كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكترونيات١

المحاضرة: الثامنة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

ومن تطبيقات الديود مضاعفات الجهد:

تعمل مضاعفات الجهد فعل الإلزام لزيادة قمة الجهود المقومة دون الحاجة لزيادة معدل جهد المحولة وتستخدم في تطبيقات الجهد العالي والتيار المنخفض كأجهزة الاستقبال التلفزيوني TV.

مضاعف جهد نصف الموجة:

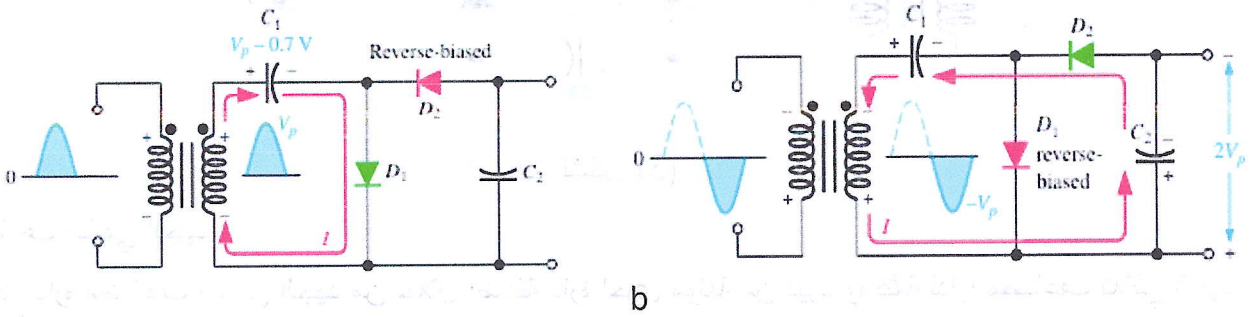
يوضح الشكل (1) دارة مضاعف جهد نصف موجة حيث يعمل الديود الأول D_1 خلال نصف الموجب لدورة الدخل في حالة انحياز أمامي والثاني D_2 في حالة انحياز عكسي وبالتالي تشحن المكثفة C_1 حتى القيمة العظمى لجهد الثانوية مطروحاً منه جهد الديود (الشكل 1a) وعند دخول النصف الثاني من دورة الدخل إلى دارة الثانوية (السالب) ينحاز الديود الثاني أمامياً والأول عكسياً وبما أن C_1 لا يمكنها أن تفرغ فإن جهد القمة بين طرفي C_1 يضاف إلى جهد الثانوية (أي يعمل المكثف الأول عمل مصدر كهربائي يربط على التتالي مع المصدر الكهربائي الأصلي) كي تشحن المكثفة C_2 حتى القيمة $2V_p$ تقريباً (الشكل 1b) وبتطبيق كيرشوف على الحلقة المشار إليها في الشكل نجد أن الجهد بين طرفي المكثفة C_2 يساوي إلى:

$$-V_{C_1} - V_{C_2} = V_P$$
$$V_{C_2} = V_P + V_{C_1}$$

وبإهمال جهد الديود الثاني فإن $V_{C_1} = V_P$ وبالتالي:

$$V_{C_2} = 2V_P$$

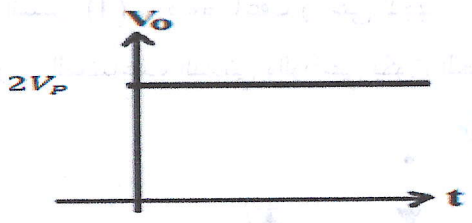
وفي حال وصلت مقاومة الحمل بين طرفي الخرج تتفرغ المكثفة C_2 ببطء في الحمولة في النصف الموجب اللاحق من الدورة ويعاد الشحن من جديد حتى $2V_P$ خلال النصف السالب التالي من الدورة ويكون الخرج الناتج عبارة عن ن صف موجة مرشحة والقيمة الموافقة لقمة الجهد العكسي بين طرفي كل ديود تساوي $2V_P$.



a b

الشكل (1)

