الفصل الثالث : تطبيقات الثنائي البلوري

(3 . 1) المقدمة

(3 . 2) التعديل (التقويم)

(3 . 2 . 1) مقوم نصف الموجة (Half – wave Rectifier)

(3 . 2 . 2) مقوم الموجة الكاملة بتفرع مركزي (Full – wave Center – tap Rectifier)

(3 . 2 . 3) مقوم الموجة الكاملة القنطري (Full – wave Bridge Rectifier)

(3 . 2 . 4) عامل التموج

(3 . 2 . 5) كفاءة التعديل

(3 . 2 . 6) فولتية الذروة العكسية

(3 . 2 . 7) دوائر الترشيح : مرشح الادخال الخانق ، مرشح الادخال السعوي ، مرشح RC

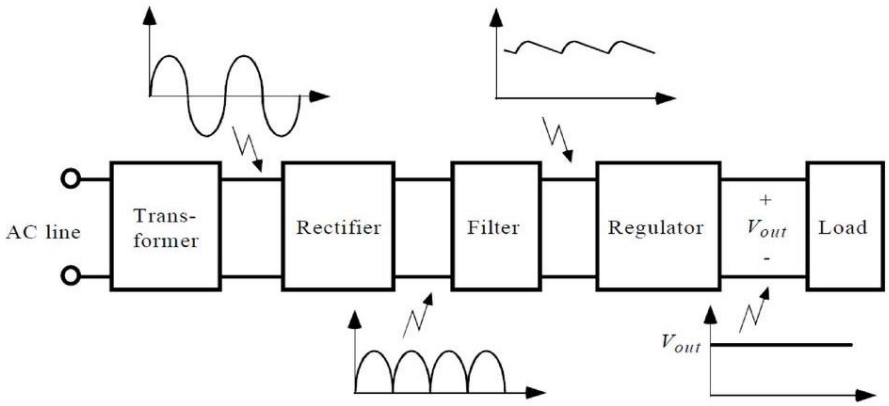
(3 . 3) دوائر تشكيل الموجة : التحديد وانواعه ، الالزام وانواعه ، مضاعف الفولتية

(3 . 4) الثنائيات الخاصة

(3 . 1)المقدمة:

تحتاج معظم الدوائر الالكترونية الى فولتية مستمرة لضمان تشغيلها وتحديد نقطة عملها . ويتم الحصول على هذه الفولتية المستمرة عادة من تحويل القدرة المتناوبة (ان الشبكة الوطنية تجهز منازلنا بفولتية متناوبة قيمتها الفعالة (جذر متوسط التربيع) في العراق ($V_{rms} = 220V$) وترددها (50Hz) بينما في الولايات المتحدة الامريكية ($V_{rms} = 120V$) وترددها (60Hz) اما في اوربا ($V_{rms} = 240V$) وترددها (60Hz)) المأخوذة من مصادر التجهيز وخفضها اولاً عن طريق محولة خافضة للفولتية ثم امرارها بدائرة المعدل (المقوم) ودائرة الترشيح للحصول على فولتية مستمرة ذات تموجات (ripple) قليلة جداً. وتختلف الحاجة من دائرة الى اخرى بالنسبة لنقاوة الفولتية المستمرة المطلوبة لتشغيل الدائرة الالكترونية .

(3 . 2) التعديل (التقويم)



شكل (1) مخطط يمثل مراحل مجهز القدرة الكهربائية المستمرة

اغلب مجهزات القدرة تتألف من محولة خافضة ومقوم موجة ومرشح والتي سوف نتطرق لها في هذا الفصل اما الجزء الاخير وهو المنظم سوف نتطرق له في الفصل القادم وهذه الاجزاء موضحة في الشكل (1) .

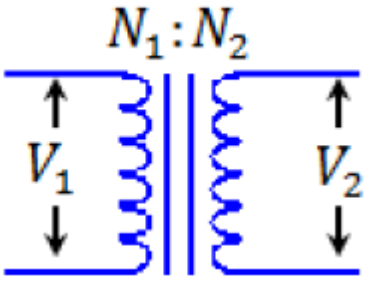
ان استعمال المحولة في دائرة مجهز القدرة هو لسببين هما :

1 . خفض الفولتية لقيمة مناسبة لعمل بقية اجزاء المجهز ووفقا للفولتية المستمرة المطلوبة .

2 . لعزل الدائرة عن خط القدرة مما يقلل من احتمال الاصابة بالصدمة الكهربائية .

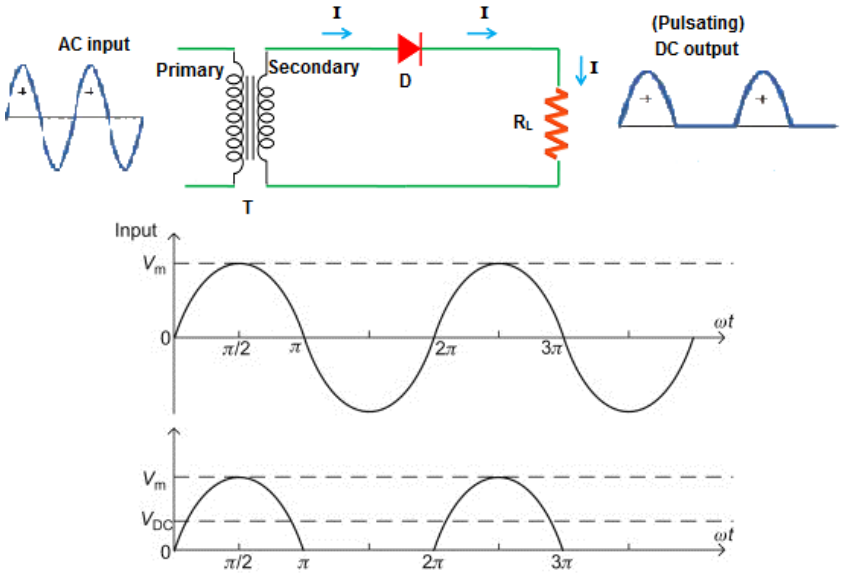
والشكل (2) يمثل رمز المحولة وتمثل : (N_1) عدد لفات الملف الابتدائي ، (N_2) عدد لفات الملف الثانوي ، والعلاقة التي تربط بين القيمة الفعالة لفرق الجهد على طرفي الملف الابتدائي (V_1) و القيمة الفعالة لفرق الجهد على طرفي الملف الثانوي (V_2) هي :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \qquad (1)$$



شكل (2) رمز المحولة

(3 . 2 . 1) مقوم نصف الموجة (Half – wave Rectifier)



شكل (3) دائرة مقوم نصف الموجة وشكل اشارة الادخال والاخراج

خلال النصف الاول من فولتية الادخال للمقوم يكون الثنائي منحاز اماميا ويسمح بمرور التيار من خلاله ويكون منحازا عكسيا خلال النصف السالب ولا يمرر التيار وكما موضح في الشكل (3) .

الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي للمحولة $V_{in} = V_P \sin\omega t$ (2)

ذروة الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي $V_P = \sqrt{2} V_{rms}$ (3)

ذروة الفولتية والتيار عند الملف الثانوي $V_M = \frac{N_2}{N_1} V_P \ and \ I_M = \frac{V_M}{R_L}$ (4)

حيث (R_L) هي مقاومة الحمل

قيمة المعدل (*average value*) وتعرف $V_{dc} = \frac{V_M}{\pi}$ (5)

ايضا بالقيمة المستمرة او فولتية الحمل المستمرة

تيار الحمل المستمر $I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{V_M}{\pi R_L} = \frac{I_M}{\pi}$ (6)

اما القيمة الفعالة للفولتية والتيار الخارجان من الثنائي فهي تساوي ($V'_{rms} = V_M / 2$) و ($I'_{rms} = I_M / 2$) على التوالي

$f_o = f_i$ (7) تردد الاخراج (f_o) يساوي تردد الادخال (f_i)

بأخذ قيمة الجهد الحاجز بنظر الاعتبار فان ذروة الفولتية على الحمل هي ($V'_M = V_M - V_B$)

مثال 1 : اذا كانت نسبة اللف (N1:N2 = 4:1) للمحولة المستخدمة في دائرة مقوم نصف الموجة وان القيمة الفعالة لفولتية المصدر هي 220 فولت وتردد الادخال 50 هرتز اوجد كل من ذروة الفولتية والتيار عند الملف الثانوي وفولتية الحمل المستمرة وتيار الحمل المستمر وتردد الاخراج علما ان مقاومة الحمل $R_L = 1K\Omega$.

