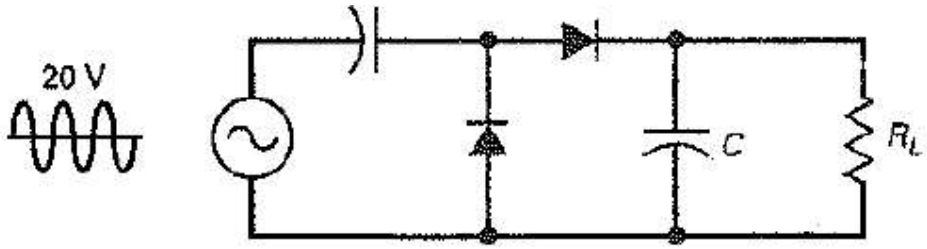
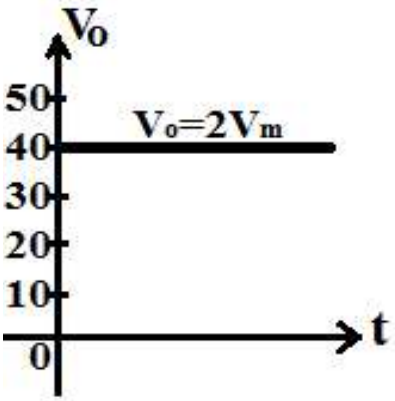
اضعاف، أربعة اضعاف) غير مستعملة في مجهزات القدرة المستمرة واطئة الفولتية، وبذلك يقتصر استعمال دوائر مضاعفات الفولتية في التطبيقات التي تتطلب فولتيات عالية (مئات أو آلاف الفولتات) مع تيار قليل.

مثال (٣-٥): ارسم شكل الفولتية الخارجة من الدائرة التالية، اعتبر ان الثنائيات مثالية وثابت الزمن كبير.



الحل:

نلاحظ ان الدائرة هي مضاعف فولتية لضعفين، ولكون ثابت الزمن كبير جداً، فان الفولتية الخارجة من الدائرة ستكون فولتية مستمرة وذات قيمة تساوي ضعف ذروة الإدخال أي (40V)، ويكون شكل فولتية الإخراج كما في الشكل المجاور.



٣.٣ ثنائيات الاستعمالات الخاصة

ان استعمال ثنائي التقويم الموجي في دائرة مجهز القدرة في تحويل الفولتية المتناوبة إلى فولتية مستمرة يعتبر من اكثر الثنائيات استعمالاً، إلا ان هناك تطبيقات أخرى يمكن ان تقوم بها ثنائيات أشباه الموصلات بمواصفات خاصة . في هذه الفقرة سوف نتطرق لبعض من تلك الثنائيات وتطبيقاتها.

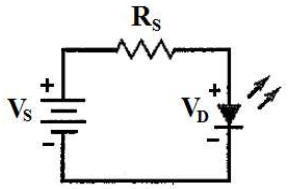
أولاً: الثنائي الباعث للضوء Light-Emitting Diode LED

الشكل المجاور يمثل رمز الثنائي الباعث للضوء، والذي يختلف عن رمز ثنائي التقويم بالأسهم المتجهة من جهة الوصلة للخارج والتي تشير إلى الضوء المنبعث من الثنائي. ويشار للثنائي الباعث للضوء بالاختصار (LED_S).

ذكرنا سابقاً انه في حالة ثنائي شبه الموصل المنحاز أماميا فان الكترونات حزمة التوصيل تعبر الوصلة وتسقط في الفجوات، وعند انتقال الكترون من حزمة التوصيل إلى 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.

