

الفصل الرابع

استعمالات الثنائيات البلورية (Diode Applications)

- تعتبر كل من الصمامات الثنائية والثنائيات البلورية عنصران مهمان في الكثير من الاجهزة والدوائر الالكترونية ولهما استخدامات عديدة في مجال الالكترونيات . حيث ان كل منهما يسمح للتيار بالمرور في اتجاه واحد وبالتالي فإن منحنى الخواص (I-V) متماثل لكل منهما وبالتالي فإن استعمالها يكون واحداً. الا ان الثنائيات البلورية تفضل على الصمامات الثنائية المفرغة بالمميزات التالية
1. الاستهلاك القليل للقدرة (اي عدم الحاجة الى الطاقة اللازمة لتسخين الفتائل).
 2. صغر الحجم وخفة الوزن.
 3. طول عمر هذه الاجهزة (يبلغ عشرات الالاف من الساعات مقارنة مع عمر الصمامات الثنائية المفرغة).
 4. المتانة الميكانيكية العالية (تتحمل الصدمات والمؤثرات الميكانيكية الاخرى).

وعلى الرغم من كل هذه المميزات الا ان للثنائيات البلورية عيوب وهي

1. الاختلاف الواسع بين ثوابت الثنائيات ذات الطراز الواحد.
2. الاعتماد الشديد لخصائص هذه الثنائيات على درجة الحرارة.
3. لا تصلح الكثير منها للعمل في الترددات العالية.
4. لا تستطيع العمل مع القدرات العالية.
5. يسوء عمل هذه الثنائيات بتأثير الاشعاع المؤين.

● مجهز القدرة (Power Supply)

ان اغلب الاجهزة والدوائر الالكترونية تحتاج الى مجهز قدرة مستمر. ومجهز القدرة هو جهاز يحول الجهد المتناوب المجهز تجارياً للمدن والمعامل الى جهد مستمر يصلح لتشغيل الدوائر الالكترونية وهو يتركب من ثلاث عناصر رئيسية:

1. المحولة.
2. المعدل او (المقوم).
3. المرشح.

وفي مجهز القدرة يجب ملاحظة الاعتبارات التالية:

1. كفاءة التعديل (rectification efficiency)

وتدعى احياناً بكفاءة تحويل القدرة (efficiency of power conversion) وهي النسبة بين القدرة المستمرة الخارجة في مقاومة

$$\eta = \frac{(P_{D.C})_{out}}{(P_{A.C})_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots (4-1) \quad \text{الحمل والقدرة المتناوبة الداخلة. ويرمز لها بالرمز } (\eta) \text{ اي ان:}$$

وهي تعني ايضاً الكفاءة التي يتحول بها التيار او الجهد المتناوب الى تيار او جهد مستمر.

2. انتظام الجهد (voltage regulation)

وهو قياس لقابلية المعدل في الحفاظ على قيمة معينة من الجهد المستمر الخارج مع التغير الحاصل في مقاومة الحمل وتكون النسبة

$$\gamma = \frac{V_{D.C} \text{ حمل كامل} - V_{D.C} \text{ بدون حمل}}{V_{D.C} \text{ حمل كامل}} \times 100\% \quad \dots\dots (4-2) \quad \text{المتوية لانتظام الجهد } (\gamma) \text{ كما يلي:}$$

وبالنسبة لمجهز القدرة المثالي فإن الجهد الخارج (او التيار الخارج) لا يعتمد على مقاومة الحمل , اي ان النسبة المتوية لانتظام الجهد يساوي صفر.

3. القيمة العظمى للجهد المعكوس (peak inverse voltage)

تعرف القيمة العظمى للجهد المعكوس (V_{piv}) بأنها اعلى قيمة انية للجهد الداخل في الاتجاه الذي يعطي انحيازاً معكوساً للثنائي . فعندما لا يمر تيار في الثنائي (اي خلال نصف الموجة السالب) فإن الجهد الداخل سيكون مسلطاً على الثنائي باقطاب معكوسة . الا انه عند زيادة هذا الجهد عن الحد المعين سير تيار كبير في الثنائي باتجاه معكوس وبهذا تنتهي ميزته في التعديل وقد يؤدي هذا التيار الى تحطيم الثنائي. لهذا السبب يجب عدم تسليط جهد معكوس اكبر من القيمة العظمى للجهد المعكوس للثنائيات المستخدمة لتفادي تلفها.

4. عامل التموج (او النموذج) (ripple factor)

يعمل المعدل على تحويل التيار (او الجهد) المتناوب الى تيار (او جهد) في اتجاه واحد . اي ذو نبضان دورية تحتوي على مركبات متناوبة اضافة الى الجزء المستمر المطلوب . ويطلق على المركبات المتناوبة بالتموجات ولهذا السبب تستعمل المرشحات لتقليص هذه التموجات وكمياس للتموجات في التيار او الجهد يعرف عامل التموج (r):

$$r = \frac{\text{القيمة الفعالة للمركبة المتناوبة في الاشارة}}{\text{القيمة المتوسطة للاشارة}} = \frac{V_{A.C}}{V_{D.C}} = \frac{I_{A.C}}{I_{D.C}} \dots\dots (4-3)$$

$$I_{rms} = (I_{A.C}^2 + I_{D.C}^2)^{1/2} , \quad V_{rms} = (V_{A.C}^2 + V_{D.C}^2)^{1/2}$$

$$I_{A.C} = (I_{rms}^2 - I_{D.C}^2)^{1/2} \rightarrow r = \frac{(I_{rms}^2 - I_{D.C}^2)^{1/2}}{I_{D.C}} , \quad r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{D.C}}\right)^2 - 1}$$

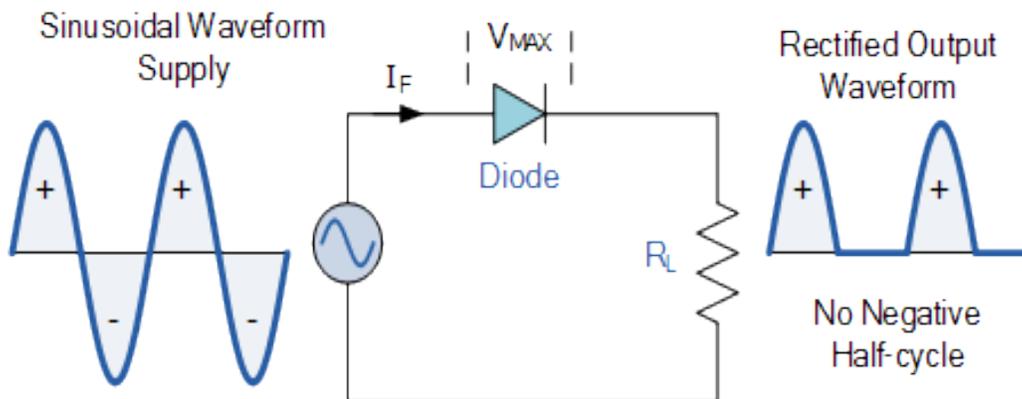
حيث ان I_{rms} يحتوي على مركبيتي التيار المتناوب $I_{A.C}$ والمستمر $I_{D.C}$.

• التقويم (rectification)

يقوم المقوم او المعدل (rectifier) بتحويل شكل موجة جيبيية داخلية (والتي متوسط قيمتها يساوي صفراً) كما هو الحال في التيار المتناوب الى شكل موجة ذات اتجاه واحد (ومتوسط قيمتها لا يساوي صفراً)، وذلك اعتماداً على خاصية الثنائي بأبداء مقاومة صغيرة للتيار بالاتجاه الامامي ومقاومة كبيرة بالاتجاه العكسي . وتصنف المعدلات الى عدة انواع منها:

1 - مقوم نصف الموجة (half wave rectifier)

يمثل الشكل (1-4) مقوم نصف الموجة مثالي مع اهمال مقاومة المحولة والمؤثرات الاخرى.



