٢.٣ دوائر تشكيل الموجة

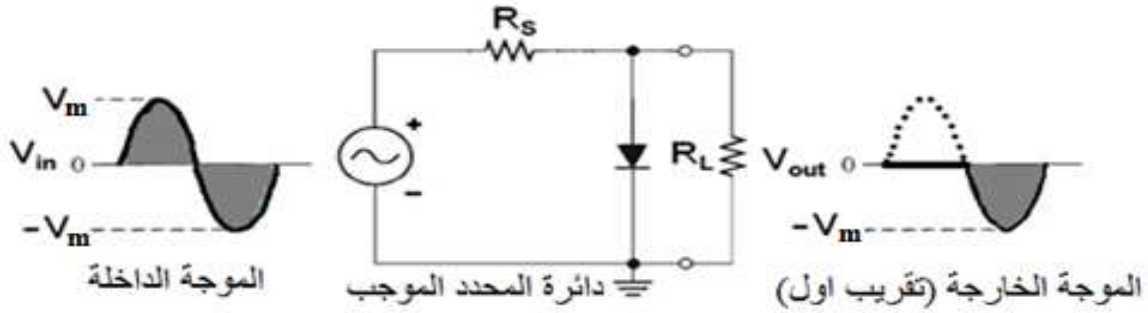
بالإضافة لاستعمال ثنائي أشباه الموصلات في دوائر التقويم الموجي، فان لها استعمالات أخرى في دوائر تعمل على تغيير شكل الموجة والتي تسمى بدوائر التشكيل الموجي، وهي كالتالي:

١.٢.٣ التحديد (Clipper) وأنواعه

هي دوائر لها القابلية على تحديد (قطع) جزء من إشارة الإدخال عند مستوى معين من دون إحداث أي تغيير في الجزء المتبقي من الإشارة. وتستعمل دوائر التحديد في تطبيقات مثل الرادار والحاسبات الرقمية ومنظومات الكترونية أخرى، وهي على عدة أنواع منها:

أ-المحدد (المُقلم) الموجب (The Positive Clipper)

يقوم المحدد الموجب بتحديد (قطع) الجزء الموجب من إشارة الإدخال، الشكل (٣-١٦) يوضح دائرة المحدد الموجب، والإشارة الداخلة والخارجة من المحدد الموجب.



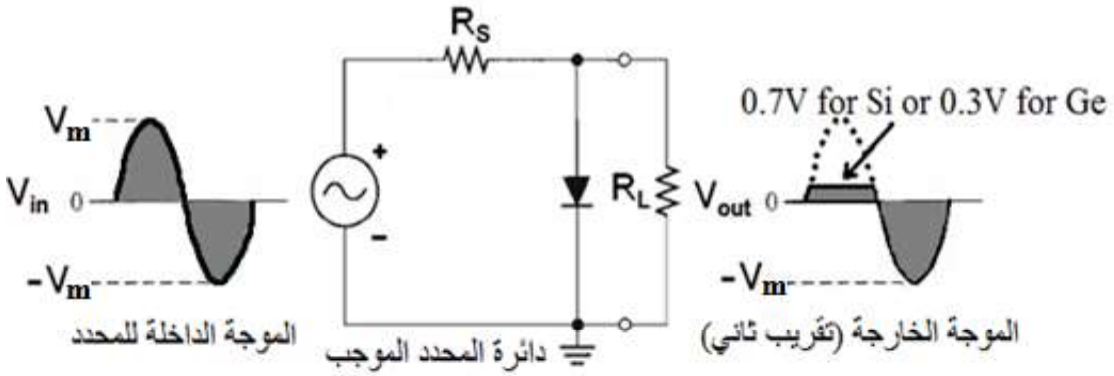
شكل (٣-١٦) دائرة المحدد الموجب باعتماد التقريب الأول للثنائي

عمل الدائرة يكون بالصورة التالية: خلال النصف الموجب من موجة الإدخال يكون الثنائي منحاز أماميا وفي حالة اعتبار الثنائي مثالي (تقريب أول) فانه يمكن اعتباره دائرة قصر (مقاومة أمامية صفر) وعندها تكون فولتية الإخراج (الفولتية على طرفي مقاومة الحمل R_L) تساوي صفر بينما تظهر فولتية الإدخال على المقاومة R_S (والتي وضعت أساسا لتحديد التيار الأمامي المار بالثنائي لكي لا يتجاوز اقصى تيار أمامي للثنائي). خلال النصف السالب من موجة الإدخال يكون الثنائي منحاز عكسياً ويكافئ دائرة مفتوحة وبالتالي فان الدائرة تصبح مقسم جهد وتعطى فولتية الإخراج بالعلاقة:

$$V_{out} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_{in}$$

عادة ما تكون R_L اكبر بكثير من R_S وعندها يمكن استعمال التقريب ($V_{out} \approx V_{in}$)، ونتيجة لذلك تكون الفولتية الخارجة مطابقة تماماً لفولتية الإدخال في جزئها السالب. لذلك تظهر فولتية الإخراج قد تحددت بمقدار أقصاه (صفر فولت) كما هو موضح بالشكل السابق.