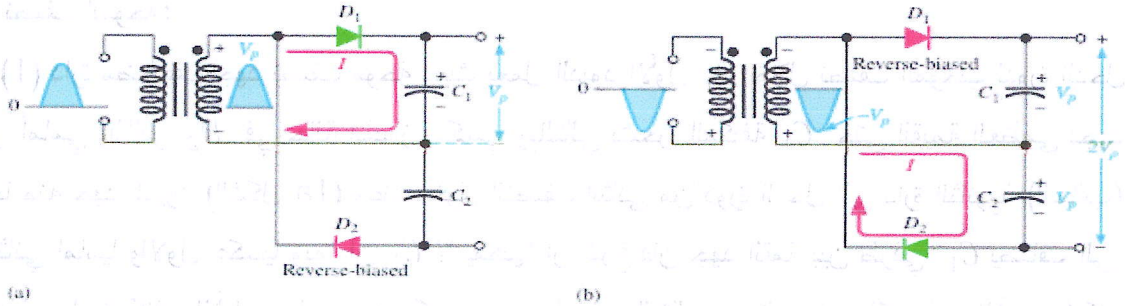
ويكون شكل الخرج جهد مستمر كما في الشكل المجاور



مضاعف جهد الموجة الكاملة:

يبين الشكل (2) دارة عمل مضاعف جهد ثنائي لموجة كاملة.

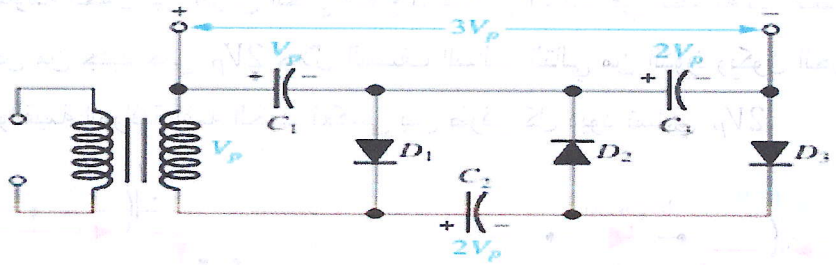
نلاحظ من الشكل عند تطبيق النبضة الموجة على مدخل الثانوية يكون الجهد موجباً وينحاز الديود D_1 أمامياً وتشحن المكثفة C_1 حتى القيمة V_P تقريباً وبتطبيق النصف السالب من دورة الدخل على دخل الثانوية يكون الديود الثاني D_2 في حالة انحياز أمامي وتشحن المكثفة C_2 حتى القيمة V_P ويكون جهد الخرج المجموع التسلسلي لجهدي المكثفتين ويساوي إلى $2V_P$.



الشكل (2)

مضاعف ثلاثي للجهد:

يبين الشكل (3) دارة عمل مضاعف ثلاثي الجهد حيث عند تطبيق نصفي دورة الدخل الموجب والسالب على دخل الثانوية تشحن المكثفة C_1 من خلال الديود D_1 والمكثفة C_2 من خلال الديود D_2 حتى القيمة $2V_P$ على الترتيب كما في حالة مضاعف الجهد وخلال النصف الموجب اللاحق لدورة الدخل تشحن المكثفة C_3 حتى القيمة $2V_P$ عن طريق انحياز الديود أمامياً D_3 ويؤخذ جهد الخرج الثلاثي بين المكثفتين C_2 و C_3.



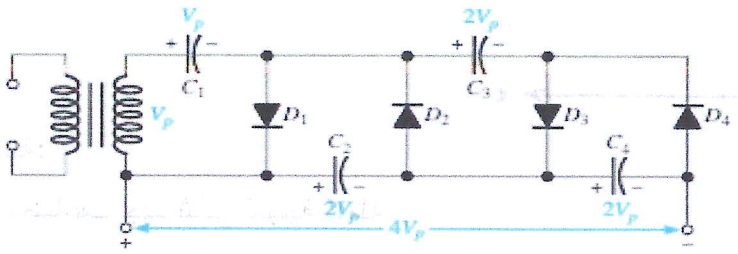
الشكل (3)

مضاعف رباعي للجهد:

تتشكل دارة مضاعف رباعي الجهد من خلال إضافة دارة أخرى مؤلفة من ديود ومكثفة لدارة مضاعف ثلاثي الجهد ويكون جهد الخرج الناتج أكبر بأربع مرات من قمة جهد الثانوية ويساوي إلى $4V_P$.

