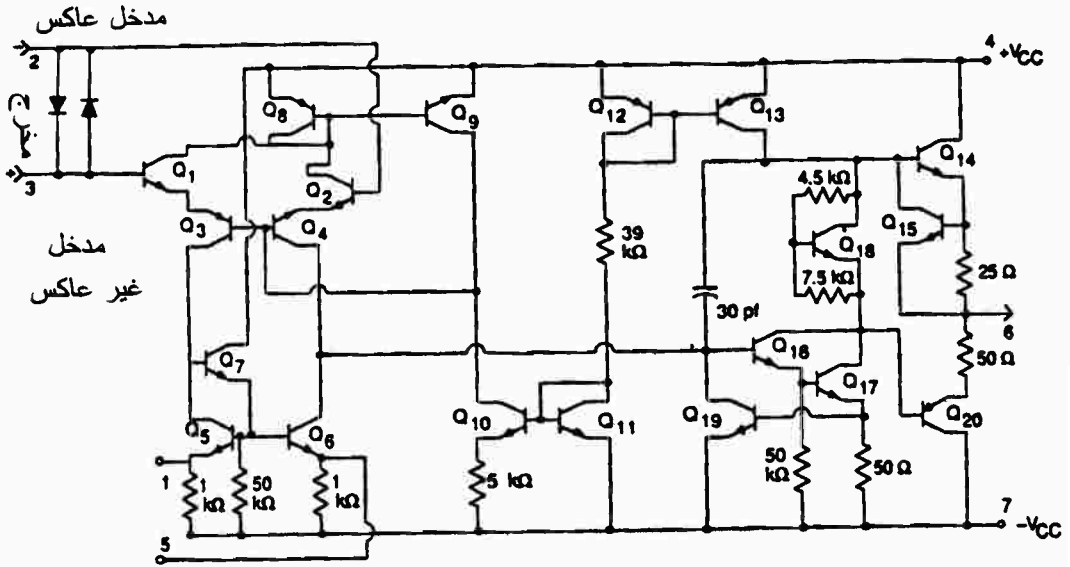
الموضوع الثانى : مصادر التيار المستمر المنتظمة .

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

وسوف نتناول هذه المواضيع بشئ من الإيجاز فى هذا الباب .

٣ / ٢ - مكبر العمليات 741 :

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



الشكل (١-٣)

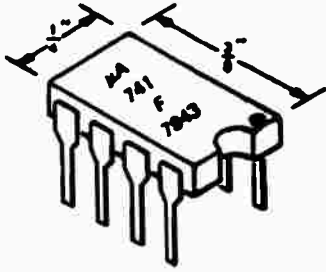
ولحسن الحظ أنه يمكن استخدام مكبر العمليات بدون الدخول في تفاصيل عن تركيبه الداخلي لصعوبة ذلك. لذلك سوف نتعامل مع الأطراف الخارجية لمكبرات العمليات، ويلاحظ من رمز مكبر العمليات أن مكبر العمليات له مدخلان، أحدهما عاكس (-) والآخر غير عاكس (+) ومخرج Output. والجدير بالذكر أن هناك أطرافاً أخرى لمكبر العمليات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

والشكل (٢-٣) يعرض نموذجاً لمكبر عمليات 741 من نوع DIL (أي له أرجل في صفين وكذلك مسقط أفقي يبين جميع المداخل والمخارج ووظيفة كل منها).

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

التعريف بوظيفة أرجل الدائرة المتكاملة:

الرجل 1: ضبط المخرج عند الصفر.



2 : المدخل العاكس .

3 : المدخل الغير

عاكس .

4 : منبع الجهد السالب

ويساوى 15V - .

5 : ضبط الخرج عند

الصفر .

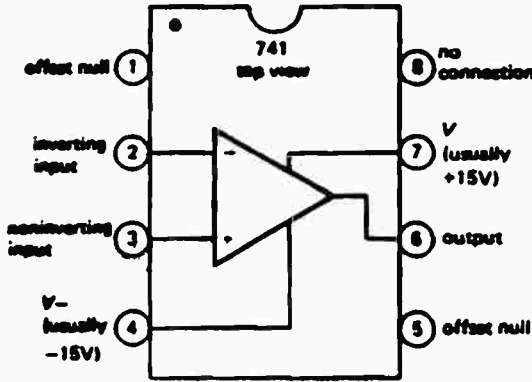
6 : الخرج يؤخذ منه

الإشارة المكبرة .

7 : منبع الموجب

ويساوى 15V + .

8 : غير مستخدم .



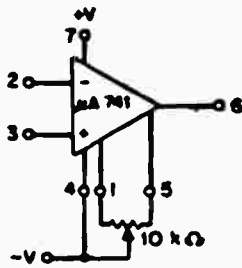
الشكل (٢-٣)

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، وفي هذه الحالة

يمكن بواسطة مجزئ الجهد الوصول لخرج مساو للصفر .

والشكل (٣-٣) يوضح طريقة ضبط الخرج عند الصفر .

وفيما يلي أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع

مكبرات العمليات :

١ - جهد الدخل المعادل (V_{IO}) Input Offset Voltage : الشكل (٣-٣)

وهو الجهد الواجب تطبيقه بين المدخلين لنحصل على جهد خرج صفري

ويساوى 1mV لمكبر العمليات $\mu A741$.

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 صغرى.

٤ - جهد الدخل التفاضلى (Differential Input Voltage (V_{ID}) : وهو فرق الجهد الاقصى 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 الحمل $2k\Omega$.

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 $2K\Omega$.

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

وهو يساوى 0.5 V/ μ S لمكبرات العمليات $\mu A741$.

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 1MHz لمكبر العمليات $\mu A741$.

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

الجدول (٣-١)

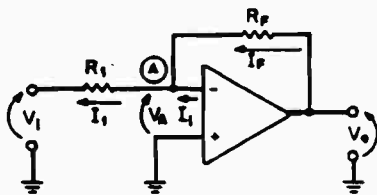
741	301	201	709	المتغير
500	250	1500	1500	تيار الدخل الانحيازى (nA) (I_{IO})
6	7.5	7.5	7.5	جهد الدخل المعادل mV (V_{IO})
200	50	200	500	تيار الدخل الانحيازى nA (I_{OS})
1	1	1	1	حاصل ضرب الكسب فى النطاق الترددى (MHZ) GBW
0.5	2	2	3	معامل الإمالة S_w ($V/\mu S$)
2.0	2.0	4.0	0.7	مقاومة الدخل ($M\Omega$) R_I

٣ / ٣ - الدوائر الأساسية لمكبرات العمليات :

حيث إن معامل تكبير الدائرة المفتوحة لمكبرات العمليات تكون كبيرة وتصل إلى 200 000 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 سنتناولها فى الفقرات التالية :

٣ / ٣ / ١ - المكبر العاكس Inverting Amplifier :

الشكل (٣-٤) يعرض دائرة مكبر عمليات يعمل كمكبر عاكس . وتسمى

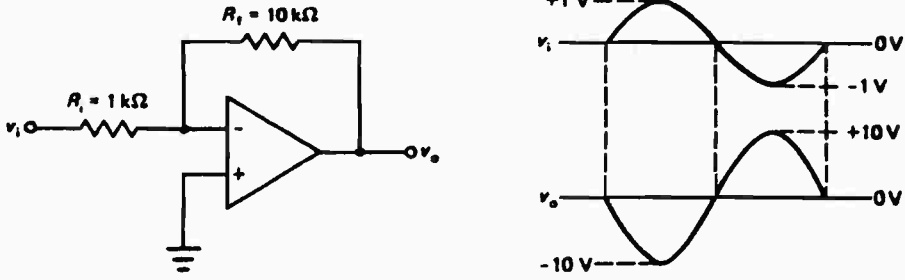


الشكل (٣-٤)

المقاومة R_f بمقاومة التغذية الخلفية، أما المقاومة R_i فهي مقاومة توالى توصل بين الطرف السالب (-) للمكبر وإشارة الدخل المطلوب تكبيرها، ويكون معامل كسب الجهد (معامل التكبير) A_v مساوياً :

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

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



الشكل (٥-٣)

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

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

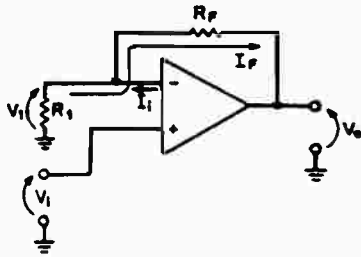
ويجب ملاحظة أن جهد الخرج فى هذه الحالة لن يتعدى جهد منبع التغذية وهو $\pm 15V$ ، مهما كانت قيمة جهد الدخل وقيمة معامل الكسب؛ لأن المكبر سوف يكون فى حالة تشبع ومن الناحية العملية فإن الطرف الموجب للمكبر لا يوصل مباشرة بالأرض بل يوصل من خلال مقاومة R_p تساوى :

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

وهذه المقاومة تعمل على ضبط أى حيود للخرج عن الصفر فى حالة ما إذا كان الدخل على طرفى المكبر مساوياً صفراً.