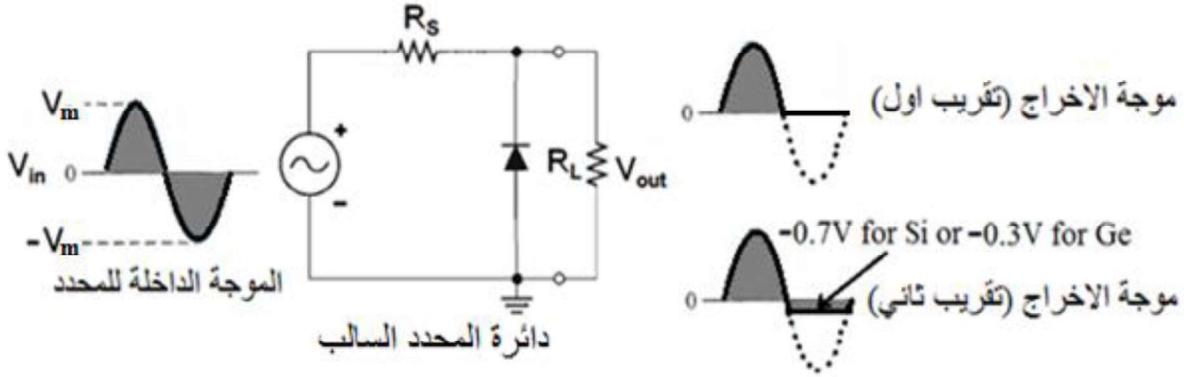
ان الشرح السابق قد اعتمد على التقريب المثالي للثنائي، ولتوخي الدقة اكثر يجب الأخذ بنظر الاعتبار تأثير جهد الحاجز للوصلة (التقريب الثاني)، فالثنائي في حالة الانحياز الأمامي لا يسمح بمرور التيار إلا بعد ان تتغلب الفولتية الأمامية على جهد الحاجز ولذلك فان الإشارة سوف تقطع بالقرب من جهد الحاجز (0.7V لثنائي السليكون و 0.3V لثنائي الجرمانيوم)، الشكل (٣-١٧) يوضح شكل الفولتية الداخلة والخارجة من المحدد الموجب باعتماد التقريب الثاني.



شكل (٣-١٧) دائرة المحدد الموجب باعتماد التقريب الثاني للثنائي

ب- المحدد (المُقلم) السالب (The Negative Clipper)

هي دائرة تقوم بتحديد (قطع) الجزء السالب من موجة الإدخال، الشكل (٣-١٨) يوضح دائرة المحدد السالب وشكل الفولتية الداخلة والخارجة في حالة التقريب الأول والثاني.



شكل (٣-١٨) دائرة المحدد السالب باعتماد التقريب الثاني للثنائي

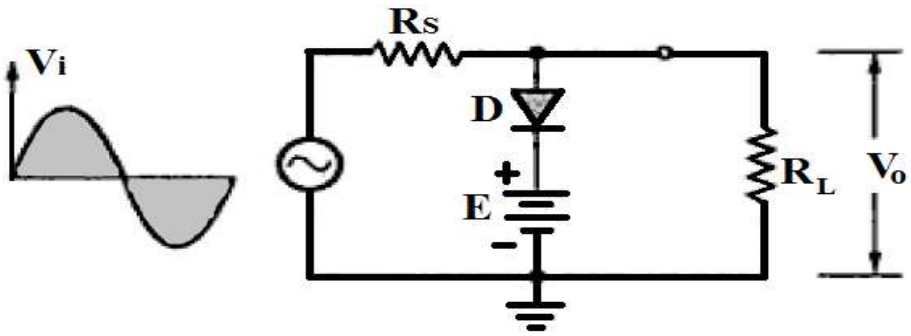
خلال النصف الموجب من فولتية الإدخال يكون الثنائي منحاز عكسياً ويتصرف كدائرة مفتوحة وتصبح الدائرة مقسم جهد وتظهر معظم الفولتية الداخلة على مقاومة الحمل ($R_L>>R_S$)، خلال النصف السالب من موجة الإدخال يكون الثنائي منحاز أماميا وكتقريب أول يكون بمثابة دائرة قصر وتكون فولتية الإخراج صفر و يظهر الجزء السالب من موجة الإدخال على المقاومة R_S، وبالتالي فان المحدد السالب يعمل على تحديد (قطع) الجزء السالب من موجة الإدخال عند مستوى الصفر.

جـ – المحدد المنحاز (The Biased Clipper)

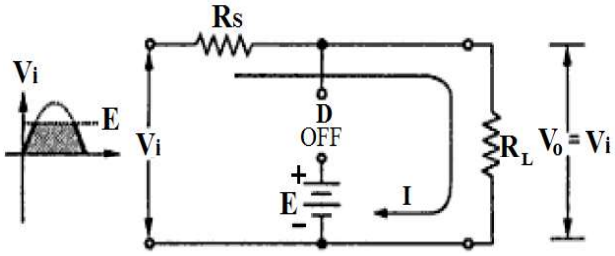
ان دائرة المحدد الموجب مثلاً تحدد المستوى الموجب عند مستوى صفر فولت عند اعتماد التقريب المثالي للثنائي أو عند 0.7V لثنائي السليكون كتقريب ثاني، غير انه في بعض التطبيقات تكون هناك حاجة لحذف جزء بسيط من الجزء الموجب أو السالب لموجة الإدخال أو حذف جزء اكبر من نصف الموجة، ولذلك تستعمل دوائر المحدد المنحاز للسيطرة على المستوى الذي يتم عنده التحديد، ان التحكم بمستوى التحديد يتم من خلال تسليط فولتية تحييز خارجية عن طريق ربط بطارية (أو مصدر جهد مستمر) على التوالي مع الثنائي. وهناك ثلاثة أنواع من دوائر التحديد المنحاز هي:

١– المحدد الموجب المنحاز (Biased Positive Clipper)

الشكل (٣–١٩) يوضح دائرة المحدد الموجب المنحاز والإشارة الداخلة اليه. فيما يلي شرح لعمل دائرة المحدد الموجب المنحاز.