يوضح الشكل (4) دارة مضاعف رباعي للجهد.

وقي دارتي المضاعف الثلاثي والرباعي يكون الجهد العكسي الأعظمي لكل ديود مساوياً إلى $2V_P$.

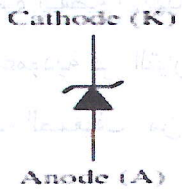


الشكل (4)

ديود زينر Zener Diode:

ديود زينر هو نوع خاص من الديودات مصمم للعمل في حالة الانحياز العكسي، ويحافظ على جهد ثابت يدعى بجهد زينر على طرفيه V_Z، ومن أهم تطبيقاته تنظيم الجهد الذي يهدف إلى تأمين جهود مستقرة لاستعمالها في منابع التغذية ومقاييس الفولط.

يبين الشكل (1) الرمز الالكتروني لديود زينر وهو وصلة مصنوعة من السليكون ومصمم من أجل العمل في منطقة الانهيار العكسي لدا انحياز ديود زينر أمامياً يعمل على غرار عمل ديود التقويم تماماً.



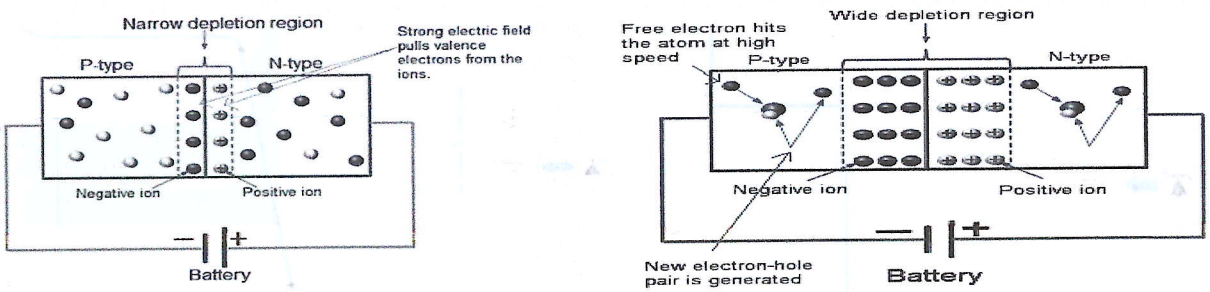
الشكل (1)

انهيار زينر:

يوجد نوعان من الانهيار العكسي في ديود زينر، الأول انهيار زينر التضاعفي يحدث مثل ديود التقويم عند تطبيق جهد عكسي عالٍ كفاية (درس في حالة الديود العادي) حيث تعمل جهود التحييز العكسية على تسريع حاملات الشحنة الأقلية في منطقة الاستنزاف وعند تطبيق جهود عكسية بقيم عالية ستتمكن حاملات الشحنة الأقلية المتحركة من تحرير الكترونات تكافؤ من عصابة التكافؤ وبدورها ستحرر الالكترونات المتحررة الكترونات أكثر من خلال عملية التصادم مما يسبب انتقال عدد كبير مضاعف من الالكترونات لعصابة الناقلية وتشكيل التيار الكبير وهذا يشكل انهيار. ويحدث الانهيار التضاعفي عند جهود أعلى من 50V من أجل الديود العادي ومن أجل ديود زينر أعلى من 5V ويعود ذلك إلى اختلاف نسب الإشابة لشكلي الديودين.

يوضح الشكل (2a) التغيرات التي تطرأ على منطقة الاستنزاف وتشكيل التيار لديود زينر في حالة الانهيار التضاعفي. بينما يحدث انهيار زينر في ديود زينر لدى بلوغ جهود عكسية منخفضة ويطعم ديود زينر بشدة بهدف تخفيض جهد الانهيار ودرجة التطعيم العالية جداً تجعل منطقة الاستنزاف رقيقة جداً ونتيجة لذلك يتوفر حقل كهربائي شديد ضمنها ويكون عالٍ بجوار جهد انهيار زينر وكاف لسحب الالكترونات من عصابة التكافؤ وتشكيل التيار الكهربائي كما هو موضح في الشكل (2b).

