

الباب الرابع
تطبيقات على التحكم فى سرعة
محركات التيار المستمر

تطبيقات على التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر

١ / ٤ - دوائر الإشعال :

لقد سبق وأن عرفنا من باب التحكم الالكترونى فى محركات التيار المستمر: أنه يمكن التحكم فى سرعة محركات التيار المستمر بالتحكم فى جهد أطراف عضو الاستنتاج أو جهد أطراف المجال، وذلك بالتحكم فى زوايا إشعال الثايرستورات المستخدمة فى دوائر القدرة لهذه المحركات .

وهناك ثلاثة أنظمة متبعة للتحكم فى زوايا الإشعال وهى كما يلى :

١ - التحكم الخطى فى زوايا الإشعال Linear Control of angle .

٢ - التحكم بنظام (Cosine) فى زوايا الإشعال Cosine Control of angle .

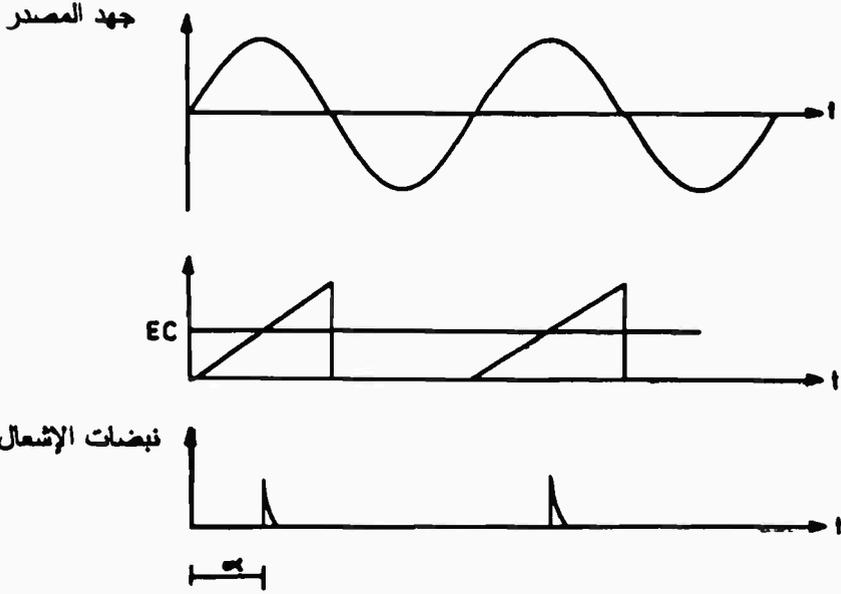
٣ - التحكم بنظام (1+Cosine) فى زوايا الإشعال

(1+Cosine) Control of angle .

ونحيط القارئ علماً بأنه يوجد اختلاف كبير فى تصميم دوائر الإشعال من شخص لآخر، فمن الممكن وجود اختلاف فى دائرة الإشعال بالرغم من تشابه الاداء. والجدير بالذكر أن دوائر الإشعال التى سنتناولها فى هذا الباب ليست هى أفضل التصميمات كما أن قيم المكونات المستخدمة هى قيم تقريبية .

١ / ١ / ٤ - التحكم الخطى فى زوايا الإشعال :

يتم التحكم الخطى فى زوايا الإشعال بمقارنة موجة مثلثة متزامنة مع المصدر المتردد مع جهد التحكم الخارج من المنظم فى حالة الحلقة المغلقة، أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعال وإزالة المركبة السالبة وهذا مبين بالشكل (٤ - ١) .



الشكل (٤-١)

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زاوية الإشعاع α وجهد التحكم E_C في هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.1:

$$\alpha = K_1 E_C \rightarrow 4.1$$

حيث إن K_1 ثابت.

وحيث إن معادلة الجهد الخارج على أطراف المحرك في حالة المحولات النصف محكمة كما بالمعادلة 4.2:

$$E_O = K_2 (1 + \cos \alpha) \rightarrow 4.2$$

حيث إن:

E_O جهد ثابت.

K_2 ثابت.

وبحل المعادلتين 4.1 و 4.2 نحصل على المعادلة 4.3:

$$E_O = K_2 (1 + \cos K_1 E_C) \rightarrow 4.3$$

أما في حالة محولات التحكم الكاملة فإن معادلة الجهد الخارج على أطراف المحرك هي كالآتي:

$$E_0 = K_3 \cos \alpha \rightarrow 4.4$$

حيث إن :

E_0 جهد الخرج .

K_3 ثابت .

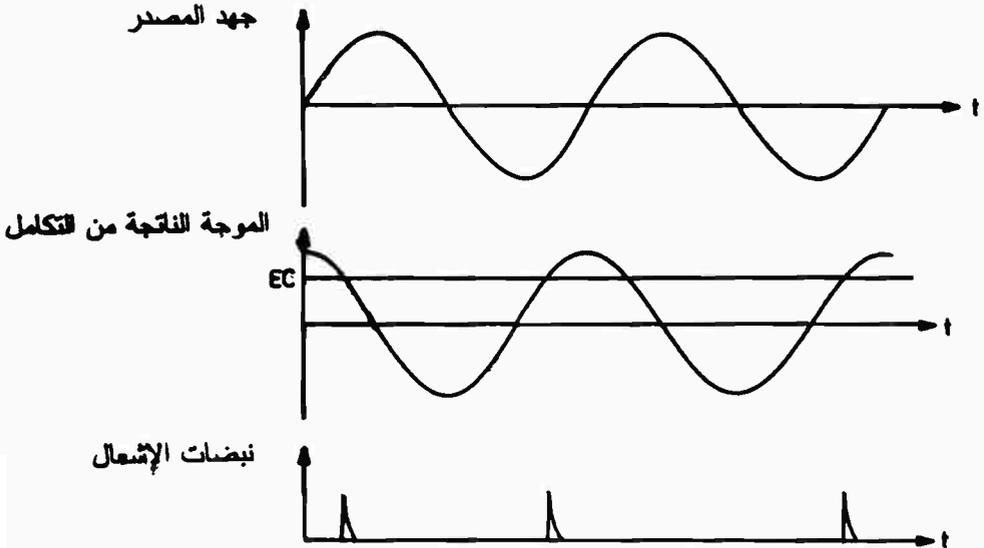
وبحل المعادلتين 4.1 و 4.4 نحصل على المعادلة 4.5 :

$$E_0 = K_3 \cos K_1 E_C \rightarrow 4.5$$

ويلاحظ من المعادلتين 4.3 و 4.5 أن العلاقة بين E_0 و E_C ليست علاقة خطية، أي أن نظام التحكم الخطي لا يعطى علاقة خطية بين جهد التحكم وجهد الخرج علي أطراف المحرك في المحولات النصف محكمة وأيضاً المحولات الكاملة .

٤ / ١ / ٢ - التحكم بنظام Cosine في زوايا الإشعال :

يتم التحكم بنظام Cosine في زوايا الإشعال بمكاملة موجة المصدر المتردد، ثم مقارنة الموجة الناتجة عن التكامل مع جهد التحكم الخارج من المنظم في حالة الحلقة المغلقة أو جهد المرجع في حالة الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعال وإزالة المركبة السالبة وهذا مبين بالشكل (٤ - ٢) .



الشكل (٤ - ٢)

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زوايا الإشعاع وجهد التحكم E_C في هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.6:

$$E_C = K_4 \cos \alpha \rightarrow 4.6$$

حيث إن K_4 ثابت .

وبقسمة المعادلة 4.4 على المعادلة 4.6 نحصل على:

$$\frac{E_O}{E_C} = \frac{K_3}{K_4} \rightarrow 4.7$$

ويلاحظ من المعادلة 4.7 أن العلاقة بين E_O و E_C علاقة خطية؛ ولذلك فإن التحكم بنظام Cosine في زوايا الإشعاع يعتبر مثالياً لتطبيقات الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة للمحولات الكاملة والمحولات المزدوجة.

٤ / ١ / ٣ - التحكم بنظام (1 + Cosine) في زوايا الإشعاع:

يتم التحكم بنظام (1 + Cosine) في زوايا الإشعاع بمكاملة موجة المصدر المتردد وجمع الموجة الناتجة عن التكامل مع جهد موجب للتخلص من المركبة السالبة، ثم مقارنة الناتج بجهد التحكم في الحلقة المغلقة، أو جهد المرجع في الحلقة المفتوحة، ثم مفاضلة خرج المقارن للحصول على نبضات الإشعاع بعد إزالة المركبة السالبة، وهذا مبين بالشكل (٤ - ٣).

والجدير بالذكر أن العلاقة بين زاوية الإشعاع α وجهد التحكم E_C في هذه الحالة نحصل عليه من المعادلة 4.8:

$$E_C = K_5 (1 + \cos \alpha) \rightarrow 4.8$$

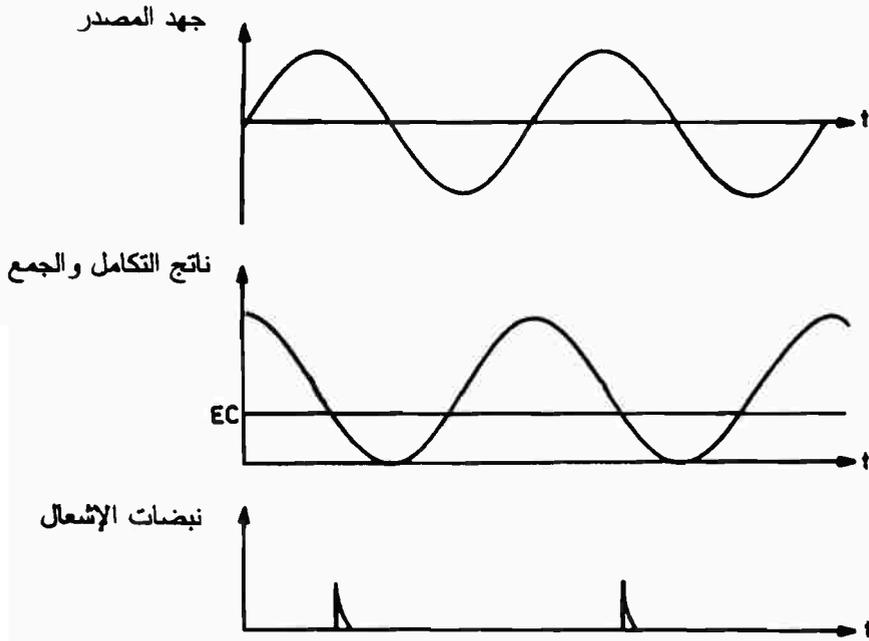
حيث إن K_5 ثابت .

وبقسمة المعادلة 4.2 على المعادلة 4.8 نحصل على المعادلة 4.9:

$$\frac{E_O}{E_C} = \frac{K_2}{K_3} \rightarrow 4.9$$

ويلاحظ من المعادلة 4.9 أن العلاقة بين E_O و E_C علاقة خطية لذلك فإن التحكم بنظام (1 + Cosine) في زوايا الإشعاع يعتبر مثالياً لتطبيقات الحلقة المفتوحة والحلقة

المغلقة للمحولات النصف محكمة.



الشكل (٤ - ٣)

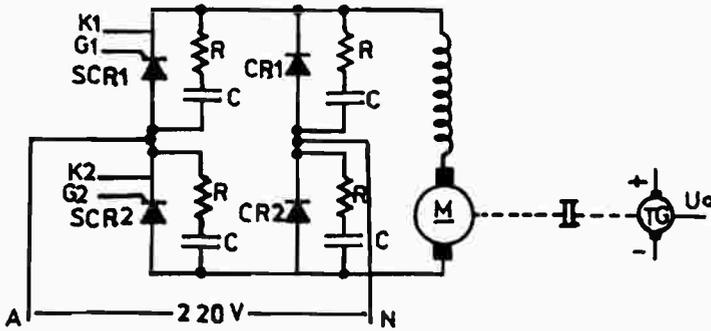
٤ / ٢ - الدوائر العملية للتحكم في محولات التيار المستمر ذات الوجه الواحد:

لقد سبق وأن عرفنا أن محركات التيار المستمر يمكن التحكم في سرعتها إما بالتحكم في جهد أطراف عضو الاستنتاج لتقليل سرعة المحرك عن السرعة المقننة مع ثبات العزم، أو بالتحكم في شدة تيار المجال (توازي - منفصل) لزيادة السرعة مع ثبات القدرة.

وفي هذه الفقرة سنتناول تطبيقات مختلفة للحلقة المغلقة والحلقة المفتوحة للتحكم في سرعة محركات التيار المستمر بمحولات نصف محكمة وبمحولات كاملة.

الدائرة رقم ١ :

الشكل (٤ - ٤) يعرض دائرة القدرة لمحور نصف محكوم للتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر نوع التوالى، وتعمل الدائرة المولفة من R و C كمصيدة Snubber تمنع الاشتعال الذاتى للثايرستور نتيجة لقفزات الجهد التى تحدث فى المصدر الكهربى المتردد، علماً بأن قيم R و C تختار حسب قدرة الثايرستورات المستخدمة .
ويستخدم مولد تاكوله ثابت يساوى 300RPM/V .
والجدير بالذكر أن العناصر التالية CR₂ و SCR₂ و SCR₁ تختار حسب قدرة المحرك .



الشكل (٤ - ٤)

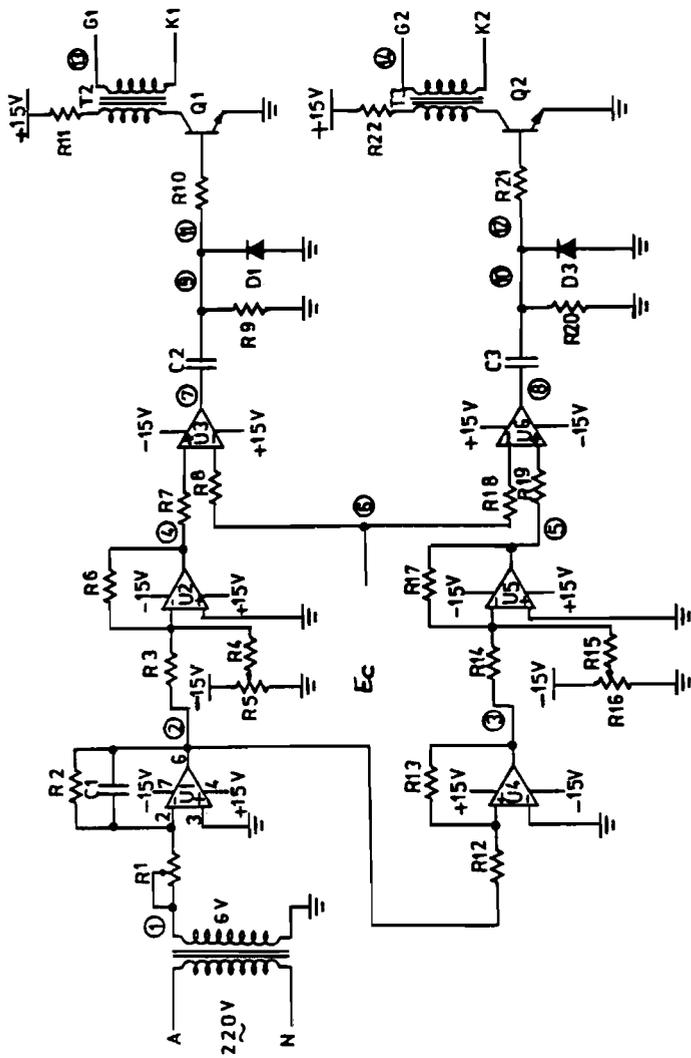
أما الشكل (٤ - ٥) فيبين دائرة إشعال المحول النصف محكوم المبين بالشكل السابق متبعاً نظام التحكم (Cosine + 1) فى زاوية الإشعال .