باستخدام عناصر مثل الغاليوم (Gallium) والزرنيخ (Arsenic) والفسفور (Phosphorus)، يستطيع المُصنع انتاج ثنائيات باعثة للضوء تشع اضواء حمراء أو خضراء أو صفراء أو تحت الحمراء (غير مرئية)، ان الثنائيات باعثة للضوء والتي تنتج أشعة مرئية تستعمل في عارضات الأجهزة والحاسبات والساعات الرقمية، اما الثنائي الباعث لأشعة غير مرئية فيكون لها تطبيقات في أجهزة الحماية ضد السرقة ومجالات أخرى تتطلب أشعة غير مرئية. في الآونة الأخيرة شاع استعمال الثنائي الباعث للضوء في أجهزة الإنارة بدلاً عن مصابيح الإضاءة التقليدية (مصابيح التنكستن أو الغازية) وذلك لما تمتاز به من صغر الحجم وخفة الوزن، مجال طيفي واسع، عمر استعمال طويل بالمقارنة مع المصابيح التقليدية، صغر الفولتية المطلوبة للتشغيل (بحدود بضعة فولتات) وسرعة الغلق والفتح (بضع نانو ثانية).



الشكل المجاور يمثل دائرة الثنائي الباعث للضوء، حيث تمثل V_S فولتية التحييز الأمامية، R_S مقاومة لتحديد التيار الأمامي لكي لا يمر تيار اكبر من تحمل الثنائي (والذي يكون عادة بين 10 إلى 50 ملي أمبير)، و V_D هو فرق الجهد بين طرفي الثنائي والذي يكون عادة بين 1.5 إلى 2.5 فولت وذلك تبعاً للون الضوء المنبعث، التيار المار و اقصى تيار يمكن ان يتحمله الثنائي.

بتطبيق قانون كيرشوف الخاص بفروق الجهد يمكننا إيجاد التيار المار بثنائي الباعث للضوء (I_S) بالمعادلة التالية:

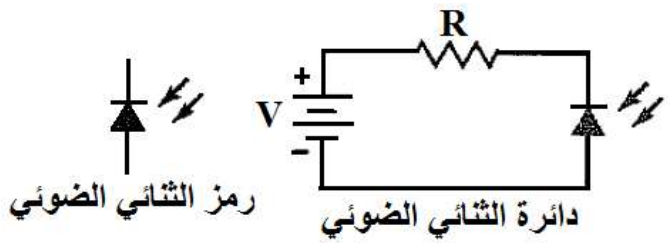
$$I_S = \frac{V_S - V_D}{R_S}$$

تمتاز الثنائيات الباعثة للضوء بكون فولتية الانهيار العكسية لها منخفضة نسبياً حيث تكون عادة بحدود 3 إلى 5 فولت، ولذا يجب تجنب تسليط فولتيات عكسية عالية على ثنائي الباعث للضوء لان ذلك يؤدي إلى تلف الثنائي، عادة ما يتم ربط ثنائي عادي (تقويم) على التوازي مع طرفي ثنائي الباعث للضوء وباتجاه معاكس وذلك لحماية الثنائي الباعث للضوء من فولتيات التحييز العكسي العالية.

ثانياً: الثنائي الضوئي Photodiode

ذكرنا سابقاً ان الطاقة الحرارية تزيد من حاملات الشحنة الأقلية 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 الأقلية. بتوفير منفذ (شباك) يستطيع الضوء من خلاله الوصول للوصلة، يستطيع المُصنع ان ينتج ثنائياً ضوئياً (Photodiode)، وعندما يسقط ضوء خارجي على

وصلة ثنائي ضوئي منحاز عكسياً تتولد أزواج (الكترون–فجوة) داخل طبقة الاستنزاف. وكلما كان الضوء قوياً زاد عدد حاملات الشحنة الأقلية المنتجة ضوئياً وزاد التيار العكسي. ولهذا السبب يمكن عمل متحسسات (كاشفات) ضوئية ممتازة من الثنائيات الضوئية. عادة ما يكون التيار العكسي لثنائي ضوئي بوجود الضوء بحدود عشرات المايكروامبير. الشكل (٣–٣١) يوضح رمز ودائرة الثنائي الضوئي.