شكل (٣–١٩) دائرة المحدد الموجب المنحاز

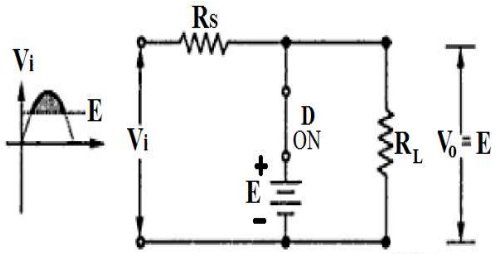


في بداية النصف الموجب من موجة الإدخال ($V_i\langle E$) يكون الثنائي منحازاً عكسياً لكون جهة الانود P اقل موجبية من جهة الكاثود N (لكل قيم فولتية الإدخال الأقل من جهد البطارية)، كما موضح بالشكل المجاور وفي هذه الحالة يكون:

$$V_o = IR_L = V_i \frac{R_L}{R_S + R_L}$$

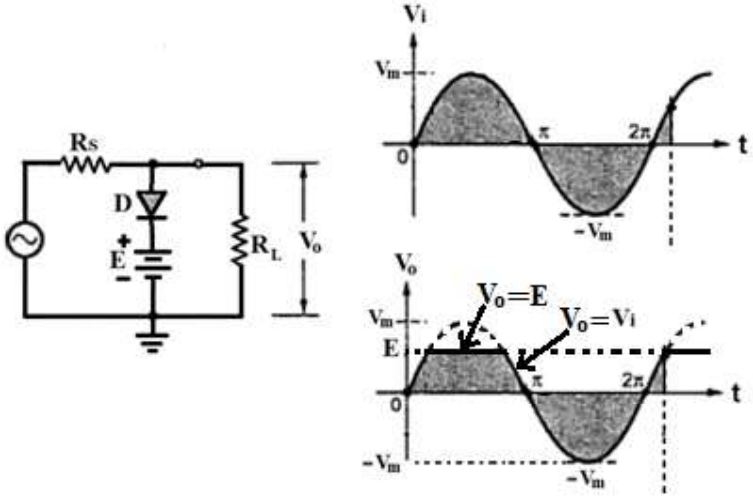
وعادة ما تكون مقاومة الحمل اكبر بكثير من المقاومة R_S (أي ان $R_L >> R_S$) وبالتالي يكون:

$$V_o = V_i, \quad \text{for} \quad V_i \langle E$$



عندما تتغلب فولتية الإدخال على جهد البطارية ($V_i \rangle E$) يصبح الثنائي منحازاً أماميا ويتصرف كدائرة قصر وعندها يكون:

$$V_o = E, \quad \text{for} \quad V_i \rangle E$$

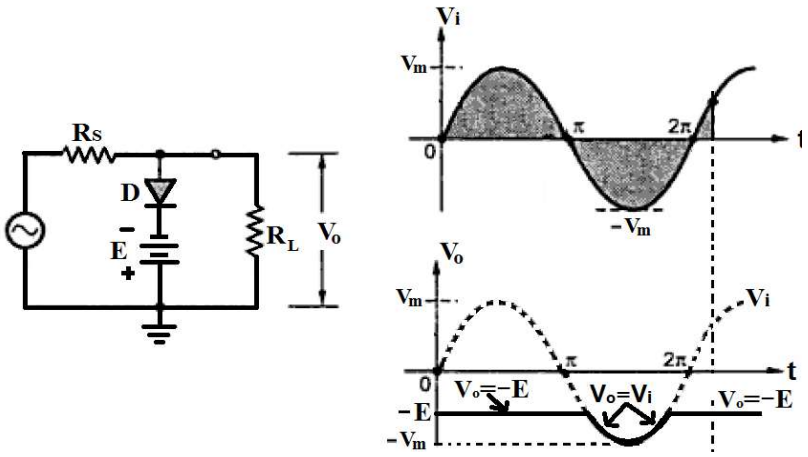


وبالنتيجة فان دائرة المحدد الموجب المنحاز تقوم بتحديد الجزء الموجب من فولتية الإخراج بقيمة جهد البطارية، كما هو موضح بالشكل المجاور.

ان الشرح السابق اعتمد على التقريب المثالي للثنائي، وكتقريب ثاني فان الثنائي لكي يمرر تيار يجب ان تتغلب فولتية الإدخال على جهد الحاجز، وبالتالي فان فولتية الإخراج ستتحدد بالقيمة ($E+V_B$)، وبتعبير آخر فان فولتية الإخراج حسب التقريب الثاني يمكن التعبير عنها بالصيغة:

$$V_o = V_i, \quad \text{for} \quad V_i \langle E$$
$$V_o = E + V_B, \quad \text{for} \quad V_i \rangle E$$