الحل :

$$V_P = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2} \times 220\ Volt = 311.13\ Volt$$

$$V_M = \frac{N_2}{N_1}V_P = \frac{1}{4} \times 311.13\ Volt = 77.78\ Volt$$

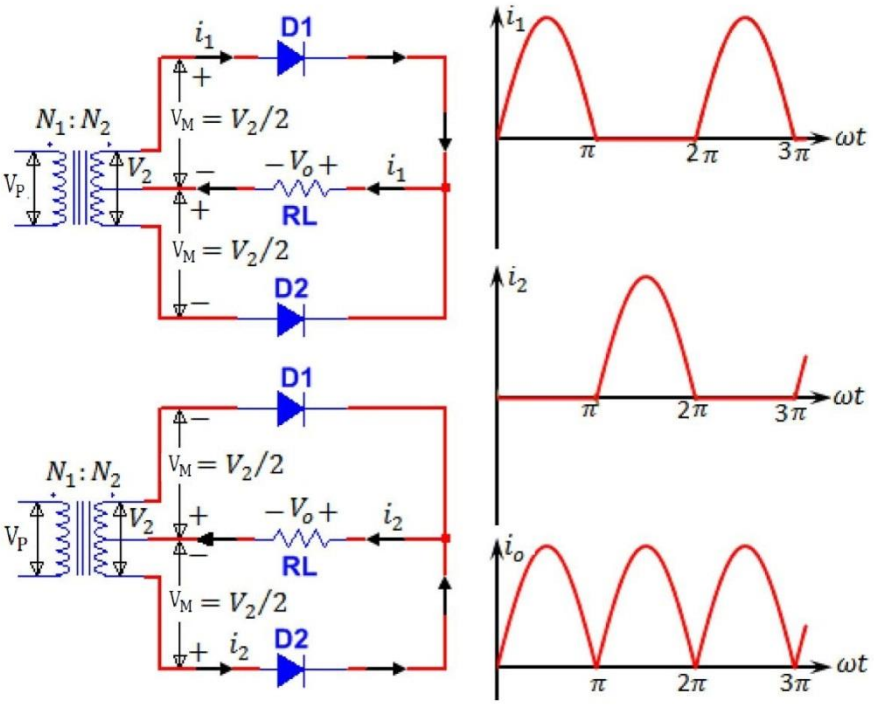
$$I_M = \frac{V_M}{R_L} = \frac{77.78\ Volt}{1K\Omega} = 77.78\ mA$$

$$V_{dc} = \frac{V_M}{\pi} = \frac{77.78\ Volt}{3.14} = 24.77\ Volt$$

$$I_{dc} = \frac{I_M}{\pi} = \frac{77.78\ mA}{3.14} = 24.77\ mA$$

$$f_o = f_i = 50\ Hz$$

(2 . 2 . 3) مقوم الموجة الكاملة بتفرع مركزي (Full – wave Center – tap Rectifier)



شكل (4) دائرة مقوم الموجة الكاملة باستخدام محولة ذات تفرع مركزي

الشكل (4) يوضح تركيب وعمل مقوم الموجة الكاملة بمحولة ذات تفرع مركزي ، حيث يتكون المقوم من ثنائيين (D_1 , D_2) ومحولة بتفرع وسطي والتي تختلف عن المحولات الاعتيادية بكون ملفها الثانوي عبارة عن ملفين متساويين ، وبالتالي تكون الفولتية الخارجة مقسمة الى جزئيين متساويين .

خلال النصف الاول من الموجة الداخلة يكون الثنائي D_1 منحازا اماميا ويمر التيار i_1 وبالاتجاه المبين بالشكل ، اما الثنائي D_2 فيكون منحازا عكسيا ولا يسمح بمرور التيار من خلاله وخلال النصف السالب من موجة الادخال (حيث تنقلب قطبية اطراف المحولة) يصبح الثنائي D_1 منحازا عكسيا اما الثنائي D_2 فيكون منحازا اماميا فيمر تيار i_2 عبره وبنفس اتجاه التيار i_1 ، وبالنتيجة نلاحظ مرور تيار في الحمل خلال النصف الاول والثاني وبنفس الاتجاه ، اي ان مقوم الموجة الكاملة يعمل على الاستفادة من نصفي الموجة في حين كان مقوم نصف الموجة من نصف موجة واحد فقط .

الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي للمحولة $V_{in} = V_P sin\omega t$ (8)

ذروة الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي $V_P = \sqrt{2} V_{rms}$ (9)

ذروة الفولتية والتيار عند الملف الثانوي $V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_P \ , V_M = \frac{1}{2} V_2 \ and \ \ I_M = \frac{V_M}{R_L}$ (10)

حيث (R_L) هي مقاومة الحمل

قيمة المعدل (*average value*) وتعرف $V_{dc} = \frac{2V_M}{\pi}$ (11)

ايضا بالقيمة المستمرة او فولتية الحمل المستمرة

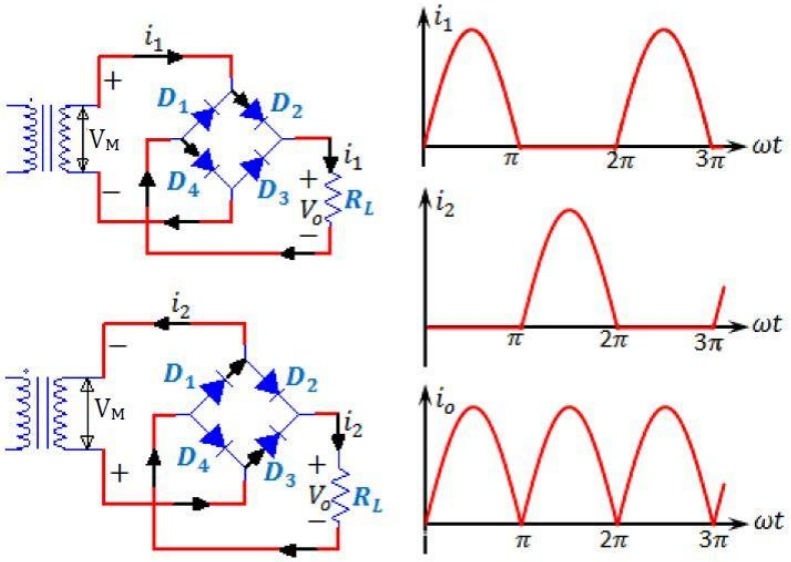
تيار الحمل المستمر $I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{2V_M}{\pi R_L} = \frac{2I_M}{\pi}$ (12)

اما القيمة الفعالة للفولتية والتيار الخارجان من الثنائي فهي تساوي ($V'_{rms} = V_M / \sqrt{2}$) و ($I'_{rms} = I_M / \sqrt{2}$) على التوالي .

تردد الاخراج (f_o) يساوي ضعف تردد الادخال (f_i) $f_o = 2f_i$ (13)

بأخذ قيمة الجهد الحاجز بنظر الاعتبار فان ذروة الفولتية على الحمل هي ($V'_M = V_M - V_B$)

(3 . 2 . 3) مقوم الموجة الكاملة القنطري (Full – wave Bridge Rectifier)



شكل (5) دائرة مقوم الموجة الكاملة القنطري

على الرغم من الكفاءة العالية التي تتمتع بها دائرة مقوم الموجة الكاملة باستعمال محولة ذات تفرع مركزي بالمقارنة مع مقوم نصف الموجة ، الا ان لها بعض المساوئ منها :

1 . عدم توفر محولة ذات تفرع مركزي في كل الاوقات ، وكذلك فان استعمال هكذا محولة يعني زيادة حجم الدائرة وزيادة تكاليفها .

2 . ثنائيات اشباه الموصلات المستعملة يجب ان تمتلك جهد انهيار تهدمي عالي (اكبر من ضعف ذروة الادخال) .

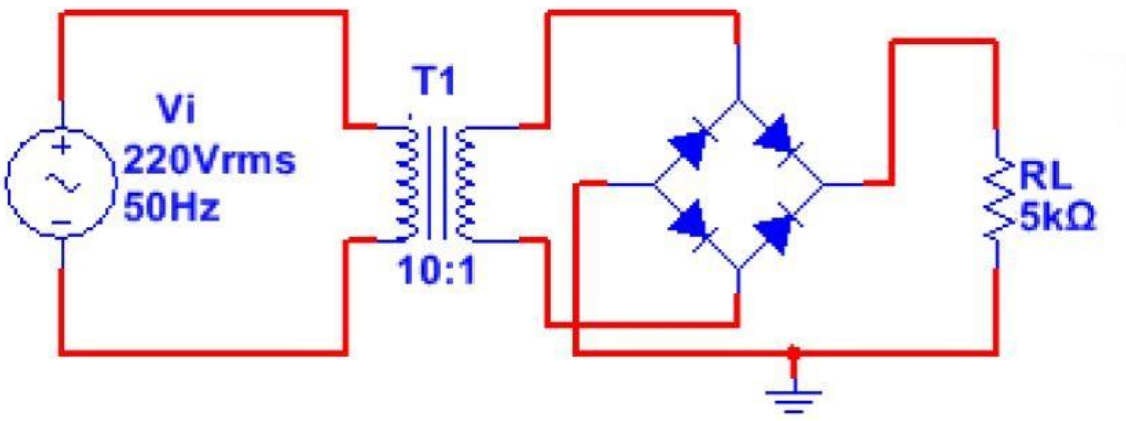
وللتغلب على هذه الصعوبات نستخدم مقوم القنطرة الذي يستعمل اربع ثنائيات وكما موضح بالشكل (5) .

خلال النصف الموجب من فولتية الادخال يكون كل من الثنائي (D_2) و (D_4) منحازين اماميا ويمر التيار عبر الحمل بالاتجاه الموضح بالشكل ، بينما يكون الثنائيان (D_3) و (D_1) في حالة انحياز عكسي ، اما خلال النصف السالب من موجة الادخال فيكون الثنائيان (D_2) و (D_4) في حالة انحياز عكسي والثنائيان (D_3) و (D_1) في حالة انحياز امامي ، فيمر عبرهما تيار في الحمل وبنفس اتجاه التيار الاول . وبالمحصلة يمر بالحمل تيار بنفس الاتجاه للنصف الموجب والسالب من موجة الادخال .

جميع العلاقات المستخدمة في مقوم الموجة الكاملة بمحولة ذات تفرع مركزي تنطبق على هذا المقوم . بأخذ قيمة الجهد الحاجز بنظر الاعتبار فان ذروة الفولتية على الحمل هي ($V'_M = V_M - 2V_B$) وذلك لان ثنائيان يوصلان في كل نصف ذبذبة .

ان مقوم القنطرة يعتبر من اكثر المقومات استعمالا اما عيبه الرئيسي فهو امتلاكه لأربعة ثنائيات وهذا يؤدي الى مشكلة عندما تكون الفولتية المراد تقويمها صغيرة ، ففي حالة استعمال ثنائيات سليكون يكون هبوط الفولتية ($2V_B = 1.4V$) وهي قيمة مؤثرة ولهذا السبب فان مقوم التفرع المركزي يفضل في التطبيقات ذات الفولتية المنخفضة .