عناصر دائرة الإشعال :

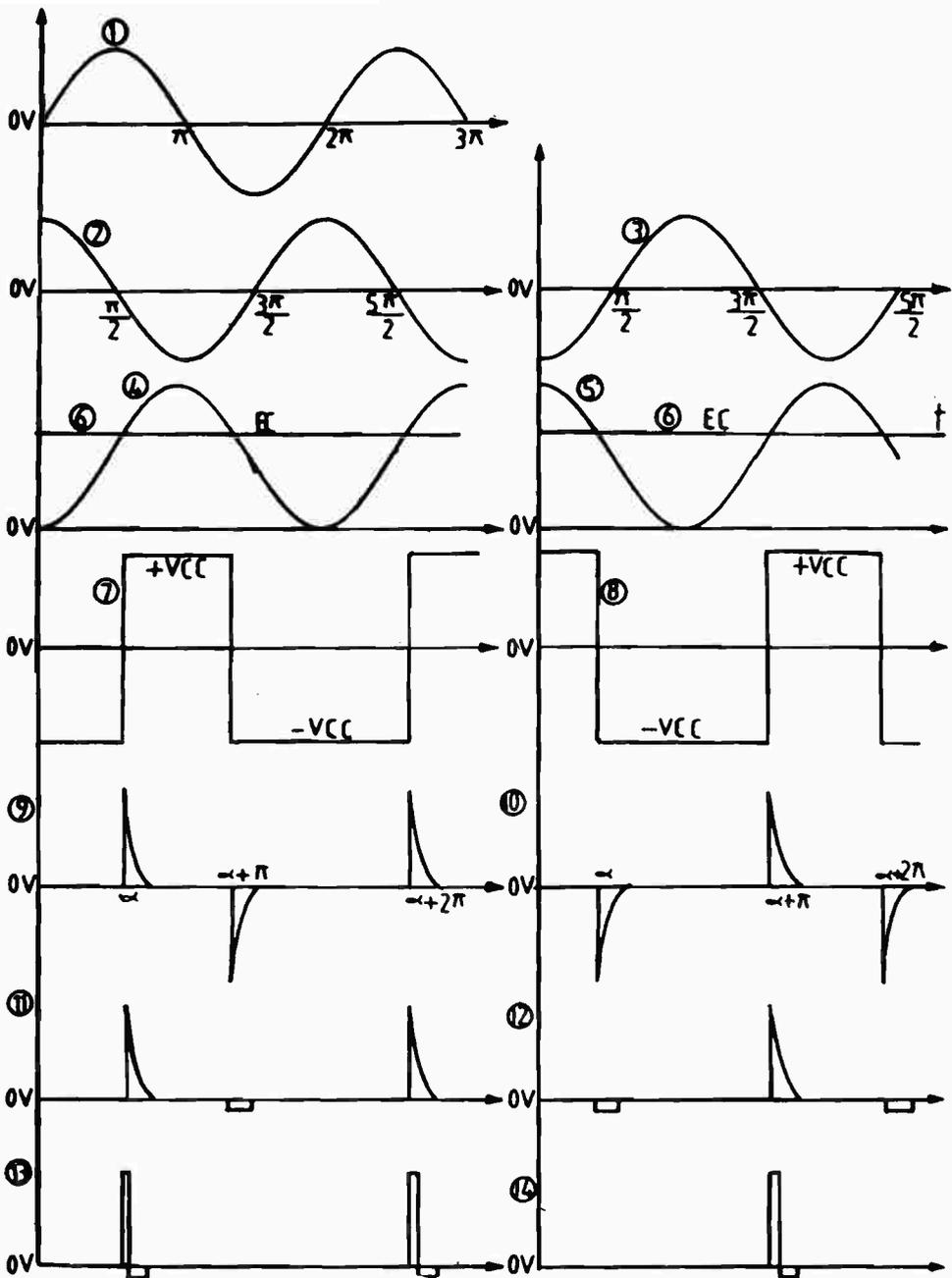
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₂	مقاومة متغيرة 100KΩ	R ₁
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₃	مقاومة كربونية 2MΩ	R ₂
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₄	مقاومة كربونية 10K	R ₃
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₅	مقاومة كربونية 10K	R ₄
مجزئ الجهد 10KΩ	R ₁₆	مجزئ جهد 10KΩ	R ₅
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₇	مقاومة كربونية 10KΩ	R ₆
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₈	مقاومة كربونية 10KΩ	R ₇
مقاومة كربونية 10KΩ	R ₁₉	مقاومة كربونية 10KΩ	R ₈

مقاومة كربونية $2.7K\Omega$	R_{20}	مقاومة كربونية $2.7K\Omega$	R_9
مقاومة كربونية $6.8K\Omega$	R_{21}	مقاومة كربونية $6.8K\Omega$	R_{10}
مقاومة كربونية $2W, 2\Omega$	R_{22}	مقاومة كربونية $2W, 2\Omega$	R_{11}

مكثفات بوليستير سعتها $0.1 \mu F$	C_1, C_2, C_3
ثنائيات سليكونية طراز 1N4001	D_1, D_2, D_3, D_4
ترانزستور NPN طراز BC108B	$Q_1 - Q_6$
مكبرات عمليات طراز 741	$U_1 - U_6$
محول خفض $220/8V$ وسعته 15VA	T_1
محولات نبضات بنسبة 1:1	T_2, T_3
مفتاح قطب واحد سكة واحدة	S_1



الشكل (٤ - ٥)



الشكل (٤ - ٦)

نظرية التشغيل :

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل منسطين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤ - ٦) .

يقوم المحول T_1 بخفض جهد المصدر المتردد من 220/6V ويكون خرج المحول موجة جييبية مطابقة لموجه المصدر المتردد مع اختلاف سعتهما (الموجة 1) ويقوم المكامل U_1 بعمل تكامل لخرج المحول T_1 فيكون خرج المكامل U_1 موجة جييبية تشبه الموجة الخارجة من المحول T_1 مع إزاحة مقدارها $\frac{\pi}{2}$ (الموجة 2) .

أما الجامع U_2 فيعمل على إضافة مركبة جهد ثابتة، نحصل عليها من مجزئ الجهد R_5 لخرج المكامل U_1 ، وذلك من أجل إزالة المركبة السالبة لموجة الجهد الخارجة من U_1 (الموجة 4)، ويعمل المقارن U_3 على مقارنة خرج الجامع U_2 مع جهد التحكم E_C ، فإذا كان جهد التحكم أكبر من E_C يكون خرج المقارن مشبعاً موجباً $+V_{sat}$ والعكس بالعكس؛ وذلك لأن معامل تكبير U_3 يصل إلى 100000 لأنه بدون تغذية مرتدة (الموجة 7) ويقوم المفاضل المؤلف C_2 , R_9 بمفاضلة خرج المقارن U_3 فنحصل على نبضات موجبة وسالبة (الموجة 9) .

أما الثنائي D_1 فيعمل على إزالة النبضات السالبة من خرج المفاضل (الموجة 11)، وتستخدم هذه النبضات في قدح (إشعال) الثايرستور SCR_1 من خلال الترانزستور Q_1 ومحول النبضات T_2 وذلك عند الزوايا:

$$\alpha, (\alpha + 2\pi), (\alpha + 4\pi), (\alpha + 6\pi), \dots$$

أما العاكس U_4 فيقوم بعكس خرج المكامل U_1 (الموجة 3) .

ويقوم الجامع العاكس U_5 بإضافة مركبة جهد ثابتة نحصل عليها من مجزئ الجهد R_{16} لخرج العاكس U_4 لإزالة المركبة السالبة من خرج العاكس (الموجة 5) . بينما يقوم المقارن U_6 بمقارنة خرج الجامع U_5 مع جهد التحكم E_C ، فإذا كان الجهد E_C أكبر من خرج U_5 يصبح خرج المقارن U_6 مشبعاً موجباً والعكس بالعكس (الموجة 8) .

في حين يقوم المفاضل المؤلف من R_{20} و C_3 بمفاضلة خرج المقارن U_6 فنحصل على

نبضات موجبة وسالبة (الموجة 10).

أما الثنائي D_3 فيعمل على إزالة النبضات السالبة من خرج المفاضل (الموجة 12)
وتستخدم هذه النبضات في فتح الثايرستور SCR_2 من خلال الترانزستور Q_2 ومحول
النبضات T_3 عند الزوايا $\alpha + \pi, \alpha + 3\pi, \alpha + 5\pi, \alpha + 7\pi, \dots$
وتعتمد قيمة α على قيمة جهد التحكم القادم من المنظمات في حالة الحلقة
المغلقة أو جهد المرجع في حالة الحلقة المفتوحة.

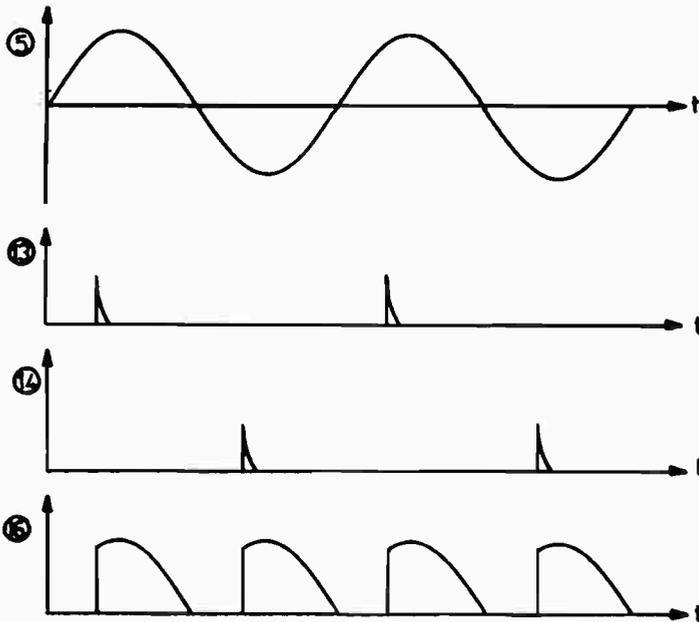
والجددير بالذكر أن القيمة العظمى لجهد التحكم E_C تساوى القيمة العظمى لخرج
المكبر U_5 و U_2 ويتم تحقيق ذلك بواسطة المقاومات المتغيرة $[R_{16}, R_5, R_1]$.
والشكل (٤ - ٧) يعرض شكل موجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة القدرة
للمحرك المستمر نوع التوالى :

فالموجة 15 : لمصدر القدرة المتردد .

13 : لنبضات الإشعال على الجانب الثانوى للمحول T_2 .

14 : لنبضات الإشعال على الجانب الثانوى للمحول T_3 .

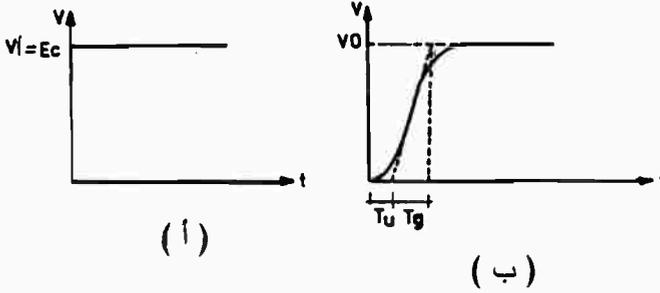
16 : للجهد المسلط على المحرك المستمر .



الشكل (٤ - ٧)

تعيين ثوابت المحرك :

يمكن تعيين ثوابت المحرك بواسطة تثبيت مولد تاكو على عمود المحرك، ثم إدخال قفزة Step على مدخل جهد التحكم E_c فى دائرة الإشعال قيمتها V_i ، ثم بواسطة الراسم X-Y Plotter نسجل خرج مولد التاكو مع الزمن. والشكل (٤ - ٨) يبين العلاقة بين جهد القفزة والزمن (الشكل أ)، والعلاقة بين خرج مولد التاكو مع الزمن (الشكل ب).



الشكل (٤ - ٨)

والجددير بالذكر أنه يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع، فمثلا:
أن يكون ثابت مولد التاكو يساوى 300RPM/V.

وتكون النسبة بين سرعة المحرك وجهد المرجع $300RPM/V = \frac{1500}{5}$.
ثم نعين ثوابت النظام (المحرك الرئيسى) من منحني الخرج للنظام، وهى كالاتى:

أ - زمن السكون (الزمن الميت) (T_u) Dead time.

ب - زمن التعويض (T_g) Compensation time.

ج - معامل التكبير (A_v) Amplification factor.

$$\text{ونحصل عليه من المعادلة: } A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

تعيين ثوابت المنظمات المختلفة المستخدمة في الحلقة المغلقة :

وباستخدام قواعد شن وهرونس وريسوك Chien, Hrones and Reswick يمكن تعيين ثوابت المنظمات في حالة استخدام منظم تناسبي (P) أو منظم تناسبي تكاملي (PI) أو منظم تناسبي تفاضلي تكاملي PID بالاستعانة بالجدول (٤ - ١) .

الجدول (٤ - ١)

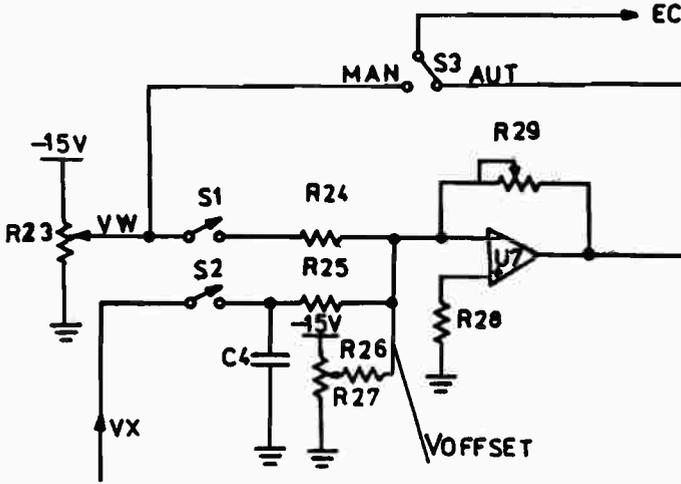
K_p	K_i	K_d	ثابت المنظم نوع المنظم
$\frac{T_g}{T_U \cdot A_V}$	----	----	تناسبي (P)
$\frac{0.95 T_g}{T_U \cdot A_V}$	$\frac{K_p}{3.3 T_U}$	----	تناسبي تكاملي (PI)
$1.2 \frac{T_g}{T_U \cdot A_V}$	$\frac{K_p}{2 T_U}$	$\frac{1}{2} (K_p T_U)$	تناسبي تفاضلي تكاملي (PID)

وبمعرفة قيم K_p, K_i, K_d يمكن تصميم حلقة مغلقة للتحكم في هذا المحرك مستخدماً أحد المنظمات التالية :

- ١ - منظم تناسبي بمعلومية K_p .
- ٢ - منظم تناسبي تكاملي بمعلومية K_p, K_i .
- ٣ - منظم تناسبي تفاضلي بمعلومية K_p, K_i, K_d .

أولاً : المنظم التناسبي :

الشكل (٤ - ٩) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبي .



الشكل (٤ - ٩)

عناصر المنظم التناسبي :

مجزئى جهد $10K\Omega$	R_{23}	مجزئى جهد $10K\Omega$	R_{23}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{24}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{24}
مقاومة متغيرة $10K\Omega$	R_{25}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{25}
	R_{26}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{26}

مكثف سعته $10\mu F$ وجهدده $16V$.	C_4
مفتاح قطب واحد سكة واحد.	S_1, S_2
مفتاح قطب واحد سكتين.	S_3
مكبر عمليات طراز 741.	U_7

نظرية التشغيل :

عند فتح S_2 و S_1 ووضع المفتاح S_3 على الوضع Man نحصل على حلقة مفتوحة للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الاول فقط.

وعند غلق S_2 و S_1 ووضع المفتاح S_3 على وضع Aut نحصل على حلقة مغلقة بمنظم تناسبي للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الاول فقط .

ويعمل المكبر U_7 كمكبر جامع عاكس، ويؤدى وظيفة منظم تناسبي ومقارن فى نفس الوقت، وخرجه يساوى :

$$V_{O7} = - K_p (V_X - V_W - V_{offset})$$

حيث إن :

V_{O7} خرج المكبر U_7 .

V_W جهد المرجع الذى يقابل السرعة المطلوبة، ونحصل عليه من المجزئ R_{23} .

V_X جهد التاكو المقابل لسرعة المحرك الفعلية ونحصل عليه من الطرف الموجب للتاكو . . مع توصيل الطرف السالب للتاكو بالأرضى، ويتم ترشيح خرج مولد التاكو بالمكثف C_4 .

V_{offset} هو جهد يعمل على استمرار وجود خرج للمنظم التناسبي عندما يصبح جهد الخطأ $V_e = (V_W - V_X)$ مساوياً للصفر .

K_p هو ثابت الحاكم التناسبي ويساوى النسبة

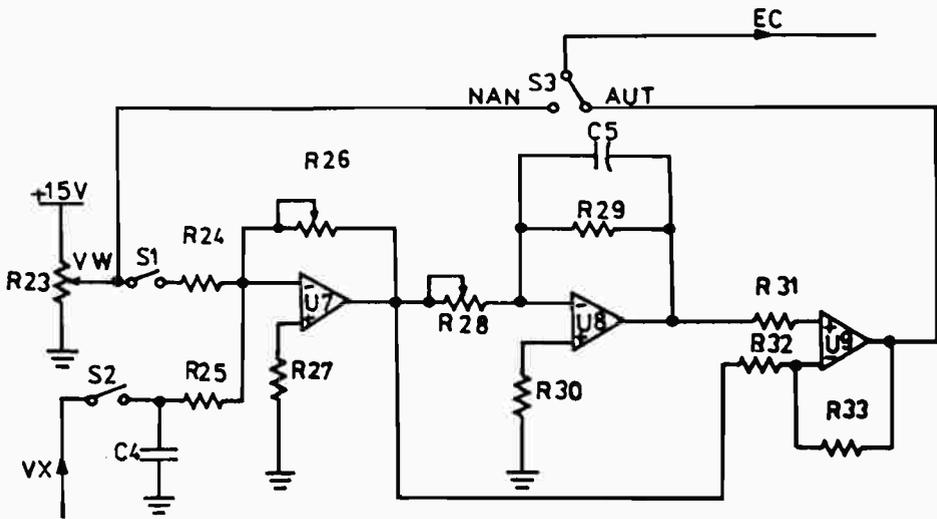
$$\frac{R_{29}}{R_{24}} = \frac{R_{29}}{10K\Omega}$$

وخرج المنظم التناسبي يمثل جهد التحكم E_C . وعادة تضبط V_{offset} بحيث تصبح سرعة المحرك عند انعدام الخطأ مساوياً 60% من السرعة المطلوبة للمحرك، فإذا كانت سرعة المحرك المطلوبة 1500 RPM عند جهد مرجع 5V فإن جهد $offset$ يساوى :

$$V_{offset} = 0.6 * 5 = + 3V$$

ثانياً : المنظم التناسبي التكاملى :

الشكل (٤ - ١٠) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبي التكاملى .



الشكل (٤ - ١٠)

عناصر المنظم التناسبي التكاملي :

مقاومة كربونية $2M\Omega$	R_{23}	مجزئ جهد $10K\Omega$	R_{23}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{24}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{24}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{25}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{25}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{26}	مقاومة متغيرة $10K\Omega$	R_{26}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{27}	مقاومة كربونية $4.7K\Omega$	R_{27}
		مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{28}

مكثف سعته $10\mu F$ وجهده $16V$.	C_4
مكبرات عمليات 741.	U_7, U_8, U_9
مفاتيح قطب واحد سكة واحدة.	S_1, S_2
مفتاح قطب واحد سكتين.	S_3

نظرية التشغيل :

عند فتح S_2 و S_1 ووضع المفتاح S_3 على الوضع Man نحصل على حلقة مفتوحة.