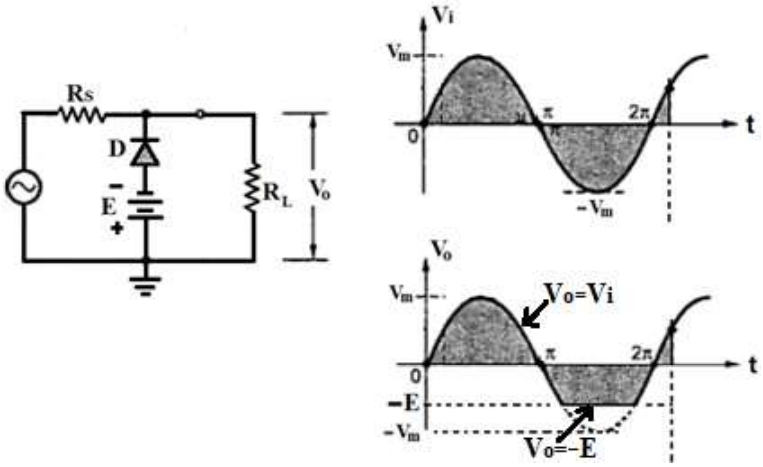
في حالة عكس قطبية البطارية المستعملة في دائرة المحدد الموجب المنحاز فان مستوى التحديد (القطع) سوف يكون عند (−E)، إذ يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي خلال كامل النصف الموجب لفولتية الإدخال حيث يكون (V_o=−E)، خلال النصف السالب يبقى الثنائي في حالة انحياز أمامي (V_o=−E) إلى ان تتغلب فولتية الإدخال السالبة على جهد البطارية، عندها يصبح الثنائي منحاز عكسياً (جهد الانود اكثر سالبية من جهد الكاثود) وتصبح فولتية الإخراج مساوية لفولتية الإدخال (V_o=V_i)، الشكل (٣−٢٠) يمثل دائرة المحدد المنحاز الموجب بعد عكس البطارية وشكل الفولتية الداخلة اليه والخارجة منه.



شكل (٣-٢٠) دائرة المحدد الموجب المنحاز مع عكس قطبية البطارية

٢-المحدد السالب المنحاز (Biased Negative Clipper)

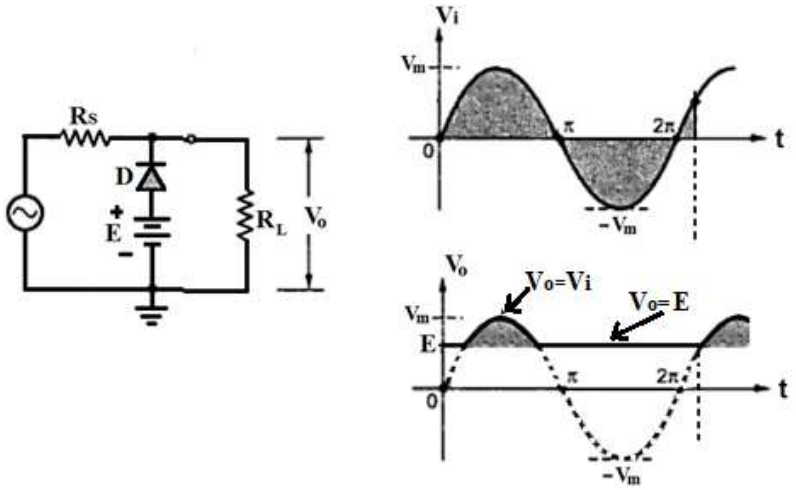
تقوم دائرة المحدد السالب المنحاز بتحديد الجزء السالب من الإشارة عند قيمة جهد البطارية، خلال النصف الموجب من فولتية الإدخال يكون الثنائي منحاز عكسياً وعندها يكون ($V_o=V_i$)، وخلال النصف السالب يبقى الثنائي منحاز عكسياً إلى ان تتغلب قيمة فولتية الإدخال السالبة على قيمة جهد البطارية وعندها فقط يصبح الثنائي منحازاً أماميا وتصبح فولتية الإخراج ($V_o=-E$). الشكل (٣-٢١) يوضح دائرة المحدد السالب المنحاز والفولتية الداخلة والخارجة.



شكل (٣-٢١) دائرة المحدد السالب المنحاز

في حالة اعتماد التقريب الثاني، فان التحديد عند الجزء السالب سوف يكون عند ($-E-V_B$).

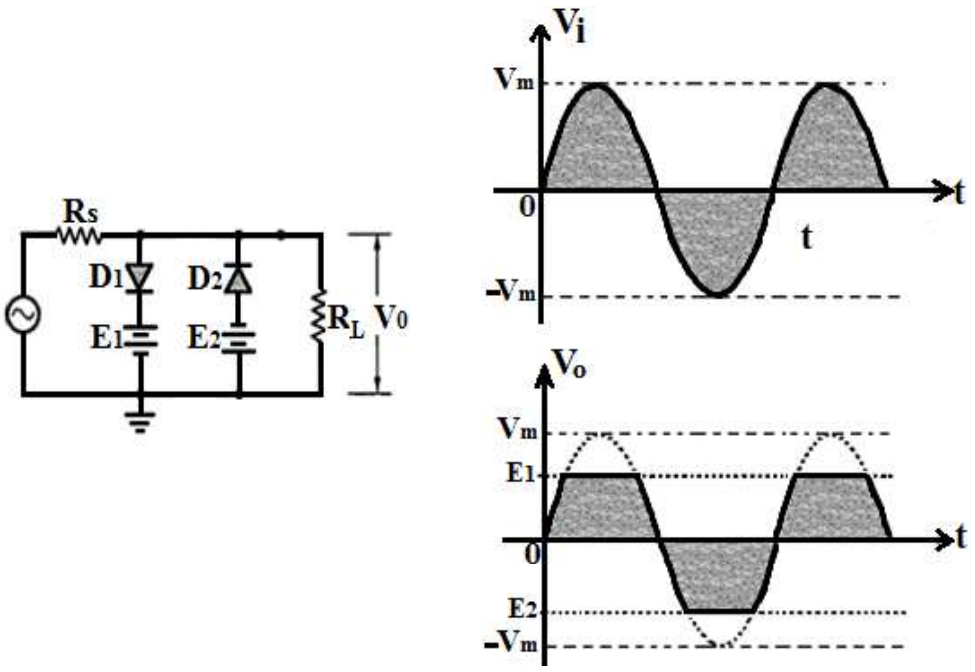
اما عند قلب قطبية البطارية المستعملة في دائرة المحدد السالب فان شكل فولتية الإخراج سوف يكون بالصورة الموضحة بالشكل (٣-٢٢).