شكل (4-1) دائرة مقوم نصف الموجة مع الاشارة الداخلة والخارجة

يمكن تمثيل الجهد المتناوب الداخل في الدائرة من الملف الثانوي للمحوالة بالمعادلة الجيبية: (4-1) $V_i = V_m \sin wt$
 حيث ان V_m هو سعة الجهد الداخل و w هو التردد الزاوي للاشارة الداخلة.
 عند نصف الموجة الموجب يمكن تمثيل التيار المار في المقاومة R_L كما يلي:

$$i = I_m \sin wt \quad \text{when } 0 \leq wt \leq \pi \quad \text{..... (4-2)}$$

وفي نصف الموجة السالب يكون: (4-3) $i = 0 \quad \text{when } \pi \leq wt \leq 2\pi$

ان القيمة العظمى للتيار المار في مقاومة الحمل هي: (4-4) $I_m = \frac{V_m}{R_L}$

وبما ان مقاومة الثنائي عند توصيله هي R_f فان معادلة (4-4) تصبح: (4-5) $I_m = \frac{V_m}{(R_L + R_f)}$

D.C اميتر: ان الاميتر الخاص بقياس التيار المستمر مصمم بحيث ان انحراف المؤشر يعطي معدل التيار المار فيه , وبالتعريف فان معدل القيمة لدالة دورية (periodic function) يساوي المساحة تحت دورة واحدة مقسمة على طول القاعدة , ويمكن تمثيل

$$I_{D.C} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} id(wt) \quad \text{..... (4-6)}$$

معدل القيمة للتيار $I_{D.C}$ كما يلي:

وعند تطبيق هذه المعادلة على الاشارة الخارجة من معدل نصف الموجة الممثل بالمعادلتين (4-2) و (4-3) نحصل على:

$$I_{D.C} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} I_m \sin wt d(wt) + \int_{\pi}^{2\pi} (0) d(wt) \right] = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos wt]_0^{\pi}$$

$$I_{D.C} = \frac{I_m}{\pi} = 0.318 I_m \quad \text{..... (4-7)}$$

او

$$I_{D.C} = \frac{V_m}{\pi R_L}$$

وعند اخذ مقاومة الثنائي R_f بنظر الاعتبار في حالة الانحياز الامامي فان قراءة الاميتر ستكون:

$$I_{D.C} = \frac{V_m}{\pi (R_L + R_f)} \quad \text{..... (4-8)}$$

D.C فولتميتر: تكون قراءة الفولتميتر المربوط على التوازي مع مقاومة الحمل R_L كما يلي: $V_{D.C} = I_{D.C} R_L = \frac{I_m}{\pi} R_L$

$$\text{but } I_m = \frac{V_m}{R_L} \quad \text{so } V_{D.C} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m \quad \text{..... (4-9)}$$

واذا كانت مقاومة الثنائي في الانحياز الامامي R_f فيمكن كتابة الجهد المستمر كالتالي:

$$V_{D.C} = \frac{V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)} = \frac{V_m}{\pi (1 + \frac{R_f}{R_L})} \quad \text{..... (4-10)}$$

اي ان مقدار الجهد المستمر $V_{D.C}$ الخارج , يعتمد على مقدار مقاومة الحمل R_L ويتغير بتغيرها. ومن هذا يتضح ان انتظام الجهد ضعيف ولكن عندما تكون $R_f \ll R_L$ فان الجهد الخارج يكون ثابتاً ومهداً ويكون انتظام جيداً. ويمكن ايجاد العلاقة بين $V_{D.C}$ و

$$I_{D.C} R_L = \frac{V_m}{\pi} - I_{D.C} R_f = 0.318 V_m - I_{D.C} R_f \quad \text{..... (4-8) كما يلي:}$$

$$V_{D.C} = \frac{V_m}{\pi} - I_{D.C} R_f \dots\dots\dots (4-11)$$

من معادلة (4-11) يتضح انه عندما تكون مقاومة الثنائي ($R_f = 0$) فإن الجهد المستمر $V_{D.C}$ يساوي $\frac{V_m}{\pi}$ ويقل الجهد $V_{D.C}$ كلما ازدادت مقاومة الثنائي R_f في الانحياز الامامي . ويتناسب النقصان في الجهد طردياً مع الزيادة في التيار $I_{D.C}$.
يتضح مما تقدم ان المقاومة الداخلية المؤثرة لدائرة المقوم هي مقاومة الثنائي R_f , ولكن من الناحية العملية فإن مقاومة الملف الثانوي للمحولة R_f تكون ذات تأثير كبير على النتائج ويجب اضافتها الى R_f , لان المحولة مربوطة على التوالي مع الثنائي.

A.C اميتر: عند ربط الاميتر المصمم لقياس التيار المتناوب في الدائرة (4-1) فإن انحراف المؤشر يدل على القيمة الفعالة للتيار المار

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(wt) \dots\dots\dots (4-12)$$

خلاله (I_{rms}). وتكون القيمة الفعالة للتيار:

وبتعويض المعادلتين (4-2) و (4-3) في معادلة (4-12) نحصل على:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} = \frac{V_m}{2(R_L + R_f)} \dots\dots\dots (4-13)$$

ويجب الملاحظة هنا بان القيمة الفعالة في المعادلة (4-13) تختلف عن القيمة الفعالة للموجة الجيبية والتي تساوي $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ واما القيمة

$$V_{rms} = I_{rms} R_L = \frac{V_m}{2(R_L + R_f)} R_L$$

الفعالة للجهد المتناوب V_{rms} على طرفي مقاومة الحمل فهي:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2(1 + \frac{R_f}{R_L})} \dots\dots\dots (4-14)$$

يمكن حساب القدرة المتناوبة الداخلة $P_{A.C}$ الى الدائرة:

$$P_{A.C} = I_{rms}^2 (R_L + R_f) = \left(\frac{I_m}{2}\right)^2 (R_L + R_f) \dots\dots\dots (4-14)$$

$$P_{D.C} = \left(\frac{I_m}{\pi}\right)^2 R_L \dots\dots\dots (4-15)$$

اما القدرة المستمرة الخارجة $P_{D.C}$ المستهلكة في مقاومة الحمل R_L فهي:

ويمكن حساب كفاءة التعديل لدائرة مقوم نصف الموجة من معادلة (4-1) وتساوي:

$$\eta = \frac{\text{القدرة الخارجة المستمرة}}{\text{القدرة الداخلة المتناوبة}} \times 100\% = \frac{\left(\frac{I_m}{\pi}\right)^2 R_L}{\left(\frac{I_m}{2}\right)^2 (R_L + R_f)} \times 100\% = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{100}{1 + \frac{R_f}{R_L}} \%$$

$$\eta = \frac{40.5}{1 + \frac{R_f}{R_L}} \%$$

بصورة عامة فإن $R_f \ll R_L$, لذا فإن الكمية $\frac{R_f}{R_L}$ تكون صغيرة ويمكن اهمالها . ولهذا يمكن القول ان (η) لا تعتمد على تيار او مقاومة الحمل في هذا النوع من المعدلات اي ان اعلى قيمة نظرية لكفاءة التعديل في معدل نصف الموجة هي (40.5%) .

اما النسبة المئوية لانتظام الجهد لدائرة مقوم نصف الموجة فيمكن ايجادها باستخدام معادلة (4-2), حيث ان قيمة $V_{D.C}$ بدون حمل تساوي $\frac{V_m}{\pi}$ وقيمتها بحمل كامل هي $V_{D.C} = I_{D.C} \cdot R_L = \frac{I_m}{\pi} \cdot R_L = \frac{V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}$ وبالتعويض في معادلة (4-2) نحصل:

$$\gamma = \frac{\frac{V_m}{\pi} \frac{V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}}{\frac{V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}} = \frac{R_f}{R_L} \dots\dots\dots (4-16)$$

ومن المعادلة (4-16) نلاحظ اعتماد انتظام الجهد على قيمة R_f . علماً ان مقاومة المحولة R_t قد تم اهمالها, الا انها تضاف الى R_f عند عدم اهمالها.

اما القيمة العظمى لانتظام الجهد V_{piv} فيمكن تحديدها في دائرة مقوم نصف الموجة بالنظر الى الجهد بين طرفي الثنائي عندما لا يكون موصلاً للتيار (عندما يكون منحاز عكسياً) ولهذا يساوي القيمة V_m والذي يمثل سعة الموجة الخارجة من الملف الثانوي للمحولة. اي ان:

$$V_{piv} = V_m \dots\dots\dots (4-17)$$

اما عامل التموج (ripple factor) في دائرة مقوم نصف الموجة فيمكن حسابه من معادلة:

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{D.C}}\right)^2 - 1}$$

وبالتعويض عن $I_{D.C}$, I_{rms} نجد ان:

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

اي ان القيمة الفعالة للجهد المتناوب اكبر من الجهد المستمر الخارج. وهذا يعني ان معدل نصف الموجة بدون دائرة ترشيح هو جهاز تعديل ضعيف نسبياً.

مثال/ سلط الجهد $200 \sin 100\pi t$ في دائرة معدل نصف موجة يحتوي على صمام ثنائي مفرغ مقاومته $R_f = 1000\Omega$. فإذا كانت مقاومة الحمل $R_L = 10^4\Omega$. أحسب: 1- سعة التيار. 2- متوسط التيار. 3- القيمة الفعالة للتيار. 4- القدرة المتناوبة الداخلة. 5- القدرة المستمرة الخارجة. 6- كفاءة التعديل. 7- عامل التموج او (المويجة).