وعند غلق S_2 و S_1 ووضع المفتاح على الوضع Aut نحصل على حلقة مغلقة.
ويعمل المكبر U_7 كمكبر جامع ويؤدي وظيفة منظم تناسبي ومقارن في نفس الوقت وخرجه يساوى:

$$V_{O7} = +K_p (V_W - V_X)$$

$$\frac{R_{26}}{R_{24}} = \frac{R_{26}}{10K\Omega} \text{ حيث إن } K_p \text{ ثابت المنظم التناسبي يساوى:}$$

ويعمل المكبر U_8 كمكامل، ويتم التحكم فى ثابت المكامل K_1 بواسطة المقاومة R_{28} ، علماً بأن قيمة K_1 المحسوبة من قواعد شن وهرونس وريسوك تساوى:

$$K_1 = K_p / R_{28} C_5$$

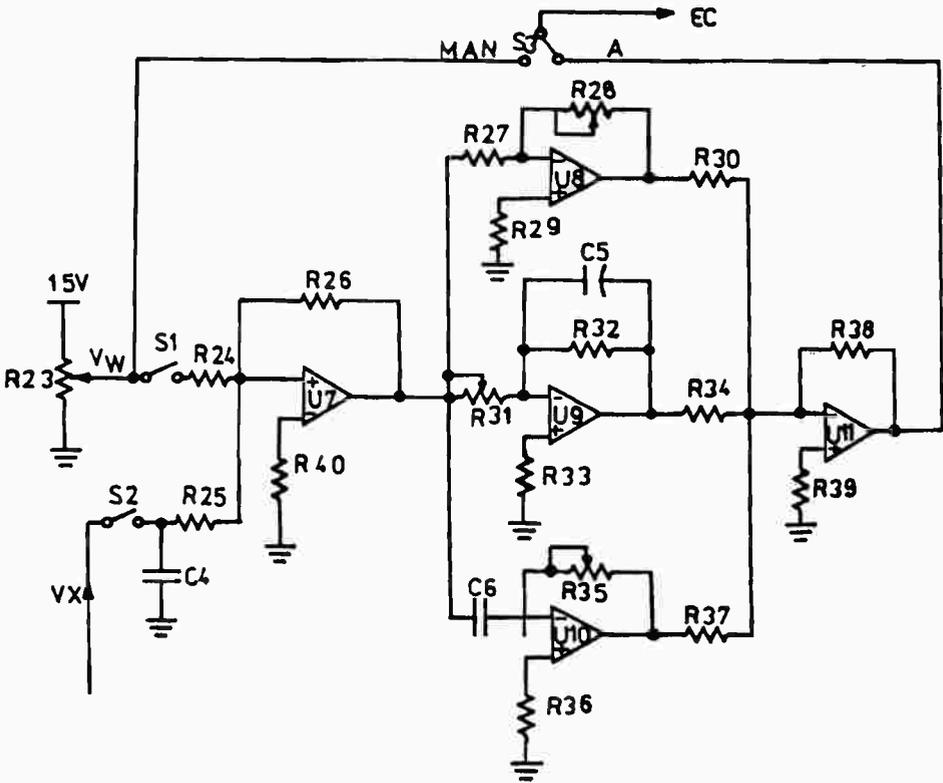
وذلك لأن خرج المنظم التناسبي يمثل دخل المنظم التكاملى.
ويعمل المكبر U_9 كمكبر فرقى، حيث يكون خرجه مساوياً خرج المنظم التكاملى مطروحاً منه خرج المنظم التناسبي. وخرج المكبر U_9 يمثل جهد التحكم E_C .
ثالثاً: المنظم التناسبي التكاملى التفاضلى:

الشكل (٤ - ١١) يبين الدائرة الإلكترونية للمنظم التناسبي التكاملى التفاضلى.

عناصر المنظم التناسبي التكاملى التفاضلى:

مقاومة كربونية $2M\Omega$	R_{32}	مجزئ جهد $10K\Omega$	R_{23}
مقاومة كربونية $100K\Omega$	R_{33}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{24}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{34}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{25}
مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{35}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{26}
مقاومة كربونية $100K\Omega$	R_{36}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{27}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{37}	مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{28}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{38}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{29}
مقاومة كربونية $4.7K\Omega$	R_{39}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{30}
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{40}	مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{31}

- | | |
|--|---------------|
| مكثف سعته $10 \mu F$ وجهده $16V$. | C_4 |
| مكثف كيميائي سعته $0.47 \mu F$ وجهده $16V$. | C_5, C_6 |
| مكبرات عمليات طراز 741. | U_7, U_{11} |
| مفاتيح قطب واحد سكة واحدة. | S_1, S_2 |
| مفتاح قطب واحد سكتين. | S_3 |



الشكل (٤ - ١١)

نظرية التشغيل:

عند وضع المفتاح S_3 على وضع MAN وفتح المفاتيح S_1 و S_2 نحصل على حلقة مفتوحة.

وعند وضع المفتاح S_3 على وضع Aut وغلقت المفاتيح S_2 و S_1 نحصل على حلقة مغلقة.

ويعمل المكبر U_7 كجامع عاكس وهو يمثل المقارن، وخرجه يساوي:

$$V_{O7} = (V_W - V_X)$$

ويعمل المكبر U_8 كمكبر عاكس وهو يمثل المنظم التناسبي، وثابتة يساوي:

$$K_p = \frac{R_{28}}{R_{27}}$$

ويعمل المكبر U_9 كمكامل وهو يمثل المنظم التكامل، وثابتة يساوي:

$$K_i = 1/R_{31} C_5$$

ويعمل المكبر U_{10} كمفاضل وهو يمثل المنظم التفاضلي، وثابتة يساوي:

$$K_D = R_{35} C_6$$

ويعمل U_{11} كجامع عاكس يجمع خرج المنظمات الثلاثة، وخرج هذا الجامع العاكس يمثل جهد التحكم E_C .

والشكل (٤ - ١٢) يعرض المخطط الصندوقي للحلقة المفتوحة، وهي تتكون من دائرة الإشعال والمحول النصف محكوم والمحرك.

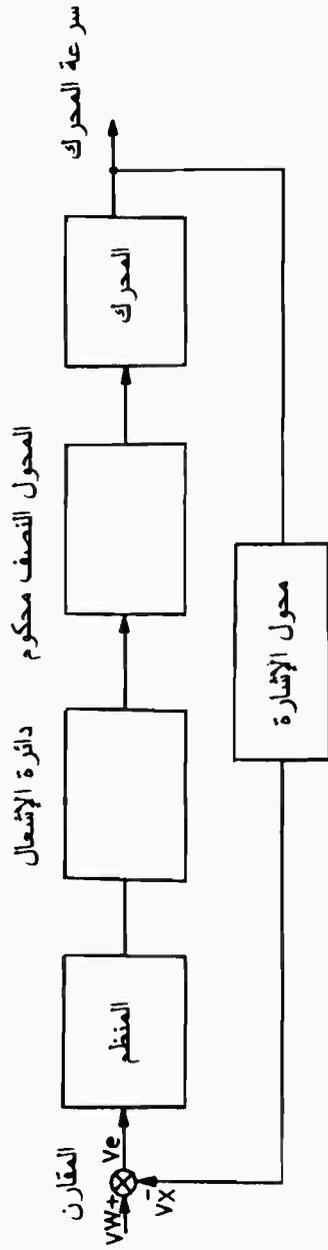


الشكل (٤ - ١٢)

أما الشكل (٤ - ١٣) فيعرض المخطط الصندوقي للحلقة المغلقة، وهي تتكون من منظم (تناسبي أو تناسبي تكاملي أو تناسبي تكاملي تفاضلي) ودائرة إشعال والمحول النصف محكوم والمحرك ومولد التاكو.

ملاحظة :-

للحصول على جهد أساس يتراوح ما بين (0:-5V) في الأشكال (٤ - ٩)، (٤ - ١٠)، (٤ - ١١) توصل مقاومة ثابتة $20K\Omega$ بالتوالي مع مجزئ الجهد R_{23} من جهة الجهد -15V.



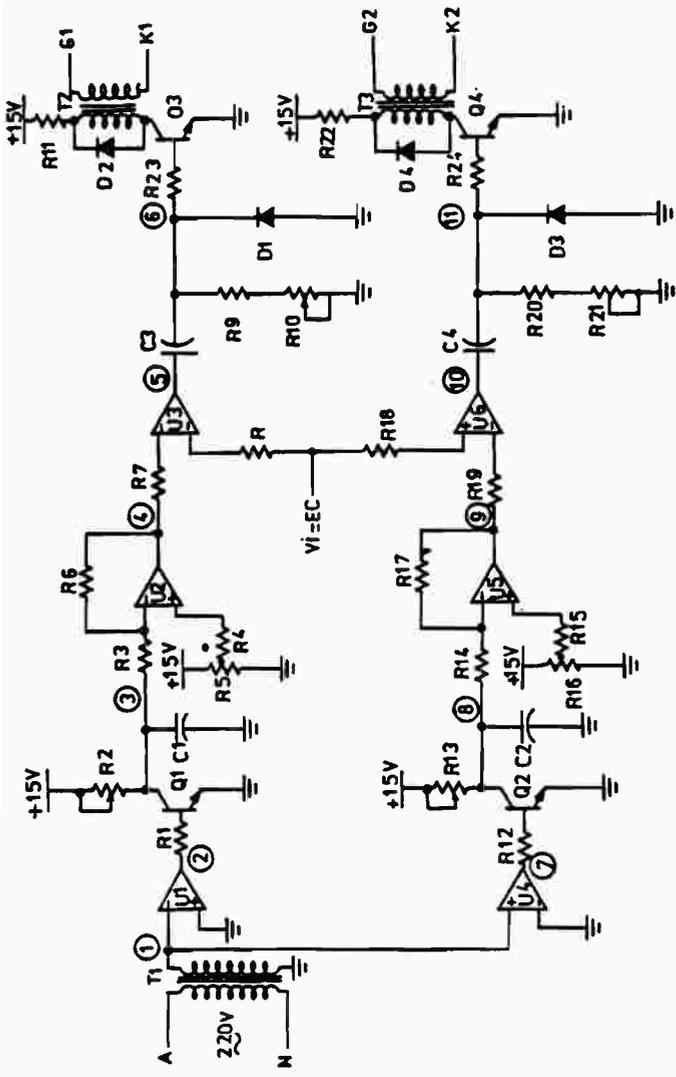
الشكل (٤-١٣)

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٤ - ١٤) يعرض دائرة الإشعال بنظام التحكم الخطى Linear لدائرة القدرة للمحول النصف محكوم المبينة بالشكل (٤ - ٤) .

عناصر دائرة الإشعال :

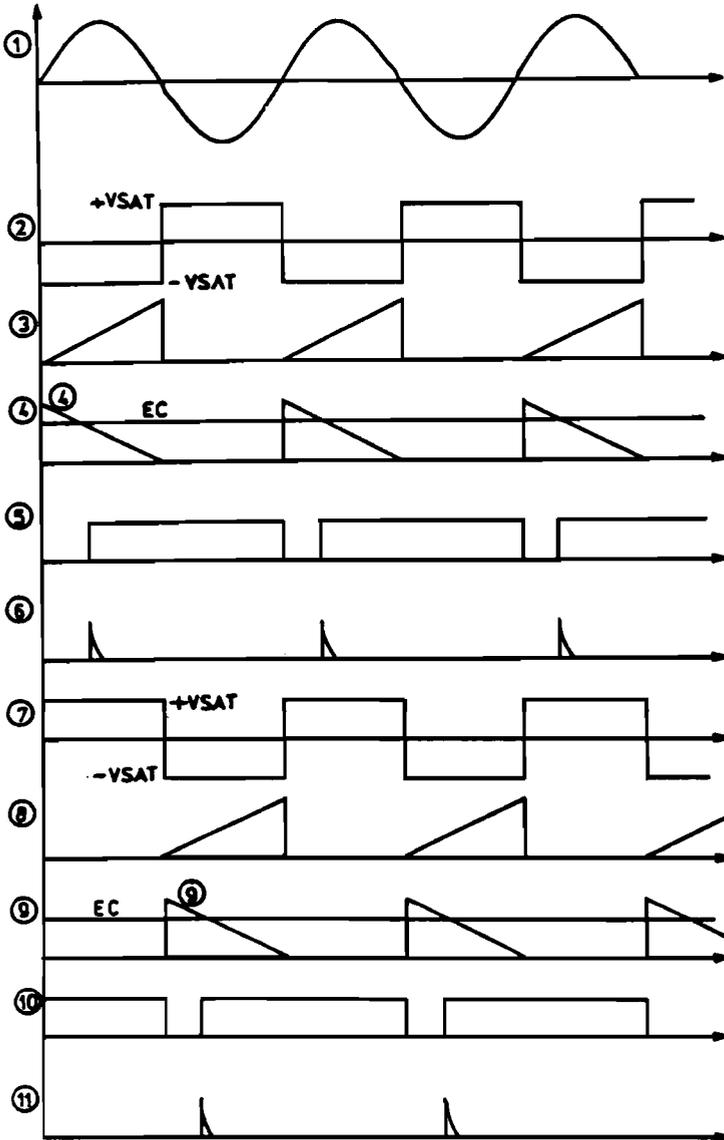
مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{13}	مقاومة كربونية $1K\Omega$	R_1
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{14}	مقاومة كربونية $1K\Omega$	R_2
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{15}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_3
مقاومة متغيرة $100K\Omega$	R_{16}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_4
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{17}	مجزئ جهد $10K\Omega$	R_5
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{18}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_6
مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_{19}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_7
مقاومة كربونية $1K\Omega$	R_{20}	مقاومة كربونية $10K\Omega$	R_8
مقاومة متغيرة $50K\Omega$	R_{21}	مقاومة كربونية $1K\Omega$	R_9
مقاومة كربونية $2W, 2\Omega$	R_{22}	مقاومة متغيرة $50K\Omega$	R_{10}
مقاومة كربونية $6.8K\Omega$	R_{23}	مقاومة كربونية $2W, 2\Omega$	R_{11}
مقاومة كربونية $6.8K\Omega$	R_{24}	مقاومة كربونية $1K\Omega$	R_{12}
مكثفات كيميائية سعتها $0.1 \mu F$ وجهدها $16V$.		C_1, C_2	
مكثفات كيميائية سعتها $0.5 \mu F$ وجهدها $16V$ + .		C_3, C_4	
ترانزستورات NPN طراز 2N 3904 .		Q_1, Q_2	
ترانزستورات NPN طراز BC108B .		Q_3, Q_4	
مكبرات عمليات طراز 741 .		$U_1 - U_6$	
محول خفض $220/6V$ وسعته $15VA$.		T_1	
محولات نبضات بنسبة تحويل 1:1 .		T_2, T_3	



الشكل (٤ - ١٤)

نظرية التشغيل :

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (١٥-٤).



الشكل (١٥-٤)

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة إلى ثلاثة عشرة مرحلة وهي كما يلي :

- ١- تخفيض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 (الموجة 1) .
- ٢- مقارنة الجهد عند النقطة 1 بالصفري بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2) .
- ٣- إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذي يتألف من C_1 , R_2 أثناء النصف السالب لموجة المصدر بواسطة الترانزستور Q_1 لتحويله لحالة الوصل (الموجة 3) .
- ٤- تغيير شكل النبضات المثلثة بواسطة المكبر الفرقى U_2 (الموجة 4) .
- ٥- مقارنة خرج المكبر الفرقى U_2 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_3 (الموجة 5) .
- ٦- مفاضلة خرج المقارن U_3 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3 , R_9 , R_{10} وإزالة المركبة السالبة الناتجة عن التفاضل وتحديد قيمتها بواسطة الثنائى D_1 (الموجة 6) .
- ٧- مقارنة الجهد عند النقطة 1 بالصفري بواسطة المكبر U_4 (الموجة 7) .
- ٨- إيقاف مولد النبضات المثلثة Ramp والذي يتألف من C_2 , R_{13} أثناء النصف الموجب لموجة المصدر بواسطة الترانزستور Q_2 لتحويله لحالة الوصل (الموجة 8) .
- ٩- تغيير شكل النبضات المثلثة بواسطة المكبر الفرقى U_5 (الموجة 9) .
- ١٠- مقارنة خرج المكبر الفرقى U_5 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_6 (الموجة 10) .
- ١١- مفاضلة خرج المقارن U_6 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_4 , R_{20} , R_{21} , وإزالة المركبة السالبة وتحديد قيمتها بواسطة D_3 (الموجة 11) .

١٢- نقل نبضات إشعال الثايرستور SCR_1 من النقطة 6 بواسطة الترانزستور Q_3 عبر محول النبضات T_2 .

١٣- نقل نبضات إشعال الثايرستور SCR_2 من النقطة 11 بواسطة الترانزستور Q_4 عبر محول النبضات T_3 .

والجدير بالذكر أنه يمكن استخدام المنظم التناسبي المبين بالشكل (٤-٩)، أو المنظم التناسبي التكاملي المبين بالشكل (٤-١٠) أو المنظم التناسبي التكاملي التفاضلي المبين بالشكل (٤-١١) للحصول على حلقة مغلقة.

ملاحظات :

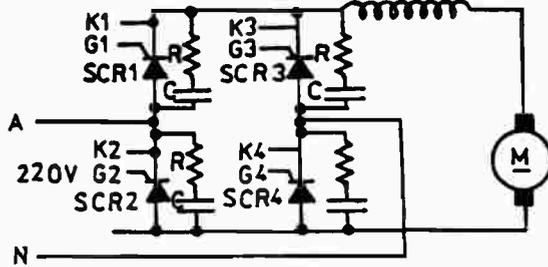
١- يمكن ضبط أقصى سعة للموجات المثالثة Ramp بواسطة المقاومات المتغيرة R_2, R_4 ، بحيث تصبح مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم الأقصى E_C القادم من المنظم فى حالة الحلقة المغلقة أو مساوية للقيمة العظمى لجهد المرجع فى حالة استخدام حلقة مفتوحة.

٢- يمكن التحكم فى زمن نبضات إشعال الثايرستور SCR_1 بواسطة المقاومة المتغيرة R_{10} والتحكم فى زمن نبضات إشعال الثايرستور SCR_2 بواسطة المقاومة R_{21} .

٣- يعمل الثنائى D_2 على حماية الترانزستور Q_3 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من الملف الابتدائى للمحول T_2 عند تحول الترانزستور لحالة القطع بفعل الحث. ويعمل الثنائى D_4 على حماية الترانزستور Q_4 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من الملف الابتدائى للمحول T_3 عند تحول الترانزستور لحالة القطع بفعل الحث أيضاً.

٤- يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع.

الشكل (٤-١٦) يعرض دائرة القدرة لمحول تحكم كامل Full Converter للتحكم في سرعة محرك تيار مستمر يعمل في الربع الاول والثانى .