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 :

$$R_1 = 10 \text{ K}\Omega , R_F = 20 \text{ K}\Omega$$

ودخلت موجة جييبية على المدخل العاكس وكانت القيمة العظمى لها $\pm 1\text{V}$

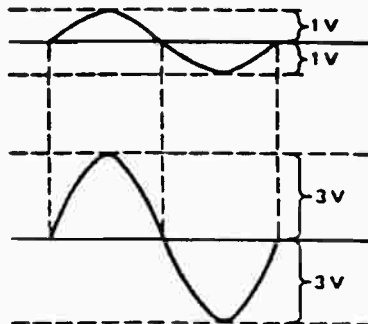
فإن القيمة العظمى لجهد الخرج V_O تساوى :

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

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

والشكل (٣-٧) يبين العلاقة بين V_i مع الزمن، وكذلك V_O مع الزمن،

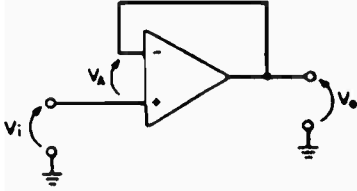
ويلاحظ أنه لا توجد إزاحة وجهة بين V_i ، V_O .



الشكل (٣-٧)

٣ / ٣ / ٣ - مكبر الوحدة Unity Follower :

هذا المكبر يعطى جهد خرج V_O مساوياً تقريباً لجهد الدخل V_i فى القيمة، وله نفس القطبية؛ لذلك سمي بمكبر الوحدة. وهو



الشكل (٨-٣)

يستخدم عادة فى العزل. والشكل (٨-٣)

يعرض دائرة مكبر وحدة غير عاكس.

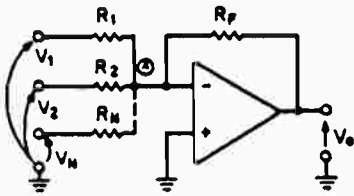
ويكون معامل الكسب مساوياً:

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

٤ / ٣ / ٣ - المكبر الجامع العاكس The Sum-

ming Op. Amp.

يعتبر المكبر الجامع هو أحد تطبيقات المكبر العاكس، ويجرى المكبر الجامع عملية



الشكل (٩-٣)

جمع الجهود الدخل. والشكل (٩-٣) يعرض

دائرة جامع بثلاثة مداخل فقط. بالطبع يمكن

زيادة عدد المداخل حسب الاستخدام لاي عدد

من المداخل.

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:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_F = 10 \text{ K}\Omega$$

وكان جهود المداخل كالآتى:

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

فإن جهد الخرج مساوى :

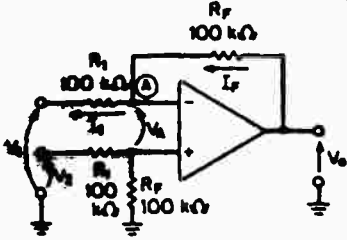
$$V_O = -(5 + 6 + 8) = -19V$$

فإذا كان جهد المنبع مساوياً $\pm 15V$ فإن المكبر سوف يتشبع، وبالتالي يصبح جهد الخرج مساوياً جهد التشبع، أى $V_{sat} -$ ، حيث إن جهد التشبع فى هذه الحالة يساوى $13V -$ تقريباً.

٣ / ٢ / 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 معاً على مدخلى مكبر العمليات يسمى المكبر فى هذه الحالة بالمكبر الفرقى (الطراح)، وسمى بهذا الاسم نظراً لانه 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 مساوياً :



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

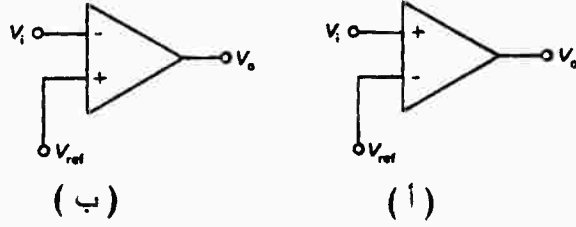
وتقوم المقاومة R_F بضبط أى صعود للخرج عن الصفر فى حالة تساوى الجهدين V_1 ، V_2 أو مساواتهما بالصفر.

الشكل (٣-١٠)

٣ / ٣ / ٦ - مقارن الجهد Voltage Com-

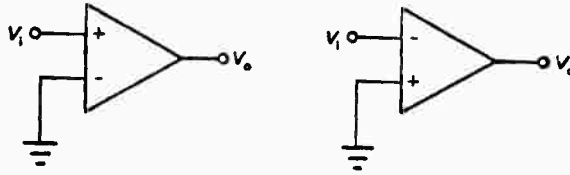
parator :

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.



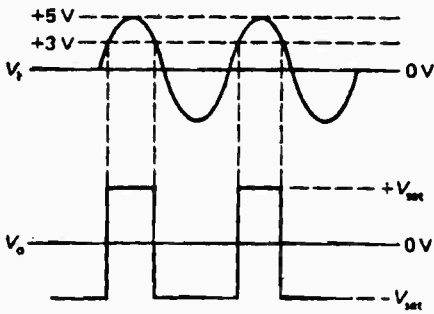
الشكل (١١-٣)

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 دائماً جهد التشبع موجباً أو سالباً $\pm V_{sat}$. وفى حالة قيام المقارن بمقارنة إشارة جهد مع 0V فإنه يسمى بكاشف عبور الصفر Zero Crossing Detector كما بالشكل (١٢-٣) .



الشكل (١٢-٣)

حيث تتغير حالة خرج المقارن عند عبور جهد الدخل بالصفر. فإذا افترضنا أن



الشكل (١٣-٣)

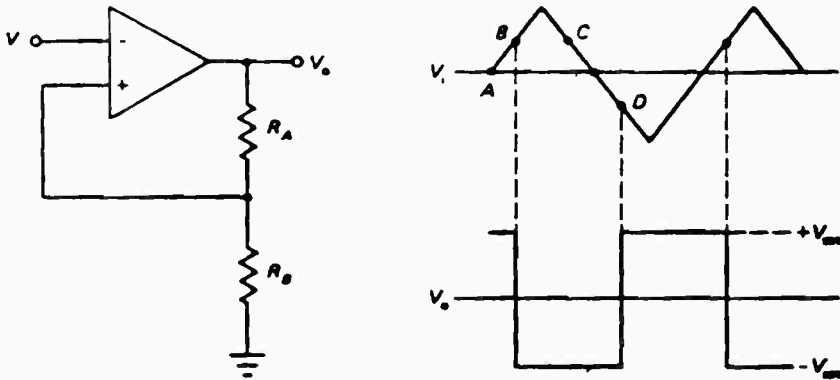
مقارن للجهد غير عاكس يقارن موجة جيبية جهدها الأقصى 5V بجهد أساس مستقر يساوى 3V+ فإن شكل موجة الدخل وموجة الخرج المتوقع كما بالشكل (١٣-٣) .

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

يكون مساوياً $V_{sat} +$ ، وعندما يكون جهد الدخل أصغر من $3V$ فإن خرج المقارن يكون مساوياً $-V_{sat}$. علماً بأن V_{sat} تساوى $13V$ تقريباً عندما يكون جهد المنبع مساوياً $15V$.