شكل (٣-٢٢) دائرة المحدد السالب المنحاز مع عكس قطبية البطارية

٣-المحدد المركب المنحاز

نحصل على المحدد المركب المنحاز عن طريق ربط محدد موجب منحاز مع محدد سالب منحاز كما موضح بالشكل (٣-٢٣).

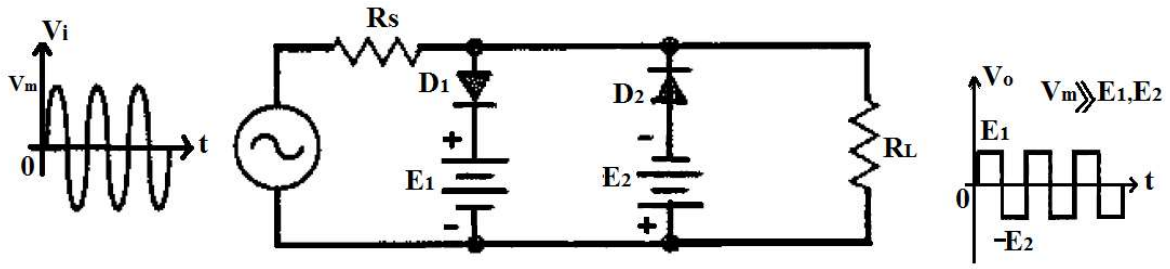


شكل (٣-٢٣) دائرة المحدد المركب المنحاز

خلال النصف الموجب من موجة الإدخال يقوم المحدد الموجب المنحاز بتحديد الجزء الموجب عند مستوى جهد البطارية (E_1)، اما خلال النصف السالب من موجة الإدخال فيقوم المحدد السالب المنحاز

بتحديد الجزء السالب من فولتية الإدخال عند جهد البطارية (E_2)، وعند اعتماد التقريب الثاني للثنائي فان تحديد الذروة الموجبة يكون عند (E_1+V_B) والذروة السالبة تتحدد عند ($-E_2-V_B$).

في حالة كون جهد بطارية المحدد الموجب المنحاز مساوياً لجهد بطارية المحدد السالب المنحاز ($E_1=E_2$) فان القطع سيكون متماثلاً لنصفي موجة الإدخال، وفي حالة خاصة اذا كانت ($E_1=E_2$) وكانت ذروة فولتية الإدخال اكبر بكثير من جهد بطارية التحييز ($V_m>>E$) فان شكل موجة الإخراج سيكون مربعاً كما هو موضح بالشكل (٣-٢٤).

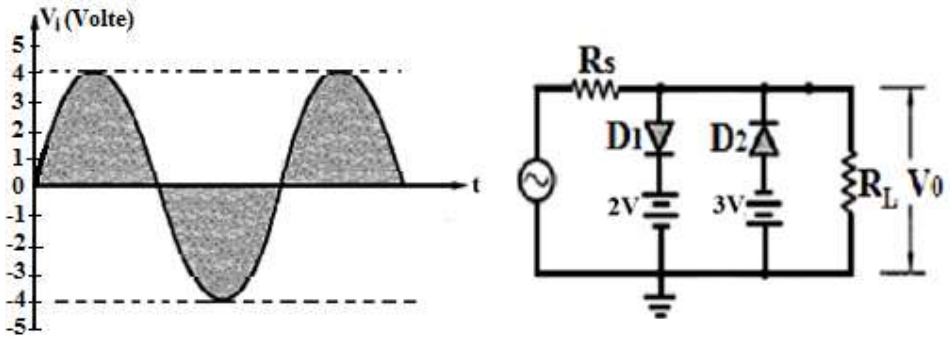


شكل (٣-٢٤) دائرة المحدد المركب المستعملة للحصول على موجة إخراج مربعة

مثال (٣-٣):

ارسم شكل الموجة الخارجة من الدائرة الموضحة بالشكل التالي، اعتبر ان ($R_L>>R_S$). وذلك في الحالتين:

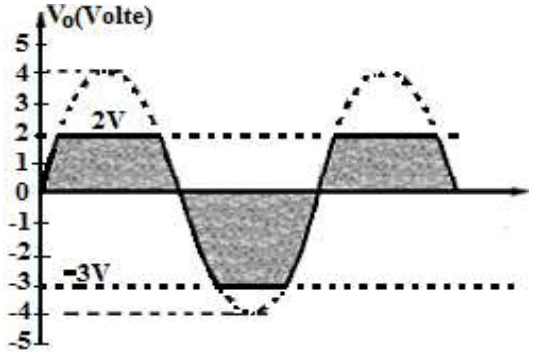
أ- اعتماد التقريب المثالي للثنائي ب- اعتماد التقريب الثاني (علماً بان الثنائي مصنوع من السليكون).