الحل / 1- سعة التيار I_m تساوي:

$$I_m = \frac{V_m}{R_L + R_f} = \frac{200V}{(10^3 + 10^4)\Omega} = 0.01818A = 18.18mA$$

2 - متوسط التيار $I_{D.C}$ يساوي:

$$I_{D.C} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{0.018A}{3.14} = 0.00579A = 5.79mA$$

3 - القيمة الفعالة للتيار I_{rms} :

$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} = \frac{0.018A}{2} = 0.00909A = 9.09mA$$

4 - القدرة المتناوبة الداخلة $P_{A.C}$:

$$P_{A.C} = (I_{rms})^2 (R_L + R_f) = (0.00909A)^2 (10^3 + 10^4)\Omega = 0.909 \text{ watt}$$

5 - القدرة المستمرة الخارجة $P_{D.C}$:

$$P_{D.C} = (I_{D.C})^2 R_L = (0.00579A)^2 10^4\Omega = 0.335 \text{ watt}$$

6 - كفاءة التعديل η :

$$\eta = \frac{(P_{D.C})_{out}}{(P_{A.C})_{in}} \times 100\% = \frac{0.335 \text{ watt}}{0.909 \text{ watt}} \times 100\% = 36.8\%$$

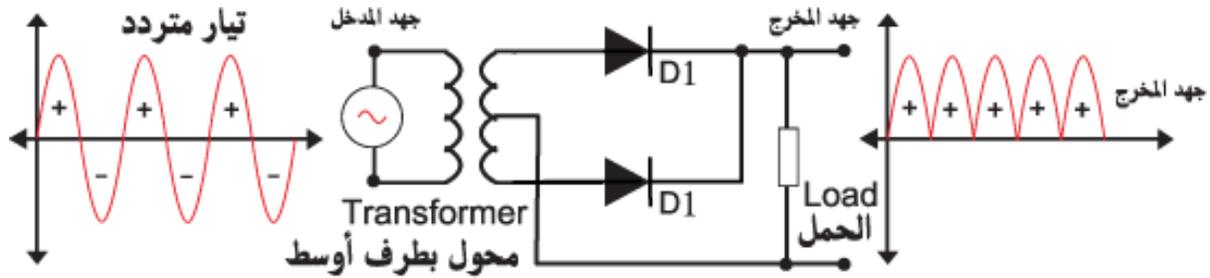
7 - عامل التموج r :

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{D.C}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{0.00909A}{0.00579A}\right)^2 - 1} = 1.21$$

سؤال واجب/ ربط $A.C, D.C$ اميتر في دائرة معدل نصف موجة. فإذا كانت مقاومة المعدل 500Ω ومقاومة الحمل 4500Ω والجهد الداخل $V = 1000 \sin wt$. جد قراءة كل من الاميترين واحسب القدرة الكلية الداخلة.

مقوم الموجة الكاملة (full wave rectifier)

تتركب دائرة معدل موجة كاملة من ثنائيين ومحولة ذات نقطة تفرع مركزي (center-tap transformer) وذلك لتجزئة الموجة الداخلة الى جزئين (جهدين) متساويين فرق الطور بينهما 180° كما في الشكل (4-2) وقد سميت هذه الدائرة بمعدل موجة كاملة لانها تستفيد من الموجة المتناوبة الداخلة بنصفها الموجب والسالب لتعطي قدرة معينة لمقاومة الحمل . ان الكاثودين (للثنائيين) المربوطين مع بعضها يشكلان الطرف الموجب للجهد المستمر الخارج على طرفي مقاومة الحمل , اما الطرف السالب فهو مربوط الى نقطة التفرع المركزي لملف المحولة الثانوي.



شكل (4-2) مقوم موجة كاملة مع الاشارة الاداخلة والاشارة الخارجة

عندما يكون الثنائي D_1 موصلا للتيار في النصف الموجب للجهد الداخل فان التيار i_1 يمر في مقاومة الحمل ويكون D_2 غير موصلا للتيار. وفي النصف السالب للجهد الداخل فان D_2 يكون موصلا للتيار i_2 بينما يكون D_1 غير موصل, اي ان الثنائيان يقومان بالتوصيل بالتناوب ويصبح التيار المار في مقاومة الحمل ذو اتجاه واحد كما في الشكل (4-2). اي ان الجهد الداخل:

$$V_i = V_m \sin wt$$

$$V_i' = -V_m \sin wt$$

وتكون معادلات التيار كما يلي:

$$i_1 = \frac{V_m}{(R_L + R_f)} \sin wt = I_m \sin wt$$

$$i_2 = 0 \quad \text{when } 0 \leq wt \leq \pi$$

$$i_1 = 0$$

$$i_2 = \frac{-V_m}{(R_L + R_f)} \sin wt = -I_m \sin wt \quad \text{when } \pi \leq wt \leq 2\pi$$

المعادلات اعلاه تبين ان i_1, i_2 دائما موجبة. وبما ان الخارجتان متساويتان ومتشابهتان بالشكل ويمران في مقاومة الحمل في اتجاه واحد لذا فان متوسط التيار $I_{D.C}$ يمكن حسابها بتكامل معادلة التيار لقيم wt المحصورة بين الصفر و π مقسمة على الفترة wt المساوية للقيمة π . اي ان:

$$I_{D.C} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi i_1 d(wt)$$

$$I_{D.C} = \frac{2I_m}{\pi} = 0.636 I_m$$

ما متوسط الجهد الخارج, على طرفي مقاومة الحمل فهو:

$$V_{D.C} = I_{D.C} R_L = \frac{2I_m}{\pi} R_L$$

$$V_{D.C} = \frac{2}{\pi} \frac{V_m}{(R_L + R_f)} R_L = \frac{2}{\pi} \frac{V_m}{(1 + \frac{R_f}{R_L})}$$

$$V_{D.C} = 0.636 V_m - I_{D.C} R_f$$

ويتبين من المعادلتين ان متوسط التيار والجهد الخارج في دائرة معدل موجة كاملة هو ضعف تلك القيم في معدل نصف الموجة.
اما القيمة الفعالة للتيار المار في مقاومة الحمل فتحسب كما يلي:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_1^2 d(wt)} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2(wt) d(wt)} \rightarrow I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

اما القيمة الفعالة للجهد على مقاومة الحمل:

$$V_{rms} = I_{rms} R_L = \frac{I_m}{\sqrt{2}} R_L = \frac{V_m}{\sqrt{2} (R_L + R_f)} R_L$$

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_m}{(1 + \frac{R_f}{R_L})}$$

ويتبين من المعادلتين ان القيمة الفعالة للتيار والجهد في دائرة معدل موجة كاملة اكبر من القيم لدائرة معدل نصف الموجة بمقدار $\sqrt{2}$.
وبذلك تكون القدرة المستمرة الخارجة:

$$P_{D.C} = \left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 R_L$$

$$P_{A.C} = I_{rms}^2 (R_L + R_f) = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 (R_L + R_f)$$

وتكون كفاءة التعديل لدائرة معدل الموجة الكاملة:

$$\eta = \frac{\left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 R_L}{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 (R_L + R_f)} \times 100\% = \frac{81}{1 + \frac{R_f}{R_L}} \%$$

وعندما تكون $R_f \ll R_L$, فإن الكمية $\frac{R_f}{R_L}$ تكون صغيرة ويمكن اهمالها. وبهذا تكون اعلى قيمة نظرية لكفاءة التعديل لمعدل موجة كاملة هي 81% اي انها ضعف كفاءة التعديل لمعدل نصف الموجة.
اما انتظام الجهد فيمكن حسابه لهذه الدائرة كما يلي:

$$V_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi}$$

ان الجهد المستمر بدون حمل هو:

$$V_{D.C} = \frac{2}{\pi} \frac{V_m}{(R_L + R_f)} R_L$$

اما الجهد المستمر في حالة حمل كامل فهو:

$$\gamma = \frac{\frac{2V_m}{\pi} \frac{2V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}}{\frac{2V_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}} = \frac{R_f}{R_L}$$

وبالتعويض في معادلة (2-4) فان γ تساوي:

اي ان انتظام الجهد يعتمد على قيمة مقاومة الثنائي R_f في التوصيل الامامي بالنسبة الى مقاومة الحمل R_L .