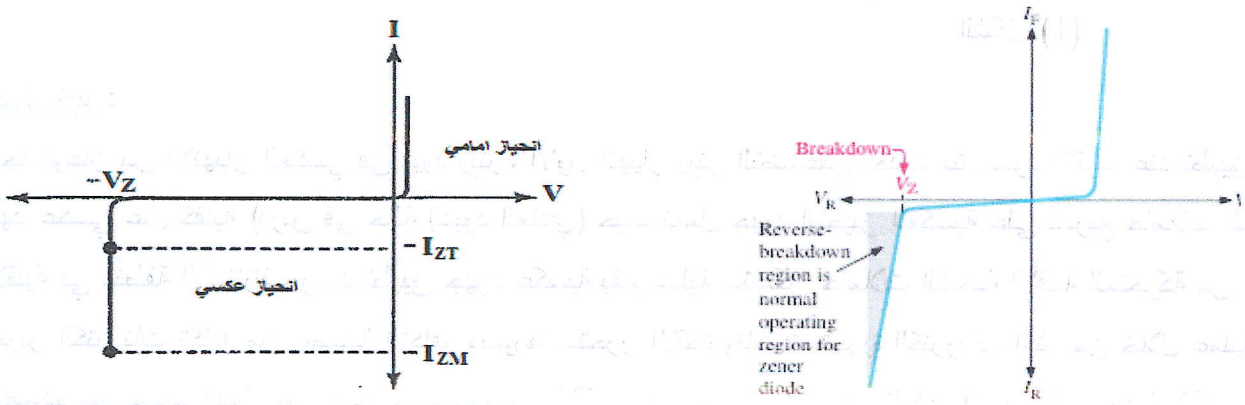
تعمل ديودات زينر بجهود انهيار أقل من 6V في مجال انهيار زينر وفي منطقة الانهيار التضاعفي بجهود أعلى من 6V.



الشكل (2)

خصائص الانهيار المميزة:

يمثل الشكل (3) الخصائص المميزة لديود زينر فنلاحظ في حالة الانحياز الأمامي نفس المميزة في حالة الديود العادي، أما في حالة الانحياز العكسي لديود زينر إذ يلاحظ أنه مع ازدياد الجهد العكسي لديود زينر V_{ZR} يكون التيار العكسي I_R صغير للغاية وعند الوصول للنقطة يسمى التيار العكسي بتيار زينر I_Z (I_{Zrmin}) أو (I_{Zk}) ويبدأ عند هذه النقطة الانهيار، وبارتفاع التيار العكسي بسرعة تبدأ مقاومة زينر بالتناقص ويتشكل انحناء حاد جداً تعقبه زيادة عمودية في التيار ونحصل على قيمة عظمى لتيار زينر I_{ZM} ويبقى جهد زينر ثابتاً عملياً على الرغم من ارتفاعه الضعيف من أجل قيم تيار عكسي تتأرجح بين (I_{Zk}) و I_{ZM}.

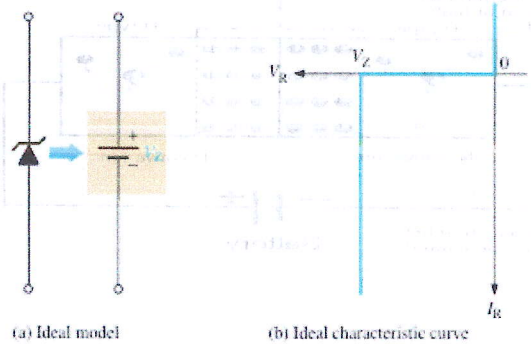


الشكل (3)

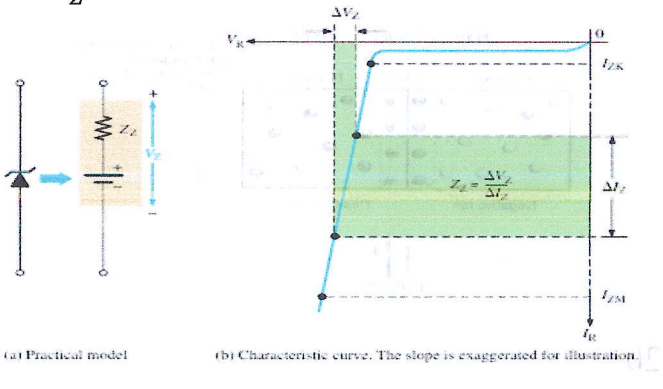
الدارة المكافئة ل زينر:

يمثل الشكل (4) دارة زينر المكافئة المثالية في مجال الانهيار العكسي الذي يتصف بهبوط جهد ثابت يساوي جهد زينر المخصص ويمثل هبوط هذا الجهد الثابت بمنبع جهد مستمر على الرغم من أن ديود زينر لا ينتج فعلياً قوة دافعة كهربائية فالمنبع المستمر يشير إلى أن تأثير الانهيار العكسي يكمن في توفير جهد ثابت بين طرفي ديود زينر بالإضافة لشكل المميزة في حالة الديود المثالي، والشكل (5) يمثل نمطاً عملياً لديود زينر حيث يتضمن ممانعة زينر وعندها فإن تغيراً في تيار زينر يسبب تغيراً صغيراً في جهد زينر وعندها تعطى ممانعة زينر وفق العلاقة:

$$Z_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$



الشكل (4)



الشكل (5)

يعين المعامل الحراري التغير النسبي في جهد زينر عند تغيير درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ويرمز له بالرمز TC ويعطى بالعلاقة:

$$TC = \frac{\frac{\Delta V_Z}{V_{Z_0}}}{\Delta T}.100\%$$

$$TC = \frac{\Delta V_Z}{\Delta T}.100\%$$

ΔV_Z و V_{Z_0} و ΔT التغير الذي يطرأ على جهد زينر من أجل تغير حراري معطى للوصلة المشكلة للديود من أجل معامل حراري معين، وجهد زينر المقدر في درجة حرارة الغرفة، والتغير الذي يطرأ على درجة الحرارة على الترتيب.

$$\Delta V_Z = V_{Z_1} - V_{Z_0}$$

$$\Delta T = T_1 - T_0$$

تمثل V_{Z_1} جهد زينر عند درجة الحرارة المراد الحساب عندها

يقصد بالمعامل الحراري الموجب أن جهد زينر يزداد بارتفاع درجة الحرارة أو ينقص بانخفاضها ويقصد بالمعامل السالب أن جهد زينر يتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة أو يزداد بانخفاضها.

ويعطى ΔV_Z بالعلاقة:

$$\Delta V_Z = V_{Z_0} * TC * \Delta T$$

ويقدر بواحدة $mV/^\circ C$.

تطبيق: يتصف ديود زينر عند درجة حرارة الغرفة بجهد قدره 8.2V وبمعامل حراري $0.05\%/^\circ C$ والمطلوب حساب جهد زينر في الدرجة 60°C.

أولاً نحسب التغير في درجة الحرارة

$$\Delta T = (60 - 25) = 35°C$$

نعوض في علاقة التغير في جهد زينر:

$$\Delta V_Z = V_{Z_0} * TC * \Delta T = 8.2(0.0005)(35) = 144mV$$

ومنه نجد أن التغير في جهد زينر موجب وبالتالي جهد زينر يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة.

ومنه نحسب جهد زينر عند الدرجة 60°C وفق العلاقة:

$$\Delta V_Z = V_{Z_1} - V_{Z_0}$$

$$V_{Z_1} = 0.144 + 8.2 = 8.34V$$

تطبيق: يتصف ديود زينر عند درجة حرارة الغرفة بجهد قدره $15V$ وبمعامل حراري $0.004\%/^\circ C$ والمطلوب حساب التغير في جهد زينر، وجهد زينر في الدرجة 100°C.

إن ديودات زينر مخصصة للعمل باستطاعة عظمى تسمى الاستطاعة المبددة المستمرة العظمى وتعطى بالعلاقة:

$$P_{D(max)} = V_Z I_Z$$

وتنخفض الاستطاعة العظمى المبددة مع ارتفاع درجة الحرارة لدرجة أعلى من درجة الحرارة المخصصة بعامل خفض يقدر بواحدة $mW/_{\circ C}$ وتعطى الاستطاعة المخفضة العظمى بالعلاقة الأتية:

$$P_{D(derated)} = P_{D(max)} - \Delta T(mW/_{\circ C})$$

تطبيق:

يتصف ديود زينر معين بتبدد استطاعة أعظمي قدره $400mW$ في الدرجة 50°C وبعامل خفض قدره $3.2mW/_{\circ C}$ والمطلوب: إيجاد الاستطاعة العظمى التي بمقدور ديود زينر تبديدها في درجة الحرارة 90°C.