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

وهناك نوع آخر من المقارنات تسمى بمقارنات بروجوعية، وتستخدم المقارنات ذات الرجوعية فى الحاكم ذى الموضعين Two Position Controller . والشكل (٣-١٤) يعرض دائرة لمقارن بروجوعية 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 مشبعاً موجباً فى المنطقة بين النقطتين A,B تماماً كالحالة السابقة للمقارن، فى حين يتحول خرج المقارن ليصبح مشبعاً سالباً بعد النقطة B ، ويظل الخرج مشبعاً سالباً فى المنطقة ED اعتماداً على الحالة السابقة وهكذا .

ويمكن تعيين حدود الرجوعية من المعادلة التالية :

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

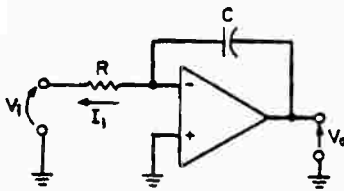
حيث إن

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

V_{sat} هو جهد التشبع لمكبر العمليات .

٧ / ٣ / ٣ - المكبر المكامل Integrator :

تعرف عملية التكامل بأنها جمع قيم إشارة الدخل خلال فترة زمنية معينة .



والشكل (٣-١٥) يعرض دائرة لمكامل وهي تشبه

دائرة المكبر العاكس عدا أن مقاومة التغذية الخلفية

R_F استبدلت بالمكثف C . والمعادلة التالية تعرف

العملية التي تجريها هذه الدائرة :

$$V_o = \frac{-1}{RC} \int_0^t V_i dt \rightarrow 3.9$$

الشكل (٣-١٥)

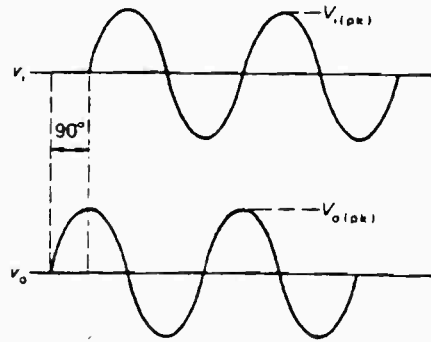
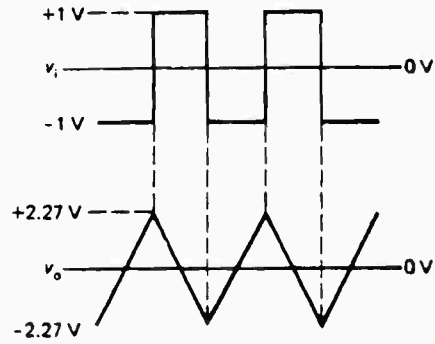
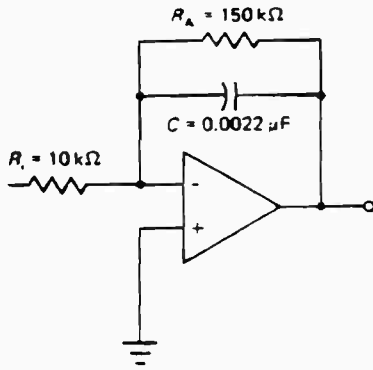
وعادة توصل مقاومة بالتوازي مع مكثف دائرة المكامل للأسباب التالية :

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

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

والشكل (٣-١٦) يبين مكامل عملي وشكل الموجة الداخلة والخارجة في

حالتين عندما تكون الموجة الداخلة مربعة وعندما تكون الموجة الداخلة جيبية .



الشكل (٣-١٦)

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

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

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

حيث إن:

$V_O(P_K)$ جهد الخرج الأقصى.

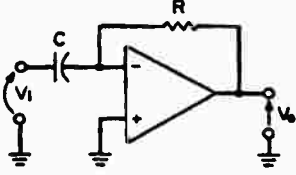
$V_i(P_K)$ جهد الدخل الأقصى.

F تردد الموجة الجيبية الداخلة.

٣ / ٣ / ٨ - المكبر المفاضل The Differentiator :

الشكل (٣-١٧) يعرض دائرة مفاضل للموجة الداخلة، وهى تشبه دائرة المكامل

مع تبديل أوضاع المكيف .



والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة :

$$V_O = -RC \frac{dV_i}{dt} \rightarrow 3.11$$

الشكل (٣-١٧)

وعادة توصل مقاومة R_s على التوالى مع المكثف C

للمحافظة على الكسب فى الترددات العالية مساوياً $\frac{-R}{R_s}$ والشكل (٣-١٨)

يبين دائرة مفاضل لعملية وشكل الموجة الداخلة والخارجة فى حالتين عندما تكون الموجة الداخلة جيبيهية وعندما تكون الموجة الداخلة مربعة .

ويلاحظ أن الموجة الجيبية عند تفاضلها تكون جيبيهية، ولكن بإزاحة 90° جهة

اليمين. علماً بأن جهد الخرج الأقصى للمفاضل عندما يكون دخله موجة جيبيهية يساوى :

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

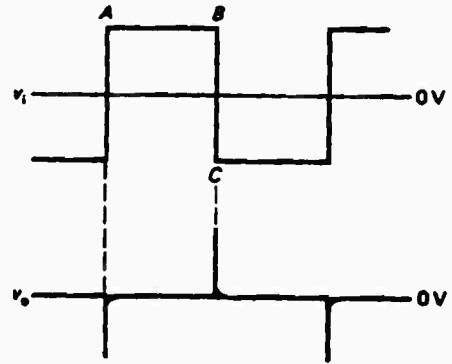
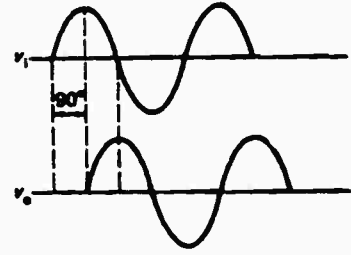
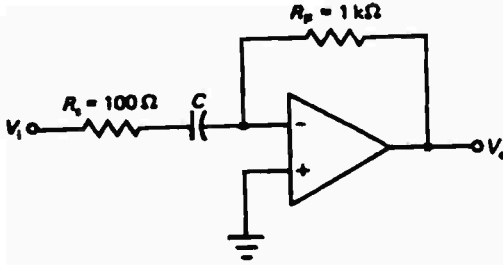
حيث إن :

$V_O (P_K)$ جهد الخرج الأقصى .

$V_i (P_K)$ جهد الدخل الأقصى .

F تردد الموجة الجيبية الداخلة .

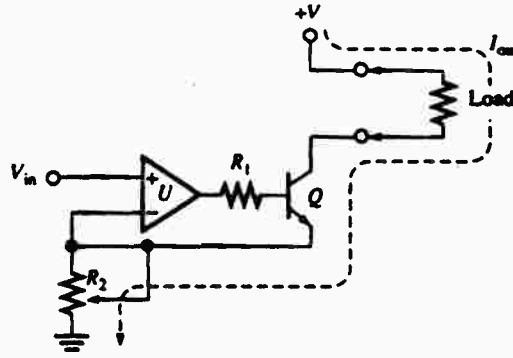
فى حين أن الموجة المربعة عند تفاضلها تتحول لنبضات موجبة ونبضات سالبة .



الشكل (٣-١٨)

٩ / ٣ / ٣ - محول الجهد لتيار :

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



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 $50K\Omega$ وكان التيار المطلوب $2mA$ فإن الجهد $V+7$ يجب أن يكون أكبر من $100V$.

٣ / ٤ - منظمات الجهد المتكاملة ذات الأطراف الثلاثة :

3 Terminal Regulators

تستخدم منظمات الجهد المتكاملة في 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 في هذا الباب على المنظمات ذات الخرج الثابت الثلاثية الأرجل . فهي تنقسم لعائلتين، وهما :

أ - منظمات الجهد الموجبة طراز 78..... .

ب - منظمات الجهد السالبة طراز 79..... .

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

$$L = 100mA \text{ بدون } S = 2A, 1A$$

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

على سبيل المثال 7805 هو منظم جهد ثلاثي ثابت الخرج، يعطى جهد خرج $+5V$ وتيار أقصى $1A$ في حين الدائرة المتكاملة 79L15 هي منظم جهد ثلاثي ثابت الخرج يعطى جهداً مقنناً $-15V$ وتيار أقصى $100mA$ وهكذا.