اما القيمة العظمى للجهد المعكوس (V_{piv}) على احد الثنائيين في دائرة معدل موجة كاملة $V_{piv} = 2V_m = 2\sqrt{2} V_{rms}$ ويكون عامل التموج (r) لدائرة معدل موجة كاملة كما يلي:

$$r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{D.C}}\right)^2 - 1} \quad \rightarrow \quad r = \sqrt{\left(\frac{I_m/\sqrt{2}}{2I_m/\pi}\right)^2 - 1} = 0.48$$

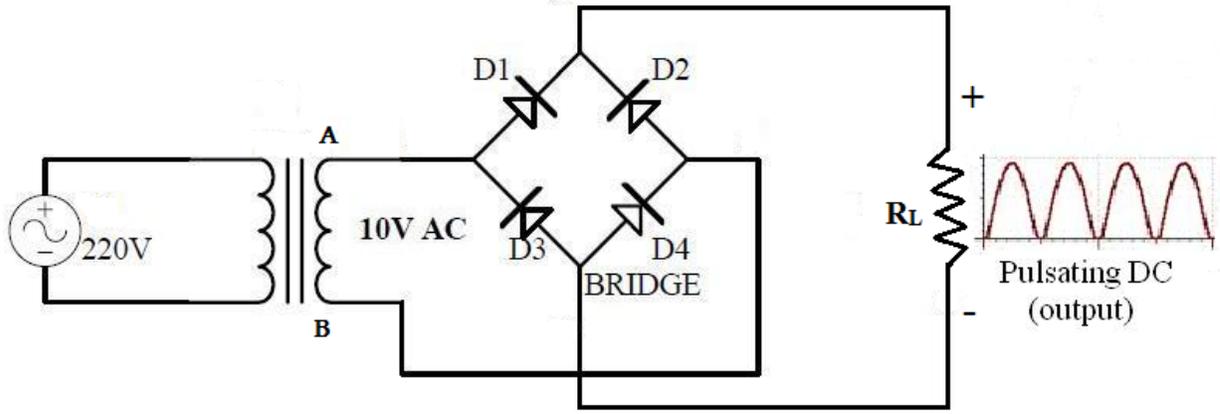
يتضح ان عامل التموج في حالة مقوم موجة كاملة صغيراً بالنسبة الى عامل التموج في دائرة نصف الموجة.

• مقارنة بين معدل موجة كاملة ومعدل نصف الموجة

- 1 - في حالة معدل الموجة الكاملة يمر تياران متساويان في نصفي الملف الثانوي للمحولة في اتجاهين متعاكسين حيث يولد فيضاً مغناطيسياً متناوباً في قلب المحولة . وهذا ينتج عن عدم حدوث اشباع في قلب المحولة , فلاشباع يرفع من التيار المغنط فيؤدي الى وجود موجات فوق اساسية في التيار الخارج من الملف الثانوي اضافة الى التيار الجيبي في الملف الابتدائي وهذا ما يحدث في حالة معدل نصف الموجة حيث ان التيار يمر باتجاه واحد في الملف الثانوي فيؤدي الى اشباع قلب المحولة.
- 2 - ان التموجات في معدل موجة كاملة اصغر من تلك في معدل نصف الموجة ولها تردد اعلى وسعة اصغر . اي ان تأثير مرشح معين في ترشيح التموجات الخارجة من معدل موجة كاملة يكون اكبر من تلك في معدل نصف موجة.
- 3 - ان التيار المستمر في معدل موجة كاملة هو ضعف التيار المستمر في معدل نصف الموجة في مقاومة حمل معينة . اي ان القدرة المستمرة الخارجة في دائرة معدل موجة كاملة تكون اربعة اضعاف القدرة المستمرة الخارجة في دائرة معدل نصف الموجة . ولقدرة معينة خارجة فان دائرة معدل موجة كاملة تحتاج الى محولة اصغر من تلك التي تحتاجها دائرة معدل نصف الموجة . ولتيار مستمر معين خارج فان كل ثنائي في دائرة معدل موجة كاملة يحمل نصف التيار الثنائي في دائرة معدل نصف الموجة . ولهذا فان الحرارة المتولدة في ثنائي دائرة معدل موجة كاملة هي ربع الحرارة المتولدة في ثنائي دائرة معدل نصف الموجة.
- 4 - كفاءة التعديل في معدل موجة كاملة هي ضعف كفاءة التعديل في معدل نصف الموجة.
- 5 - ان القيمة العظمى للجهد المعكوس على الثنائي في دائرة معدل موجة كاملة هي ضعف تلك القيمة لدائرة معدل نصف الموجة.
- 6 - ان تصميم دائرة معدل نصف موجة بسيطاً بالنسبة لدائرة معدل موجة كاملة . لهذا تستعمل في الحالات التي تتغلب فيها بساطة التصميم على مساوئها الاخرى كما في بعض اجهزة الاستقبال او في حالة الحاجة الى تيار قليل جدا في مقاومة الحمل

3- القنطرة المعدلة (Bridge Rectifier)

ان البديل لمعدل الموجة الكاملة المتكون من ثنائيين ومحولة ذات تفرع مركزي هو القنطرة المعدلة . ويبين الشكل (3-4) ربط دائرة القنطرة المعدلة, حيث تتكون من اربعة ثنائيات مرتبة على شكل قنطرة. وتعمل دائرة القنطرة المعدلة كما يلي
 اثناء النصف الموجب للجهد المسلط تكون النهاية A للملف الثانوي للمحولة موجبة بالنسبة الى B, فيمر التيار خلال الثنائي D1 الى المقاومة R_L ثم يمر خلال الثنائي D4 الى الطرف السالب . اما الثنائيان D2, D3 فانها لا يوصلان خلال النصف الموجب الموجب لان انحيازها عكسياً.



شكل (4-3) دائرة القنطرة المعدلة مع شكل الاشارة الخارجة

وفي نصف الموجة السالب حيث تكون النهاية B موجبة بالنسبة الى A فان الثنائيان D1, D4 لا يمرران التيار اما الثنائيان D2, D3 فانهما يقومان بالتوصيل. ويكون التيار المار في مقاومة الحمل له اتجاه واحد في كلا نصفي الجهد المسلط. ويبين الشكل (4-3)

$$V_{D.C} = \frac{2V_m}{\pi}$$

شكل موجة الجهد او التيار الخارج في R_L , ومتوسط الجهد الخارج على طرفيها هو:

حيث ان V_m هو القيمة العظمى (السعة) للجهد الداخل على طرفي الملف الثانوي للمحولة بأجمعها, وهو ايضا مسلط على ثنائيين مربوطين على التوازي في دائرة القنطرة, فعندما لا يقومان هذين الثنائيين بالتوصيل فان القيمة العظمى للجهد المعكوس على كل منها هو V_m .

جدول (4-1) مقارنة عامة بين انواع المعدلات

عدد الثنائيات	نصف موجة	موجة كاملة	القنطرة
1	0.405	1.21	
2	0.81	0.48	
4	0.81	0.48	

مثال/ في دائرة معدل موجة كاملة كان الثنائيان من نوع الصمام المفرغ وكانت مقاومة الحمل $R_L = 5000\Omega$. فإذا كانت مقاومة الصمام في حالة التوصيل (الانحياز الامامي) $R_f = 400\Omega$ والجهد الداخل لكل صمام هو $200 \sin(2\pi \times 50t)$. احسب 1- سعة التيار (I_m). 2- متوسط التيار ($I_{D.C}$). 3- القيمة الفعالة للتيار (I_{rms}). 4- القدرة المستمرة الخارجة ($P_{D.C}$). 5- القدرة الداخلة. 6- كفاءة التعديل. 7- عامل التموج.