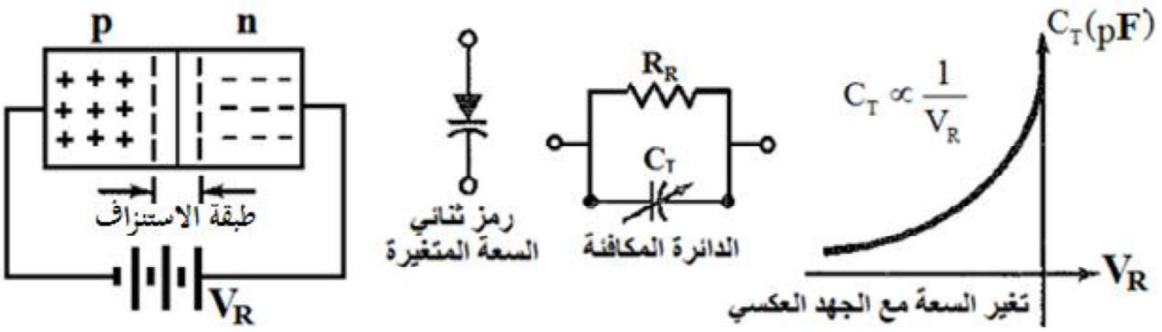
شكل (٣–٣١) رمز ودائرة الثنائي الضوئي

ثالثاً: ثنائي السعة المتغيرة Varactor

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

ان الفكرة الأساسية لعمل ثنائي السعة المتغيرة يقوم على الاستفادة من خصائص الثنائي في حالة الانحياز العكسي، حيث ان عرض طبقة الاستنزاف تزداد عرضاً حتى يصبح فرق جهدها مساوياً للفولتية العكسية المسلطة عليها. وكلما كبرت الفولتية العكسية زاد عرض طبقة الاستنزاف، وبسبب عدم امتلاك طبقة الاستنزاف لحاملات الشحنة فهي تعمل عمل عازل كهربائي. هذا من ناحية، اما من الناحية الأخرى، فان منطقتي p و n المطعمتين تعملان عمل موصلين جيدين. وهكذا نستطيع ان نتخيل المنطقتين p و n المفصولتين بطبقة الاستنزاف متسعة ذات لوحين متوازيين. عندما تزداد الفولتية العكسية يزداد عرض طبقة الاستنزاف وهذا يشبه تحريك اللوحين المتوازيين بحيث يزداد البعد بينهما، وبالتالي فان السعة تقل عند زيادة الفولتية العكسية، وبالتالي يمكننا التحكم بالسعة من خلال الفولتية العكسية المسلطة.

الشكل التالي يوضح الانحياز العكسي والدائرة المكافئة لثنائي السعة المتغيرة ومنحنى تغير السعة مع الجهد العكسي ورمز ثنائي السعة المتغيرة.