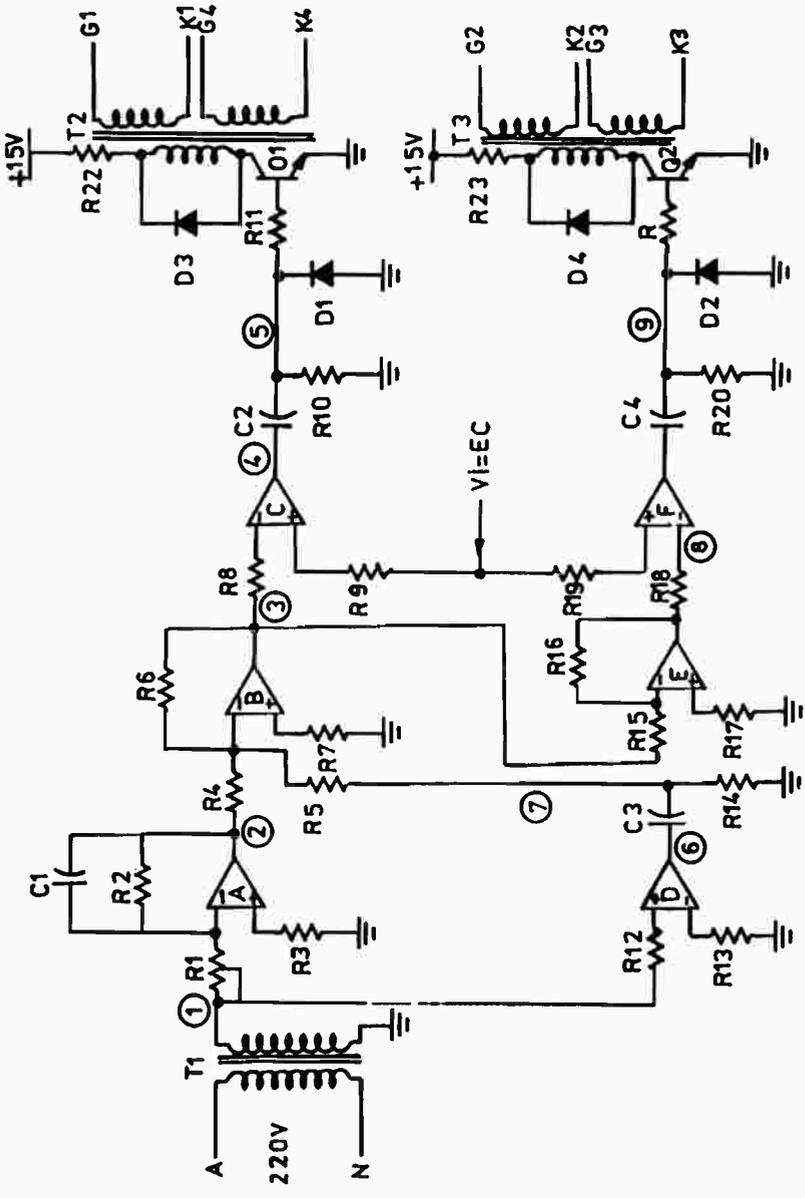
الشكل (٤-١٦)

والجدير بالذكر أن $SCR_1 - SCR_4$ يختار حسب قدرة المحرك، علماً بأن الدائرة المؤلف من المقاومة R والمكثف C تعمل كمصيدة Snubber تمنع الاشتعال الذاتي للثايرستورات نتيجة لقفزات جهد المصدر. والشكل (٤-١٧) يعرض دائرة الإشعال المستخدمة لهذا المحول بنظام التحكم (Cosine) في زاوية الإشعال.

عناصر دائرة الإشعال :

10K Ω	مقاومة كربونية	R_{13}	100K Ω	مقاومة متغيرة	R_1
1k Ω	مقاومة كربونية	R_{14}	2M Ω	مقاومة كربونية	R_2
10 k Ω	مقاومة كربونية	R_{15}	100K Ω	مقاومة كربونية	R_3
10 k Ω	مقاومة كربونية	R_{16}	10 k Ω	مقاومة كربونية	R_4
4.7 k Ω	مقاومة كربونية	R_{17}	10 k Ω	مقاومة كربونية	R_5
10 k Ω	مقاومة كربونية	R_{18}	10 k Ω	مقاومة كربونية	R_6
10 k Ω	مقاومة كربونية	R_{19}	3.3 k Ω	مقاومة كربونية	R_7
2.7 k Ω	مقاومة كربونية	R_{20}	10 k Ω	مقاومة كربونية	R_8
6.8 k Ω	مقاومة كربونية	R_{21}	10 k Ω	مقاومة كربونية	R_9
2W, 2 Ω	مقاومة كربونية	R_{22}	2.7 K Ω	مقاومة كربونية	R_{10}
2W, 2 Ω	مقاومة كربونية	R_{23}	6.8 k Ω	مقاومة كربونية	R_{11}
			10 k Ω	مقاومة كربونية	R_{12}

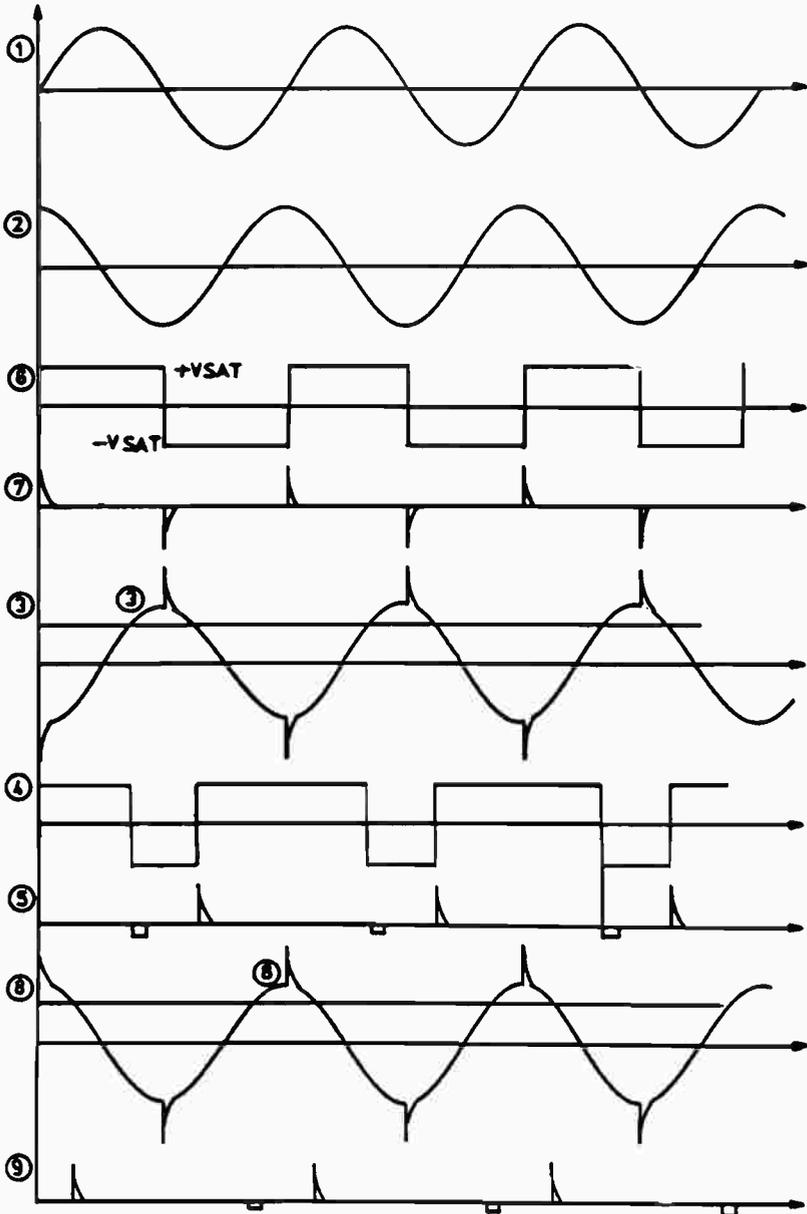
مكثفات كيميائية سعتها $0.1 \mu F$ وجهدها 15V	$C_1 - C_4$
ثنائيات سليكونية طراز 1N4001	$D_1 - D_4$
ترانزستورات NPN طراز BC108B	Q_1, Q_2
مكبرات عمليات 741	A-F
محول 220/6V سعته 15VA	T_1
محولات نبضات بنسبة 1:1	T_2, T_3



الشكل (٤-١٧)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (١٨-٤)، لاستيعاب نظرية تشغيل دائرة الإشعال .



الشكل (١٨-٤)

كما يمكن تقسيم دائرة الإشعال إلى إثنى عشرة مرحلة كما يلي :

- ١- خفض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 ليصبح جهد الثانوى 6V (الموجة 1) .
 - ٢- إجراء تكامل لخرج المحول T_1 بواسطة المكبر A (الموجة 2) .
 - ٣- مقارنة خرج المحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر D (الموجة 6) .
 - ٤- مفاضلة خرج المكبر D بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{14}, C_3 (الموجة 7) .
 - ٥- جمع مع عكس خرج المكبر A وخرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{14}, C_3 بواسطة المكبر B (الموجة 3) .
 - ٦- مقارنة خرج المكبر A بجهد التحكم E_C بواسطة المكبر C (الموجة 4) .
 - ٧- مفاضلة خرج المكبر C بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2, R_{10} (الموجة 5) .
 - ٨- إزالة النبضات السالبة من خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{10}, C_2 بواسطة D_1 الموجة 6، واستخدام هذه النبضات فى إشعال النايرستور SCR_1, SCR_4 عبر محولات النبضات T_2 وكذلك الترانزستور Q_1 .
 - ٩- عكس خرج الجامع العاكس (المكبر B) بواسطة المكبر E (الموجة 8) .
 - ١٠- مقارنة خرج العاكس E بجهد التحكم E_C بواسطة المكبر F (الموجة 9) .
 - ١١- مفاضلة خرج المقارن F بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_4, R_{20} الموجة 10 .
 - ١٢- إزالة النبضات السالبة من خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{20}, C_4 بواسطة الثنائى D_2 (الموجه 11) واستخدام هذه النبضات فى إشعال الثايرستورات SCR_2, SCR_3 عبر محول النبضات T_3 والترانزستور Q_2 .
- والجددير بالذكر أنه يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1 .

ملاحظات :

- ١- يجب ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر A بواسطة المقاومة المتغيرة R_1 ، بحيث تصبح مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم E_C القادم من المنظم فى حالة استخدام حلقة مغلقة، أو يساوى القيمة العظمى لجهد المرجع فى

حالة استخدام حلقة مفتوحة .

٢- يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجة) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع المقابل .

٣- يعمل الثنائى D_3 على حماية الترانزستور Q_1 وكذلك يعمل الثنائى D_4 على حماية الترانزستور Q_2 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من محولات النبضات عند فصل هذه الترانزستورات . T_2, T_3

٤- يتم جمع نبضات المفاضل المؤلف من C_3, R_{14} مع خرج المكامل A من اجل الوصول لاستقرار النظام (المحرك) عندما تكون زوايا الإشعال مساوية 180° أو 0 ، وذلك لأن مكبرات العمليات المستخدمة ليست مثالية بمعنى أنه من المحتمل أن يصبح جهد المرجع مساويا للقيمة العظمى لخرج أحد المكبرين B, E دون الآخر عند زوايا إشعال تساوى 180° أو 0 ، ويؤدى ذلك وصول نبضات الإشعال لزوج من الثايرستورات وانقطاعها عن الزوج الآخر، وهذا يؤدى إلى حدوث اهتزاز عنيف فى المحرك نتيجة لعدم اتزانه .

٥- عندما تكون زاوية الإشعال α أصغر من 90° يدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة فى حين يفرمل المحرك .

الدائرة رقم 4 :

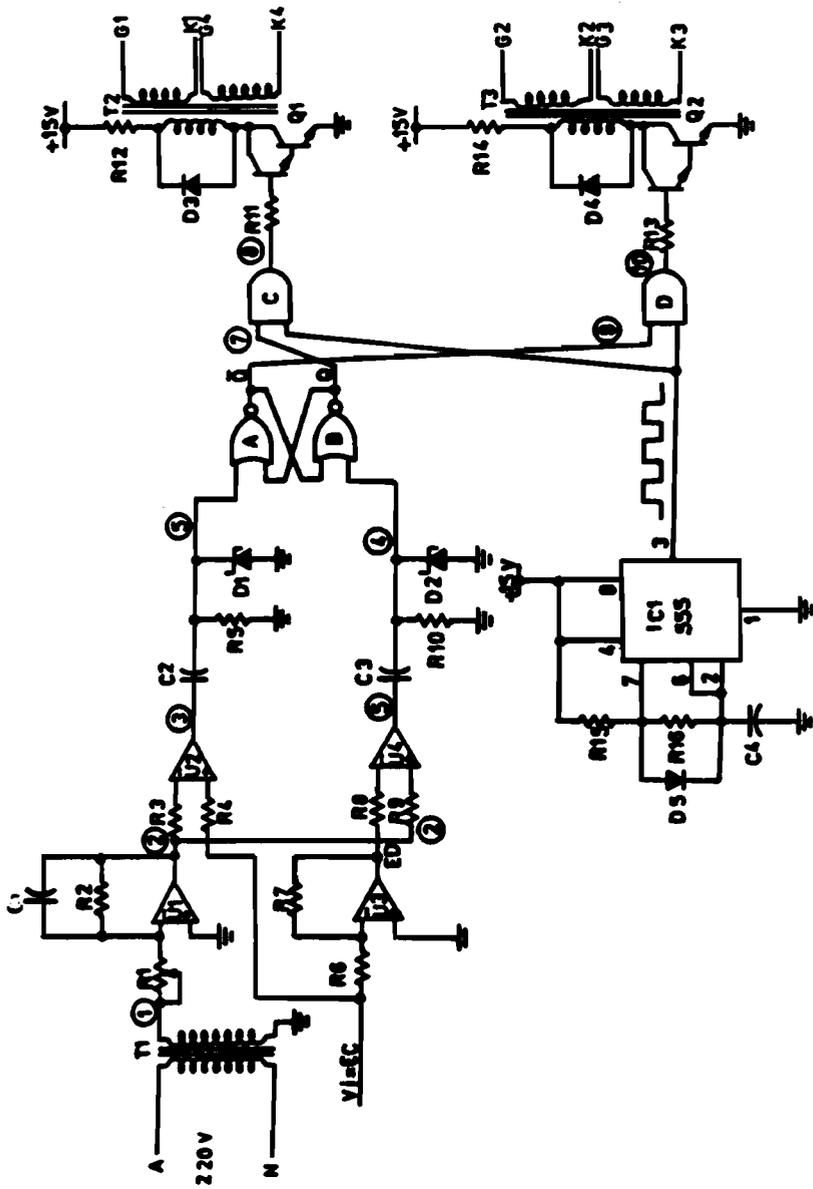
الشكل (٤-١٩) يعرض دائرة إشعال أخرى لمحول التحكم الكامل، المبين بالشكل (٤-١٦) بنظام التحكم Cosine فى زاوية الإشعال α .

عناصر دائرة الإشعال :

$100K\Omega$	مقاومة متغيرة	R_1	$47 K\Omega$	مقاومة كربونية	R_5
$10.2 M\Omega$	مقاومة كربونية	R_2	$10 k\Omega$	مقاومة كربونية	R_6
$10 K\Omega$	مقاومة كربونية	R_3	$10 k\Omega$	مقاومة كربونية	R_7
$10 k\Omega$	مقاومة كربونية	R_4	$10 k\Omega$	مقاومة كربونية	R_8

5 k Ω	مقاومة كربونية R ₁₃	10 k Ω	مقاومة كربونية R ₉
100 Ω	مقاومة كربونية R ₁₄	47 k Ω	مقاومة كربونية R ₁₀
66 k Ω	مقاومة كربونية R ₁₅	5 k Ω	مقاومة كربونية R ₁₁
80 k Ω	مقاومة كربونية R ₁₆	100 Ω	مقاومة كربونية R ₁₂

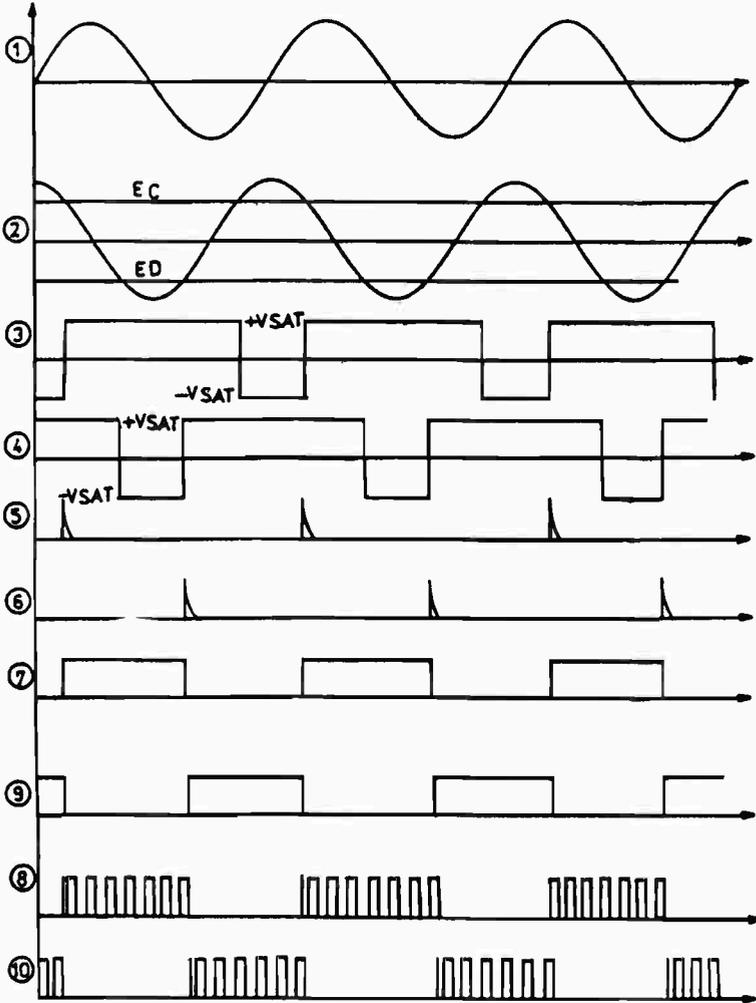
مكثفات كيميائية سعتها 0.1 μ f وجهدها 16V	C ₁ , C ₂ , C ₃
مكثف كيميائي سعته 0.0 1 μ f وجهده 16V	C ₄
ثنائيات زينر طراز 1N 4732	D ₁ , D ₂
ثنائيات سليكونية طراز 1N 4001	D ₃ , E ₄
ترانزستورات دار لنجتون NPN طراز TIP112 .	Q ₁ , Q ₂
مكبرات عمليات 741	U ₁ - U ₄
دائرة متكاملة تحتوي على أربع بوابات NOR طراز 4001	A, B
دائرة متكاملة تحتوي على أربع بوابات OR طراز 4071	C, D
محول خفض 220/6V سعته 15VA	T ₁
محول نبضات بنسبة تحويل 1:1 .	T ₂ , T ₃



الشكل (٤-١٩)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٤-٢٠)، لاستيعاب نظرية دائرة الإشعال.