وعادة فإن جهد دخل المنظم نحصل عليه من المعادلة :

$$V_O + 3 \leq V_i \leq V_O + 6$$

حيث إن :

V_O جهد الخرج للمنظم.

V_i جهد الدخل للمنظم.

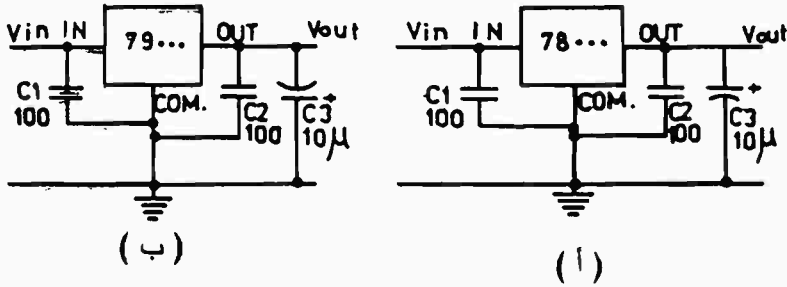
والجدول (٢-٣) يعرض خواص منظمات الجهد الثابتة.

الجدول (٢-٣)

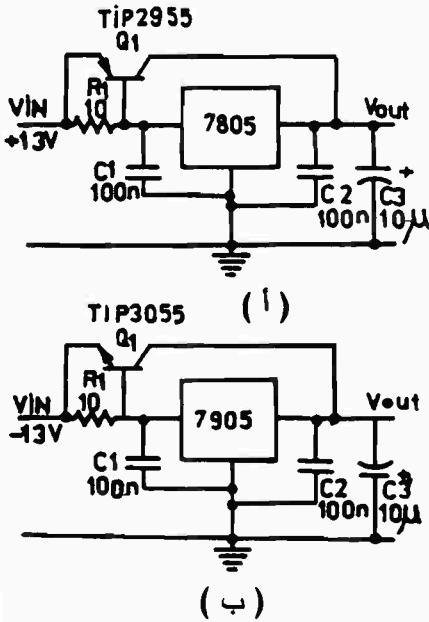
الطراز	حدود الدخل	تنظيم الخطأ	تنظيم الحمل	معامل طرد الذبذبات
MC 7805-CT	7.2: 35V	7mV $7V \leq V_i \leq 25V$	40 mV $5mA \leq I_O \leq 1.5A$	68 dB $8 \leq V_i \leq 18V$
MC 7812-CT	14.5 V : 35V	13mV $14.5V \leq V_i \leq 30V$	46mV $5mA \leq I_O \leq 1.5A$	
MC7815-CT	17.6V : 35V	13mV $27V \leq V_i \leq 38V$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

٥/٣ - دوائر مصادر القدرة ذات المنظمات الثلاثية :

والشكل (٣ - ٢٠) يعرض دائرتين أساسيتين للمنظمات الثلاثية الأرجل الثابتة الجهد، الأولى (١) صممت للحصول على جهد خرج موجب، والثانية (ب) صممت للحصول على جهد خرج سالب.



الشكل (٣ - ٢٠)

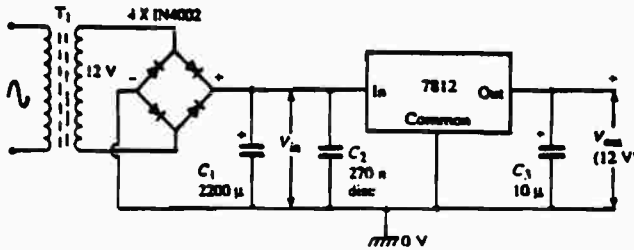


الشكل (٣ - ٢١)

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

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

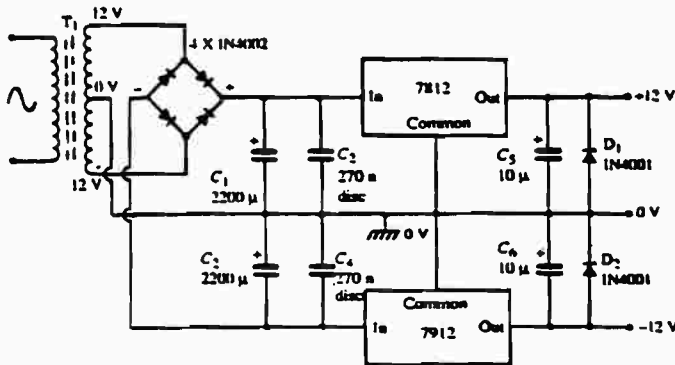
بها من قبل الشركة والمبينة فى الجدول (٣ - ٢) .
 كما أنه يجب تثبيت هذه المنظمات على مشتتات حرارة Heat sinks بأحجام
 تعتمد على توصيات الشركات المصنعة .
 والشكل (٣ - ٢٢) يبين دائرة لمصدر تيار مستمر بخرج منظم وموجب، حيث
 يستخدم منظم ثلاثى الأرجل بخرج ثابت طراز 7812؛ لذلك فإن قيمة الجهد المنظم
 لهذه الدائرة +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 .

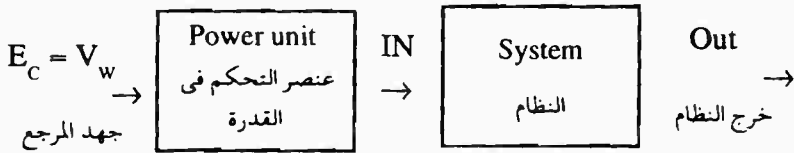


الشكل (٣ - ٢٣)

والجدير بالذكر أن قيمة جهد خرج المنظمات الثابتة يعتمد على جهد الرجل المشتركة Common والتي 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 .

أولاً : النظام :

يعرف النظام بأنه مجموعة من العناصر التي 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 مخرج.

ثانياً : أجهزة التحكم فى القدرة :

وتقوم هذه العناصر بالتحكم المباشر فى القدرة الكهربائية 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 (0 : +15V) يتم إدخالها على عنصر التحكم النهائى. وللحصول على خرج محدد للنظام يتم حساب قيمة جهد المرجع اللازمة.

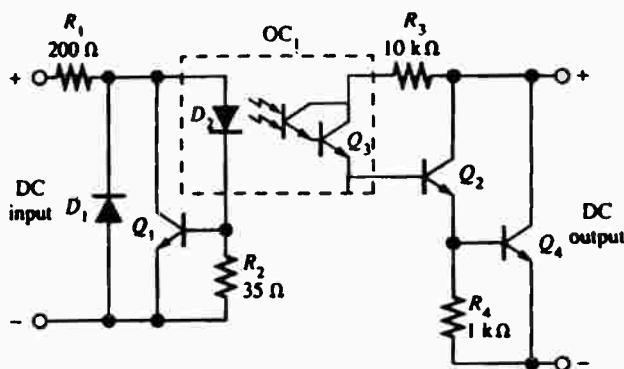
ويعاب على نظام التحكم ذى الحلقة المفتوحة عدم وجود مراقبة مستمرة لخرج النظام، فإذا تغير خرج النظام لأى سبب من الأسباب كتغير الحمل عليه فإن الدخل (إشارة جهد المرجع) سوف تظل ثابتة، الأمر الذى يؤدى لاختلال خرج النظام عن القيمة المطلوبة؛ لذلك يحتاج النظام فى هذه الحالة لإعادة ضبط جهد المرجع، ويتم

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

١ / ٦ / ٣ - 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.