الحل/

$$1- I_m = \frac{V_m}{R_L + R_f} = \frac{200V}{(5000 + 400)\Omega} = 0.03704A = 37.04 \text{ mA}$$

$$2- I_{D.C} = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{2 \times 0.037A}{3.14} = 0.0236 A = 23.6 \text{ mA}$$

$$3- I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0.037A}{\sqrt{2}} = 0.0262 A = 26.2 \text{ mA}$$

$$4- P_{D.C} = (I_{D.C})^2 R_L = (0.0236 A)^2 5000 \Omega = 2.8 \text{ watt}$$

$$5- P_{A.C} = (I_{rms})^2 (R_L + R_f) = (0.0262 A)^2 \times 5400 \Omega = 3.7 \text{ watt}$$

$$6- \eta = \frac{(P_{D.C})_{out}}{(P_{A.C})_{in}} \times 100\% = \frac{2.8 \text{ watt}}{3.7 \text{ watt}} \times 100\% = 75.7\%$$

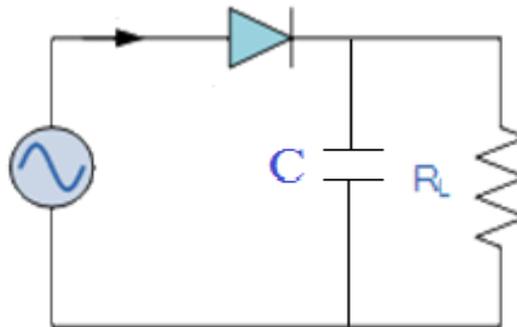
$$7- r = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{D.C}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{0.0262 A}{0.0236 A}\right)^2 - 1} = 0.48$$

• المرشحات (Filters)

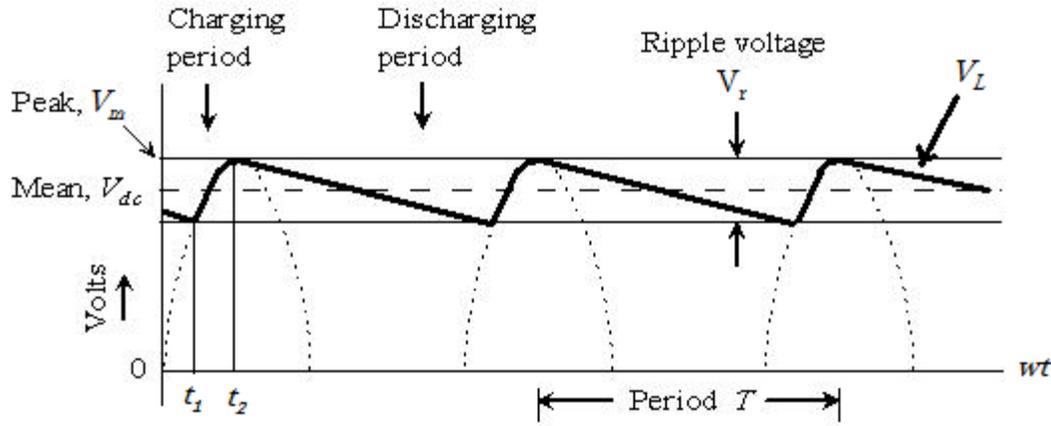
ان عمل مجهر القدرة هو تجهيز قدرة مستمرة خالية كلياً من التموجات من مصدر قدرة متناوب . الا ان الجهد الخارج من المعدلات يحتوي على نبضات مرافقة للجهد المستمر الخارج بعد تعديله . لذا من الضروري وضع مرشح بين المعدل ومقاومة الحمل لتنقية الجهد الخارج من مركبة الجهد المتناوب . والمرشح هو دائرة تخفف او تقلص الترددات التي تمر خلال مقاومة الحمل لكي يكون الجهد الخارج مستقر (steady) ثابتاً القيمة مع الزمن . والمرشحات نوعين فهي اما تمرر الترددات الواطئة وتمنع الترددات العالية (low- pass filter) او تمرر الترددات العالية وتمنع الترددات الواطئة (high- pass filter) . والمرشحات التي تستخدم تتكون بصورة عامة من متسعات او ملفات حث او تركيبة مختلفة من كليهما مربوطة في دائرة معدل نصف موجة او موجة كاملة .

1 - مرشح المتسعة (capacitor filter)

ان ابط مرشح يمتص المركبات المتناوبة من المرور في مقاومة الحمل هو المتسعة المربوطة على التوازي مع هذه المقاومة . ويبين الشكل (4-4) مرشح المتسعة في دائرة مقوم نصف موجة . فاذا كان للمتسعة سعة كبيرة فأن ممانعتها $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ عند $f = 50Hz$ ستكون صغيرة بالمقارنة مع R_L ، وبذلك ستكون ممراً لاغلب التيار المتناوب . ولا يمر في مقاومة الحمل الا جزءاً قليلاً من هذا التيار المتناوب وبالتالي يصبح الجهد عبر R_L جهداً مستمراً . وتعتمد كفاءة هذا المرشح على صغر قيمة الممانعة X_C بالنسبة الى مقاومة الحمل R_L . كما يمكن اعتبار المتسعة كخزان (tank) يعمل على خزن الشحنات خلال فترة توصيل الثنائي ، وتفريغها الى R_L خلال فترة انقطاع الثنائي .



شكل (4-4) مرشح المتسعة في دائرة مقوم نصف موجة



شكل (4-5) الموجة المثلثية الخارجة على طرفي مقاومة الحمل في دائرة مقوم نصف موجة مع مرشح متسعة

نلاحظ من الشكل اعلاه ان المتسعة تبدأ بالشحن حالما يبدأ التيار بالسريان في الثنائي عند الزمن t_1 اي عندما يكون جهد الربع الاول من موجة الادخال اكبر من الجهد الذي تصل اليه المتسعة C بعد التفريغ خلال R_L . وعندما تصبح V_C مساوية لقيمة الذروة لفولتية الادخال V_m اي عند الزمن t_2 يتوقف سريان التيار وذلك لان الموجة الداخلة تبدأ بعدها بالهبوط بينما تحتفظ المتسعة بجهدا ولفترة تطول او تقصر تبعاً لقيمة ثابت الزمن $R_L C$ وهكذا ساعدت المتسعة على تقليل المركبة المتناوبة من جهد الاخراج.

كما يلاحظ ان V_r تقل كلما قلت فترة التوصيل ($\Delta t = t_2 - t_1$) التي يمكن تقليلها بزيادة ثابت الزمن $R_L C$ حيث يقل هبوط الجهد اثناء التفريغ.

$$V_{a.c} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}}$$

الان اذا افترضنا ان V_r تمثل موجة مثلثية فأن:

$$r = \frac{V_{A.C}}{V_{D.C}} \approx \frac{V_r}{2\sqrt{3} V_{d.c}} \quad \dots \dots \dots (4-18)$$

وكتقريب اولي يمكن اعتبار فترة التوصيل Δt اقل بكثير من فترة تردد موجة الادخال ($T = \frac{2\pi}{w}$) لذا يمكن اعتبار فترة هبوط

$$V_r = V_m (1 - e^{-T/R_L C}) \quad \text{الجهد عبر المتسعة عن } V_m \text{ بالمقدار } V_r \text{ تستغرق } T \text{ من الزمن فان:}$$

$$V_r = V_m \frac{T}{R_L C}$$

وبما ان ثابت الزمن $R_L C$ يكون اكبر من T لنا:

$$V_{d.c} \approx V_{d.c} + \frac{V_r}{2} = V_m$$

وكذلك يمكن كتابة:

$$r = \frac{T}{2\sqrt{3} R_L C} = \frac{1}{2\sqrt{3} R_L f C}$$

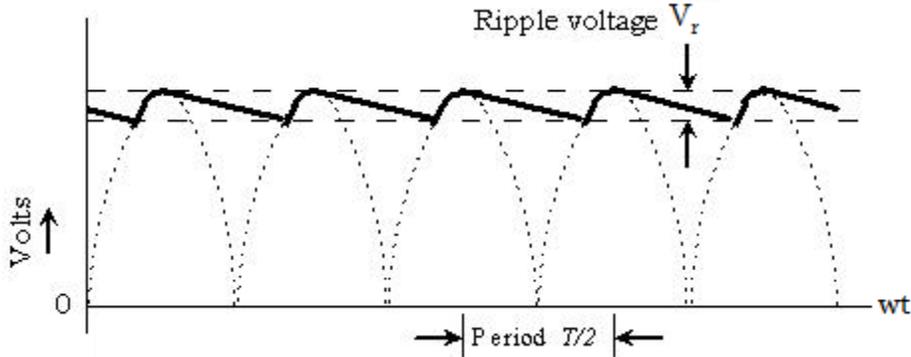
وعند التعويض عن $V_{d.c}$ و V_r المذكورين اعلاه في معادلة (4-18) يكون:

هذه المعادلة تصلح للتعبير عن سلوك المرشح السعوي المربوط الى دائرة مقوم نصف موجة ويمكن الوصول تقريبا الى نفس العلاقة

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3} R_L f C}$$

بالنسبة لمقوم موجة كاملة وذلك باستبدال f بـ $2f$ كما يلي:

وعليه كلما زادت قيمة C, f, R_L كلما قلت قيمة r .