الشكل (٤-٢٠)

ويمكن تقسيم دائرة الإشعال ثمانية مراحل وهى كما يلى :

- ١- خفض جهد المصدر المتردد من 220V إلى 6V بواسطة المحول T_1 (الموجة 1).
- ٢- إجراء تكامل مخرج المحول T_1 بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2).
- ٣- مقارنة خرج المكامل U_1 مع جهد التحكم E_C بواسطة المكبر U_2 (الموجة 3).
- ٤ - مفاضلة خرج المكبر U_2 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2, R_5 ، وإزالة المركبة السالبة وتحديد قيمتها بواسطة ثنائى الزينر D_1 (الموجة 4).
- ٥- عكس جهد التحكم E_C بواسطة المكبر U_3 ليصبح مساوياً $E_D = -E_C$.
- ٦- مقارنة جهد التحكم المعكوس $-E_C$ مع خرج المكامل U_1 بواسطة المكبر U_4 (الموجة 5).
- ٧- مفاضلة خرج المقارن U_4 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3, R_{13} ، وإزالة المركبة السالبة وتحديد جهدها بواسطة ثنائى الزينر D_2 (الموجة 6).
- ٨- استخدام النبضات الموجودة عند النقاط 6 و4 فى التحكم فى القلاب RS المؤلف من البواتين A, B، فعندما يكون خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_2, R_5 تصبح حالة المخرج Q للقلاب عالية، فتمر الذبذبات المتولدة من المذبذب اللامستقر المؤلف من المؤقت 555 والتي ترددها يساوى:

$$F = \frac{1.46}{C_4 (R_{15} + R_{16})} = 1000 \text{ HZ}$$

ومعامل دورة الخدمة لهذه الذبذبات DUTY Cycle يساوى:

$$\text{DC \%} = \frac{R_{15}}{R_{15} + R_{16}} = 0.41$$

لتصل إلى قاعدة الترانزستور Q_1 ومن ثم تنتقل هذه النبضات إلى الملف الثانوى للمحول T_2 فيشتعل كلاً من SCR_1, SCR_4 (الموجة 7) و (الموجة 8).

ويتكرر نفس الكلام السابق عندما يكون خرج الدائرة التفاضلية المؤلفة من C_3, R_{13} عالياً، حيث يصبح \bar{Q} للقلاب المؤلف من البوابتين A, B عالياً أيضاً، فتمر النبضات المتولدة من المذبذب اللا مستقر المؤلف من المؤقت 555 عبر البوابة D لقاعدة الترانزستور Q_2 ، ومن ثم تنتقل هذه النبضات إلى الملف الثانوى لمحول النبضات T_3 فيشتعل كل من SCR_2, SCR_3 ، وهذا موضح (بالموجة 9) و (الموجة 10).

وتمتاز هذه الدائرة بعدم حدوث فشل فى إشعال الثايرستورات، حيث يحدث أحياناً فشل فى إشعال الثايرستورات مع الأحمال الديناميكية مثل المحركات الكهربائية، ولكن فى هذه الدائرة يتم قدح الثايرستورات بسلسلة من النبضات المتتالية حتى يتحقق الإشعال.

ملاحظات:

١- يتم ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر U_1 بواسطة R_1 ، بحيث تصبح القيمة العظمى لها مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم.

٢- عند زاوية إشعال α أصغر من 90° يدور المحرك جهة عقارب الساعة، وعندما تكون زاوية الإشعال α أكبر من 90° يتفرمل المحرك لانعكاس قطبية الجهد على أطرافه مع استمرار التيار فى نفس الاتجاه.

٣- يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1.

الدائرة رقم 5:

الشكل (٤-٢١) يعرض دائرة إشعال أخرى لمحول التحكم الكامل، المبين بالشكل (٤-١٦)، بنظام التحكم Cosine فى زاوية الإشعال α .

عناصر دائرة الإشعال :

1kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₂	100 kΩ	مقاومة متغيرة	R ₁
2W, 2Ω	مقاومة كربونية	R ₁₃	10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₂
100 kΩ	مقاومة صغيرة	R ₁₄	100 kΩ	مقاومة كربونية	R ₃
10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₅	10 kΩ	مجزئ جهد	R ₄
10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₆	10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₅
10 kΩ	مجزئ جهد	R ₁₇	10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₆
10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₈	10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₇
10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₉	2.7kΩ	مقاومة كربونية	R ₈
10 kΩ	مقاومة كربونية	R ₂₀	6.8kΩ	مقاومة كربونية	R ₉
2.7kΩ	مقاومة كربونية	R ₂₁	2W, 2Ω	مقاومة كربونية	R ₁₀
6.8kΩ	مقاومة كربونية	R ₂₂	1 kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₁

مكثفات كيميائية سعتها 0.1μf وجهدها 20V C₁ - C₄

ثنائيات سليكونية طراز 1N4001 D₁ - D₄

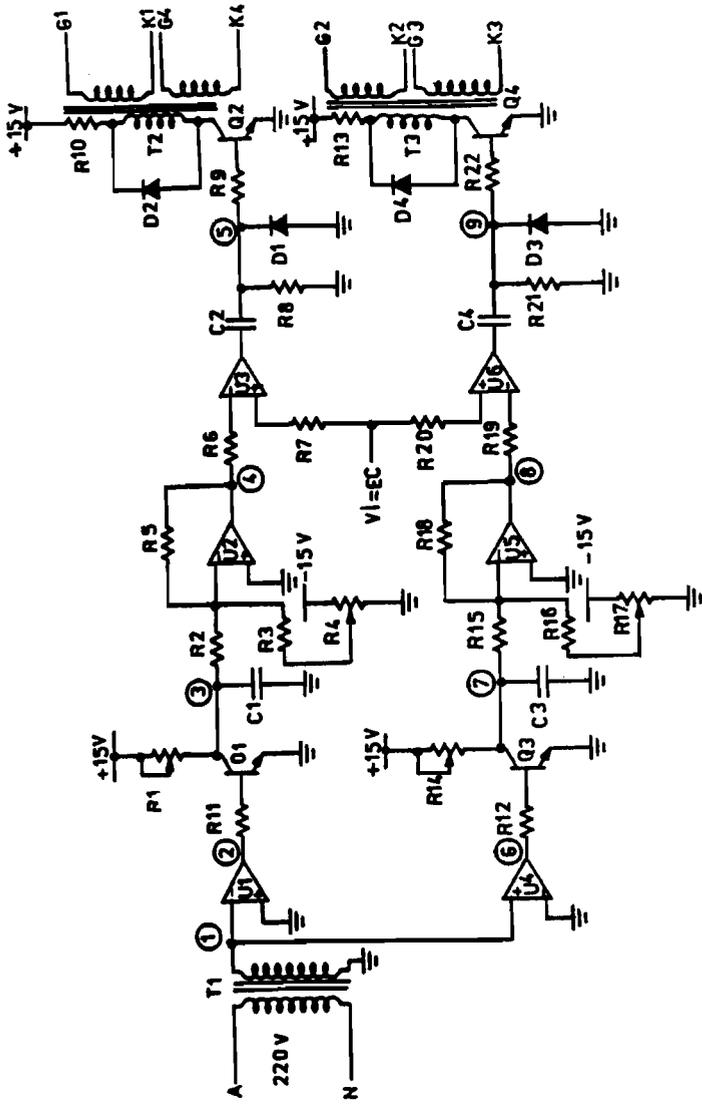
ترانزستور NPN طراز 2N 3904 Q₁, Q₃

ترانزستور NPN طراز BC108B Q₂, Q₄

مكبرات عمليات طراز 741 U₁ - U₆

محول خفض 220 / 6V وسعته 15VA T₁

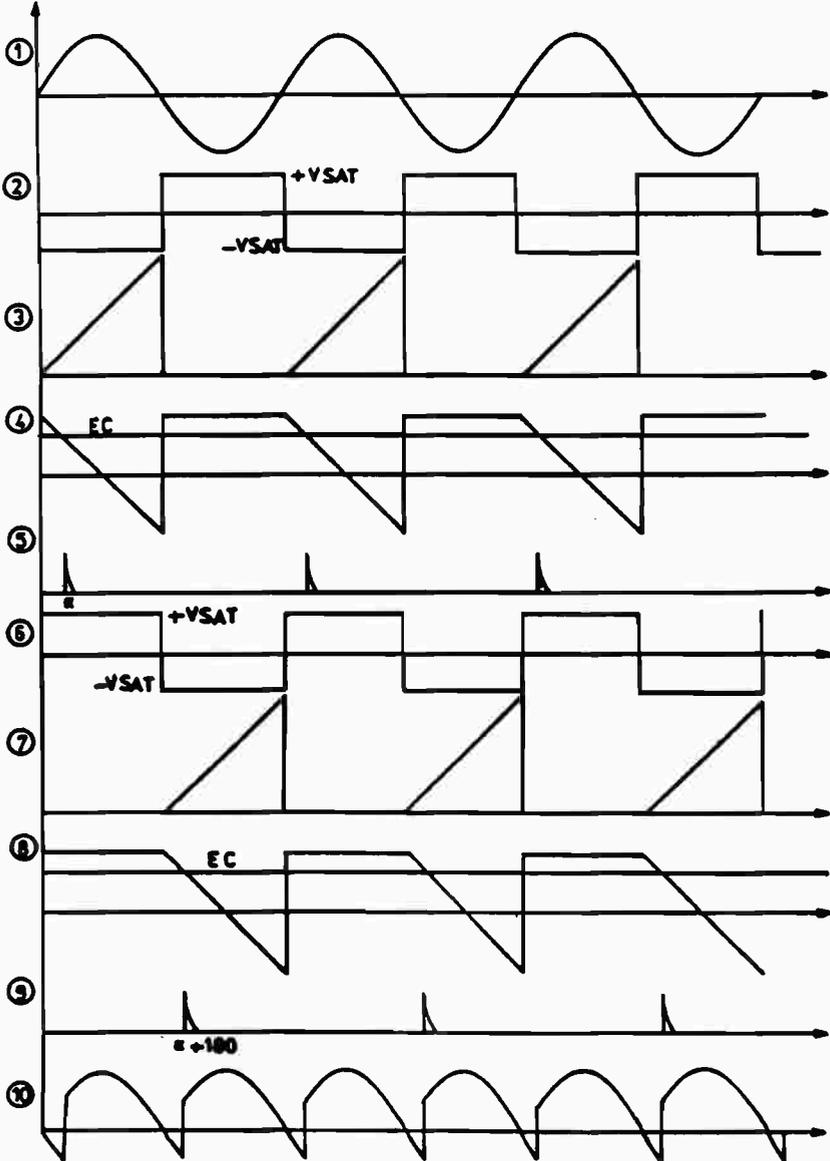
محولات نبضات بملفين ثانويين بنسبة تحويل 1:1. T₂, T₃



الشكل (٤ - ٢١)

نظرية التشغيل :

حتى يسهل علينا استيعاب نظرية التشغيل سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والموضحة بالشكل (٤ - ٢٢) .



الشكل (٤ - ٢٢)

ويمكن تقسيم دائرة الإشعال إلى إحدى عشرة مرحلة كما يلي :

١ - تخفيض جهد المصدر بواسطة T_1 (الموجة 1) .

٢ - مقارنة جهد الثانوى للمحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2) .

٣ - إيقاف مولد النبضات المثثة Ramp والذى يتألف من C_1 و R_{11} أثناء النصف السالب للموجة 1 بواسطة الترانزستور Q_1 لتحويله لحالة الوصل، وبالتالي يختفى خرج مولد النبضات أثناء نصف الموجة السالب (الموجة 3) .

٤ - إضافة مركبة سالبة لخرج مولد أسنان المنشار المؤلف من C_1 و R_{11} ، ثم عكس المحصلة بواسطة الجامع العاكس U_2 (الموجة 4) .

٥ - مقارنة خرج الجامع العاكس U_2 بجهد التحكم E_C بواسطة المقارن U_3 ، ثم مفاضلة خرج هذا المقارن بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_8 و C_2 ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_1 (الموجة 5) .

٦ - انتقال هذه النبضات إلى كل من SCR_4 و SCR_{11} من خلال Q_2 و T_2 .

٧ - مقارنة جهد ثانوى المحول T_1 بالأرضى بواسطة المكبر U_4 (الموجة 6) .

٨ - إيقاف مولد النبضات المثثة Ramp والذى يتألف من R_{14} و C_3 أثناء النصف الموجة للموجه 1 بواسطة الترانزستور Q_3 لتحويله لحالة الوصل وبالتالي يختفى خرج مولد النبضات أثناء نصف الموجة الموجب (الموجة 7) .

٩ - إضافة مركبة سالبة لخرج مولد النبضات المثثة Ramp المؤلف من R_{14} و C_3 ، ثم عكس المحصلة بواسطة الجامع العاكس المؤلف من المكبر U_5 (الموجة 8) .

١٠ - مقارنة خرج المقارن U_5 بجهد التحكم E_C بواسطة المقارن المؤلف من المكبر U_6 ، ثم مفاضلة خرج هذا المقارن بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{21} و C_4 ، ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_3 (الموجة 9).

١١ - انتقال هذه النبضات إلى كل من SCR_3 و SCR_2 من خلال Q_4 و T_3 .
ملاحظات:

١ - يمكن ضبط أقصى سعة للموجات المثثة Ramp بواسطة المقاومات R_{14} و R_1 ، بحيث تتساوى القيمة العظمى لها مع القيمة العظمى لجهد التحكم E_C .

٢ - يجب تساوى ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجة) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسى وجهد المرجع المقابل.

٣ - تعمل الثنائيات D_4 , D_2 على حماية الترانزستورات Q_4 , Q_2 من القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة من الملف الابتدائى للمحولات T_3 , T_2 عند تحول هذه الترانزستورات لحالة القطع.

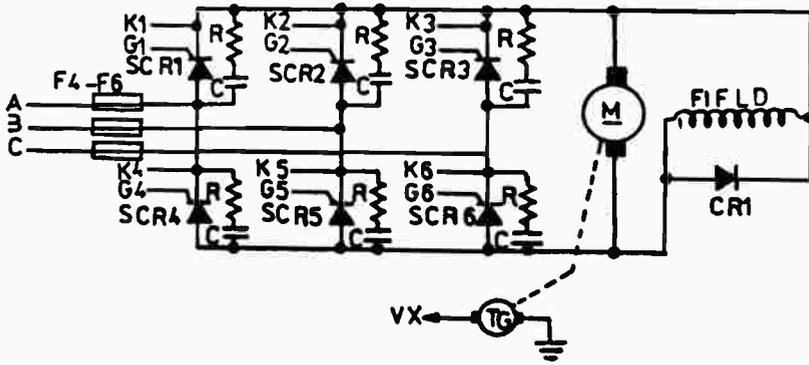
٤ - تكون زاوية الإشعال α أصغر من 90° عندما يكون جهد التحكم E_C موجباً، ويدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، وتكون موجة الجهد على أطراف المحرك (الموجة 10)، فى حين أن زاوية الإشعال تكون أكبر من 90° عندما يكون جهد التحكم E_C بالسالب، وبالتالي يصبح الجهد على أطراف المحرك سالباً ويحدث فرملة للمحرك.

٥ - يمكن استخدام أحد المنظمات المشروحة فى الدائرة رقم 1 للحصول على حلقة مغلقة بنفس الطريقة المتبعة فى الدائرة رقم 1.

٣/ ٤- الدوائر العملية للتحكم في محولات التيار المستمر الثلاثية الأوجه :

الدائرة رقم 1:

الشكل (٢٣-٤) يعرض دائرة القدرة لمحول كامل ثلاثة أوجه، علماً بأن الثايرستورات SCR_1-SCR_6 تختار حسب قدرة المحرك، وكذلك يختار كل من المصهرات $F_4 - F_6$ والثنائى CR_1 حسب تيار المحرك. ويثبت فى عمود المحرك مولد تاكو.



الشكل (٢٣-٤)

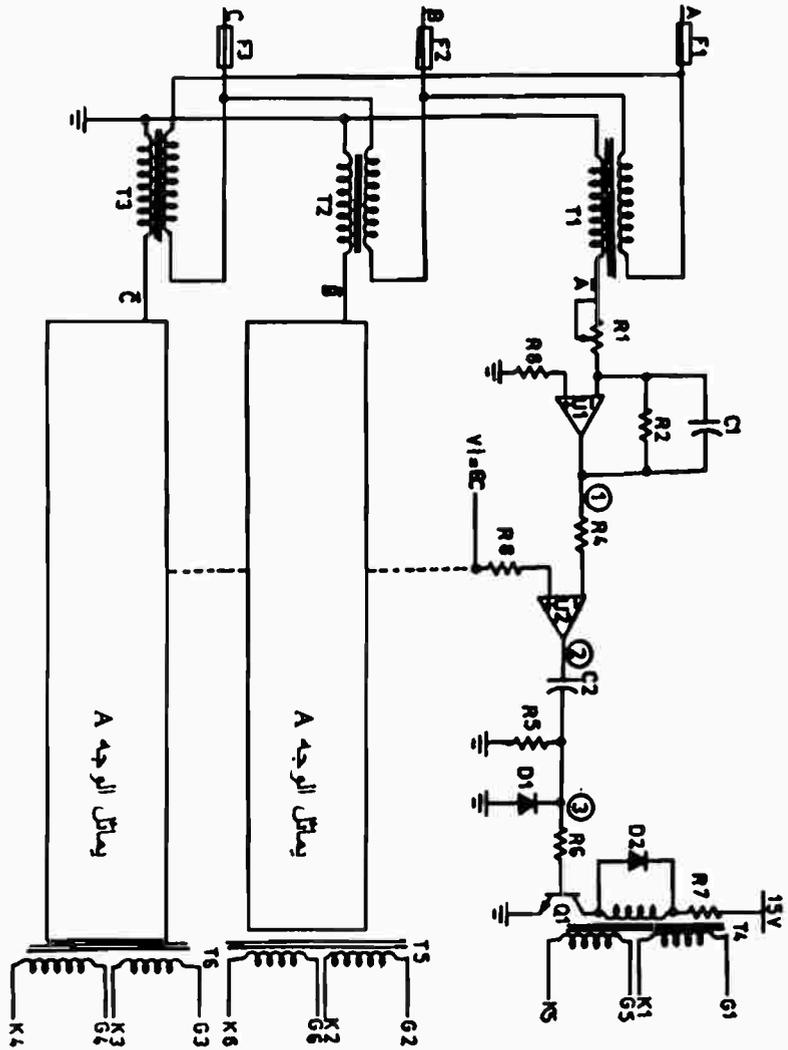
أما الشكل (٢٤-٤) فيعرض دائرة الإشعال متبعاً نظام Cosine فى الإشعال. والجدير بالذكر أن دائرة إشعال الوجه A تماثل دائرة إشعال الوجه B والوجه C.