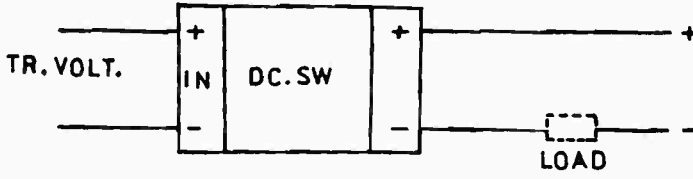


الشكل (٣ - ٢٥)

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، وبالتالي 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 وبعث 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

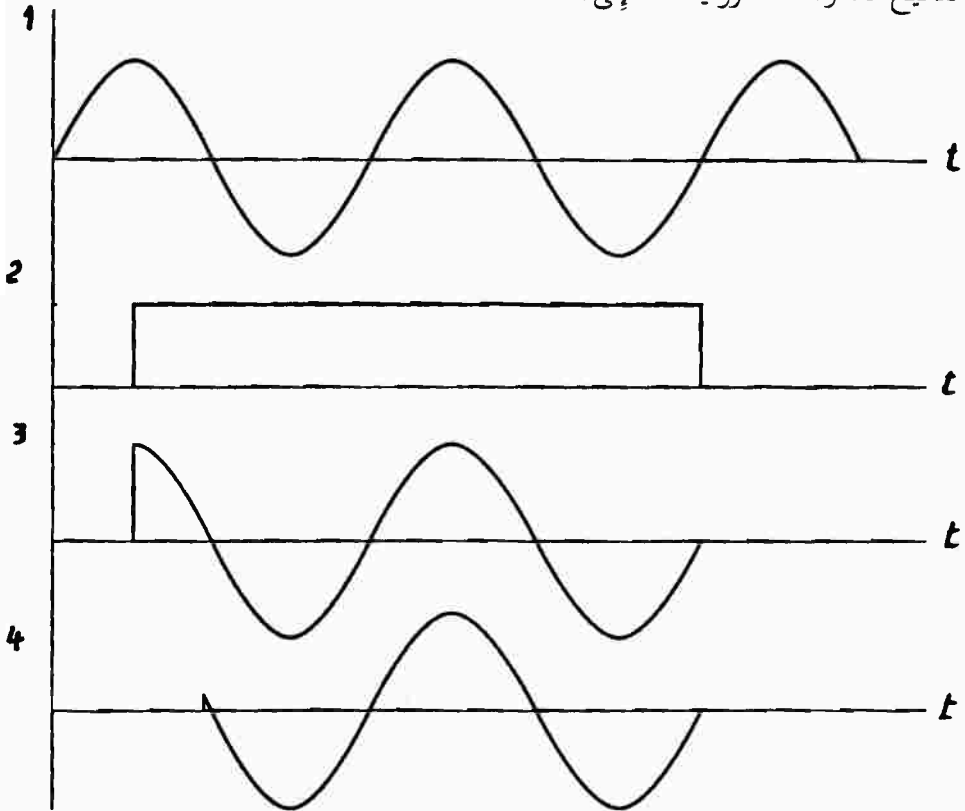
تفاصيل عن دائرته الداخلية.



الشكل (٣ - ٢٦)

ثانياً: 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.

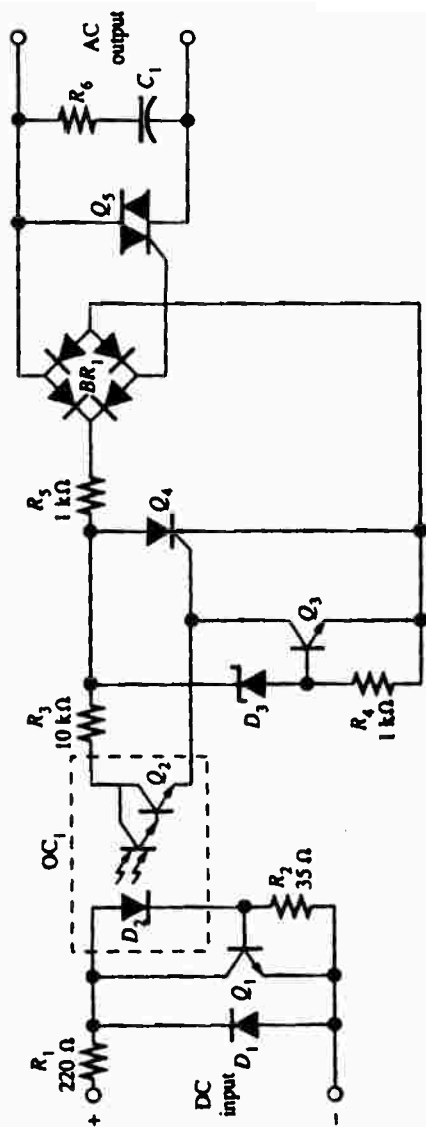
فالإشعال العشوائى يتم فى اللحظة التى تصل فيها إشارة التحكم بغض النظر عن زاوية الإشعال مما يسبب إمرار تيارات عالية، وكذلك تولد موجات راديو RFI تحدث تداخل مع الأجهزة الالكترونية القريبة، فى حين أن الإشعال لحظة العبور بالصفر خالٍ من هذه السلبيات.

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

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

والجدير بالذكر أنه عندما يكون الجهد اللحظى لمصدر التيار المتردد أكبر من 20V ينهار ثنائى الزينر D_3 ، وبالتالي 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 الترياك نتيجة للتغير السريع فى

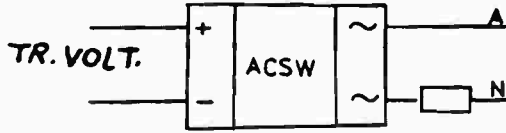


الشكل (٣-٢٨)

جهد المصدر المتردد .

وبمجرد تحول الترياك Q_5 لحالة الوصل يصل التيار الكهربى للحمل .

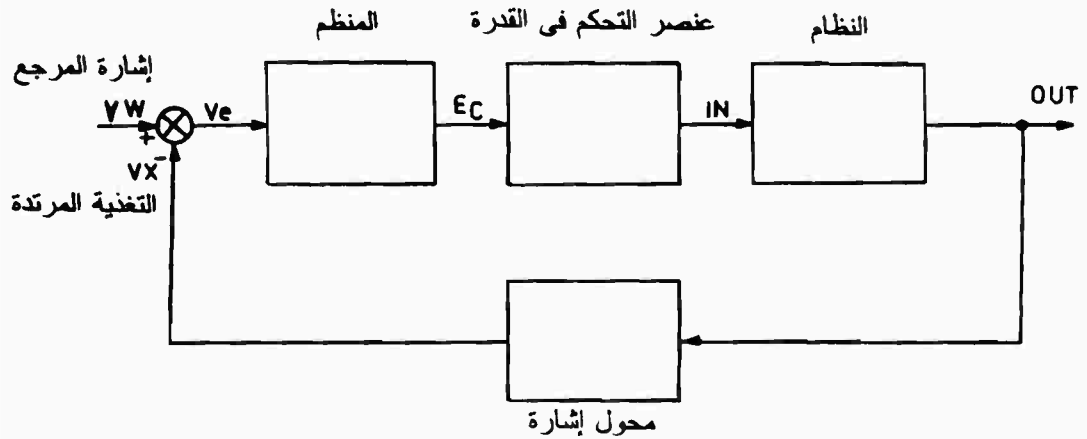
والشكل (٣ - ٢٩) يبين رمز موديول AC المتوفر فى الأسواق بدون الدخول فى تفاصيل عن دائرته الداخلية .



الشكل (٣ - ٢٩)

٧ / ٣ - 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 Transducer .

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 ، وبالتالي 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) والتي نحصل عليها من المعادلة :

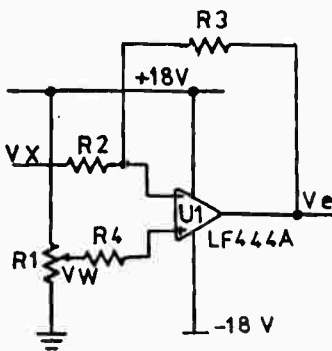
$$V_e = V_W - V_X \rightarrow 3.14$$

فسوف تتغير، ومن ثم يتغير خرج المنظم (الحاكم) وتباعاً يتغير خرج عنصر التحكم فى القدرة فيتغير دخل النظام، ومن ثم يتغير خرجة 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 (V_e) error signal والتي تساوى :

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



والشكل (٣ - ٣١) يبين دائرة الكترونية بسيطة

لأحد المقارنات، فيكون دخل المدخل الغير عاكس + مكبر العمليات U_1 هو الجهد القادم من محول الإشارة V_X ، وبالتالي فإن خرج مكبر العمليات U_1 يمثل إشارة الخطأ .