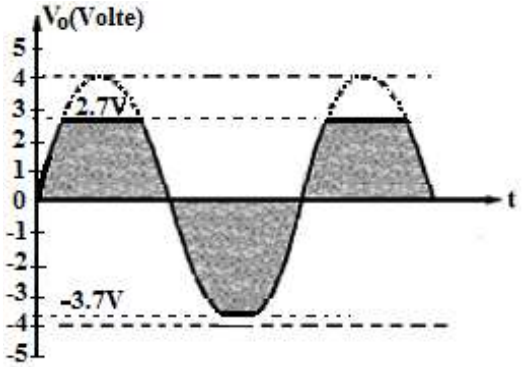
الحل:

ان الدائرة هي محدد مركب منحاز ونظراً لكون ($R_L>>R_S$) لذا يمكن إهمال الجهد على المقاومة R_S.

أ- في حالة اعتماد التقريب المثالي للثنائي، حيث يقوم المحدد الموجب المنحاز بتحديد فولتية الإخراج عند قيمة جهد بطارية المحدد الموجب (2V) بينما يقوم المحدد السالب بتحديد الجزء السالب عند قيمة جهد بطارية المحدد السالب (3V-)، ويكون شكل الموجة الخارجة كما في الشكل المجاور.



ب- في حالة اعتماد التقريب الثاني نأخذ بنظر الاعتبار تأثير جهد الحاجز للثنائي، ولكون الثنائي من السليكون لذا يكون تحديد الجزء الموجب عند القيمة (2+0.7=2.7V) والتحديد السالب يكون عند القيمة (3+0.7=3.7V) وكما هو موضح بالشكل المجاور.



٢.٢.٣ الإلزام وأنوعه (Clamper)

في بعض الاحيان تكون هناك حاجة لإضافة مستوى فولتية مستمرة لإشارة الإدخال، وتسمى الدوائر التي تعمل على إضافة مركبة مستمرة إلى إشارة الإدخال بدوائر الإلزام. وتعتبر دوائر الإلزام شائعة الاستعمال في الدوائر الإلكترونية ومن أمثلتها التلفاز حيث تستعمل لإضافة فولتية مستمرة لإشارة الصورة، ويسمى الملزم المستعمل في التلفاز عادة بمستعيد المركبة المستمرة (dc restorer).

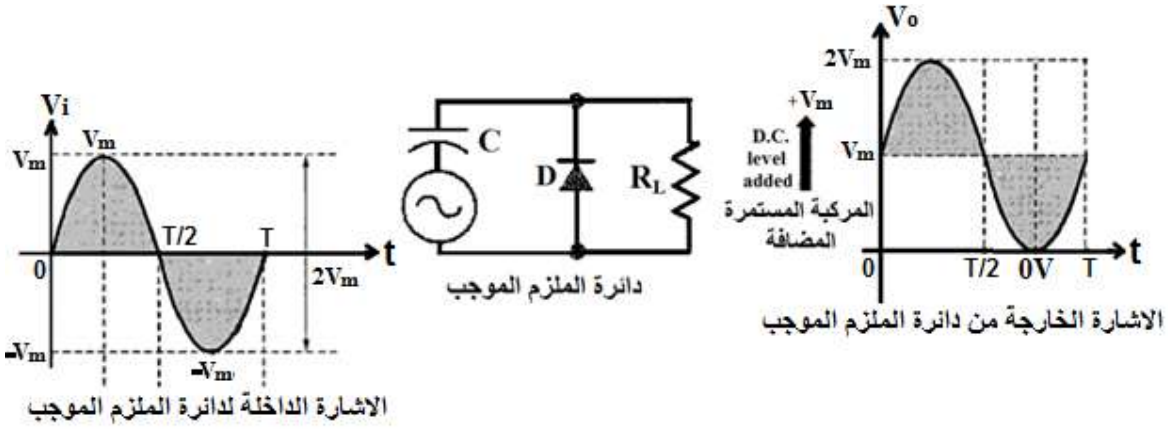
تتكون دوائر الإلزام بشكل رئيسي من ثلاثة عناصر هي متسعة ، ثنائي شبه موصل ومقاومة، يمكن تقسيم دوائر الإلزام تبعاً لقطبية الفولتية المضافة إلى:

١- الملزم الموجب
٢- الملزم السالب

وفيما يلي شرح لكلا النوعين:

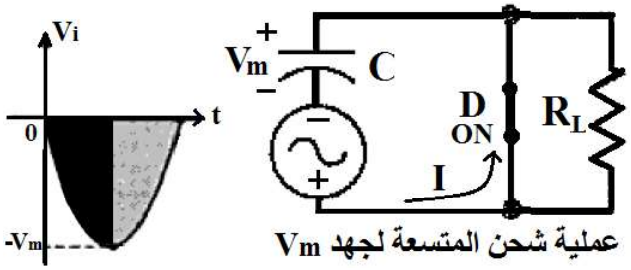
أولاً: الملزم الموجب (Positive Clamper)

الشكل (٣–٢٥) يمثل دائرة الملزم الموجب والإشارة الداخلة والخارجة منه.