مثال 2 : في الشكل التالي دائرة مقوم قنطري ، اوجد فولتية الحمل المستمرة وتيار الحمل المستمر وتردد الاخراج ، في حال كانت الثنائيات المستخدمة 1 . مثالية 2 . من السيلكون .



الحل :

$$V_P = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2} \times 220 \text{ Volt} = 311.13 \text{ Volt}$$
$$V_M = \frac{N_2}{N_1} V_P = \frac{1}{10} \times 311.13 \text{ Volt} = 31.11 \text{ Volt}$$

اولا : في حالة الثنائي مثالي

$$I_M = \frac{V_M}{R_L} = \frac{31.11 \text{ Volt}}{5K\Omega} = 6.22 \text{ mA}$$
$$V_{dc} = \frac{2V_M}{\pi} = \frac{2 \times 31.11 \text{ Volt}}{3.14} = 19.82 \text{ Volt}$$
$$I_{dc} = \frac{2I_M}{\pi} = \frac{2 \times 6.22 \text{ mA}}{3.14} = 3.96 \text{ mA}$$

ثانيا : في حالة الثنائي من السيلكون ($V_B = 0.7$)

$$I_M = \frac{V_M - 2V_B}{R_L} = \frac{(31.11 - 2 \times 0.7) \text{ Volt}}{5K\Omega} = 5.94 \text{ mA}$$
$$V_{dc} = \frac{2(V_M - 2V_B)}{\pi} = \frac{2 \times (31.11 - 2 \times 0.7) \text{ Volt}}{3.14} = 18.92 \text{ Volt}$$
$$I_{dc} = \frac{2I_M}{\pi} = \frac{2 \times 5.94 \text{ mA}}{3.14} = 3.78 \text{ mA}$$
$$f_o = 2f_i = 100 \text{ Hz}$$

(3 . 2 . 4) عامل التموج

تقاس مدى فعالية اي دائرة تقويم ومدى قدرتها على تقويم الموجات بواسطة كمية يطلق عليها عامل التموج (Ripple Factor) او اختصارا (r) الذي يعرف بانه النسبة بين القيمة الفعالة للمركبة المتناوبة من الموجة الخارجة الى معدل القيمة المستمرة لتلك الموجة الخارجة ويعرف عامل التموج رياضيا بالصيغة :

$$r = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{I_{ac}}{I_{dc}} \qquad (14)$$
$$r = \sqrt{\left(\frac{I'_{rms}}{I_{dc}}\right)^2 - 1} \qquad (15)$$

بالنسبة لدائرة مقوم نصف الموجة سبق ان وجدنا ($I_{dc} = I_M / \pi$) وان القيمة الفعالة كانت ($I'_{rms} = I_M / 2$) وبالتالي فان عامل التموج لمقوم نصف الموجة يكون :

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_M/2}{I_M/\pi}\right)^2 - 1} = 1.21 \qquad (16)$$

وهذا ان المركبة المتناوبة في الموجة الخارجة من دائرة مقوم نصف الموجة هي اكبر بـ (1.21) مرة من المركبة المستمرة لنفس الموجة ، مما يشير الى وجود تموج عالي في الموجة الخارجة من دائرة مقوم نصف الموجة ، ولهذا السبب فان مقوم نصف الموجة لا يعتبر فعالا في تقويم الموجات .

اما في حالة مقوم الموجة الكاملة فقد سبق ان وجدنا ان المركبة المستمرة الخارجة من المقوم كانت ($I_{dc} = 2I_M / \pi$) بينما القيمة الفعالة لها كانت ($I'_{rms} = I_M / \sqrt{2}$) وبالتالي فان عامل التموج لمقوم الموجة الكاملة يكون :

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_M/\sqrt{2}}{2I_M/\pi}\right)^2 - 1} = 0.483 \qquad (17)$$

وعليه فان المركبة المستمرة في الموجة الخارجة من مقوم الموجة الكاملة تكون اكبر من المركبة المتناوبة في نفس الموجة وبالتالي فان التموج في هذه الموجة يكون اقل مما هو عليه في الموجة الناتجة من مقوم نصف الموجة ، وبشكل عام كلما قل عامل التموج كانت فعالية الدائرة في التقويم افضل .

(3 . 2 . 5) كفاءة التعديل

تعرف كفاءة التعديل لأي مقوم بانها النسبة بين القدرة المستمرة التي يجهزها المقوم لمقاومة الحمل الى القدرة المتناوبة التي تدخل الى دائرة التقويم (اخذين بنظر الاعتبار اهمال المقاومة الامامية للثنائي) ويرمز لها بالرمز (η) اي ان :

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} 100\% \cong \frac{I_{dc}^2 R_L}{I_{rms}'^2 R_L} 100\% = \frac{I_{dc}^2}{I_{rms}'^2} 100\% \qquad (18)$$

وبالاعتماد على العلاقة الاخيرة يمكننا ايجاد كفاءة التعديل لكل من مقوم نصف الموجة ومقوم الموجة الكاملة ، وكما يلي :

في حالة مقوم نصف الموجة ($I_{dc} = I_M / \pi$) , ($I'_{rms} = I_M / 2$) وبالتعويض نحصل على :

$$\eta = \frac{(I_M/\pi)^2}{(I_M/2)^2} 100\% = 0.406\ X\ 100\% = 40.6\% \qquad (19)$$

اي انه في احسن الاحوال فان (40.6%) فقط من الفولتية المتناوبة الداخلة للمقوم تتحول الى فولتية مستمرة ، اما النسبة المتبقية فتتمثل بالمركبة المتناوبة التي تظهر على شكل تموج في فولتية الاخراج المستمرة .

في حالة مقوم الموجة الكاملة ($I_{dc} = 2I_M / \pi$) , ($I'_{rms} = I_M / \sqrt{2}$) وبالتعويض نحصل على :

$$\eta = \frac{(2I_M/\pi)^2}{\left(I_M/\sqrt{2}\right)^2} 100\% = 0.812\ X\ 100\% = 81.2\% \qquad (20)$$

نجد ان كفاءة التعديل لمقوم الموجة الكاملة هي ضعف كفاءة التعديل لمقوم نصف الموجة .

(3 . 2 . 6) فولتية الذروة العكسية

في حالة الانحياز العكسي يجب ان لا تتجاوز الفولتية العكسية المسلطة على طرفي الثنائي فولتية الانهيار التهدمي الخاصة به ، وتسمى اعظم قيمة للفولتية العكسية التي يجب ان يتحملها الثنائي بفولتية الذروة العكسية (PIV)(Peak Inverse Voltage) .

فولتية الذروة العكسية في حالة مقوم نصف الموجة هي $PIV = V_M$.

فولتية الذروة العكسية في حالة مقوم الموجة الكاملة بمأخذ وسطي هي $PIV = 2V_M$ يجب اختيار الثنائي هنا بحذر اكبر .

فولتية الذروة العكسية في حالة مقوم الموجة الكاملة القنطري هي $PIV = V_M$.

الجدول ادناه مقارنة بين مقومات الموجة الثلاثة .

	مقوم نصف الموجة	مقوم موجة كاملة	
		مقوم التفرع المركزي	المقوم القنطري
الحاجة لمحولة التفرع المركزي	كلا	نعم	كلا
عدد الثنائيات المستخدمة	1	2	4
تردد الاخراج (f_o)	f_i	$2f_i$	$2f_i$
القيمة المستمرة للفولتية (V_{dc})	V_M / π	$2V_M / \pi$	$2V_M / \pi$
القيمة المستمرة للتيار (I_{dc})	I_M / π	$2I_M / \pi$	$2I_M / \pi$
هبوط الجهد على الثنائيات	V_B	V_B	$2V_B$
عامل التموج (r)	1.21	0.483	0.483
كفاءة التعديل (η)	40.6%	81.2%	81.2%
اقصى جهد عكسي PIV	V_M	$2V_M$	V_M

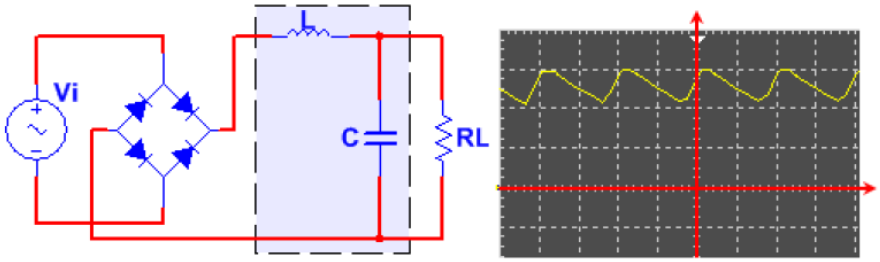
(7 . 2 . 3) دوائر الترشيح

ان استخدامات الفولتية المستمرة النبضية يقتصر على شحن البطاريات وتشغيل المحركات المستمرة وتطبيقات قليلة اخرى . اما ما نحتاجه فعلا فهي فولتية مستمرة ثابتة القيمة تشبه الفولتية التي نحصل عليها من البطارية . وعليه لا يمكن الاعتماد على دوائر التقويم وحدها كمصادر للجهد المستمر ما لم يضاف اليها دوائر اخرى تعمل على ازالة (ترشيح) الاجزاء المتناوبة من جهد الاخراج وتسمح للمركبة المستمرة بالمرور وتسمى دوائر الترشيح (Filter Circuits) واحيانا بدوائر التنعيم (Smoothing Circuits) .