الحل: نطبق علاقة الاستطاعة المخفضة العظمى وفق الآتي:

$$P_{D(derated)} = P_{D(max)} - \Delta T(mW/_{\circ C})$$

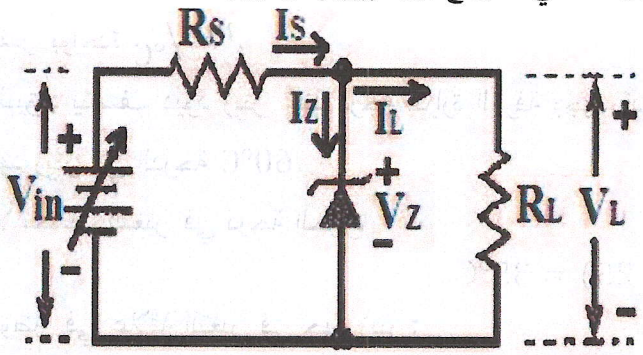
$$P_{D(derated)} = 400 - (3.2)(90 - 50) = 272\ mW$$

من أهم تطبيقات زينر تنظيم الجهد بالإضافة لاستخدامه في دارات التحديد والقص.

تطبيق زينر في تنظيم الجهد:

كما نعلم أن دارة تنظيم الجهد تستخدم للحصول على جهد مستمر ثابت تقريباً بصرف النظر عن التغير الحاصل في جهد الدخل أو مقاومة الحمولة.

إن الميزة الأساسية التي تجعل من ثنائي زينر العنصر الأساسي في دارات تنظيم الجهد هي المحافظة على قيمة جهد ثابتة بين طرفيه في منطقة الانهيار العكسي من أجل قيم تيار عكسي تتأرجح بين (I_{Zk}) و I_{ZM}.



الشكل (6)

يمثل الشكل (6) دارة تنظيم الجهد لزينر حيث وظيفة المقاومة R_Sتحديد التيار المار في ديود زينر حتى لا يتجاوز القيمة العظمى للتيار المسموح بها لديود زينر ويعطى التيار المار فيها بالعلاقة:

$$I_s = \frac{V_S - V_L}{R_S}$$

كتقريب أولي يمكن اعتبار ثنائي زينر في منطقة الانهيار كبطارية جهدها V_Z ومقاومة الحمل موصولة على التوازي مع ديود زينر فيكون هبوط الجهد عليها ثابتاً تقريباً.

ويعطى تيار زينر وفق كيرشوف بالعلاقة:

$$I_Z = I_s - I_L$$

$$V_L = V_Z$$

وتيار الحمل يعطى بالعلاقة:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

وبوجود ممانعة زينر Z_Zيكتب عندها جهد مقاومة الحمل بالعلاقة:

$$V_L = I_Z Z_Z + V_Z$$

تطبيق:

ليكن لدينا دارة ترشيح وتنظيم حيث يكون لديود زينر في دارة التنظيم الجهد $V_Z = 30V$ و $I_{Zmax} = 40mA$ $I_{Zmin} = 1mA$ إذا علمت أن $R_s = 100\Omega$ و $R_L = 2k\Omega$ والمطلوب احسب أقل قيمة للجهد V_S وأكبر قيمة له بحيث تبقى الدارة تقوم بتنظيم الجهد.