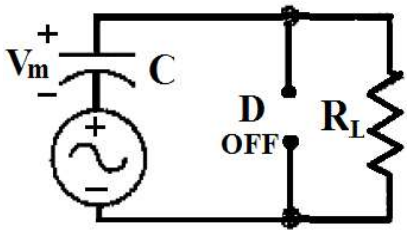


شكل (٣–٢٥) دائرة الملزم الموجب

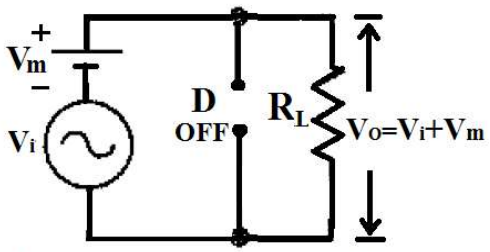
اما عمل دائرة الملزم الموجب فيكون كالتالي:



خلال الربع الأول من النصف السالب من إشارة الإدخال يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي وفي حالة اعتبار الثنائي مثالي يكون بمثابة دائرة قصر، وبالنتيجة تشحن المتسعة بسرعة إلى جهد الذروة لإشارة الإدخال (V_m) وبالقطبية الموضحة بالشكل المجاور.



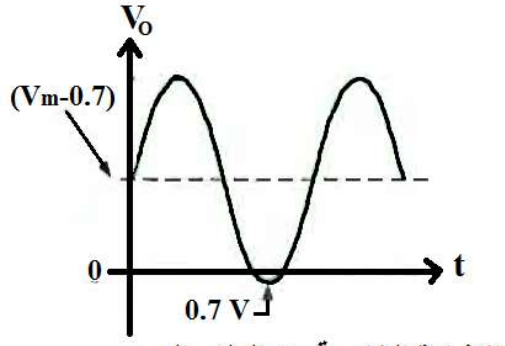
ضمن النصف السالب و بعد تجاوز إشارة الإدخال الذروة السالبة يصبح الثنائي منحاز عكسياً (جهة N اكثر موجبية من جهة P). خلال النصف الموجب التالي يكون الثنائي منحاز عكسياً ويتصرف كدائرة مفتوحة، وبتأثير فرق الجهد على طرفي المتسعة يكون الثنائي منحاز عكسياً خلال الانصاف الموجبة والسالبة التالية، وكما هو موضح بالشكل المجاور.



الدائرة المكافئة للملزم الموجب بعد شحن المتسعة

وبجعل ثابت الزمن (R_LC) اكبر بكثير من الزمن الدوري لإشارة الإدخال (T) فان المتسعة تبقى محافظة على شحنتها دائماً، وكتقريب أول يمكن اعتبار المتسعة تقوم بعمل بطارية جهدها (V_m) مربوطة على التوالي مع إشارة الإدخال، وبالنتيجة تكون الدائرة المكافئة للملزم الموجب بعد شحن المتسعة كما موضح بالشكل المجاور.

✓ يتضح من ما سبق ان دائرة الملزم الموجب تقوم بإضافة مركبة إلى إشارة الإدخال تساوي ذروة إشارة الإدخال، وبتعبير آخر فان كل نقطة على إشارة الإدخال سوف تنزاح نحو الاتجاه الموجب بمقدار ذروة إشارة الإدخال فتظهر الموجة بأكملها في الجزء الموجب ولهذا تسمى بالملزم الموجب.



الاشارة الخارجة من الملزم الموجب حسب التقريب الثاني للثنائي

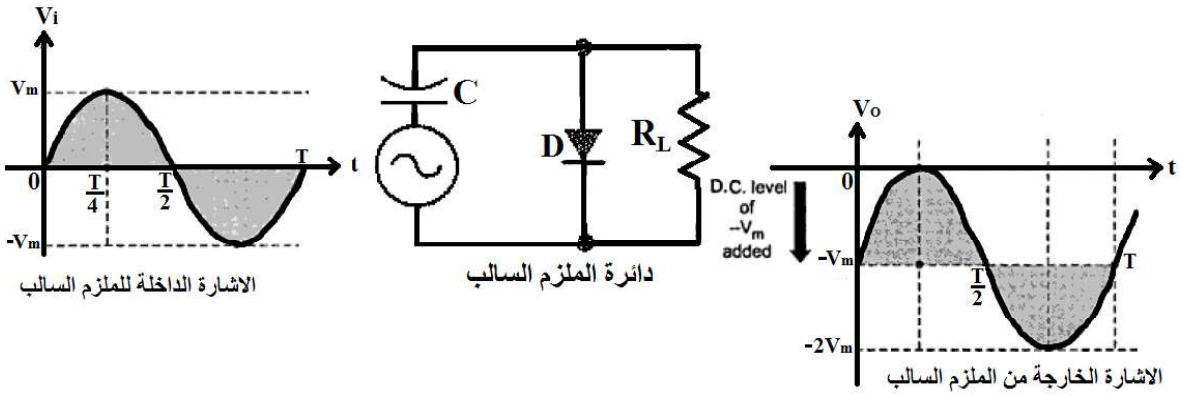
من الناحية العملية ثنائي أشباه الموصلات في الانحياز الأمامي لا يمرر التيار إلا بعد ان تتغلب الفولتية المسلطة على جهد الحاجز (V_B)، ولذا كتقريب ثاني فان المتسعة سوف تشحن لجهد قدره (V_i-V_B) ويكون مقدار الازاحة التي تتعرض لها إشارة الإدخال هو بمقدار (V_i-V_B)، الشكل المجاور يوضح فولتية الإخراج لملزم موجب يستعمل ثنائي سليكون باعتماد التقريب الثاني للثنائي.

بخصوص فولتية الذروة العكسية التي يتعرض لها الثنائي في دائرة الملزم الموجب نجدها تساوي ضعف قيمة ذروة الإدخال ($2V_m$).