شكل (4-6) الموجة الخارجة على طرفي مقاومة الحمل في دائرة مقوم موجة كاملة مع مرشح متسعة

ان من اهم مشاكل المرشح السعوي هو مرور تيار عالي لحظة التشغيل وهذا التيار يمر عبر الثنائي لشحن المتسعة لانها فارغة من الشحنات في اول الامر وهذا قد يسبب ضرراً بالثنائي , لذا يستخدم هذا الثنائي في الدوائر الالكترونية التي يكون فيها التيار ضعيفاً. ولتلافي تأثير هذا التيار يضاف مقاومة على التوالي مع الثنائي وتدعى مقاومة الامان (safety resistor) ويسمى هذا النوع من المرشحات بمرشح مقاومة- متسعة (RC-filter). ان ربط المقاومة على التوالي مع المتسعة يؤدي الى احداث هبوط في الجهد عبر هذه المقاومة عند مرور تيار الحمل فيها ومن ثم الى انقاص جهد الحمل . وان التغلب على هذه المشكلة يمكن من خلال جعل مقاومة الحمل R_L اكبر بكثير من R حيث ان معظم الجهد سوف يظهر على R_L , وكذلك فان استعمال R_L كبيرة يزيد من عملية الترشيح ويقلل عامل التموج r الا انه لاينصح ان تكون R_L كبيرة وذلك بسبب زيادة زمن التفريغ $R_L C$ وان لمس المتسعة خلال الاطفاء سوف يشكل خطر الصدمة الكهربائية.

2 - مرشح ملف حثي (inductor filter)

ان الرادة الحثية (inductive reactance) للملف ($X_L = 2\pi fL$) تزداد مع زيادة التردد f ومع معامل حثته الذاتي L . ويدعى الملف ذو الرادة الحثية الكبيرة بالخانق (*choke*) لانه يخنق الترددات العالية بسبب ممانعته العالية لمرورها . ان ربط الملف الحثي على التوالي مع مقاومة الحمل R_L يعطي ممانعة كبيرة للمركبات المتناوبة في دائرة المعدل . يعتمد عمل مرشح الملف على خاصيته في مقاومة التغير في التيار الذي يمر خلاله. لان الملف يخزن طاقة مغناطيسية عندما يكون التيار المار فيه اعلى من المعدل . ويطلق هذه الطاقة عند انخفاض التيار الى قيمة اقل من المعدل. وبالتالي فان اي تغير مفاجيء في تيار الدائرة سينتقى بواسطة الملف الحثي او الخانق.

3 - مرشحات (ملف حثي- متسعة) (LC filters)

ان من صفات الملف الحثي المربوط على التوالي مع مقاومة الحمل هي تقليص القمة والقيمة الفعالة للتيار المار بالمعدل . وهذه الصفة هي عكس ما تقوم به المتسعة . لهذا فان دائرة المعدل المحتوية على ملف حثي مربوط على التوالي مع مقاومة الحمل ومتسعة مربوطة على التوازي مع مقاومة الحمل يمكن ان تستفيد من هاتين الصفتين لكي تعطي تنقية جيدة لقيم عالية للجهد والتيار الخارج مما يحسن من انتظام الجهد. وللحصول على جهد خال من التموجات فان من الضروري توفر شرطين هما:

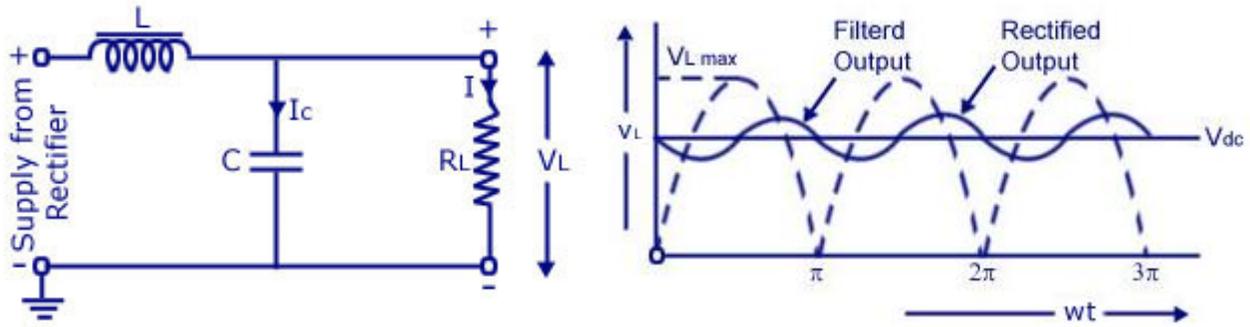
1 - ممانعة الملف X_L كبيرة لترددات التوجات.

2 - يجب ان تكون ممانعة المتسعة صغيرة لترددات التوجات لكي يمر بها التيار بدلاً من مقاومة الحمل.

وهناك نوعان من هذا المرشح

a - مرشح مقطع L - (L - section filter)

يكون موضع الملف الحثي مباشرة بعد المعدل ثم تتبعه المتسعة المربوطة على التوازي مع مقاومة الحمل كما في الشكل (4-7).



شكل (4-7) مرشح مقطع L مع شكل الموجة المعدلة والمرشحة الخارجة في دائرة معدل موجة كاملة

عند وجود ملف حثي فقط في دائرة المعدل فإن التوجات تكون قليلة عندما تكون مقاومة الحمل صغيرة اما عند وجود مرشح متسعة فقط فان التوجات تكون قليلة عندما تكون مقاومة الحمل كبيرة. لذا فان جمع الملف والمتسعة في دائرة واحدة لها ميزة اعطاء توجات قليلة عند قيم عالية للتيار في مقاومة الحمل. اي ان التوج في الجهد او التيار سيكون ثابتاً تقريباً في جميع قيم مقاومة الحمل. ولكن عندما تكون مقاومة الحمل كبيرة جداً ($R_L = \infty$) فإن تأثير الملف يصبح مهملاً وذلك لصغر التيار المار بالدائرة بحيث ان الطاقة المغناطيسية المخزونة في الملف تصبح مهملة. وفي هذه الحالة يعمل المرشح كعمل مرشح متسعة. ونتيجة لوجود الملف الحثي فإن مقطع L لا يستعمل في دائرة معدل نصف موجة بل في دائرة معدل موجة كاملة فقط كما هو مبين بالشكل.

$$r = \frac{\sqrt{2} X_C}{3 X_L}$$

ويعطى عامل التوج (r) بالعلاقة التالية:

وبما ان $X_L = 2\omega L$, $X_C = \frac{1}{2\omega C}$ حيث استخدم التردد 2ω وذلك لكون تردد الاموجة المارة خلال مقاومة الحمل

$$r = \frac{1}{6\sqrt{2} \omega^2 L C} , \quad \omega = 2\pi f$$

(تردد الاخراج) يساوي ضعف تردد الموجة الداخلة.

ان المعادلة اعلاه تبين ما يلي:

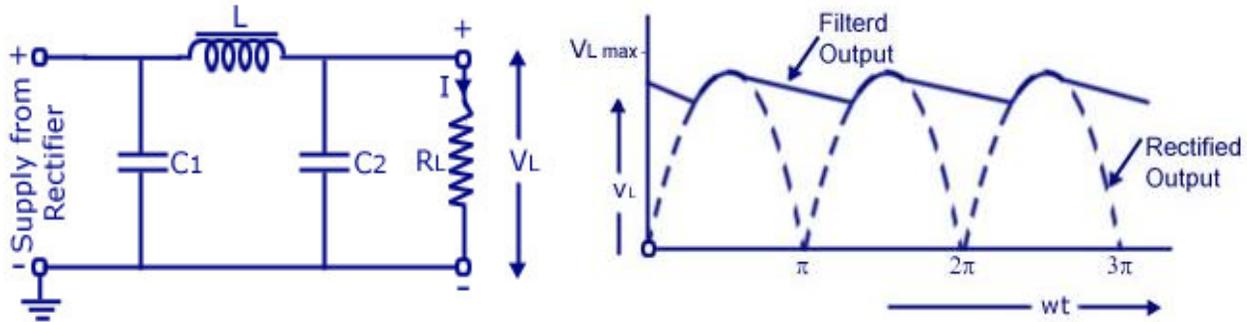
❖ لا يعتمد عامل التوج (r) على قيمة مقاومة الحمل او التيار المار بها. اي ان الجهد الخارج لا يعتمد على مقاومة الحمل ل ما عدا النقصان iR في كل من الثنائي والمحولة ولهذا يستخدم هذا النوع من المرشحات في التطبيقات التي تتغير فيها مقاومة الحمل بشكل كبير. ان هذه الميزة غير متوفرة عند وجود ملف حثي او متسعة لوحدهما.

❖ عامل التموج في هذا المرشح اقل منه في حالة مرشح ملف حثي لوحده او متسعة لوحدها في دائرة معدل موجة كاملة . وعندما

$$r = \frac{1.2 \times 10^{-6}}{LC} \quad \text{يكون التردد المستعمل } (f = 50 \text{ Hz}) \text{ فأن عامل التموج:}$$

b - مرشح مقطع π (π - section filter)

وفي هذا النوع يكون موضع المتسعة مباشرة بعد المعدل ثم يتبعها مرشح مقطع L كما في الشكل (4-8).