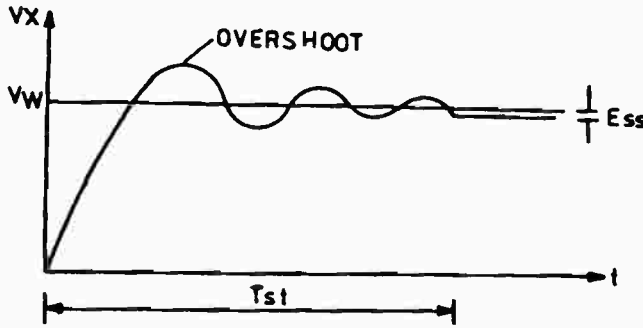
٣ / ٩ - المنظم Controller :

يمكن تلخيص الأهداف الأساسية للمنظمات فى

أنظمة التحكم ذى الحلقة المغلقة فيما يلى :

الشكل (٣ - ٣١)

- ١ - إقلال أقصى قيمة للخطأ $Over\ shoot$.
 - ٢ - إقلال زمن الوصول لحالة الاستقرار بقدر الإمكان T_{st} ، وهو الزمن المطلوب حتى تقل الاهتزازات في الخرج بعد كل تغير في الحمل.
 - ٣ - الوصول بالخطأ النهائي E_{ss} إلى قيمة صغيرة جداً.
- والشكل (٣ - ٣٢) يبين خرج نظام التحكم ذي الحلقة المغلقة عند إدخال قفزة جهد Step كإشارة مرجع.



الشكل (٣ - ٣٢)

وفيما يلي أنواع المنظمات الالكترونية المستخدمة في أنظمة التحكم ذي الحلقة المغلقة:

- ١ - منظم الوصل والفصل ON - OFF Controller.
 - ٢ - المنظم التناسبي P Controller.
 - ٣ - المنظم التناسبي التكاملي PI Controller.
 - ٤ - المنظم التناسبي التفاضلي التكاملي PID Controller.
- ٣ / ٩ / ١ - منظم الوصل والفصل :

يطلق على هذا المنظم أحياناً بالمنظم ذي الموضعين Two - Position، ويقوم هذا المنظم بالتحكم في 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 للخروج أكبر من القيمة المطلوبة والمقابلة لجهد المرجع يصبح خرج المنظم فصل OFF .

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

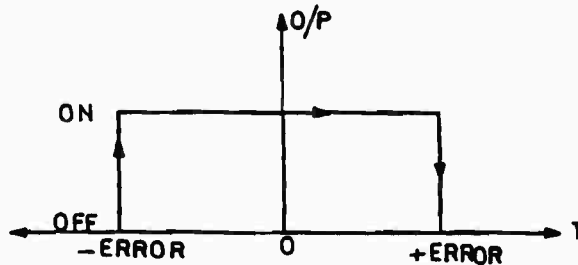
والعكس بالعكس بالنسبة للمنظمات الغير مباشرة .

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

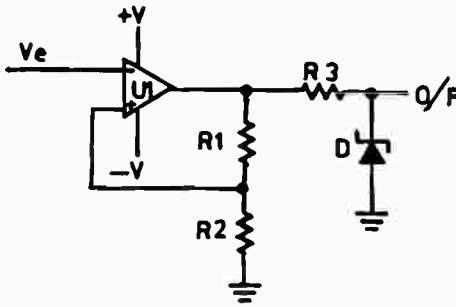
$$\text{Dead band} = + \text{Error} - (-\text{Error}) \rightarrow 3.15$$

$$= +3 - (-3) = 6^{\circ}\text{C}$$

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 مشبعا سالباً فإن إشارة الخطأ V_e يجب أن تكون أكبر من

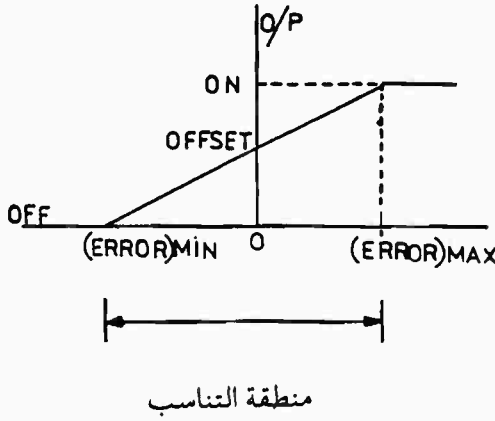
الجهد على أطراف R_2 ، حيث إن فرق الجهد على أطراف R_2 موجب في هذه اللحظة؛ وذلك لأن خرج U_1 كان مشبعا موجبا $+V_{sat}$.

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

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

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

٣ / ٩ / ٢ - المنظم التناسبي Proportional controller :



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

وتعمل إشارة الخطأ
الكبيرة على تشبع المنظم.
وعادة فإن المنظمات
التناسبية تعمل في منطقة
تعرف بمنطقة التناسب

الشكل (٣ - ٣٥)

Proportional band، وهي تشبه لحد كبير منطقة السكون Dead band للمنظمات ذات الموضعين، ويمكن إيجاد جهد منطقة التناسب من المعادلة التالية :

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

ويمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخرى كما يلي :

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

حيث إن :

$(V_{out}) \max$ أقصى جهد خرج للمنظم.

$(V_{out}) \min$ أقل جهد خرج للمنظم.

A_v معامل كسب المنظم.

$(\text{Error}) \max$ أقصى خطأ.

$(\text{Error}) \min$ أقل خطأ.

وهناك ثلاث كميات مهمة عند دراسة الحاكومات التناسبية وهى :

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

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

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

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

التاليتين :

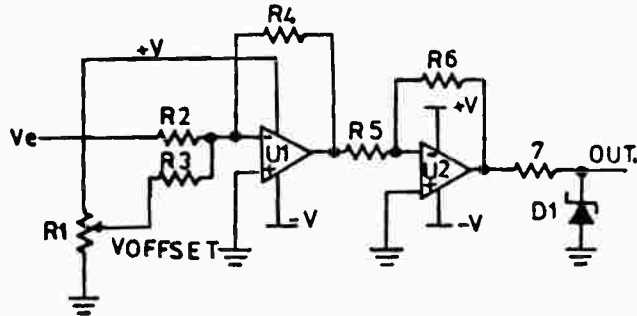
$$(Error) \min = \frac{(V_{out}) \min}{A_V} - V_{offset} \rightarrow 3.19$$

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

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 :

$$V_{O1} = \frac{-R_4}{R_2} (V_{offset} + V_e)$$

$$V_{O1} = -A_V (V_{offset} + V_e)$$

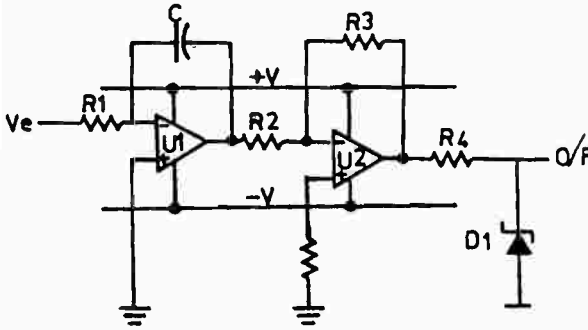
ويعمل مكبر العمليات U_2 كعاكس لخرج المكبر فيصبح خرج المبكر U_1 مساوياً:

$$V_{O2} = A_V (V_{offset} + V_e)$$

ويعمل الثنائي D_1 على تحديد خرج المنظم بجهد الزنر عندما يكون خرج المنظم موجب، وتحديد خرج المنظم عند الانخفاض عن $-0.7V$ عندما يكون خرج المنظم بالسالب.

ويعمل جهد Offset على استمرار وجود خرج للمنظم حتى عندما تصبح إشارة الخطأ V_e مساوية للصفر، وبالتالي يمنع تحول المنظم التناسبي لمنظم وصل وفصل . ON - OFF Controller

٣ / ٩ / ٣ - المنظم التكاملى Integral Controller :



الشكل (٣ - ٣٧)

يتميز هذا المنظم بأن خرج المنظم يتناسب مع تكامل إشارة الخطأ وصولاً لخطأ يساوى الصفر، وهذا بالطبع غير ممكن في المنظم التناسبي. والشكل (٣ - ٣٧) يبين الدائرة

الالكترونية لمنظم تكاملى، فيعمل مكبر العمليات U_1 كمكامل. وعادة يعمل هذا المكامل فى المنطقة الخطية لشحن المكثف C ، وبالتالي يجب منع المكثف C من الشحن الكامل. وعموماً فإن شحن المكثف جزئياً أو كاملاً يعتمد على ثلاثة أمور وهى:

– قيمة جهد الخطأ V_e .