الحل:

$$V_{out} = V_Z = 30V$$
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{30}{2} = 15\ mA$$

ومنه قيمة التيار الأصغر:

$$I_{total,min} = I_{Zmin} + I_L = 16mA$$

لحساب الجهد الأصغر نطبق العلاقة:

$$V_{Smin} = V_{R_s min} + V_Z$$
$$V_{R_s min} = I_{R_s}.R_s = 16(100) = 1.6V$$
$$V_{Smin} = 1.6 + 30 = 31.6V$$

يحسب التيار الأعظمي الكلي من العلاقة:

$$I_{total,max} = I_{Zmax} + I_L = 55mA$$
$$V_{R_s max} = I_{R_{max}}.R_s = 55(100) = 5.5V$$
$$V_{Smax} = 5.5 + 30 = 35.5V$$

نلاحظ أن V_S تتراوح بين $31.6V$ و $35.5V$ أي أن ديود زينر قام بتثبيت الجهد على $30V$ بشرط أن لايقل جهد المصدر عن $31.6V$ ولا يزيد عن $35.5V$.

لنفرض أن جهد المصدر ثبت على القيمة $35V$ احسب إلى أي مدى يمكننا تغيير مقاومة الحمل بحيث يبقى ديود زينر يقوم بتثبيت الجهد.

$$V_{R_s} = V_S - V_z = 35 - 30 = 5V$$
$$I_{total,R_s} = I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = 50mA$$
$$I_{Lmax} = I_{total} - I_{Zmin} = 50 - 1 = 49mA$$

ومنه:

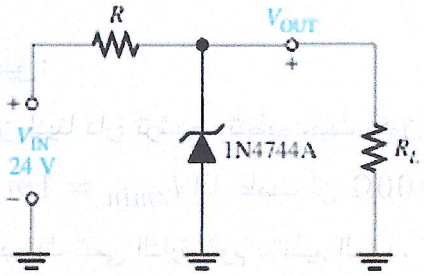
$$R_{L(min)} = \frac{V_z}{I_{Lmax}} = 0.6k\Omega$$

$$I_{Lmin} = I_{total} - I_{Zmax} = 50 - 40 = 10mA$$

ومنه:

$$R_{L(max)} = \frac{V_s}{I_{Lmin}} = 3k\Omega$$

يمكن أن تتغير مقاومة الحمل من القيمة $0.6k\Omega$ إلى القيمة $3k\Omega$ ويبقى جهد الخرج ثابتاً ومساوياً للقيمة $30V$.



تطبيق: ليكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور

المطلوب إيجاد V_{out} من أجل I_{Zmin} و I_{Zmax} وحساب قيمة المقاومة الواجب استخدامها في الديود.

تحديد القيمة الدنيا للحمولة التي يمكن استعمالها في الدارة المدروسة.

إذا علمت أن نشرت البيانات للديود تقدم المعلومات التالية:

$V_Z = 15V$ و $I_{Zr} = 17mA$ $I_{Zmin} = 0.25mA$ إذا علمت أن $Z_{zr} = 14\Omega$ و $P_{D(max)} = 1W$

الحل: من أجل I_{Zmin} تحسب V_{out} من العلاقة:

$$V_{out} = V_Z - \Delta I_Z Z_{zr} = 15 - (17 - 0.25)(14) = 14.76V$$

نحسب تيار زينر الأعظمي بالاعتماد على علاقة الاستطاعة المبددة:

$$P_{D(max)} = V_Z I_Z$$

$$I_{Zmax} = \frac{P_{D(max)}}{V_Z} = \frac{1}{15} = 66.7mA$$

ومن أجل I_{Zmax} تحسب V_{out} من العلاقة:

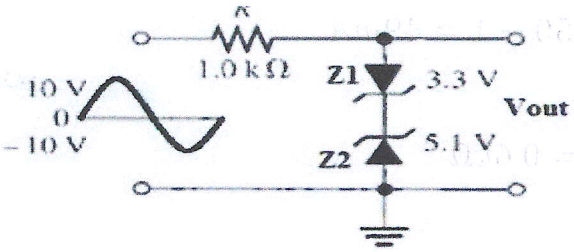
$$V_{out} = V_Z + \Delta I_Z Z_{zr} = V_Z + (I_{Zmax} - I_{Zr})Z_{zr}$$
$$= 15 + (66.7 - 17)(14) = 15.7V$$