تستعمل دوائر الترشيح عادة ، المتسعات والملفات وتُوظف قدرة تلك العناصر الكهربائية على خزن الطاقة في اجراء عملية تنعيم الجهد الخارج ومن ثم الحصول على جهد مستقر (ثابت القيمة) مع الزمن . وهناك عدة انواع من دوائر الترشيح وهي :

مرشح الادخال الخانق (Choke – Input Filter)

يبين شكل (6) مقوم موجة كاملة يغذي ملفا خانقا Choke (ملف محاثة ذو قلب حديدي) ومتسعة ومقاومة حمل . ان الموجة الكاملة الخارجة من المقوم لها مركبة مستمرة مطلوبة ومركبة متناوبة غير مرغوب فيها . يسمح الملف الخانق للمركبة المستمرة بالمرور فيه بسهولة لان ممانعة الملف ($X_L = 2\pi fL$) تساوي صفر تقريبا بالنسبة للتيار المستمر ($f = 0$) وكذلك فان المتسعة حيث رادتها ($X_C = 1 / 2\pi fC$) تمثل دائرة مفتوحة للتيار المستمر ($X_C = \infty$) ولذلك فان كل من التيار المستمر الخارج من الخانق يمر خلال مقاومة الحمل (R_L) . اما المركبة المتناوبة الخارجة من المقوم فيكون لها تردد يساوي ضعف التردد الداخل للمقوم ، ويقوم الملف الخانق بحجز تلك المركبة المتناوبة لان رادته الحثية عند تردد اخراج المقوم ، اضافة الى ذلك فان اية مركبة متناوبة استطاعت المرور خلال الخانق فأنها ستمر خلال المتسعة (حيث تكون رادتها صغيرة للمركبة المتناوبة) بدلا من مرورها خلال مقاومة الحمل .



شكل (6) دائرة مرشح الادخال الخانق

مرشح الادخال السعوي (Capacitive – Input Filter)

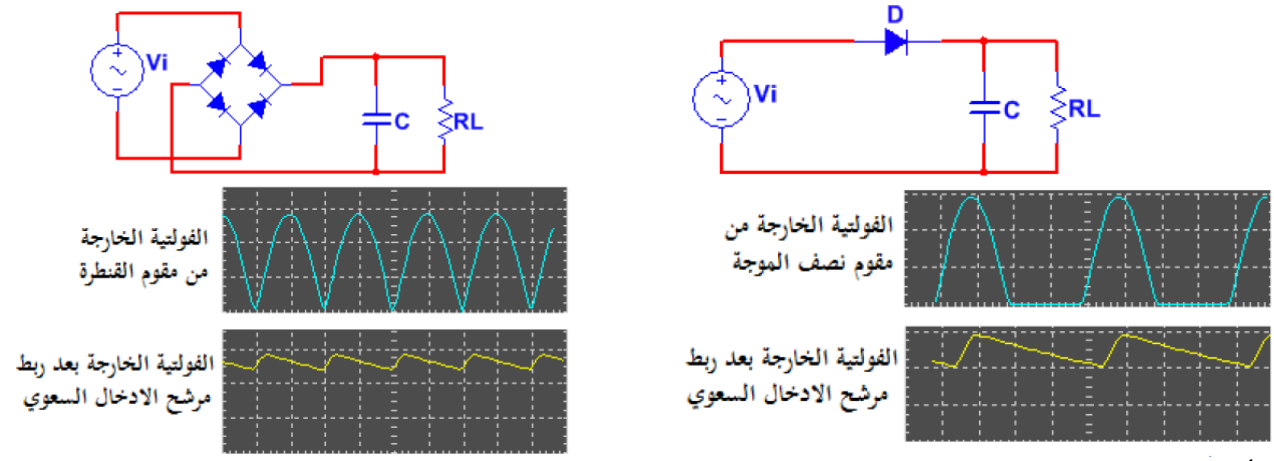
على الرغم من كون مرشح الادخال الخانق ممتازا في توهين التموج ولكنه كبير الحجم وغالي الثمن ، لذا وجدت مرشحات اخرى منها مرشح الادخال السعوي الذي يمتاز بصغر الحجم ورخص الثمن .

الشكل (7 أ) يوضح مرشح ادخال سعوي مع مقوم نصف موجة ، في خلال ربع الذبذبة الاول من فولتية الادخال يكون الثنائي في وضع انحياز امامي ويظهر مثاليا كانه مفتاح مغلق ، وبما ان الثنائي يربط الادخال على المتسعة مباشرة فأنها تشحن الى فولتية الذروة V_M ويكون ثابت R_fC الزمن للشحن قصير جدا (لكون مقاومة الثنائي الامامية صغيرة) . اما عند عبور الذروة الموجبة يتوقف الثنائي عن التوصيل (انحياز عكسي) وذلك لان المتسعة شحنت لجهد الذروة V_M وعندما تصبح فولتية الادخال اقل من جهد الذروة فان الثنائي يكون منحازا عكسيا (جهد الجهة n اكثر موجبية من جهد الجهة p) ، وبما ان الثنائي في حالة عدم توصيل ، تبدأ المتسعة بالتفريغ خلال مقاومة الحمل R_L ويكون ثابت الزمن R_LC اكبر بكثير من فترة ذبذبة اشارة الادخال T ولهذا السبب فان المتسعة ستفقد جزءا صغيرا من شحنتها وبالقرب من ذروة الادخال التالية يتحول الثنائي الى وضع التوصيل (انحياز امامي) لمدة وجيزة ويعيد شحن المتسعة الى جهد الذروة وهكذا تتكرر العملية .ان مقوما بتفرع مركزي او قنطري المربوط مع متسعة ينتج ترشيح افضل لان المتسعة تشحن مرتين كما موضح بالشكل (7 ب) ، ونتيجة لذلك يكون التموج اصغر وتقترب فولتية الاخراج المستمرة من فولتية الذروة . وللحصول على ثابت زمن طويل ، يجب ان يكون R_LC اكبر عشر مرات على الاقل من الزمن الدوري T للفولتية الخارجة من مقوم الموجة (مقوم الموجة الكاملة) ، اي ان الشرط هو ان يكون ($R_LC \geq T$) او ($R_LC \geq 5 / fi$) ، وفي حالة تحقق هذا الشرط يمكننا استخدام العلاقات التقريبية التالية : (لمقوم الموجة الكاملة)

$$V_{dc} = \left(1 - \frac{1}{4f_i R_L C}\right) V_M \qquad (21)$$

$$r = \frac{V_r}{V_M} = \frac{1}{4\sqrt{3} f_i R_L C} \qquad (22a) \qquad V_r = \frac{V_M}{4\sqrt{3} f_i R_L C} \qquad (22b)$$

$$C_{MIN} = \frac{1}{4r\sqrt{3} f_i R_L} \qquad (23)$$



أ – مرشح الادخال السعوي لمقوم نصف الموجة ب – مرشح الادخال السعوي لمقوم الموجة الكاملة

شكل (7) دائرة مرشح الادخال السعوي

مثال 3 : في الشكل التالي اذا علمت ان ذروة الفولتية الثانوية 32V وترددها 60Hz ، اوجد فولتية الاخراج المستمرة ومقدار التموج ؟ (اهمل هبوط الفولتية في الثنائي)

الحل : قبل تطبيق العلاقات التقريبية يجب اولا تحقيق الشرط

$R_LC = 320 \times 480\Omega \times 10^{-6}F = 153msec$

$5 / f_i = 5 / 60Hz = 83.3msec$

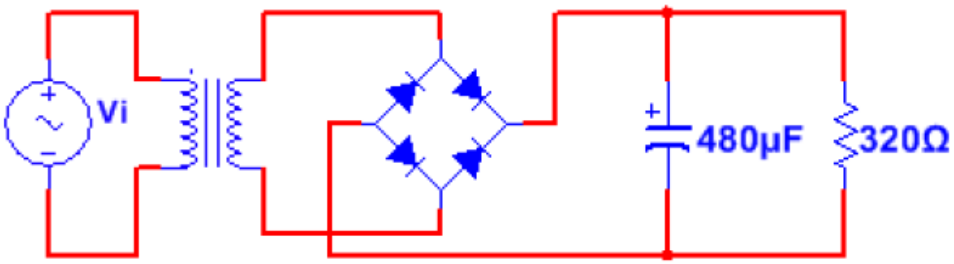
اذن $R_L C \geq 5 / fi$

يمكننا استخدام العلاقات التقريبية لتحقق الشرط ، نجد قيمة الفولتية المستمرة الخارجة من المرشح

$$V_{dc} = \left(1 - \frac{1}{4 f_i R_L C}\right) V_M = \left(1 - \frac{1}{4 \times 60Hz \times 320\Omega \times 480 \times 10^{-6}F}\right) \times 32V = 31.13V$$

القيمة الفعالة للمركبة المتناوبة الخارجة من المرشح

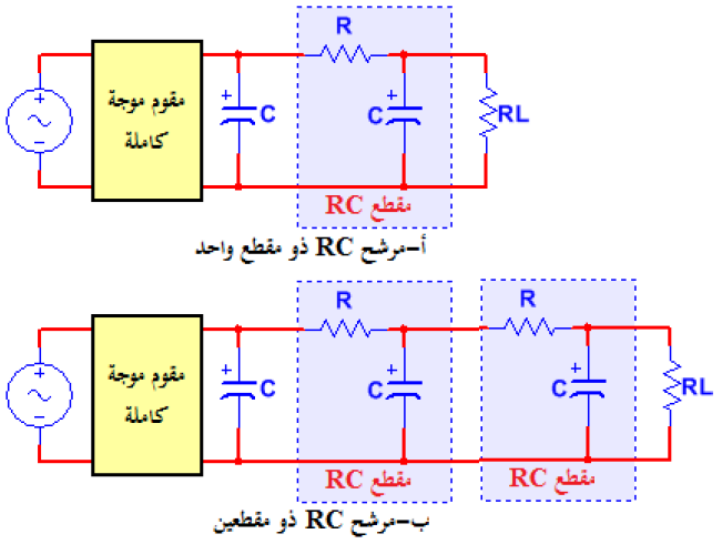
$$V_r = \frac{V_M}{4\sqrt{3} f_i R_L C} = \frac{32V}{4 \times \sqrt{3} \times 60Hz \times 320\Omega \times 480 \times 10^{-6}F} = 0.5V$$



مرشح RC (RC – Filter)

يبين الشكل (8 أ) مرشح RC يقع بين متسعة الادخال ومقاومة الحمل . اذا كان التصميم جيدا تكون قيمة المقاومة R اكبر بكثير من X_C ، لذلك تعمل الدائرة عمل مقسم فولتية متناوبة ، ويكون تموج الاخراج اقل من تموج الادخال . تكون R نموذجيا عشر اضعاف X_C على الاقل . وهذا يعني توهين او تقليل تموج الاخراج بعامل قيمته 10 مرات على الاقل .