– الزمن الذى تتواجد فيه إشارة الخطأ.

– قيمة كل من R_1 و C .

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)

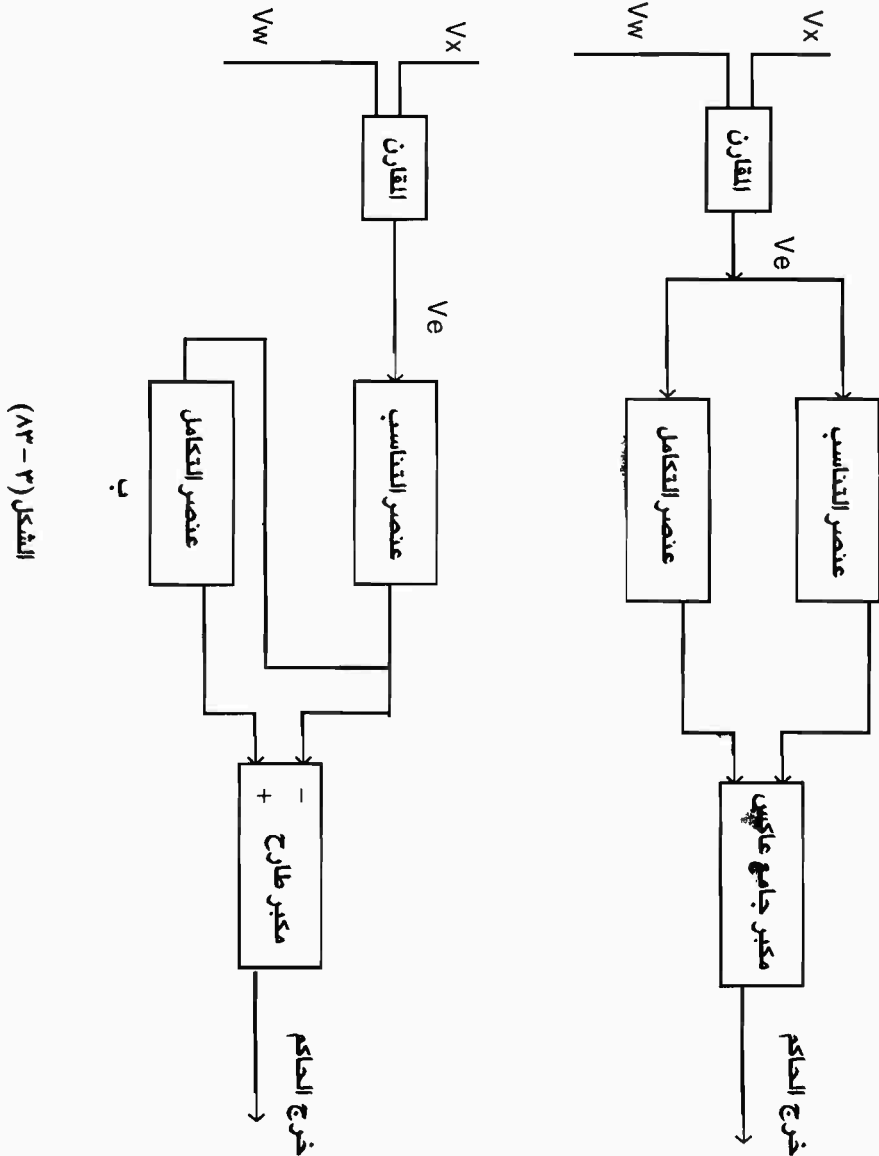
نوع المنظم	التصرف اللحظى	التصرف فى حالة التشغيل المستقر
تناسبى P	تكبير لحظى لإشارة دخله	يوجد خطأ ثابت ودائم؛ فكلما زاد معامل كسبه A_v قل هذا الخطأ وازداد الاهتمام بالمرآة والعكس بالعكس.
تكاملى I	خرج بطئ يساوى التكامل الزمنى لإشارة دخله (جهد الخطأ V_e)	يصل جهد الخطأ V_e للصفر.

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 التناسبي والمنظم التكاملي بإحدى الطريقتين الموضحتين بالشكل (٣ - ٣٨). فالمنظم PI المبين بالشكل أ يسمى بمنظم PI نوع التوازي، والمنظم PI المبين بالشكل ب يسمى بمنظم PI نوع التوالي.

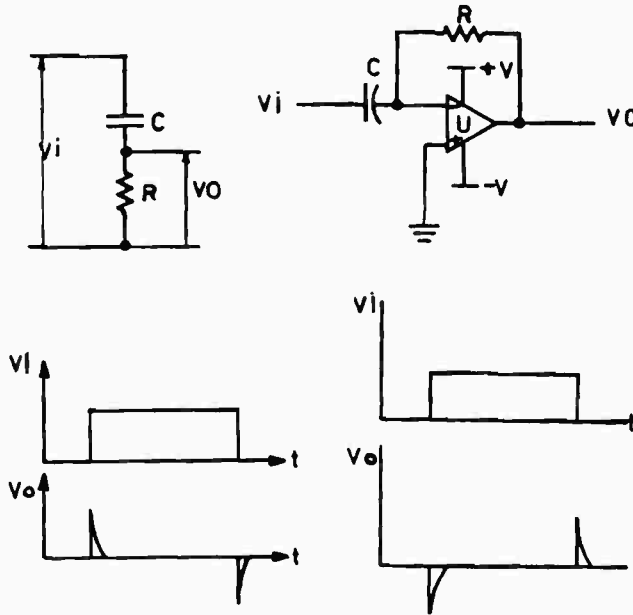
والفرق بين الطريقتين هو: أن منظم PI نوع التوالي يكون أسرع استجابة من المنظم PI نوع التوازي.



٣ / ٩ / ٥ - المنظم التفاضلي 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 ١)، وباستخدام مقاومة ومكثف (الشكل ب) بالإضافة إلى موجة دخل وخرج كليهما .

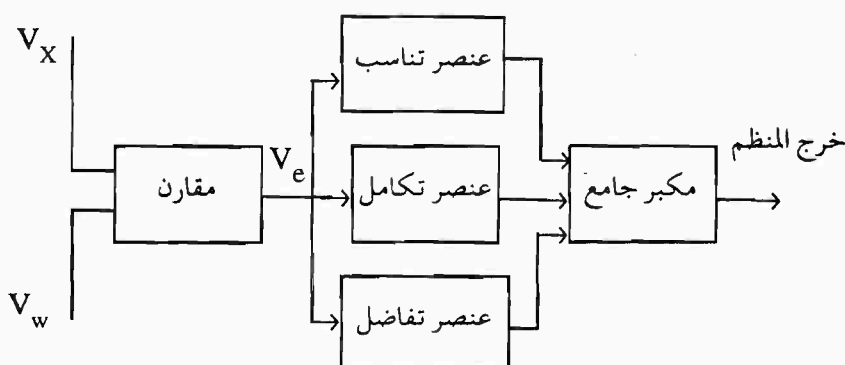


الشكل (٣ - ٣٩)

٣ / ٩ / ٦ - المنظم التناسبي 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 Tuning، وهذه العملية ليست بالأمر اليسير، فهي 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 في 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 Transducers:

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

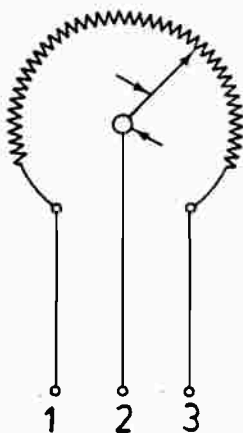
وبالتالى عندما تصبح سرعة المحرك 1200RPM فإن خرج مولد التاكو يصبح $\frac{1200}{300} = 4V$ وهكذا. وفى الفقرات التالية سنتناول بإيجاز الأنواع المختلفة لمحولات الإشارة.

٣ / ١٠ / ١ - محولات الحركة الزاوية

Angular - Displacement Transducers:

يعتبر مجزئ الجهد الدوار من أهم محولات الحركة الزاوية للجهد. 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+ مثلاً على النقطتين 1, 3 للحصول على خرج جهد من النقطة 2 يتناسب طردياً مع مقدار الحركة الزاوية.