شكل (4-8) مرشح مقطع π مع شكل الموجة المعدلة والمرشحة الخارجة في دائرة معدل موجة كاملة

ولهذا المرشح صفات مماثلة لمرشح المتسعة ويستعمل عند الحاجة الى:

أ - جهد خارج أكبر من ذلك في حالة مقطع L والذي قد يصل الى القيمة العظمى للجهد المتناوب الداخل.

ب - عامل التموج اقل من ذلك في مرشح متسعة او مقطع L .

ويمكن تفسير عمل هذا المرشح بانه عمل مرشح مقطع L على الموجة المثلثة الخارجة من المتسعة C_1 . اذ تعمل المتسعة الاولى على الترشيح بنفس الطريقة التي تم توضيحها في مرشح المتسعة في دائرتي معدل نصف موجة او موجة كاملة . اما المرشح مقطع L فانه يعمل على تقليص التوجات في الجهد الخارج من C_1 . ان المتسعة C_1 تشحن بالتيار المعدل والتيار لا يمر في الثنائي الا عندما يكون الجهد على الملف الثانوي اعلى من الجهد على المتسعة C_1 . ففي البداية تكون الشحنة على C_1 صفراً، ثم تزداد الشحنة عليه بزيادة فرق الجهد بين طرفيه ويمر تيار خلال الملف L الى مقاومة الحمل. وعندما تكون قيمة الجهد المتناوب الداخل صفراً فان الثنائي لا يمر تياراً. عندئذ ينخفض الجهد على المتسعة بسبب التفريغ في مقاومة الحمل . فاذا كانت مقاومة الحمل كبيرة وسعة المتسعة كبيرة فان الجهد عليها سيبقى ثابتاً تقريباً.

$$r = \sqrt{2} \frac{X_{C1} X_{C2}}{R_L X_L} \quad \text{ويمكن عامل التموج في الجهد:}$$

حيث ان X_{C1} , X_{C2} , X_L هي ممانعات المتسعات C_1 , C_2 والملف L على التناظر وبالتعويض عنها في المعادلة اعلاه نحصل على:

$$r = \frac{\sqrt{2}}{R_L} \frac{1}{C_1 C_2 L (2\omega)^3} \quad \text{(عامل التموج في دائرة معدل موجة كاملة)}$$

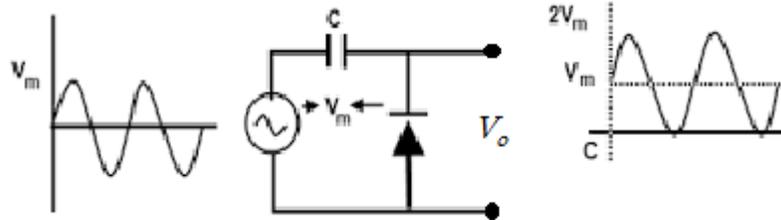
$$r = \frac{\sqrt{2}}{R_L} \frac{1}{C_1 C_2 L \omega^3} \quad \text{(عامل التموج في دائرة معدل نصف موجة)}$$

وعندما يكون التردد يساوي ($f = 50 \text{ Hz}$) في دائرة معدل موجة كاملة فان عامل التموج يساوي:

$$r = \frac{5.7 \times 10^{-9}}{C_1 C_2 L R_L}$$

حيث تقاس السعات بالفاراد والحث بالهنري والمقاومة بالاوم . ويجب الانتباه هنا الى مقدار التردد الذي يظهر بالنسبة للمتسعات والملف, فاذا كانت الدائرة المستخدمة هي معدل موجة كاملة فان التردد هو ضعف تردد الموجة الداخلة.

• دائرة الازلام (clamping circuit)



شكل (4-9) دائرة الازلام مع الموجتين الداخلة والخارجة

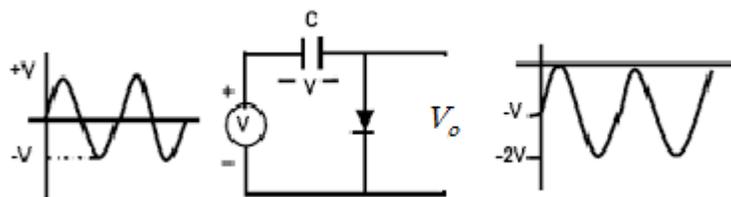
تستعمل للزم موجة الفولتية عند مستوى معين . ويسمى ايضاً بمستعيدة المركبة المستمرة . لتوضيح عمل الدائرة سنفرض ان النصف السالب هو النصف المسلط من الموجة والذي يكون خلاله الثنائي منحاز امامياً مما يسمح للتيار بالمرور خلال الدائرة لي شحن المتسعة الى اقصى حد ممكن وبهذا يكون الجهد على هذه المتسعة مساوي لـ V_m . ان هذا الجهد ستحتفض به المتسعة لان الثنائي البلوري سيكون منحازاً عكسياً لحظة اجتياز النصف السالب القيمة ($-V_m$) لان الجهد عبر المهبط (المتسعة) سيكون أكبر من جهد المصدر ومن ثم ان هذا الجهد V_m سيبقى على المتسعة لان المتسعة لا تستطيع اللحاق بالتغير الحاصل في الموجة الداخلة نظراً لان انحياز الثنائي عكسياً يجعل من ثابت الزمن لهذه الدائرة طويل نسبياً . وما حدث خلال الربع الثاني من النصف السالب من الموجة الداخلة يحدث خلال النصف الموجب من هذه الموجة حيث يبقى الثنائي منحاز عكسياً. لذا فان جهد الموجة الخارجة يكون:

$$V_o = V_m + V_m \sin wt$$

وبذلك اصبحت معدل المساحة الواقعة تحت الاشارة لاتساوي صفراً وبالتالي فان الموجة الخارجة اصبحت تمتلك قيمة مستمرة فمن المعروف ان معدل القيمة المستمرة تساوي:

$$V_{d.c} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_m + V_m \sin wt) dwt$$

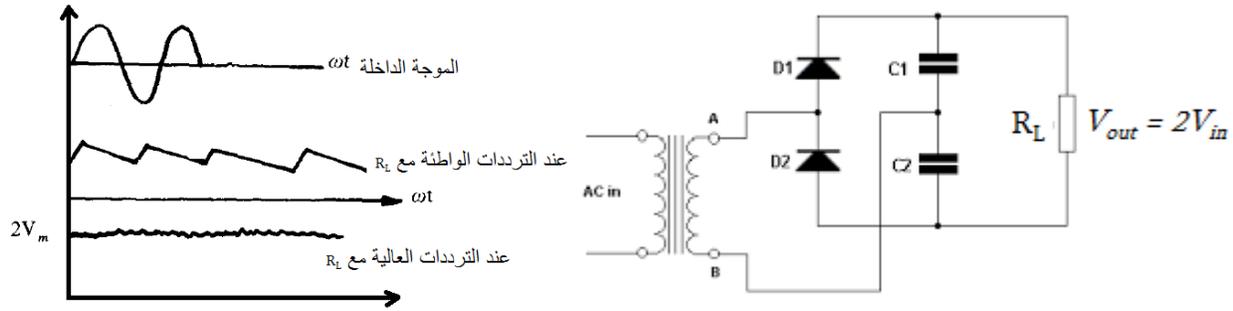
حيث يمثل التكامل اعلاه المساحة الواقعة تحت الاشارة . ومن الجدير بالذكر انه بالامكان تغيير مستوى الازلام باضافة بطارية على التوالي مع الثنائي وحينئذ يحدد قيمة واتجاه البطارية من مستوى الازلام . كذلك اذا ما عكست اقطاب الثنائي في دائرة الازلام فان الذروة الموجبة هي التي سيتم الزامها.