بالإمكان استعمال اكثر من مقطع واحد كما يوضحه الشكل (8 ب) ، وبما ان كل مقطع يعمل عمل مقسم فولتية متناوبة فان التوهين الكلي يساوي حاصل ضرب مقادير التوهين كافة . العيب الرئيسي في هذا المرشح هو الخسارة في الفولتية المستمرة على المقاومة R .



الشكل (8) دائرة مرشح RC

(3 . 3) دوائر تشكيل الموجة

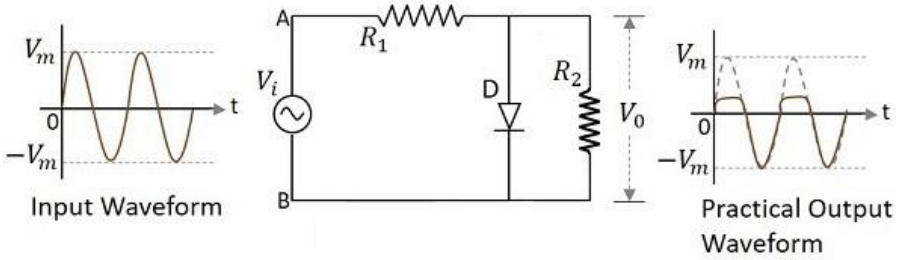
بالإضافة الى استعمال ثنائي اشباه الموصلات في دوائر التقويم الموجي ، فان لها استعمالات اخرى في دوائر تعمل على تغير شكل الموجة والتي تسمى بدوائر التشكيل الموجي وهي :

التحديد وانواعه

هي دوائر لها القابلية على تحديد (قطع) جزء من اشارة الادخال عند مستوى معين من دون احداث اي تغيير في الجزء المتبقي من الاشارة . وتستعمل دوائر التحديد في تطبيقات مثل الرادار والحواسيب ومنظومات الكترونية اخرى ، وهي على عدة انواع منها :

المحدد (المُقلم) الموجب (The Positive Clipper)

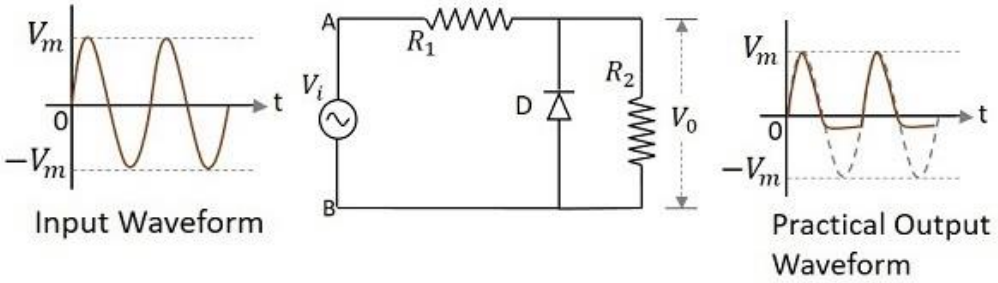
يقوم المحدد الموجب بقطع الجزء الموجب من اشارة الادخال اخذين بنظر الاعتبار الجهد الحاجز للثنائي ، والشكل (9) يوضح دائرة المحدد الموجب والاشارة الداخلة والخارجة من المحدد الموجب



الشكل (9) دائرة المحدد الموجب اخذين بنظر الاعتبار الجهد الحاجز للثنائي

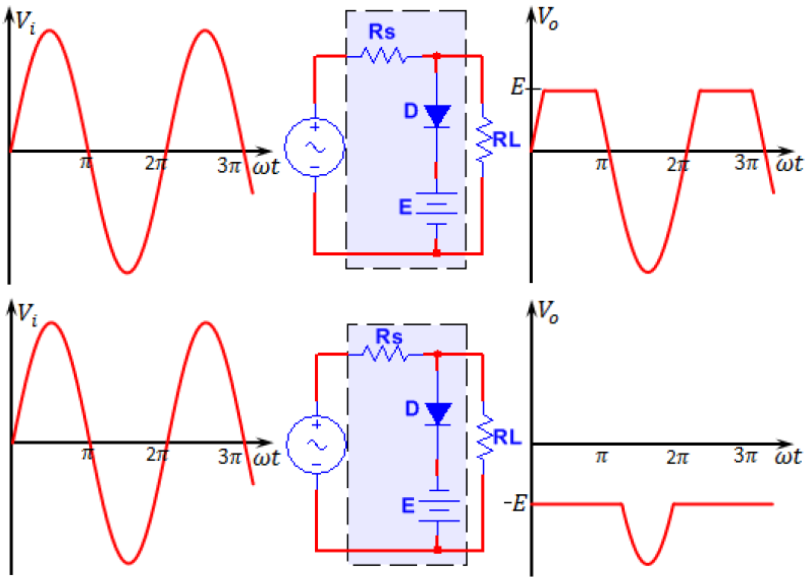
المحدد (المُقلم) السالب (The Negative Clipper)

يقوم المحدد السالب بقطع الجزء السالب من اشارة الادخال اخذين بنظر الاعتبار الجهد الحاجز للثنائي ، والشكل (10) يوضح دائرة المحدد السالب والاشارة الداخلة والخارجة من المحدد السالب



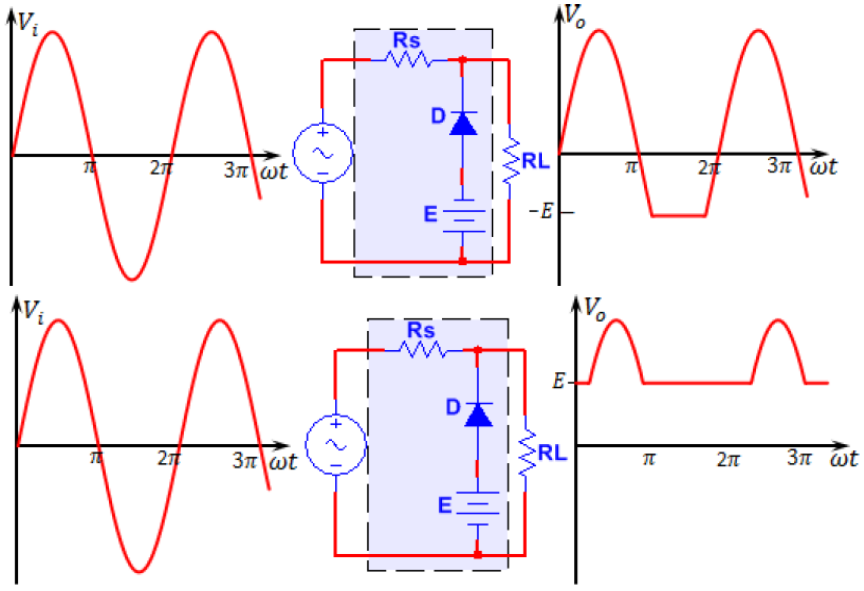
الشكل (10) دائرة المحدد السالب اخذين بنظر الاعتبار الجهد الحاجز للثنائي

المحدد الموجب المنحاز (The Biased Positive Clipper)



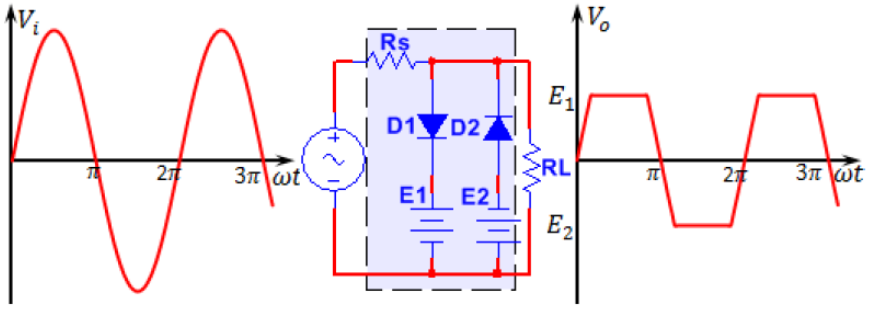
الشكل (11) دائرة المحدد الموجب المنحاز

المحدد السالب المنحاز (The Biased Negative Clipper)