وفيما يلى رمز مجزئ الجهد الدوار الذى يستخدم كمحول حركة زاوية للجهد.



٣ / ١٠ / ٢ - محولات الإزاحة الخطية

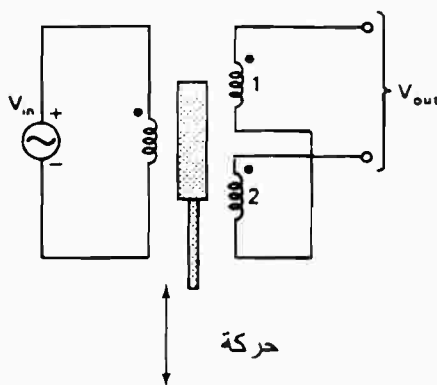
Linear - Displacement Transducer:

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 : 15KHZ، ويتم

توصيل الملفين الثانويين بالتوالي بحيث يكون خرج الملف الثانوى صفرأ عندما يكون القلب المغناطيسي في المنتصف، وعند إزاحة القلب المغناطيسي إلى أعلى أو أسفل يتولد فرق جهد على أطراف الملف الثانوى نتيجة للحث المتبادل بين الملفين الابتدائي 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 الكهربائية لمحول الإزاحة التفاضلى المتغير LVDT.



الشكل (٣ - ٤١)

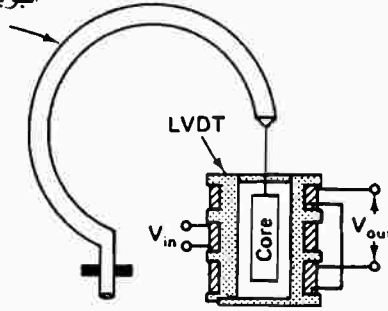
٣ / ١٠ / ٣ - محولات الضغط Pressure Transducer :

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) .

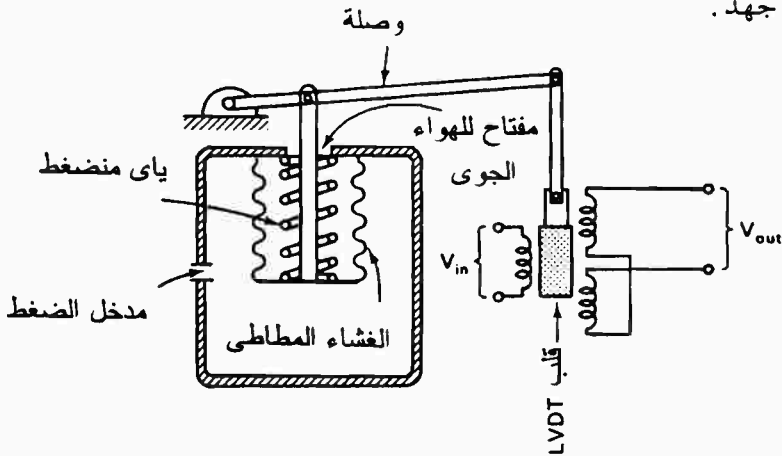
أنبوبة بوردون على شكل C



الشكل (٣ - ٤٢)

الغشاء المطاطي 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، وبالتالي 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 :

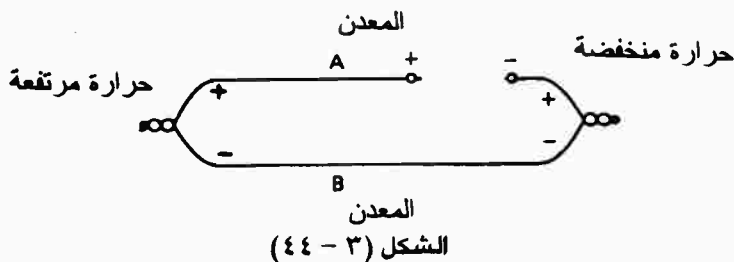
١ - الإزدواجات الحرارية Thermocouples .

٢ - محولات درجات الحرارة ذات المقاومة

Resistive Temperature Transducers.

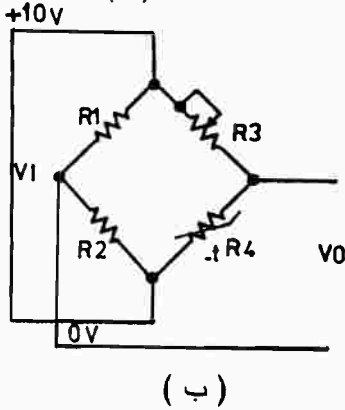
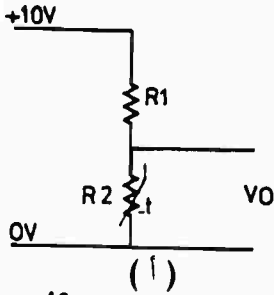
الازدواجات الحرارية :

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



محولات درجة الحرارة ذات المقاومة :

وتستخدم مقاومات حرارية فى بناء هذه المحولات . والشكل (٣ - ٤٥) يعرض نماذج بسيطة لهذه المحولات، وفى الشكل أ عندما ترتفع درجة حرارة المقاومة R_2 فإن قيمة المقاومة تزداد وبالتالي يزداد الجهد الخارج من أطراف المقاومة . وفى الشكل ب عند درجة الحرارة المعتادة يتم ضبط خرج القنطرة V_0 مساوياً صفرأ بواسطة المقاومة R_3 ، وعند ارتفاع درجة حرارة المقاومة R_4 يتولد جهد على أطراف الخرج V_0 يتناسب مع درجة الحرارة .



الشكل (٣ - ٤٥)

٣/١٠/٥ - محاولات السرعة

: Tachometers

يقوم مولد التاكو بتحويل سرعة الاعمدة 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 فهي 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 بالفولت.

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

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

حيث إن

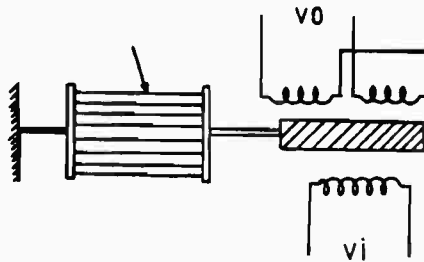
F التردد (HZ) .

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 الهايجروميتر 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، وبالتالي نحصل على إشارة جهد تكافئ الرطوبة . والشكل (٣ - ٤٦) يبين شكلاً مبسطاً لهايجروميتر شعرى .



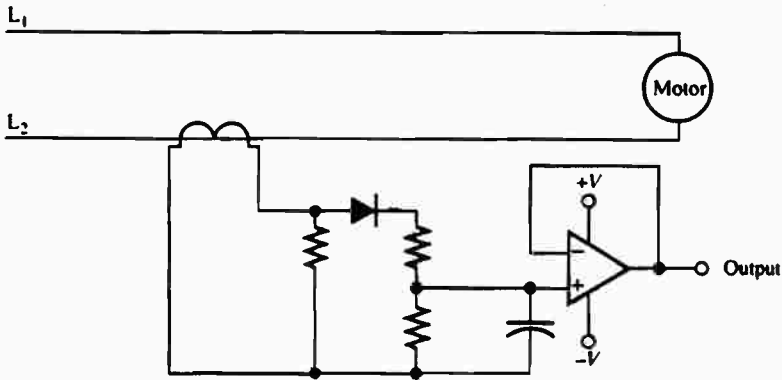
الشكل (٣ - ٤٦)

ويستخدم الهايجروميتر الشعري لقياس الرطوبة النسبية التي تتراوح ما بين : 15%
90% عند درجات حرارة تتراوح ما بين 40°C : 1.

٢ / 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 الابتدائي لمحول التيار هو سلك المحرك، أما الملف الثانوي فهو ملف يحمل تيارا بحد أقصى 1A أو 5A، ويتم توحيد تيار الملف الثانوي بواسطة ثنائي ثم تأخذ إشارة من الجهد الخارج من الثنائي بواسطة مجزئ جهد، ثم يكبر هذه الإشارة بمكبر عمليات للحصول على إشارة جهد تتناسب مع تيار المحرك.



الشكل (٣ - ٤٧)