شكل (4-10) دائرة الازلام (السالبة) مع الموجتين الداخلة والخارجة

• دائرة مضاعف الجهد (voltage doubler)

إذا كان المطلوب مضاعفة الجهد دون الاهتمام بقيمة التيار فنستخدم دائرة مضاعفة الجهد التالية:

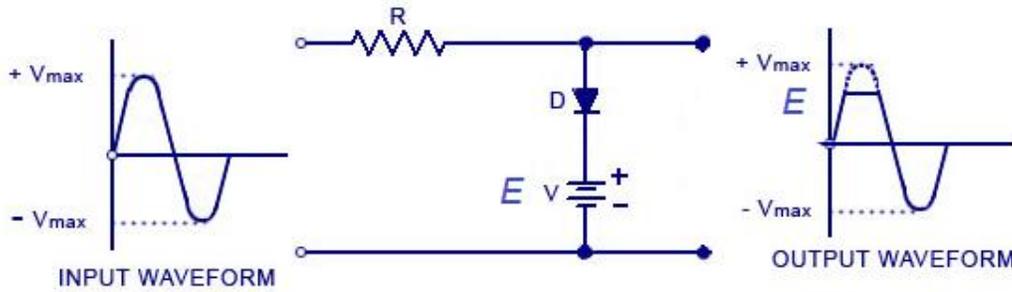


شكل (4-11) دائرة مضاعف الفولتية مع الموجة الخارجة

فرض ان الجزء المسلط من الموجة هو الجزء الموجب , عندئذ سيقوم الثنائي D_1 فقط بامرار التيار ليشحن المتسعة C_1 . اما عند تسليط النصف السالب من موجة الادخال فأن الثنائي D_2 فقط سوف يسمح بمرور التيار ليشحن المتسعة C_2 . وبهذا فأن مجموع الجهد الذي يظهر على كل من C_1, C_2 هو $2V_m$ وهذا صحيح اذا كانت دائرة مضاعف الجهد غير محملة (عدم وجود R_L حول C_2) في هذه الحالة يكون الجهد الخارج مستمر خالي من التموج اي مستمر. وتكون قيمته مساوية لضعف ذروة الموجة الداخلة. السبب في ذلك انه لايمكن للمتسعة C_2 ان تتفرغ خلال D_2 بسبب احيازه العكسي. اما اذا ربطت المقاومة R_L حول C_2 فينئذ يصبح بإمكان المتسعة C_2 ان تتفرغ خلال هذه المقاومة وبالتالي يظهر تموج في الجهد الخارج . ويمكن تقليل هذا التموج بزيادة تردد الموجة الداخلة.

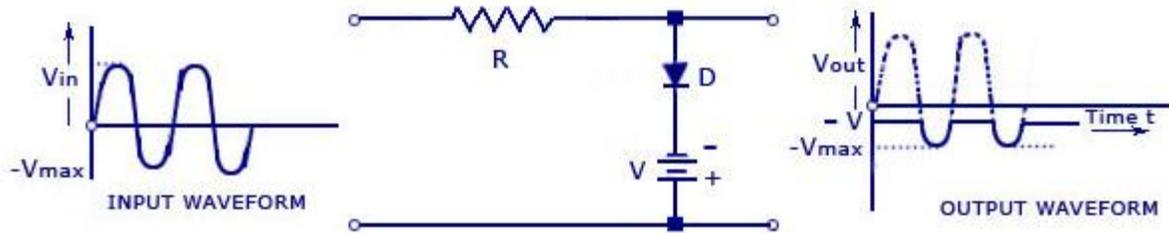
• دائرة القطع (التقليم) (clipping circuit)

تسمى احياناً بالدوائر المحددة وينتشر استعمالها في دوائر تشكيل الموجة (wave - shaping). ويبين الشكل التالي نموذجين لدائرتي تقليم.



شكل (4-12) دائرة التقليم مع الموجة الداخلة والخارجة

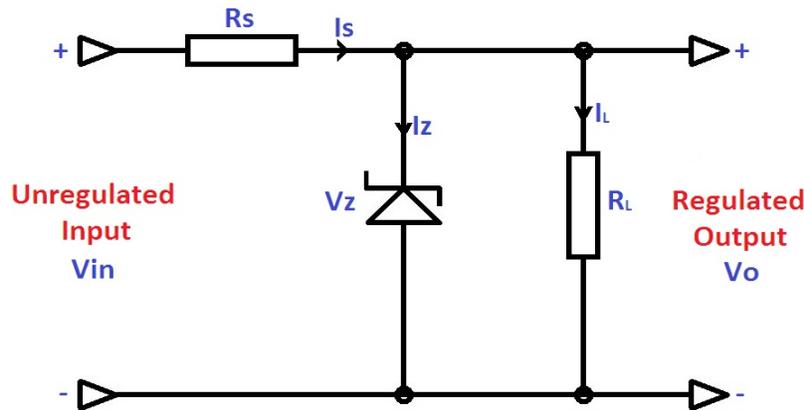
يكون الثنائي منحاز عكسياً بالبطارية ذات الفولتية E (جهد البطارية) ولذلك يكون الثنائي في حالة قطع طالما كانت e_i (جهد الادخال) اقل من E ولذلك لا يتغير شكل موجة الاخراج عن الادخال ضمن تلك الحدود . اما اذا زادت e_i عن E فان الثنائي يكون في حالة توصيل وبذلك تكون مقاومة الاخراج صفر تقريباً وهكذا لا تظهر فولتية الادخال في جهة الاخراج وكل ما يظهر هو قيمة البطارية E فقط.



شكل (4-13) دائرة التقليل مع الموجة الداخلة والخارجة

● منظم الجهد (voltage regulator)

يستعمل ثنائي زنر في دوائر منظم الجهد كما في الشكل وقد ربطت المقاومة R_S على التوالي مع ثنائي زنر لتحديد التيار فيه الى اقصى قيمة يتحملها I_{ZM} .



شكل (4-14) ثنائي زنر في دائرة منظم جهد

ففي حالة مرور التيار باجمعه في الثنائي اي عندما تكون $R_L = \infty$ فان R_S تساوي:

$$R_S = \frac{V_S - V_{ZT}}{I_{ZM}}$$

حيث ان V_S هي جهد المصدر.

اما عندما تكون المقاومة R_L ذات مقاومة محددة وتكون الدائرة ضمن مدى التنظيم فان التيار I_S في المقاومة R_S هو:

$$I_S = I_Z + I_L$$

$$R_L = \frac{V_{ZT}}{I_{ZM}}$$

وتكون اصغر قيمة لمقاومة الحمل التي تعمل فيها الدائرة كمنظم جهد (عندما يكون $I_Z = 0$) اي:

ويمكن استعمال الدائرة المبينة في الشكل اعلاه للحصول على جهد ثابت بين طرفي حمل ثابت R_L اذا كان مصدر الجهد V_S متغير في حدود معينة. فاذا كان اكبر جهد متوقع للمصدر هو V_2 ويسحب الحمل تياراً يساوي I_L فان الدائرة تصمم بحيث يمر ثنائي زنر اقصى تيار له I_{ZM} في هذا الوضع. ويكون فرق الجهد بين طرفي الحمل هو V_{ZT} وبما ان التيار في المقاومة R_S هو:

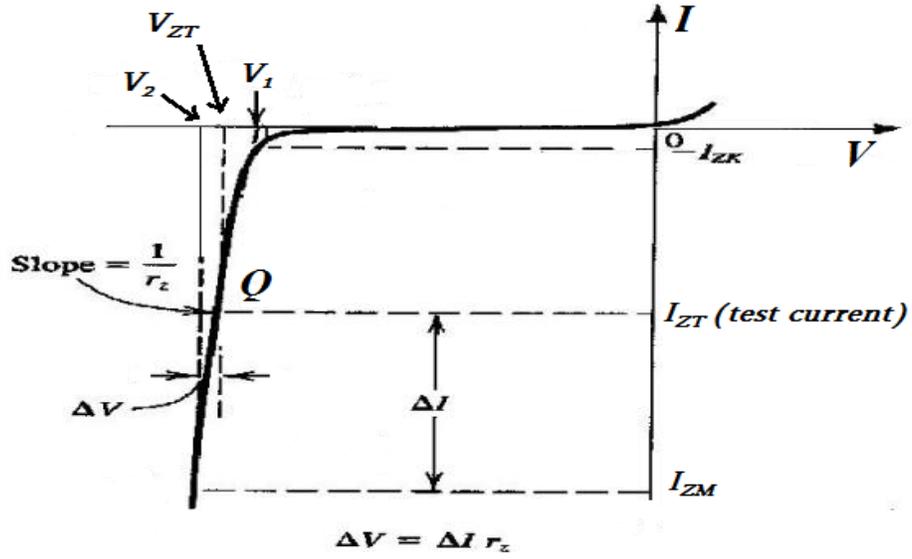
$$I_S = I_{ZM} + I_L$$

$$V_2 = V_{ZT} + R_S I_S$$

لذا تكون اكبر قيمة للجهد V_2 هي:

$$V_1 = V_{ZT} - R_S I_S$$

وتكون اصغر قيمة للجهد V_1 (حيث لا يمر تيار في الثنائي) هي:



شكل (4-15) منحنى مميزة نموذجي لثنائي زنر