الشكل (12) دائرة المحدد السالب المنحاز

المحدد المركب المنحاز

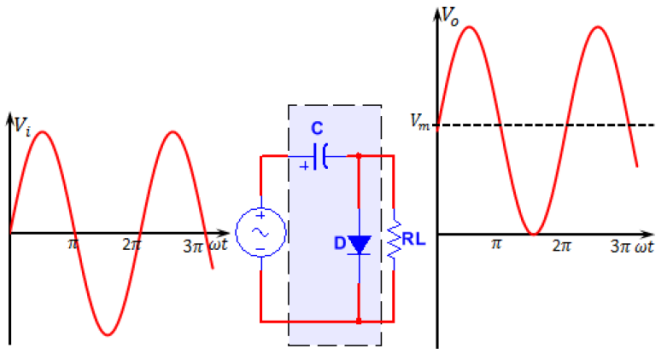


الشكل (13) دائرة المحدد المركب المنحاز

الالزام وانواعه

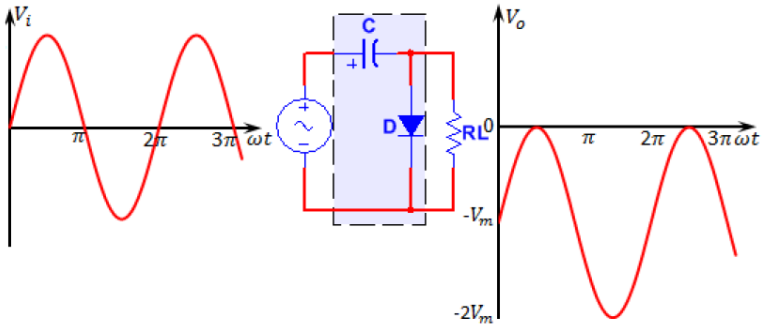
في بعض الاحيان تكون هناك حاجة لإضافة مستوى فولتية مستمرة لإشارة الادخال ، وتسمى الدوائر التي تعمل على اضافة مركبة مستمرة الى اشارة الادخال بدوائر الالزام . وتعتبر دوائر الالزام شائعة الاستعمال في الدوائر الالكترونية ومن امثلتها التلفاز حيث تستعمل لإضافة فولتية مستمرة لإشارة الصورة ، ويسمى الملزم المستعمل في التلفاز عادة بمستعيد المركبة المستمرة . تتكون دوائر الالزام من ثلاثة عناصر هي المتسعة ، ثنائي شبه موصل ومقاومة . يمكن تقسيم دوائر الالزام تبعا لقطبية الفولتية المضافة الى :

الملزم الموجب (Positive Clamper)



شكل (14) دائرة الملزم الموجب

الملزم السالب (Negative Clamper)



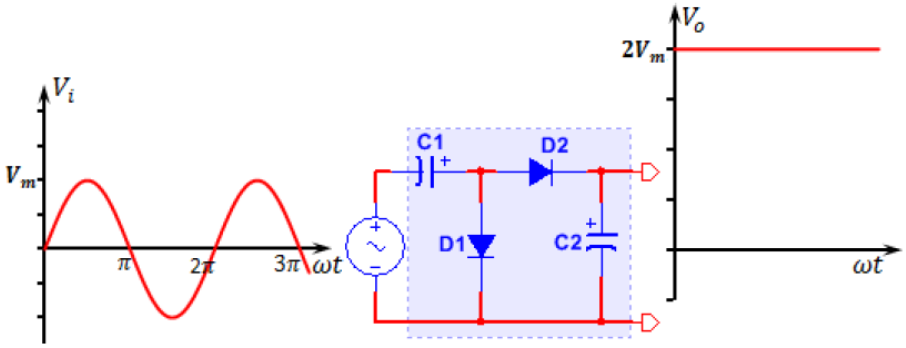
شكل (15) دائرة الملزم السالب

مضاعفات الفولتية

هي دوائر تستعمل للحصول على فولتية اخراج مستمرة تقريبا بالاعتماد على فولتية ادخال متناوبة ، وتستعمل تلك الدوائر في التطبيقات التي تحتاج الى فولتية عالية مع تيار قليل (مقاومة حمل عالية) مثل تزويد انبوبة الاشعة الكاثودية (CRO) المستعملة في راسم الاشارة والتلفاز بالفولتية العالية وتوجد عدة انواع من مضاعفات الفولتية :

مضاعف الفولتية للضعف (Voltage Doubler)

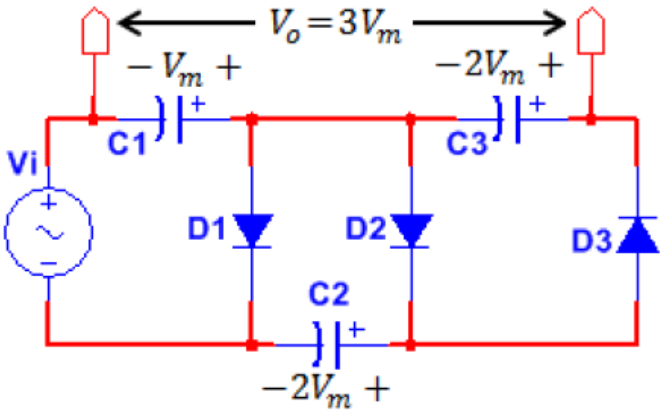
توفر هذه الدائرة فولتية مستمرة تساوي ضعف فولتية ذروة الادخال ($2V_m$) . الشكل (16) يوضح دائرة مضاعف الفولتية لضعفين والاشارة الداخلة والخارجة منها .



الشكل (16) دائرة مضاعف الفولتية للضعف

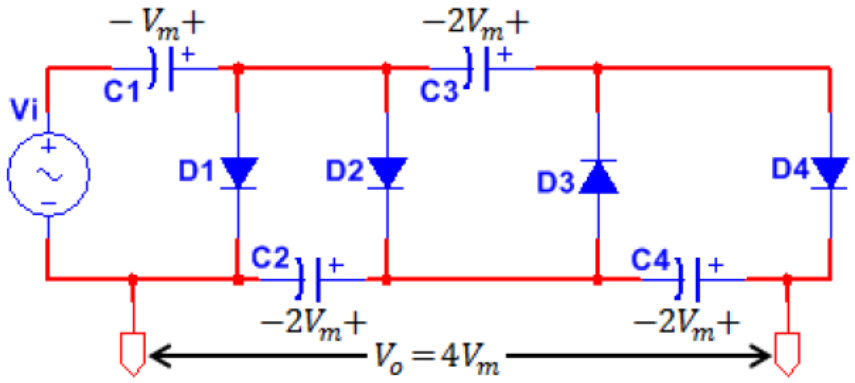
مضاعف فولتية الى ثلاثة اضعاف (Voltage Tripler)

بإضافة مقطع (ثنائي ومتسعة) ثالث لدائرة مضاعف الفولتية لضعفين نحصل على دائرة مضاعف فولتية لثلاث مرات الموضحة بالشكل (17) .



الشكل (17) دائرة مضاعف الفولتية لثلاث مرات

مضاعف فولتية الى اربع مرات (Voltage Quadrupler)



الشكل (18) دائرة مضاعف الفولتية لأربعة مرات

(4 . 3) ثنائيات الاستعمالات الخاصة

ان استعمال ثنائي التقويم الموجي في دائرة مجهز القدرة في تحويل الفولتية المتناوبة الى فولتية مستمرة يعتبر اكثر الثنائيات استعمالا ، الا ان هناك تطبيقات اخرى يمكن ان تقوم بها ثنائيات اشباه الموصلات بمواصفات خاصة . وسوف نتطرق لبعض من هذه الثنائيات وتطبيقاتها .

الثنائي الباعث للضوء (Light-Emitting Diode (LED)

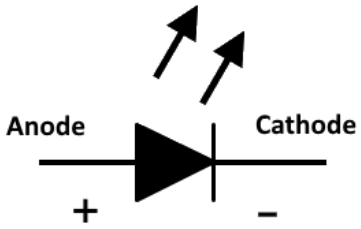
ذكرنا سابقا انه في حالة الثنائي شبه الموصل المنحاز اماميا فان الكترونات حزمة التوصيل تعبر الوصلة وتسقط في الفجوات ، وعند انتقال الكترون من حزمة التوصيل الى حزمة التكافؤ فانه يشع طاقة تعادل فرق الطاقة بين المستويين ، في حالة الثنائي الاعتيادي (ثنائي التقويم) فان الطاقة المنبعثة تكون على شكل حرارة ، ولكن في حالة الثنائي الباعث للضوء فان الطاقة المنبعثة تكون على شكل ضوء وتعطى هذه الطاقة بالعلاقة :

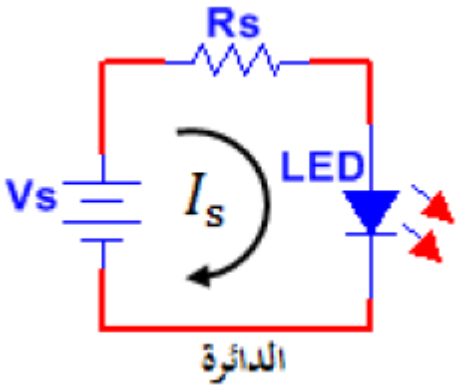
$$E_g(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (24)$$

يشار للثنائي الباعث للضوء بالاختصار (LED) . باستعمال مركبات العناصر مثل الكاليوم (Ga) والزرنيخ (As) والفسفور (P) يمكن تصنيع ثنائيات باعثة للضوء تشع اضواء تحت الحمراء (غير مرئية) ، حمراء ، صفراء ، او خضراء اما الازرق والبنفسجي والابيض فلم يتم الحصول عليه الا في بداية تسعينات القرن الماضي باستخدام مركبات العناصر المذكورة مع اضافة النيتروجين (N) وكذلك استخدام مركبات اخرى فجوة طاقتها عند الاطوال الموجية لهذه الالوان وهكذا صار بالإمكان صناعة ثنائيات باعثة للضوء وبجميع الالوان . الثنائيات الباعثة للضوء والتي تنتج اشعة مرئية تستعمل في عارضات الاجهزة والحاسبات والساعات الرقمية ، اما الثنائي الباعث لأشعة غير مرئية فيكون لها تطبيقات مثل اجهزة السيطرة عن بعد المستخدمة للأشعة تحت الحمراء وفي اجهزة الحماية من السرقة . في الآونة الاخيرة شاع استعمال الثنائي الباعث للضوء في اجهزة الانارة بدلا من مصابيح الانارة التقليدية (مصابيح التنكستن او الغازية) وذلك لما تمتاز به من صغر الحجم وخفة الوزن ، مجال طيفي واسع ، عمر استعمال طويل بالمقارنة مع المصابيح التقليدية ،صغر فولتية التشغيل (بحدود بضعة فولتات) ، وسرعة الغلق والفتح (بضعة نانو ثانية) .