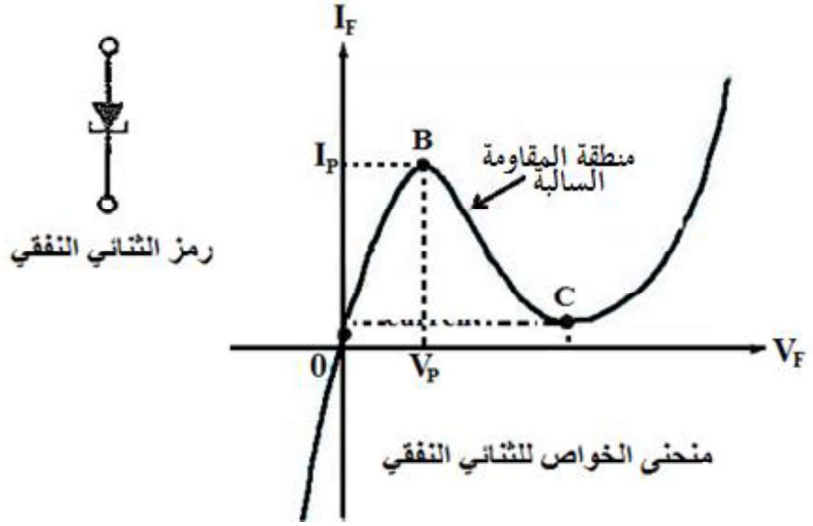


شكل (٣–٣٢) رمز ودائرة الثنائي الضوئي

رابعاً: الثنائي النفقي Tunnel Diode

يمتاز الثنائي النفقي بخاصية فريدة تدعى بالمقاومة السالبة (Negative Resistance)، وهذه الخاصية تجعله مفيداً في التطبيقات المتعلقة بالمذبذبات ومضخمات الموجات الدقيقة. يتم تصنيع الثنائي النفقي من مادة الجرمانيوم أو (Gallium arsenide)، ويتم التطعيم بنسبة كبيرة جداً بالمقارنة مع تطعيم الثنائي العادي، ان ذلك التطعيم العالي يؤدي إلى جعل طبقة الاستنزاف ضيقة جداً، حيث يتناسب سمك طبقة الاستنزاف عكسياً مع الجذر التربيعي لتركيز الشوائب. حيث يصل سمك طبقة الاستنزاف في الثنائي النفقي إلى اقل من (0.01μm) ويصل المجال الكهربائي عبر الوصلة إلى اكثر من (900kV/cm). تحت هذه الظروف وبسبب الطبيعة الموجية للإلكترون فقد يحتمل ان يحفر الإلكترون نفقاً وينفذ من حاجز الجهد، وتسمى هذه الظاهرة بالتنفيق (Tunneling) حيث يتمكن الإلكترون 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 في الميكانيك الكمي لها القدرة على اختراق حاجز الجهد من خلال استخدام الطاقة المرافقة في عملية الاختراق، ويكون تيار التنفيق محسوساً اذا كانت طبقة الاستنزاف رقيقة جداً.

الشكل التالي يوضح رمز الثنائي النفقي ومنحنى الخواص له.



شكل (٣–٣٣) رمز ومنحنى الخواص للثنائي النفقي

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

● ✓خامساً: ثنائي شوتكي Schottky Diode

عند الترددات العالية جداً (الأعلى من 300MHz) فان الثنائي العادي يفشل في عملية تقويم الموجة إذ لا تتناسب سرعته في الغلق والفتح (الاستجابة للانحياز الأمامي والعكسي) مع سرعة تناوب إشارة الإدخال، وللتغلب على هذه المشكلة صمم ثنائي شوتكي. في هذا الثنائي يستعمل معدن مثل الذهب أو الفضة أو البلاتين على جهة واحدة من الوصلة وسليكون مشوب (عادة من نوع n) على الجهة الثانية، لذا يكون هذا النوع من الثنائيات نبيطة أحادية القطبية لان الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأغلبية في جهتي الوصلة،

وكذلك فان ثنائي شوتكي لا يمتلك طبقة استنزاف أو خزن شحنة ونتيجة لذلك يمكن تحويله من وضع الغلق إلى الفتح بصورة اسرع بكثير من الثنائي العادي (ثنائي القطبية)، بالتالي يمكن استعمال ثنائي شوتكي في التطبيقات المتعلقة بتقويم الموجة في الترددات العالية جداً. الشكل المجاور يوضح رمز ثنائي شوتكي.

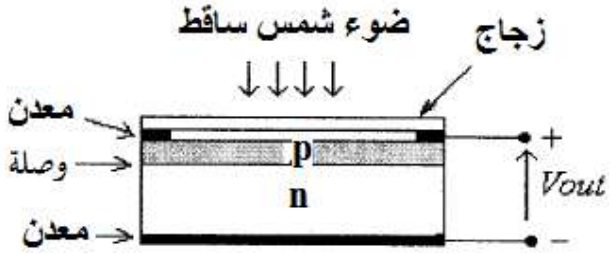
سادساً: ثنائي الرجوع المدرج Step-Recovery Diode

في هذا النوع من الثنائيات الخاصة يكون مستوى التطعيم قرب الوصلة اقل مما عليه في منطقتي n و p مما يوفر للثنائي إمكانية خزن الشحنة. خلال التوصيل الأمامي 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 إلى الصفر. يستعمل ثنائي الرجوع المدرج في التطبيقات المتعلقة بدوائر النبضات والدوائر الرقمية لتوليد نبضات سريعة جداً الشكل المجاور يمثل رمز ثنائي الرجوع المدرج.