ولقد استخدمت ثلاثة محولات أحادية الوجه، كل محول له نسبة تحويل 220/6V، ويتم توصيل الملف الابتدائى للمحولات الثلاثة معاً على شكل Δ ، فى حين يتم توصيل الملف الثانوى للمحولات الثلاثة على شكل Y، وبذلك يمكن الحصول على موجات جهد فى الجانب الثانوى للمحولات جهده 6V مع وجود إزاحة بين كل وجه والآخر مساوية 120° .

عناصر دائرة الإشعال:

- | | |
|--|----------------------------------|
| R_1 ثلاث مقاومات متغيرة $100k\Omega$ | R_3 ثلاث مقاومات متغيرة $100k$ |
| R_2 ثلاث مقاومات كربونية $2M\Omega$ | R_4 ثلاث مقاومات كربونية $10k$ |

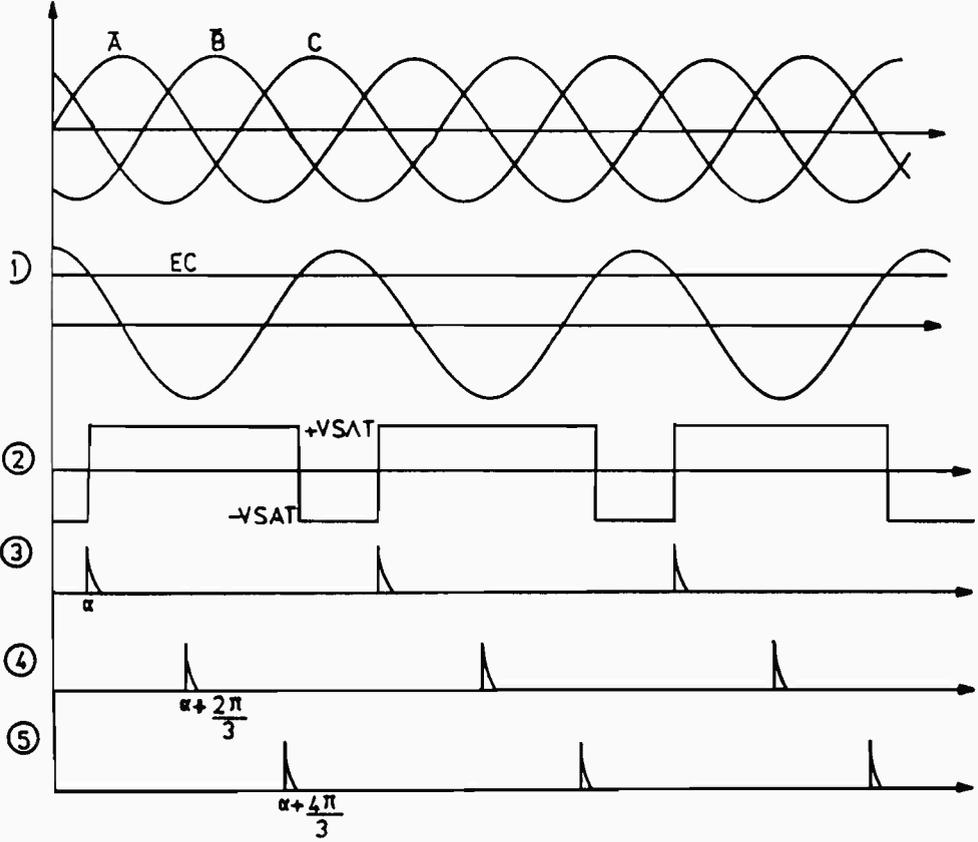
- R_5 ثلاث مقاومات كربونية $2.7k\Omega$ R_7 ثلاث مقاومات كربونية $2W, 2\Omega$
 R_6 ثلاث مقاومات كربونية $6.8k\Omega$ R_8 ثلاث مقاومات كربونية $10k\Omega$
 C_1, C_2 ست مكثفات كيميائية $0.1\mu F$ وجهدها $25V$
 D_1, D_2 ست ثنائيات سليكونية طراز 1N4004
 Q_1 ثلاث ترانزستورات NPN طراز BC108B
 U_1, U_2 ست مكبرات عمليات 741



الشكل (٤-٢٤)

نظرية التشغيل :

يمكن الاستعانة بنبضات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٢٥-٤) لاستيعاب نظرية التشغيل .



الشكل (٢٥-٤)

يمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال إلى أربعة مراحل لكل وجه من الأوجه الثلاثة ، كما يلي :

- ١- خفض جهد المصدر إلى 6V بواسطة المحولات T_1, T_2, T_3 (الموجة $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$).
- ٢- إجراء تكامل لموجه جهد الملف الثانوى للوجه A بواسطة دائرة المكامل المؤلفة من مكبر العمليات U_1 (الموجة 1).

٣- مقارنة خرج المكبر U_2 مع جهد التحكم E_C بواسطة المقارن المؤلف من المكبر U_2 (الموجة 2).

٤- مفاضلة خرج المكبر U_2 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_5 , C_2 , ثم إزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائي D_1 (الموجة 3)، وتنتقل هذه النبضات عبر الترانزستور Q_1 ومحول النبضات T_4 لإشعال الثايرستورات SCR_1 , SCR_5 . ونفس هذه المراحل تتكرر للوجه B وللوجه C.

والجدير بالذكر أن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه B متأخرة 120° ($\frac{2\pi}{3}$) عن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه A (الموجة 4).

وكذلك فإن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه C متأخرة 120° ($\frac{2\pi}{3}$) عن نبضات إشعال ثايرستورات الوجه B (الموجة 5).

ويمكن عمل دائرة تحكم مغلقة للتحكم في المحول الكامل الثلاثي الوجه الذي نحن بصدد استخدامه أحد المنظمات المشروحة في الدائرة رقم 1 في الفقرة (٤/٢) بنفس الطريقة المتبعة هناك.

ملاحظات :

١- يجب ضبط أقصى سعة للموجة الجيبية الخارجة من المكبر U_1 بواسطة المقاومة R_1 ، بحيث تصبح القيمة العظمى لها مساوية للقيمة العظمى لجهد التحكم E_C .

٢- يعمل الثنائي D_2 على حماية الترانزستور Q_1 من القوة الدافعة الكهربائية المتولدة من الملف الابتدائي لمحول النبضات T_4 عند تحول Q_1 لحالة القطع.

٣- يجب تساوي ثابت مولد التاكو (النسبة بين سرعة التاكو وجهد خرجه) مع النسبة بين سرعة المحرك الرئيسي وجهد المرجع المقابل.

٤- إذا أردنا تنفيذ حلقة مفتوحة للتحكم في سرعة محرك تيار مستمر باستخدام محول كامل 3ϕ يوصل طرف جهد التحكم E_C في دائرة الإشعال مع مجزئ جهد $10k\Omega$ موصل مع مصدر جهد مزدوج $15V$, $-15V$.

٥- عندما تكون جهد التحكم E_C موجباً تصبح زاوية الإشعال α أصغر من 90° ، فيدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، وعندما يكون جهد التحكم E_C سالباً تصبح زاوية الإشعال أكبر من 90° ويفرمل المحرك.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٤-٢٦) يعرض دائرة القدرة لمحول كامل ثلاثى الأوجه محرك تيار مستمر له البيانات التالية:

تغذية منفصلة.

تيار عضو الاستنتاج الأقصى 20 A .

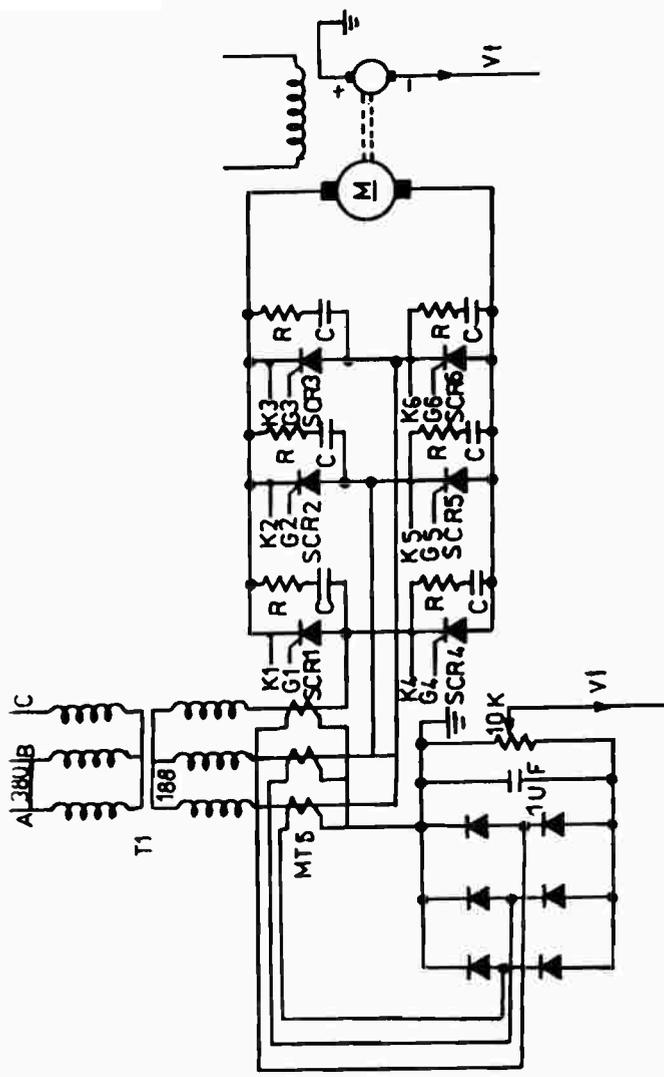
تيار البدء 55 A .

سرعة اللاحمل 1660 RPM .

السرعة عند الحمل الكامل 1470 RPM .

والمجدير بالذكر أن جميع الثايرستورات المستخدمة طراز BTY91-800R، كما أن الدائرة المؤلفة من المقاومة R والتي تساوى 47Ω والمكثف C سعته $0.5\mu F$ تعمل كمصيدة Snubber تمنع الاشتعال الذاتى للثايرستورات نتيجة لقفزات جهد المصدر. أما محول القدرة T_1 فيقوم بتخفيض جهد الشبكة 380/188V، ويستخدم مولد تاكولتحويل سرعة المحرك إلى جهد وله ثابت تحويل 25RPM/V .

وتستخدم محولات تيار نوع MI5، ويتميز هذا النوع بأن جهد الثانون لها 0.8V لكل أمبير فى الجانب الابتدائى، وتوصل محولات التيار معاً مع القنطرة الثلاثية الأوجه كما هو مبين بالشكل ذاته. ويوصل خرج القنطرة على مجزئ جهد $10k\Omega$ ويحرك الذراع المنزلق لهذا المجزئ للحصول على نسبة تحويل مساوية 0.46V/A من المخرج V_i .



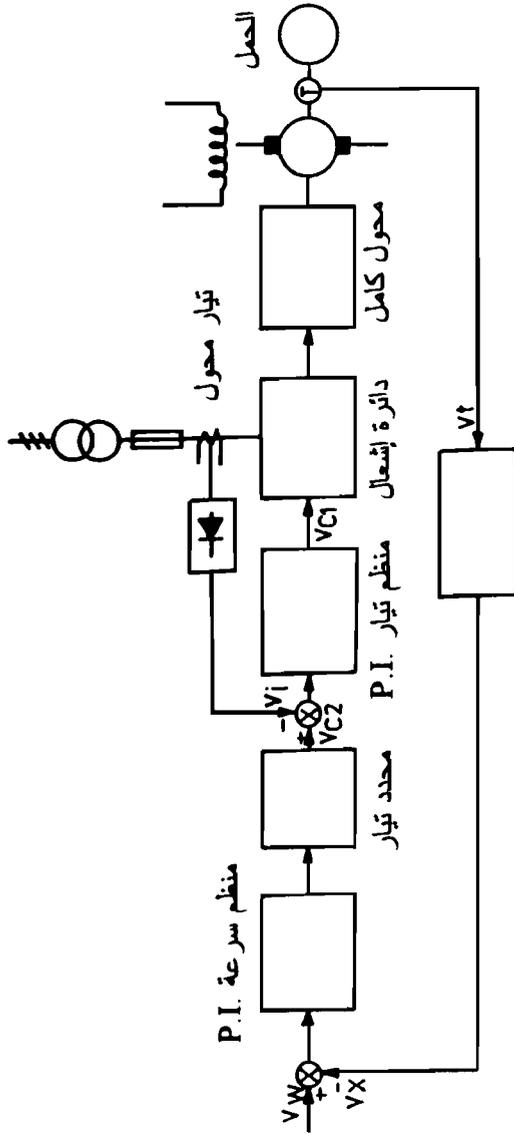
الشكل (٤-٢٦)

والشكل (٤-٢٧) يعرض المخطط الصندوقى لدائرة التحكم المغلقة المستخدمة للتحكم فى هذا المحرك .

ويلاحظ أننا استخدمنا دائرتين مغلقتين، الخارجية للتحكم فى سرعة المحرك، والداخلية للتحكم فى تيار المحرك، ويسمى هذا النظام بنظام تحديد التيار. والمجدير بالذكر أن خرج منظم السرعة التناسبى التكاملى PI يجب أن يحدد، حيث إن دخل منظم التيار التناسبى التكاملى PI هو الفرق بين خرج منظم السرعة والإشارة المرتدة والمقابلة للتيار .

ويعمل هذا النظام على تقليل جهد الدخل إذا تعدى تيار المحرك 20A، فعند بدء التشغيل يسمح هذا النظام بارتفاع تيار المحرك ليصبح 55A وذلك لحظة البدء، وبمجرد وصول إشارة مرتدة للتيار فان هذا النظام سيقوم بتغيير زاوية الإشعال بما يمنع تعدى تيار المحرك 20A .

أى أن وصول التيار لقيمة أعلى من الحدود المسموح بها يكون فقط لحظة التغير المفاجئ، سواء فى الدخل أو فى الحمل، ولكن سرعان ما يعود التيار للحدود المسموح بها. وهذه هى الميزة التى نحصل عليها من هذه الدائرة .



مرشح (RC)

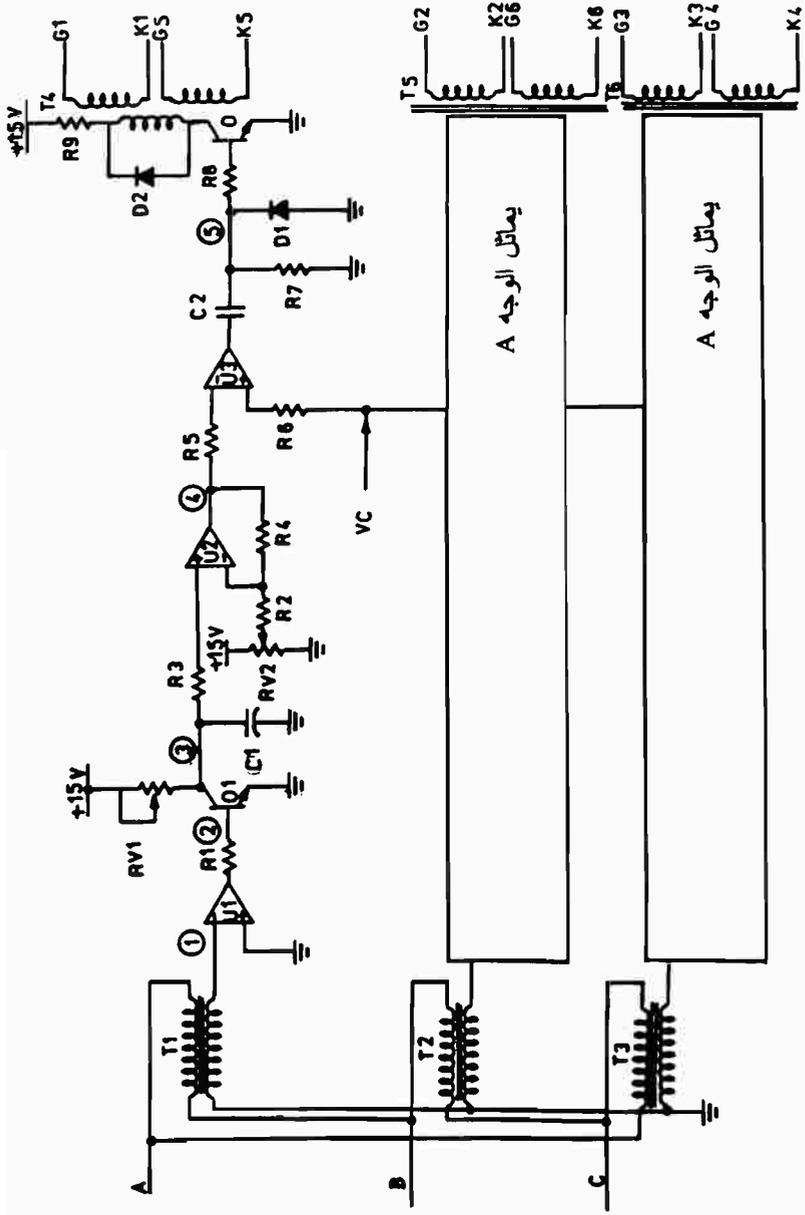
الشكل (٤ - ٢٧)

والشكل (٤-٢٨) يبين دائرة الإشعال المستخدمة في التحكم في محول التحكم الكامل Full Converter المبين بالشكل (٤-٢٦) .

عناصر دائرة الإشعال :

مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_6	مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_1
مقاومة كربونية $2.7k\Omega$	R_7	مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_2
مقاومة كربونية $6.8k\Omega$	R_8	مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_3
مقاومة كربونية 2Ω , $2W$	R_9	مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_4
		مقاومة كربونية $10k\Omega$	R_5
		مقاومة متغيرة $100k\Omega$	RV_1
		مجزئ جهد $10k\Omega$	RV_2
		مكثفات كيميائية $0.1\mu f$ وجهدها $16V$	C_1, C_2
		ثنائي زينر طراز 1N4732	D_1
		ثنائي سليكوني طراز 1N4000	D_2
		ترانزستور NPN طراز BC108B	Q_1
		مكبرات عمليات LM 741	U_1-U_3
		محول خفض $220/16V$ وسعته $15VA$	T_1
		محولات نبضات بملفين ثانويين بنسبة تحويل 1:1	T_4

علمًا بأن العناصر المطلوبة ثلاثة أضعاف هذه العناصر المدونة .