الشكل (19) يمثل دائرة الثنائي الباعث للضوء ورمزه ، حيث تمثل (V_S) فولتية التحييز الامامية ، (R_S) مقاومة لتحديد التيار الامامي لكي لا يمر تيار اكبر من تحمل الثنائي (يكون عادة بين 10 الى 50 ملي امبير) ، (V_D) هو فرق الجهد بين طرفي الثنائي والذي يكون عادة اكبر من 1.5 واقل من 5 فولت وذلك تبعا للون الضوء المنبعث ، التيار المار واقصى تيار يمكن ان يتحمله الثنائي . بتطبيق قانون كيرشوف لفرق الجهد يمكننا ايجاد التيار المار بالثنائي الباعث للضوء (I_S) بالمعادلة :

$$I_S = \frac{V_S - V_D}{R_S} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (25)$$



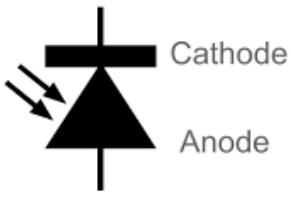


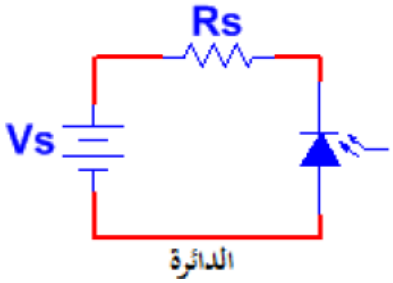
الشكل (19) دائرة الثنائي الباعث للضوء ورمزه

تمتاز الثنائيات الباعثة للضوء بكون فولتية الانهيار العكسية لها منخفضة نسبيا حيث تكون عادة بحدود 3 الى 5 فولت ، ولذا يجب تجنب تسليط فولتيات عكسية عالية على الثنائي الباعث للضوء لان ذلك يؤدي الى تلف الثنائي .

الثنائي الضوئي Photo Diode

ذكرنا سابقا ان الطاقة الحرارية تزيد من حاملات الشحنة الاقلية في الثنائي ، وكلما ارتفعت درجة الحرارة زاد عدد حاملات الشحنة وبالتالي يزداد التيار العكسي المار بالثنائي بزيادة درجة الحرارة ، وكذلك تستطيع الطاقة الضوئية انتاج حاملات الشحنة الاقلية . بوجود منفذ (شباك) يستطيع الضوء من خلاله الوصول للوصلة ، يستطيع المُصنع ان ينتج ثنائيا ضوئيا (Photo Diode) ، وعندما يسقط ضوء خارجي على وصلة ثنائي ضوئي منحاز عكسيا تتولد ازواج (الكترون – فجوة) داخل طبقة الاستنزاف . وكلما كان الضوء قويا زاد عدد حاملات الشحنة الاقلية المنتجة ضوئيا وزاد التيار العكسي . ولهذا السبب يمكن عمل متحسسات (كواشف) ضوئية ممتازة من الثنائيات الضوئية . عادة ما يكون التيار العكسي لثنائي بوجود الضوء بحدود عشرات المايكرو امبير والشكل (20) يوضح دائرة الثنائي الضوئي ورمزه .



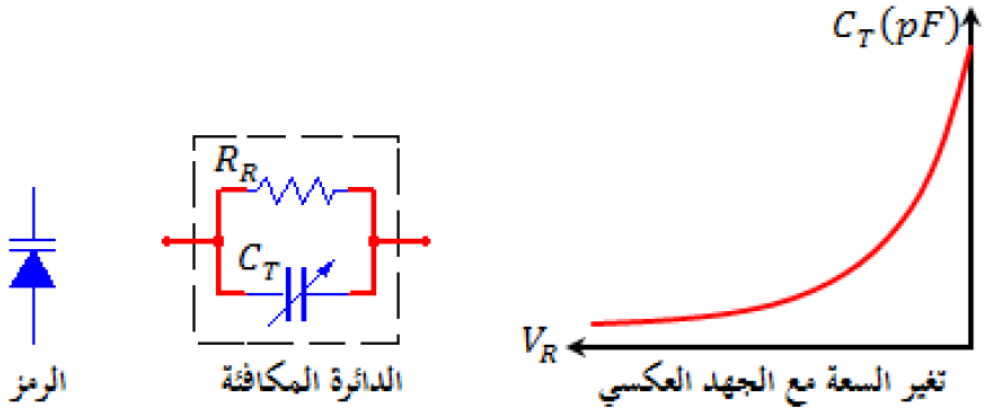


الشكل (20) دائرة الثنائي الضوئي ورمزه

ثنائي السعة المتغيرة Varactor

يستعمل ثنائي السعة المتغيرة بكثرة في اجهزة الاستقبال التلفزيونية والراديوية ، وفي مختلف اجهزة الاتصالات وذلك لمقدرتها على التوليف الالكتروني (Electronic Tuning) ولذلك يسمى ثنائي السعة المتغيرة بثنائي التوليف (Tuning Diode) .

ان الفكرة الاساسية لعمل ثنائي السعة المتغيرة هي الاستفادة من خصائص الثنائي في حالة الانحياز العكسي ، فكلما كبرت الفولتية العكسية زاد عرض طبقة الاستنزاف ، وبسبب عدم امتلاك طبقة الاستنزاف لحاملات الشحنة فهي تعمل عمل عازل كهربائي . من ناحية اخرى فان منطقتي p و n المطعمتين تعملان عمل موصلين جيدين . وهكذا نستطيع ان نتخيل منطقتي p و n المفصولتين بطبقة الاستنزاف متسعة ذات لوحيين متوازيين . عندما تزداد الفولتية العكسية يزداد البعد بينهما ، وبالتالي فان السعة (C_T) تقل عند زيادة الفولتية العكسية (V_R) ، وبالتالي يمكننا التحكم بالسعة من خلال الفولتية العكسية المسلطة . والشكل (21) يوضح منحني تغير السعة لثنائي السعة المتغيرة ، الدائرة المكافئة ، والرمز .

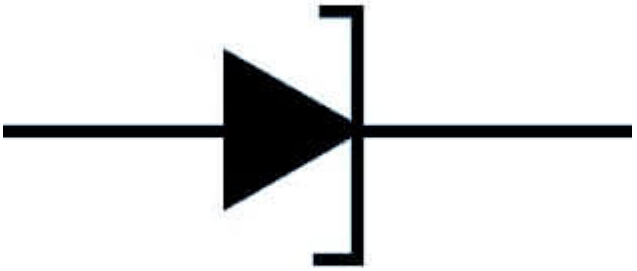


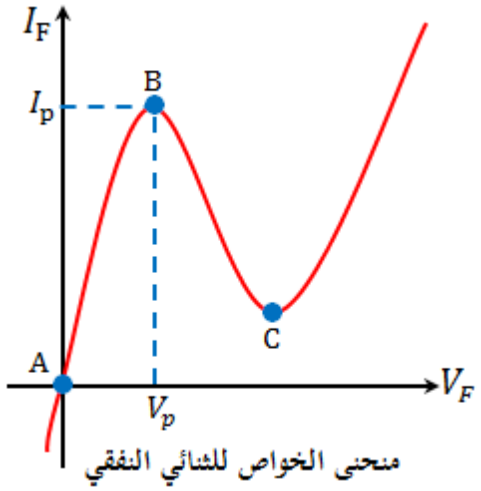
شكل (21) منحني تغير السعة لثنائي السعة المتغيرة ، الدائرة المكافئة ، والرمز

الثنائي النفقي Tunnel Diode

يمتاز الثنائي بخاصية فريدة تدعى بالمقاومة السالبة (Negative Resistance) وهذه الخاصية تجعله مفيدا في التطبيقات المتعلقة بالمذبذبات ومضخمات الموجات الدقيقة . يتم تصنيع الثنائي النفقي من مادة الجرمانيوم او الكاليوم ارسنايد (Gallium Arsenide) ، ويتم تطعيم هذا الثنائي بنسبة كبيرة جدا بالمقارنة مع تطعيم الثنائي الاعتيادي ، ان ذلك التطعيم العالي يؤدي الى جعل طبقة الاستنزاف ضيقة جدا ، حيث يتناسب سمك طبقة الاستنزاف عكسيا مع الجذر التربيعي لتركيز الشوائب . يمكن ان يصل سمك هذه الطبقة في الثنائي النفقي الى اقل من (0.01μm) ويبلغ المجال الكهربائي عبر الوصلة اكثر من (900kv/cm) . تحت هذه الظروف وبسبب الطبيعة الموجية للإلكترون فقد يحتمل ان يجتاز الالكترون حاجز الجهد ، وتسمى هذه الظاهرة بالتنفيق (Tunneling) حيث يتمكن الالكترون من عبور تل الطاقة على الرغم من عدم امتلاكه الطاقة الكافية لهذا يسمى بالثنائي النفقي . لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بالاعتماد على مبادئ الميكانيك الكلاسيكي ، بينما يتمكن الميكانيك الكمي من تفسيرها بالاعتماد على حقيقة كون الموجة لها القدرة على اختراق حاجز الجهد من خلال استخدام الطاقة المرافقة في عملية الاختراق ، ويكون تيار التنفيق محسوسا اذا كانت طبقة الاستنزاف رقيقة جدا والشكل (22) يوضح منحني الخواص للثنائي النفقي ورمزه .