سابعاً: ثنائي الليزر Laser Diode

في حالة الثنائي الباعث للضوء يكون الضوء المنبعث غير متشاكه (Noncoherent light) وذلك لان الكترونات التوصيل تهبط بصورة عشوائية إلى مستوى التكافؤ ويكون انبعاث الضوء ناتج من عملية الانبعاث التلقائي، بينما ثنائي الليزر انبعاث الضوء ناتج من عملية تسمى الانبعاث المحفز ويكون الضوء الناتج من انتقال الإلكترونات من حزمة التوصيل إلى حزمة التكافؤ يمتاز بالتشاكه بالإضافة للشدة العالية والنقاوة الطيفية، يبعث ثنائي الليزر ضوء بالوان مختلفة منها الأحمر، الأخضر، الأزرق. لثنائي الليزر تطبيقات واسعة منها استعماله الاتصالات، أنظمة تحديد المدى، أجهزة الطباعة الليزرية، محرك الأقراص المدمجة، تطبيقات صناعية، تطبيقات طبية. ويسمى ثنائي الليزر أحيانا ليزر أشباه الموصلات.

ثامناً: الخلية الشمسية Solar Cells



وهي عبارة عن وصلة موجب-سالب (p-n Junction) مصنوعة عادة من السليكون وكما هو موضح بالشكل المجاور.

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

✓● أسئلة الفصل الثالث

س١: عرف كل من: دوائر التقويم، فولتية الذروة العكسية، عامل التموج، كفاءة التعديل، دوائر الإلزام، الثنائي الضوئي، ظاهرة التنفيق.

س٢: قارن بين كل من دائرة المحدد الموجب، دائرة الملزم الموجب، دائرة مضاعف الفولتية لضعفين وذلك من حيث: رسمة الدائرة، الوظيفة و شكل فولتية الإخراج.

س٣: قارن بين مقوم نصف موجة ومقوم القنطرة.

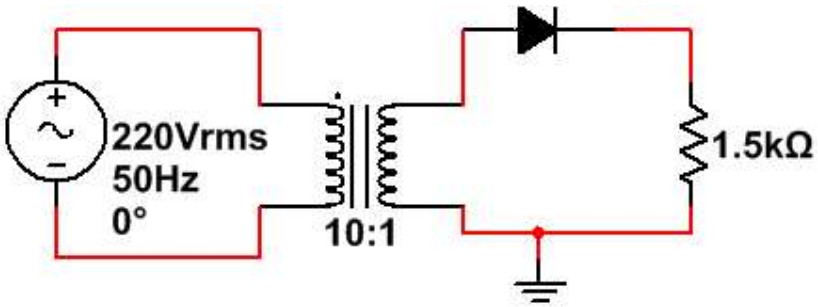
س٤: علل ما يلي

أ- استعمال مقوم التفرع المركزي في حالة تقويم الفولتيات الواطئة.

ب-استعمال المرشحات في دائرة مجهز القدرة المستمر.

س٥: اشرح عمل دائرة الملزم السالب غير المنحاز مع الرسم.

س٦: في الشكل التالي، ما مقدار فولتية الحمل المستمرة؟ وما مقدار تيار الحمل المستمر؟ وما مقدار PIV على كل ثنائي؟ وما مقدار عامل التموج وكفاءة التعديل للمقوم.



س٧: نسبة اللف في الشكل التالي تساوي (7:1)، أوجد فولتية الذروة للحمل؟ وما مقدار فولتية الحمل المستمرة ؟ وما مقدار تيار الحمل؟ وما مقدار PIV على كل ثنائي، وما مقدار عامل التموج وكفاءة التعديل.