بالإمكان التحكم في مستوى الإلزام الموجب من خلال ربط بطارية خارجية على التوالي، وعندها ستضاف (أو تطرح) ازاحة إضافية للإشارة الخارجة بمقدار يساوي جهد البطارية تبعاً لطريقة ربط البطارية.

ثانياً: الملزم السالب (Negative Clamper)

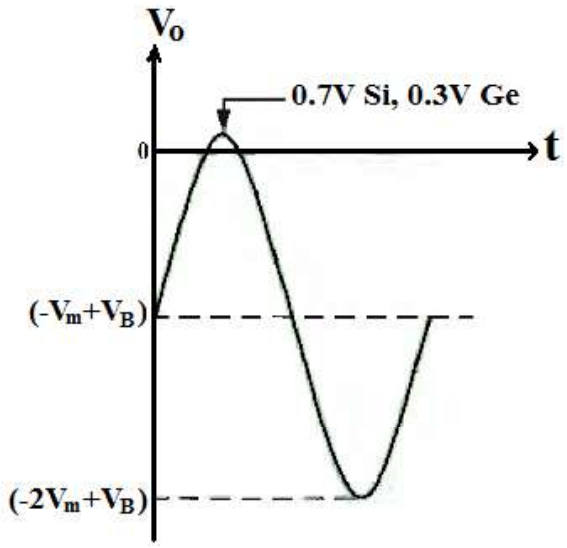
يتكون الملزم السالب من نفس العناصر التي يتكون منها الملزم الموجب ولكن باختلاف قطبية الثنائي والذي بدوره يؤدي إلى اختلاف قطبية الفولتية التي سوف تشحن بها المتسعة. الشكل (٣-٢٦) يوضح دائرة الملزم السالب والإشارة الداخلة والخارجة منه.



شكل (٣-٢٦) دائرة الملزم السالب

نلاحظ ان دائرة الملزم السالب قد عملت على الزام إشارة الإخراج بالجزء السالب، سوف يترك شرح عمل دائرة الملزم السالب كواجب للطالب.

عند اعتماد التقريب الثاني للثنائي، فان الإلزام السالب لن يكون عند مستوى الصفر بل ينزاح قليلاً فوق مستوى الصفر (بحدود جهد الوصلة للثنائي) وكما هو موضح بالشكل التالي.



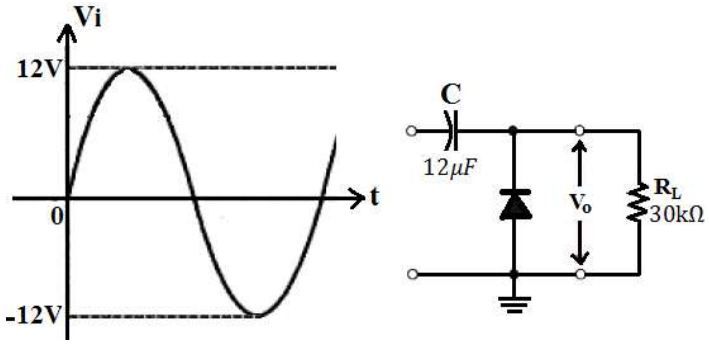
كما ويمكن التحكم بمستوى الإلزام السالب من خلال إضافة بطارية تحييز على التوالي مع الثنائي، حيث يزاح مستوى الإلزام فوق أو اسفل مستوى الصفر حسب قيمة طريقة ربط البطارية وجهدها.

مثال (٣-٤): ارسم الإشارة الخارجة على طرفي مقاومة الحمل في الدائرة التالية، على فرض ان ثابت الزمن للدائرة كبير جداً بالمقارنة مع الزمن الدوري لإشارة الإدخال بحيث يمكن إهمال تفريغ المتسعة، وذلك في الحالتين:

أ- اعتبار الثنائي مثالي.

ب- اعتماد التقريب الثاني،

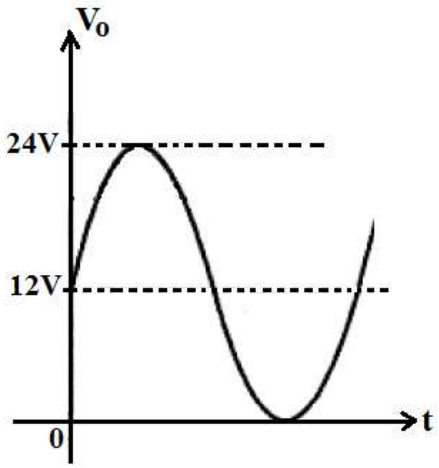
علماً بان الثنائي من السليكون.



الحل: نلاحظ ان الدائرة هي دائرة ملزم موجب غير منحاز، وعليه تكون إشارة الإخراج مُلزمة عند الجزء الموجب، ويكون شكل إشارة الإخراج في كل حالة (تقريب) كما يلي:

أ- في حالة اعتماد التقريب الأول (الثنائي المثالي)

في هذه الحالة تكون الذروة السالبة لإشارة الإخراج ملزمة بمستوى الصفر اما الذروة الموجبة فتكون ملزمة بمستوى ($2V_m$) أي انها ملزمة بالمستوى (24V)، وتكون إشارة الإخراج بالشكل المجاور.



ب- في حالة اعتماد التقريب الثاني

في هذه الحالة يتم الأخذ بنظر الاعتبار تأثير جهد الحاجز، فتكون الذروة السالبة ملزمة بقيمة (−0.7V) اما الذروة الموجبة فتكون ملزمة بالمستوى (23.3V) حيث (24−0.7=23.7V) وكما هو موضح بالشكل المجاور.