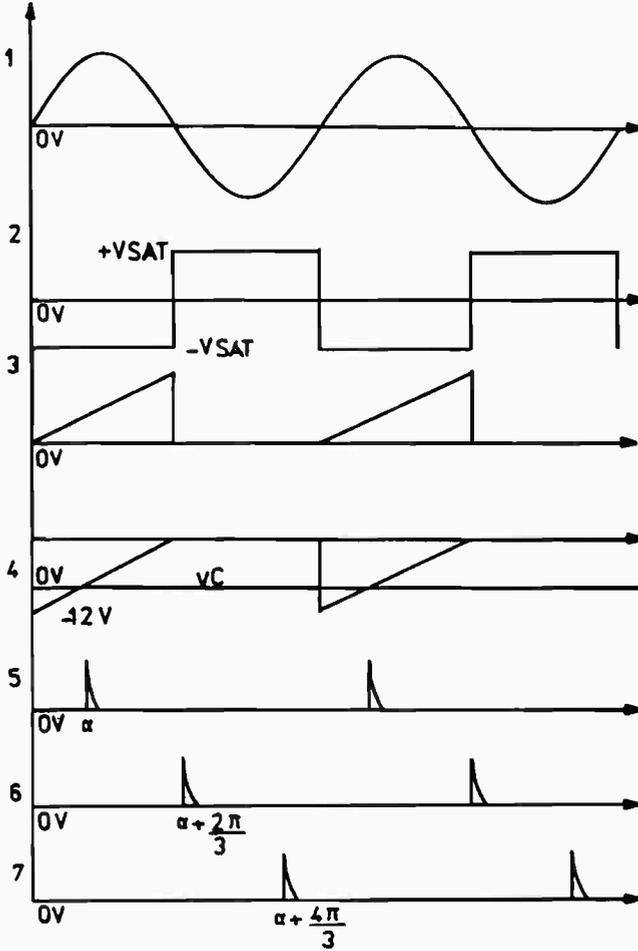


الشكل (٤ - ٢٨)

نظرية التشغيل:

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال والمبينة بالشكل

(٢٩-٤)



الشكل (٢٩-٤)

ويمكن تقسيم أداء هذه الدائرة إلى خمسة مراحل، كما يلي:

- ١- تخفيض جهد المصدر بواسطة المحول T_1 (الموجة 1).
- ٢- مقارنة جهد الثانوى للمحول T_1 بالأرض بواسطة المكبر U_1 (الموجة 2).

٣- يتحكم خرج المكبر U_1 فى خرج مولد النبضات المثلثة Ramp المؤلف من RV_1 ، C_1 فيعمل Q_1 فى خلال نصف الموجة الثانى والرابع والسادس.. إلخ، وبالتالي ينقطع خرج المولد خلال هذه الفترات، علماً بأن الحد الاقصى لخرج مولد النبضات يساوى 12V، ويتم ذلك بواسطة RV_1 (الموجة 3).

٤ - يقوم المكبر الفرقى المؤلف من U_2 بعكس خرج مولد النبضات (الموجة 4).

٥- يقوم المقارن المؤلف من U_3 بمقارنة خرج المكبر U_2 مع جهد التحكم V_C والذى يتراوح ما بين (0:-10V)، ومفاضلة الخرج بواسطة R_7 ، C_2 ، وإزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_1 (الموجه 5).

وتتكرر هذه المراحل للوجه B وكذلك للوجه C.

والشكل (٤-٣٠) يعرض دائرة المنظمات المستخدمة للتحكم فى سرعة وتيار المحرك.

عناصر دائرة المنظمات :

$57.3k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{17}	$108k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{10}
$33k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{18}	$5k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{11}
$1.5k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{19}	$460k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{12}
$85k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{20}	$10k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{13}
470Ω	مقاومة كربونية	R_{21}	$1.5k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{14}
280Ω	مقاومة كربونية	R_{22}	$219k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{15}
$10k\Omega$	مجزئ جهد	RV_3	$45.8k\Omega$	مقاومة كربونية	R_{16}

C_3 مكثف سعته $10\mu f$

C_4 مكثف سعته $1\mu f$

C_5, C_9 مكثف سعته $33 P_f$

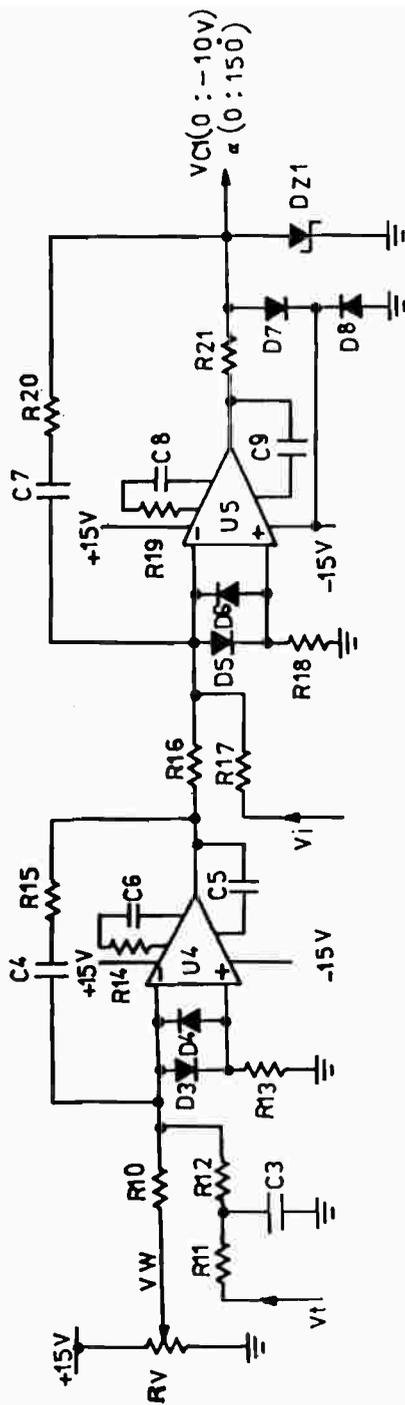
C_6, C_8 مكثف سعته $0.005\mu f$

C_7 مكثف سعته $0.47 \mu f$

D_3-D_8 ثنائيات سليكونية BAX13

DZ_1 ثنائى زيز طراز SZ 315

U_4, U_5 مكبرات عمليات طراز LM709



الشكل (٤ - ٣٠)

نظرية التشغيل :

يتم ضبط سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد RV_3 ، فعندما يكون الجهد V_W مساوياً $15V +$ فإن سرعة المحرك ستكون 1600 RPM .

ويعمل R_{11}, C_3 كمرشح لإشارة الجهد المقابلة لسرعة المحرك والقادمة من مولد التاكو، وتعمل دائرة المكبر U_4 كمكبر تناسبي تكاملي وهو يمثل منظم السرعة، في حين تعمل دائرة المكبر U_5 كمكبر تناسبي تكاملي وهو يمثل منظم التيار. وتعمل الثنائيات D_7, D_8 وثنائي الزينر DZ_1 على تحديد خرج المكبر U_5 ليتراوح ما بين $(0:-10V)$ وهذا يقابل زوايا إشعال α مساوية $(0:150^\circ)$.

والجدير بالذكر أنه عندما يكون V_{C_1} مساوياً $10V -$ فإن زاوية الإشعال α تساوي 150° ، وهذا يسبب حدوث فرملة للمحرك حيث يحدث فرملة للمحرك إذا كانت زاوية الإشعال أكبر من 90° .

وعندما يكون V_{C_1} مساوية $2V -$ فإن زاوية إشعال المحرك تساوي 30° ، ويكون جهد أطراف المحرك مساوياً.

$$E_O = \frac{3\sqrt{3} V_m \cos\alpha}{\pi} \rightarrow 1.8$$

$$E_O = \frac{3\sqrt{3} \frac{188\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cos 30^\circ}{\pi} = 220 \text{ V}$$

وهذا يمثل الجهد المقتن للمحرك.

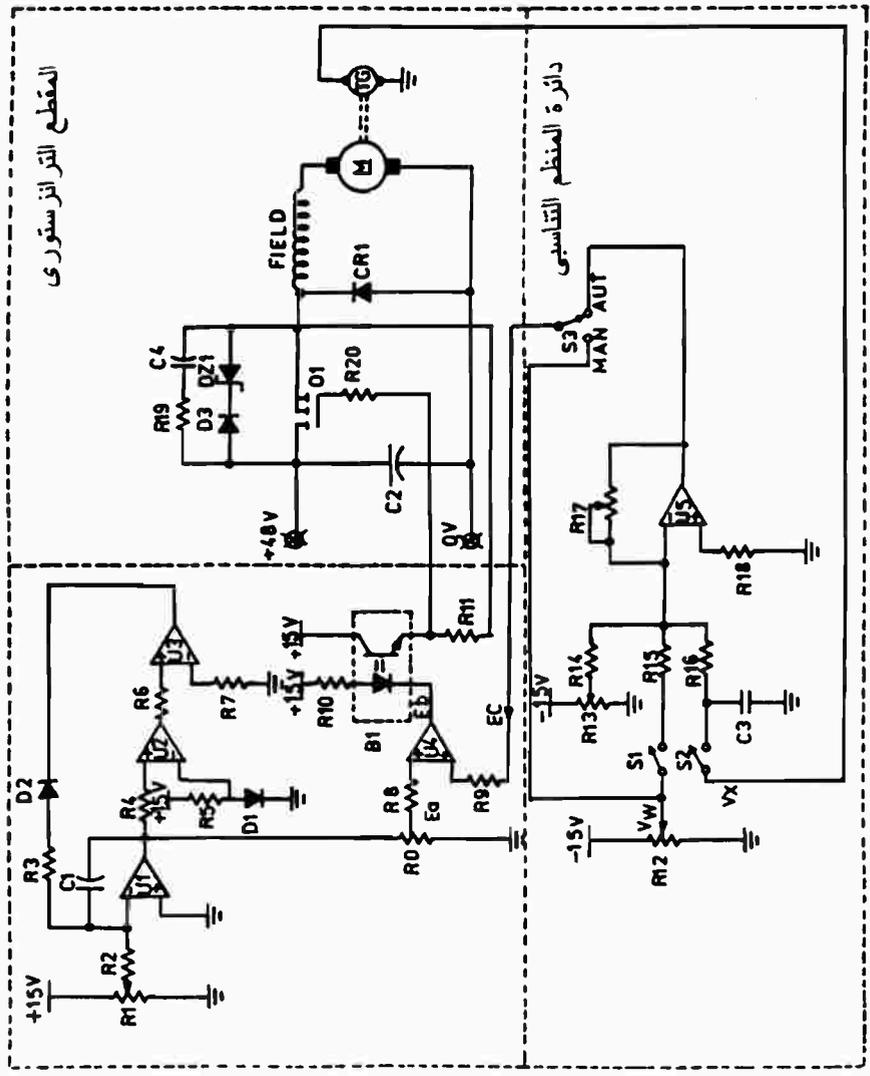
٤ / ٤ - الدوائر العملية للتحكم في مقاطعات التيار المستمر

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٤-٣١) يعرض الحلقة المغلقة Closed Loop لمقطع ترانزستوري يعمل بمبدأ PWM، ويتحكم في محرك تيار مستمر مستخدماً منظماً تناسبياً. وتتكون هذه الحلقة المغلقة من ثلاث دوائر وهي: دائرة المقطع الترانزستوري، ودائرة الإشعال، ودائرة المنظم التناسبي.

عناصر الحلقة المغلقة :

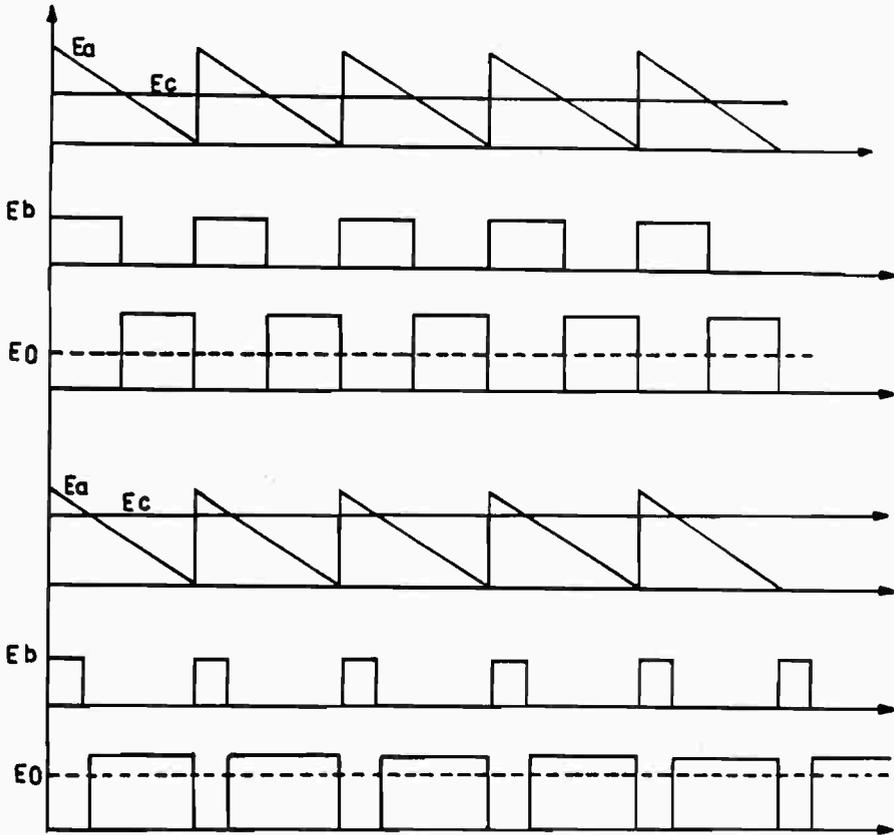
$1k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{11}	$10k\Omega$ مجزئ جهد	R_0
$10k\Omega$ مجزئ جهد	R_{12}	$10k\Omega$ مجزئ جهد	R_1
$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{13}	$200k\Omega$ مقاومة كربونية	R_2
$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{14}	$2.2k\Omega$ مقاومة كربونية	R_3
$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{15}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_4
$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{16}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_5
$100k\Omega$ مقاومة متغيرة	R_{17}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_6
$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{18}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_7
100Ω مقاومة كربونية وقدرتها 1W	R_{19}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_8
15Ω مقاومة كربونية	R_{20}	$10k\Omega$ مقاومة كربونية	R_9
		$1.2k\Omega$ مقاومة كربونية	R_{10}
		ثنائيات سليكونية طراز 1N34A	D_1, D_2
		ثنائى سليكونى طراز 1N4000	D_3
		ثنائى زيز جهده 63V وقدرته 1W	DZ_1
		مكبرات عمليات طراز 741	U_1-U_5
		وحدة ارتباط ضوئية طراز CNY173Z	B_1
		مكثف كيميائى سعته $0.005 \mu f$ وجهده 15 V	C_1
		مكثف كيميائى سعته $22 \mu f$ وجهده 100V	C_2
		مكثف كيميائى سعته $10 \mu f$ وجهده 15V	C_3
		مكثف كيميائى سعته $0.1 \mu f$ وجهده 100V	C_4
		ترانزستور Mosfet طراز IRF150	Q_1



الشكل (٤ - ٣١)

نظرية التشغيل

يمكن الاستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة في دائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٣٢-٤).



الشكل (٣٢-٤)

ويمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال إلى ثلاثة مراحل، كما يلي:

١- توليد النبضات المثلثة Ramp مع التحكم في القيمة القصوى لها بواسطة مجزئ الجهد R_1 ، ويمكن التحكم في تردد هذه النبضات بواسطة المقاومة R_2 والمكثف C_1 وذلك بواسطة U_1, U_2, U_3 (الموجة E_a).

٢- يتم مقارنة خرج مولد النبضات بجهد التحكم القادم من المنظم في حالة

الحلقة المغلقة أو جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة (الموجة E_0).

٣- قيام خرج المقارن U_4 بالتحكم فى وحدة الارتباط الضوئى B_1 ، فعندما يكون جهد الخرج للمقارن U_4 صفراً يتحول الترانزستور الضوئى لوحدة الارتباط الضوئى لحالة الوصل فيتشكل جهد على أطراف المقاومة R_{11} ويصل جهد بين بوابة ومصدر Q_1 فيتحول Q_1 لحالة الوصل وعندما يصبح جهد خرج المقارن U_4 مشعباً موجباً ($+V_{CC}$) يتحول الترانزستور الضوئى لوحدة الارتباط الضوئى B_1 لحالة القطع فينعدم الجهد على أطراف المقاومة R_{11} ويتحول Q_1 لحالة القطع (الموجة E_0).

والجدير بالذكر أنه كلما ازداد جهد التحكم E_C قل عرض الموجة المربعة E_0 الخارجة من U_4 ، وكلما ازداد الجهد المتوسط على أطراف المحرك ازدادت سرعة المحرك. ويعمل الثنائى CR_1 بالسماح بمرور تيار فى المحرك أثناء تحول Q_1 لحالة القطع، وعند فتح S_2, S_1 ووضع المفتاح S_3 على وضع Man نحصل على حلقة مفتوحة، ويتم التحكم فى سرعة المحرك بالتحكم فى جهد المرجع بواسطة مجزئ الجهد R_{12} .

وعند غلق S_2, S_1 ووضع المفتاح S_3 على وضع Aut نحصل على حلقة مغلقة بمنظم تناسبى للتحكم فى سرعة محرك التيار المستمر فى الربع الأول، حيث يعمل U_5 كمقارن ومكبر تناسبى فى نفس الوقت خرجه يساوى:

$$V_{out} = -K_p (V_X - V_W - V_{offset})$$

حيث إن:

V_W هو جهد الأساس والذى يقابل السرعة المطلوبة من المجزئى R_{12} .

V_X هو جهد مولد التاكو والمقابل لسرعة المحرك ونحصل عليه من الطرف الموجب لمولد التاكو، ويوصل الطرف السالب للتاكو بالأرضى ويتم ترشيح خرج مولد التاكو بواسطة المكثف C_3 .