نلاحظ من منحني الخواص ان التطعيم العالي للثنائي النفقي يجعله موصلا للتيار في كامل منطقة الانحياز العكسي ولا وجود لظاهرة الانهيار التي تظهر في الثنائي الاعتيادي ، في الانحياز الامامي ولفولتيات تحييز واطئة (المنطقة من A الى B) فان ضيق طبقة الاستنزاف سوف تسمح للإلكترونات بالتنفيق ويتصرف الثنائي كموصل . عند النقطة B فان فولتية التحييز الامامية ستعزز الحاجز وبالتالي يقل التيار مع زيادة فولتية التحييز وتكون قيمة المقاومة سالبة وتستمر الحالة الى النقطة C وعندها تنتهي ظاهرة التنفيق ويرجع الثنائي لسلوكه المتعارف عليه في الثنائي الاعتيادي .

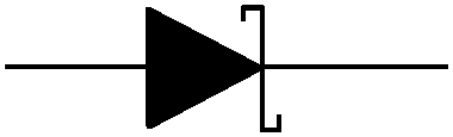




شكل (22) منحني الخواص للثنائي النفقي ورمزه

ثنائي شوتكي Schottky Diode

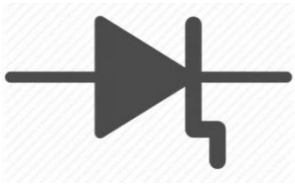
عند الترددات العالية جدا (الاعلى من 300MHz) فان الثنائي العادي يفشل في عملية تقويم الموجة اذ لا تتناسب سرعته في الغلق والفتح (الاستجابة للانحياز الامامي والعكسي) مع سرعة تناوب اشارة الادخال ، وللتغلب على هذه المشكلة صمم ثنائي شوتكي . في هذا الثنائي يستعمل معدن مثل : الذهب ، الفضة ، او البلاتين على جهة واحدة من الوصلة وسليكون مشوب (عادة نوع n) على الجهة الثانية ، لذا يكون هذا النوع من الثنائيات مكون الكتروني احادي القطبية لان الالكترونات الحرة هي الحاملات الاغلبية في جهتي الوصلة . وكذلك فان ثنائي شوتكي لا يمتلك طبقة استنزاف او خزن شحنة ونتيجة لذلك يمكن تحويله من وضع الغلق الى الفتح بصورة اسرع بكثير من الثنائي الاعتيادي (ثنائي القطبية) ، بالتالي يمكن استعمال ثنائي شوتكي في التطبيقات المتعلقة بتقويم الموجة في الترددات العالية جدا . والشكل ادناه يمثل رمز الثنائي



ثنائي الرجوع المدرج Step-Recovery Diode

في هذا النوع من الثنائيات الخاصة يكون مستوى التطعيم قرب الوصلة اقل مما عليه في منطقتي n و p وهذا يوفر للثنائي امكانية خزن الشحنة . خلال التوصيل الامامي يعمل الثنائي عمل ثنائي اعتيادي ، اما عند الانحياز

العكسي فان ثنائي الرجوع المدرج يوصل التيار بينما تنضبط طبقة الاستنزاف ومن ثم فجأة يهبط التيار العكسي الى الصفر . يستعمل ثنائي الرجوع المدرج في التطبيقات المتعلقة بدوائر النبضات والدوائر الرقمية لتوليد نبضات سريعة جدا . والشكل ادناه يمثل رمز الثنائي

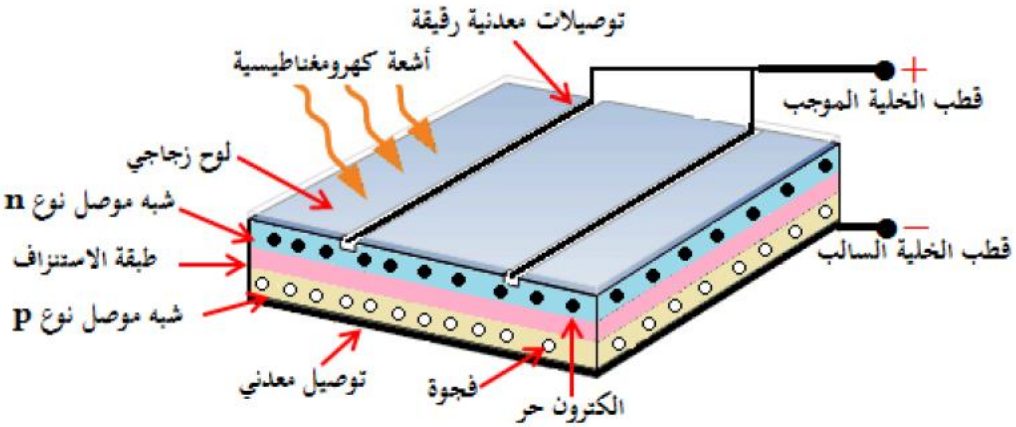


ثنائي الليزر Lazer Diode

في حالة الثنائي الباعث للضوء يكون الضوء المنبعث غير متشاكه (Noncoherent Light) وذلك لان الكترونات التوصيل تهبط بصورة عشوائية الى مستوى التكافؤ ويكون انبعاث الضوء ناتج من عملية الانبعاث التلقائي ، بينما في ثنائي الليزر انبعاث الضوء ناتج من عملية تسمى الانبعاث المحفز ويكون الضوء الناتج من انتقال الالكترونات من حزمة التوصيل الى حزمة التكافؤ يمتاز بالتشاكه بالإضافة الى الشدة العالية والنقاوة الطيفية ، يبعث ثنائي الليزر ضوء بالوان مختلفة منها الاحمر ، الاخضر ، الازرق . لثنائي الليزر تطبيقات واسعة منها استعماله في الاتصالات ، انظمة تحديد المدى ، اجهزة الطباعة الليزرية ، محرك الاقراص المدمجة ، تطبيقات صناعية ، تطبيقات طبية . ويسمى ثنائي الليزر احيانا بليزر اشباه الموصلات .

الخلية الشمسية Solar Cell

وهي عبارة عن وصلة شبه موصل موجب – شبه موصل سالب (p-n junction) مصنوعة عادة من السليكون وكما في الشكل (23) .



شكل (23) تركيب الخلية الشمسية

تعمل الخلية الشمسية على تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية ، حيث يسبب الضوء الساقط على منطقة الوصلة انتقال بعض الكترونات التكافؤ الى حزمة التوصيل مخلفة فجوة في محلها ، وتعمل التوصيلات المعدنية على جمع الالكترونات الحرة المتولدة مكونة تيار كهربائي تعتمد شدته على خصائص الخلية بالإضافة الى شدة الاشعاع الساقط .

اسئلة ومسائل الفصل

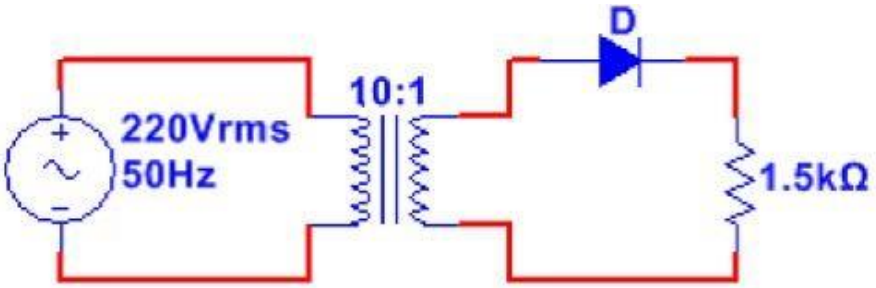
س1 : عرف كل من : دوائر التقويم ، فولتية الذروة العكسية ، عامل التموج ، كفاءة التعديل ، دوائر الالزام ، الثنائي الضوئي ، ظاهرة التنفيق .

س2 : قارن بين مقوم نصف الموجة ومقوم الموجة الكامل بمحولة تفرع مركزي ومقوم الموجة القنطري

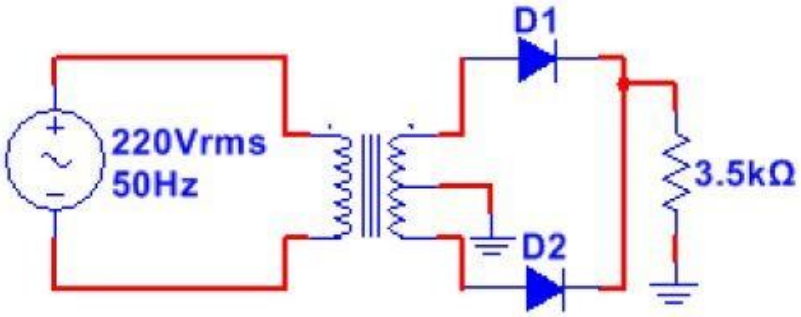
س3 : علل ما يلي :

1. استعمال مقوم التفرع المركزي في حالة تقويم الفولتيات الواطئة .
2. استعمال المرشحات في دائرة مجهز القدرة المستمرة .

س4 :في الشكل التالي اوجد : مقدار فولتية الحمل المستمرة ، تيار الحمل المستمر ، PIV على الثنائي ، عامل التموج وكفاءة التعديل للمقوم .



س5 : نسبة اللف في الشكل التالي تساوي (1 : 7) ، اوجد فولتية الذروة للحمل ، فولتية الحمل المستمرة ، تيار الحمل ، PIV على كل ثنائي ، عامل التموج وكفاءة التعديل للمقوم .



س6 : للفولتية الثانوية في الشكل التالي قيمة عظمى 32V وترددها 50Hz ، اوجد فولتية الحمل المستمرة ، القيمة الفعالة للتموج ، وعامل التموج