V_{offset} هو جهد يعمل على استمرار وجود خرج للمنظم التناسبى عندما يصبح جهد الخطأ ($V_W - V_X$) مساوياً للصفر.

$$K_p \text{ ثابت المنظم التناسبى ويساوى: } \frac{R_{17}}{R_{15}}$$

والجدير بالذكر أنه يمكن ضبط offset حتى تصبح سرعة المحرك عند انعدام جهد الخطأ مساوياً 60% من السرعة المطلوبة، فإذا كانت سرعة المحرك المطلوبة 1500RPM عند جهد مرجع 5V فإن جهد offset يساوى:

$$V_{\text{offset}} = 0.6 \times 5 = 3 \text{ V}$$

الدائرة رقم 2:

الشكل (٤-٣٣) يعرض الحلقة المفتوحة لمقطع ثايروستورى ببوابة إطفاء GTO يعمل بمبدأ P_{WDM} ويتحكم فى سرعة محرك تيار مستمر.

عناصر الدائرة:

$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_8	$10\text{k}\Omega$ مجزئ جهد	R_0
$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_9	$10\text{k}\Omega$ مجزئ جهد	R_1
$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_{10}	$200\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_2
$2.2\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_{11}	$2.2\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_3
$10\text{k}\Omega$ مجزئ جهد	R_{12}	$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_4
560Ω مقاومة كربونية	R_{13}	$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_5
39Ω مقاومة متغيرة	R_{14}	$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_6
$1\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_{15}	$10\text{k}\Omega$ مقاومة كربونية	R_7

D_1, D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N34A

D_3, D_4 ثنائيات سليكونية طراز BA W62

DZ_1 ثنائى زين جهده 10V طرازه BZX 61- C10

C_1 مكثف كيميائى سعته $0.05 \mu\text{f}$ وجهده 25V

C_2 مكثف كيميائى سعته 470 nf وجهده 25V

C_3 مكثف كيميائى سعته 470nf وجهده 16V

Q_1, Q_2 ترانزستورات NPN طراز 2N3053

Q_3 ترانزستورات NPN طراز TIP121

Q_4 ترانزستورات PNP طراز BC461

GTO_1 ترانزستورات ببوابه إطفاء طراز BTW58 تياره 10A

نظرية التشغيل :

يمكن الإستعانة بموجات الجهد عند النقاط المختلفة فى دائرة الإشعال والمبينة بالشكل (٤-٣٢)، ويمكن تقسيم أداء دائرة الإشعال لثلاثة مراحل، وهى كما يلى :

١- توليد النبضات المثلثة Ramp بواسطة U_3 , U_2 , U_1 ، كما يمكن التحكم فى القيمة القصوى لها بواسطة مجزئ الجهد R_1 ، ويمكن التحكم فى تردد هذه النبضات بواسطة المقاومة R_2 والمكثف C_1 ، ويضبط تردد هذه النبضات مساوياً 1KHZ (الموجة E_a).

٢- مقارنة خرج مولد النبضات بجهد التحكم E_C (الموجة E_b).

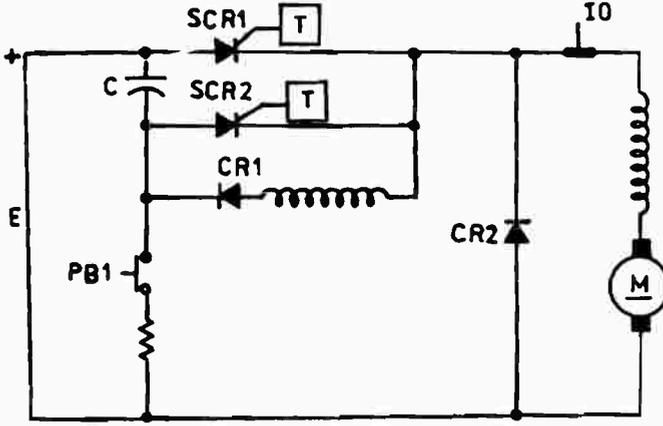
٣- تحول الثايرستور ذات بوابة الإطفاء GTO_1 لحالة الوصل عند وصول نبضة عالية لقاعدة Q_1 من المكبر U_4 وتحوله لحالة القطع عند وصول نبضة منخفضة لقاعدة Q_1 فعند وصول نبضة عالية لقاعدة Q_1 يتحول Q_1 لحالة الوصل فيتحول Q_2 تبعاً لحالة الوصل ويتحول Q_4 لحالة الوصل، فى حين يتحول Q_3 لحالة القطع فيصل تيار موجب من جهد المصدر الموجب $+15\text{V}$ عبر المقاومة R_{14} والترانزستور Q_4 لبوابة GTO_1 فيتحول لحالة الوصل. وعند وصول نبضة منخفضة لقاعدة Q_1 يتحول Q_1 لحالة القطع فيتحول Q_2 لحالة القطع ويتحول Q_4 لحالة القطع، فى حين يتحول Q_3 لحالة الوصل ويصل جهد 10V - البوابة GTO_1 بواسطة DZ_1 فيتحول GTO_1 لحالة القطع (الموجة E_0).

والجدير بالذكر انه يتم ضبط القيمة العظمى للجهد E_a بحيث تساوى الجهد الاقصى لجهد التحكم E_C والذى يمثل جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة بواسطة مجزئ الجهد R_0 .

ويعمل ثنائى الحدافة CR_1 على مرور تيار فى المحرك اثناء تحول GTO_1 لحالة القطع، فى حين يعمل الثنائى CR_2 على حماية GTO_1 من القفزات السريعة فى جهد المصدر.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٤ - ٣٤) يعرض دائرة القدرة لمقطع ثايرستورى يتم إطفاءه بالجهد Voltage Commutation، حيث إن SCR_1 يمثل الثايرستور الرئيسى، أما SCR_2 يمثل ثايرستور الإطفاء.



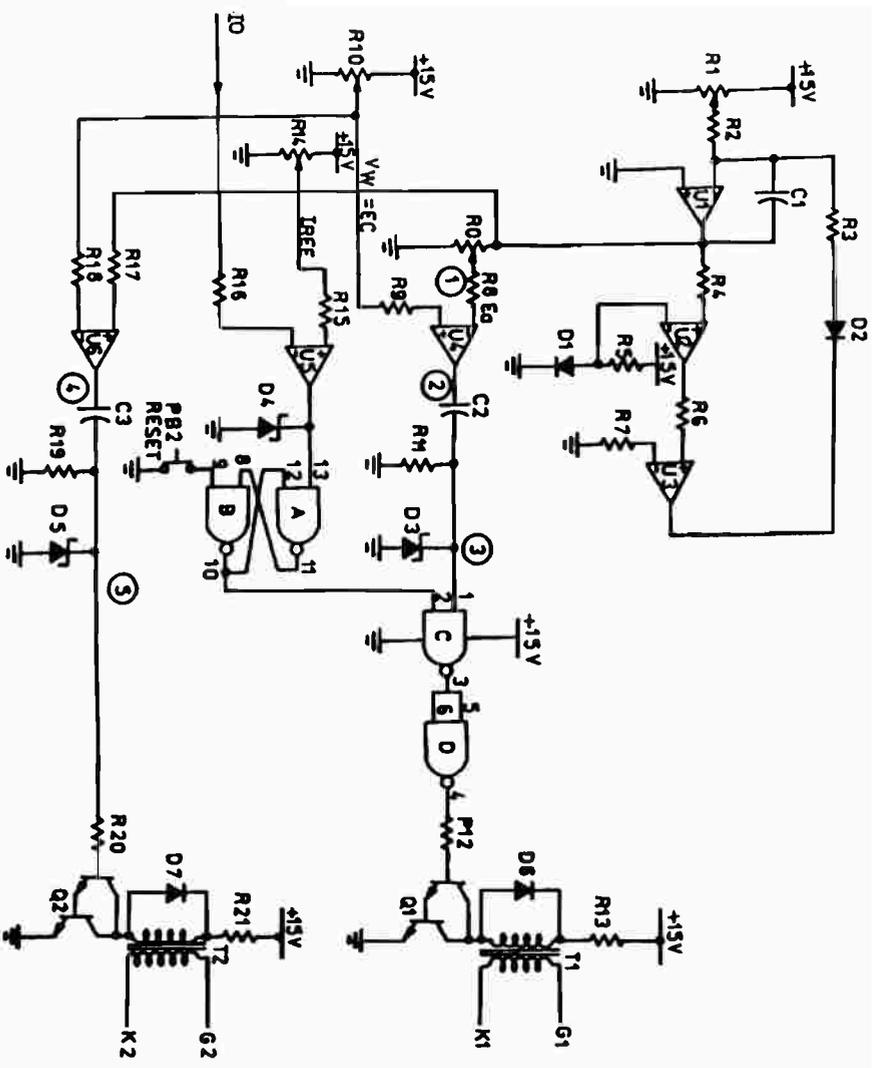
الشكل (٤-٣٤)

والشكل (٤-٣٥) يعرض دائرة إشعال وإطفاء الثايرستورات الخاصة بدائرة المقطع الثايرستوري، الذي يتم إطفاءه بالجهد، والمبينة بالشكل السابق.

عناصر دائرة الإشعال:

10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₁	10kΩ	مجزئ جهد	R ₀
5kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₂	10kΩ	مجزئ جهد	R ₁
100Ω	مقاومة متغيرة	R ₁₃	200kΩ	مقاومة كربونية	R ₂
10kΩ	مقاومة متغيرة	R ₁₄	2.2kΩ	مقاومة كربونية	R ₃
10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₅	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₄
10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₆	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₅
10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₇	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₆
10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₈	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₇
1kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₉	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₈
5kΩ	مقاومة كربونية	R ₂₀	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₉
100Ω	مقاومة متغيرة	R ₂₁	10kΩ	مقاومة كربونية	R ₁₀

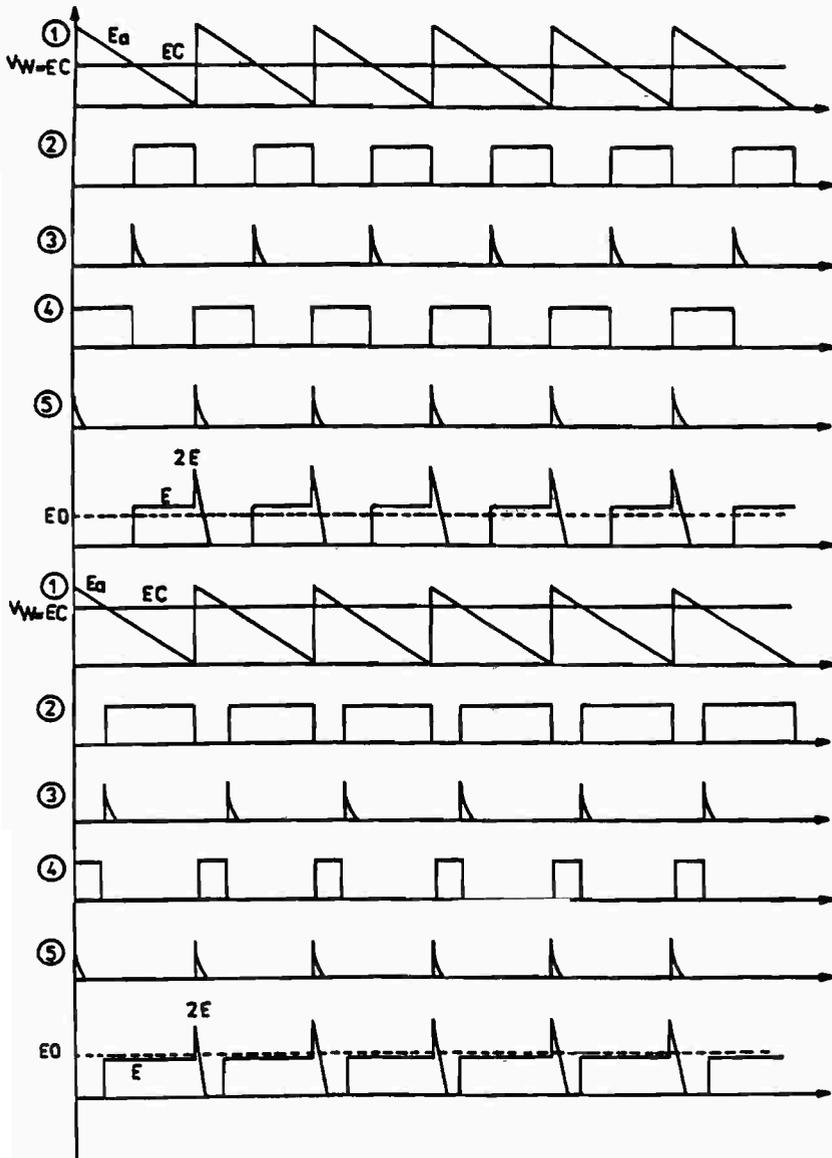
مكشف كيميائي $0.005 \mu f$ وجهده 16V	C_1
مكشف كيميائي $0.1 \mu f$ وجهده 16V	C_2
مكشف كيميائي $0.1 \mu f$ وجهده 16V	C_3
ثنائيات سليكونية طراز 1N34A	D_1, D_2
ثنائيات زينر طراز 1N4733	D_3, D_4, D_5
ثنائيات زينر طراز 1N4004	D_6, D_7
مكبرات عمليات طراز 741	U_1-U_6
دائرة متكاملة تحتوى على أربع بوابات NAND طراز 4011	A, B, C, D
محول نبضات بملف ثانوى بنسبة تحويل 1:1	T_1, T_2
ترانزستور دار لنجتون NPN طراز TIP112 .	Q_1, Q_2
ضاغط بريشة مفتوحة .	PB_1



(٧٥-٤) كٲٲٲ

نظرية التشغيل :

حتى بسهل علينا استيعاب نظرية تشغيل دائرة إشعال وإطفاء المقطع الثايرستورى السابق سنستعين بموجات الجهد عند النقاط المختلفة لدائرة الإشعال، والمبينة بالشكل (٣٦-٤).



الشكل (٣٦ - ٤)

ويمكن تقسيم هذه الدائرة إلى ست مراحل، وهي كما يلي :

١ - تعمل المكبرات U_1, U_2, U_3 كمولد نبضات مثلثة Ramp يتم التحكم في ترددها بواسطة R_2, C_1 وجهد الإدخال الذي يمكن التحكم فيه بواسطة مجزئ الجهد R_1 (الموجة 1).

٢ - يقوم المكبر U_4 بمقارنة خرج مولد النبضات المثلثة مع جهد الرجوع V_W والذي نحصل عليه من مجزئ الجهد R_{10} فإذا كان جهد المرجع أكبر من جهد النبضات المثلثة يتشبع خرج المقارن U_4 (الموجة 2).

٣ - يتم مفاضلة خرج المقارن U_4 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{11}, C_2 وإزالة المركبة السالبة بواسطة D_3 (الموجة 3)، وتنتقل هذه النبضات خلال بوابة AND المؤلفة من البوابتين C, D لقاعدة Q_1 (وذلك بعد الضغط على الضاغط PB_2 حيث يصبح خرج القلاب المؤلف من البوابتين A, B عال) فنتنتقل هذه النبضات إلى الثايرستور SCR_1 من خلال محول النبضات T_1 فيدور المحرك ويشحن المكثف C .

٤ - يتم مقارنة جهد المرجع الذي نحصل عليه من مجزئ الجهد R_{10} بخرج مولد النبضات بواسطة المكبر U_6 ، فإذا كان جهد النبضات المثلثة أعلى من جهد المرجع يصبح خرج المقارن U_6 مشبعاً موجباً (الموجة 4).

٥ - يتم مفاضلة خرج المقارن U_6 بواسطة الدائرة التفاضلية المؤلفة من R_{19}, C_3 وإزالة المركبة السالبة بواسطة الثنائى D_3 (الموجة 5)، وتنقل هذه النبضات إلى الثايرستور SCR_2 بواسطة محول النبضات T_2 فيعملان على إطفاء الثايرستور SCR_1 ويلاحظ أن زمن وصل الثايرستور SCR_1 يعتمد على جهد المرجع E_C فكلما ازداد جهد المرجع ازداد زمن الوصل والعكس بالعكس، وهذا واضح من شكل موجة جهد المحرك E_0 .

٦ - عند حدوث زيادة فى الحمل على المحرك وتعدى تيار المحرك E_0 تيار المرجع I_{ref} المعابر بواسطة مجزئ الجهد R_{14} يصبح المكبر U_5 مشبعاً سالباً ويعمل الثنائى D_4 بإمرار خرج المكبر U_4 السالب للأرض ليصبح جهد خرج U_5 يساوى الصفر تقريباً، وفى هذه الحالة يصبح خرج القلاب المؤلف من البوابتين A, B منخفضاً

وتباعاً يصبح خرج البوابة D منخفضاً، وينقطع وصول نبضات إشعال الثايرستورات الرئيسية SCR_1 , SCR_2 فيتوقف المحرك لحين إزالة سبب زيادة الحمل عن المحرك، ثم الضغط على الضاغط PB_1 للتحريك وإعادة الدائرة للعمل من جديد .

ملاحظات :

١- يمكن تحويل هذه الدائرة لحلقة مغلقة بإضافة منظم تناسبى أو تناسبى تكاملى أو تناسبى تفاضلى تكاملى بنفس الطريقة المتبعة بالدائرة رقم 1 الفقرة (٢/٧) .

٢- يتم ضبط القيمة العظمى للجهد E_2 بواسطة المقاومة R_1 أو المقاومة R_0 بحيث تساوى القيمة العظمى لجهد التحكم E_C (جهد المرجع فى حالة الحلقة المفتوحة V_W) .

٣- يستخدم محول إشارة لتحويل التيار المستمر لجهد مستمر وذلك لتحويل تيار المحرك E_0 لإشارة جهد .

٤- تختار CR_1 , CR_2 و SCR_1 , SCR_2 تبعاً لقدرة المحرك .

٥- سعة المكثف C نحصل عليها من المعادلة 1.11 وحث الملف L من المعادلة 1.12 .

٦- فى بداية تشغيل المقطع الذى نحن بصدده يجب الضغط على الضاغط PB_1 لشحن المكثف C من خلال المسار E ثم C ثم PB_1 ثم R، ويصبح اللوح العلوى للمكثف C بشحنة موجبة، ثم بعد ذلك يتم توصيل التيار الكهربى لدائرة التحكم ثم التشغيل .