نحسب قيمة المقاومة من أجل تيار زينر الأعظمي الذي يحدث لدى عدم وجود حمل والذي يعطى بالعلاقة:

$$R = \frac{V_{IN} - V_{out}}{I_{Zmax}} = \frac{24 - 15.7}{66.7} = 124\Omega$$

من أجل مقاومة الحمل الدنيا إذن:

$$I_{Total} = \frac{V_{IN} - V_{out}}{R} = \frac{24 - 14.76}{130} = 71.0mA$$
$$I_L = I_{Total} - I_{zmin} = 71 - 0.25 = 70.75mA$$
$$R_{L(min)} = \frac{V_{out}}{I_L} = \frac{14.76}{70.75} = 209\Omega$$

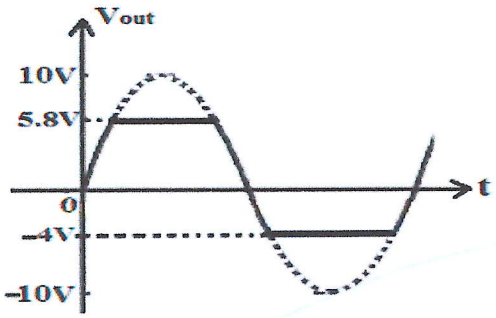


يمكن استخدام ديودات زينر في تطبيقات تحديد (قص) جهد يتأرجح حول مستويات مرغوب فيها.

لتكن لدينا الدارة الموضحة في الشكل والمطلوب رسم شكل إشارة الخرج.

الحل:

خلال النصف الموجب يكون ديود زينر الأول منحاز أمامياً والثاني عكسياً لذا يتحدد الجزء الموجب من موجة الخرج بالمقدار 0.7+5.1 وخلال النصف السالب يكون ديود زينر الثاني منحاز أمامياً والأول عكسياً ويتحدد الجزء السالب من موجة الخرج بالمقدار 0.7−3.3− وفق الشكل (7).



الشكل (7)

ديودات الفاركتور:

تعرف بأنها ديودات ذات سعة متغيرة لأن سعة الوصلة التي تتشكل في كل منها تتغير مع جهد الانحياز العكسي مثل هذه النبائط الالكترونية تستخدم في دارات التوليف الالكترونية المستخدمة في نظم الاتصالات.

الفاركتور هو ديود يعمل في الانحياز العكسي دوماً ومطعم بذرات شائبة بهدف زيادة السعة المتأصلة لمنطقة الاستنزاف فمنطقة الاستنزاف التي تتوسع بالانحياز العكسي تفعل فعل مادة عازلة في مكثفة كونها لا تتصف بخاصية الناقلية الكهربائية والمادتين n و p تتصفان بخاصية الناقلية وتلعبان دور صفيحتي المكثفة.

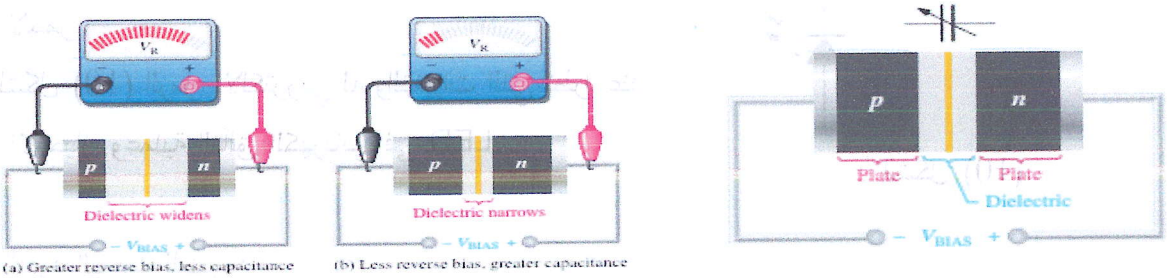
عند ازدياد جهد الانحياز العكسي تتوسع منطقة الاستنزاف وتزداد فعالية فصل الصفيحتين وكذلك ثخانة العازل وهذا بدوره يعني أن السعة تتناقص ولكن في حالة انخفاض جهد الانحياز العكسي تضيق منطقة الاستنزاف فتزداد السعة.

يبين الشكل (8) توصيل الديود في حالة الانحياز العكسي ورمزه الالكتروني، والشكل (9) المنحني البياني لسعة الديود لدى تغير الجهد العكسي من أجل ديود فاركتور معين.

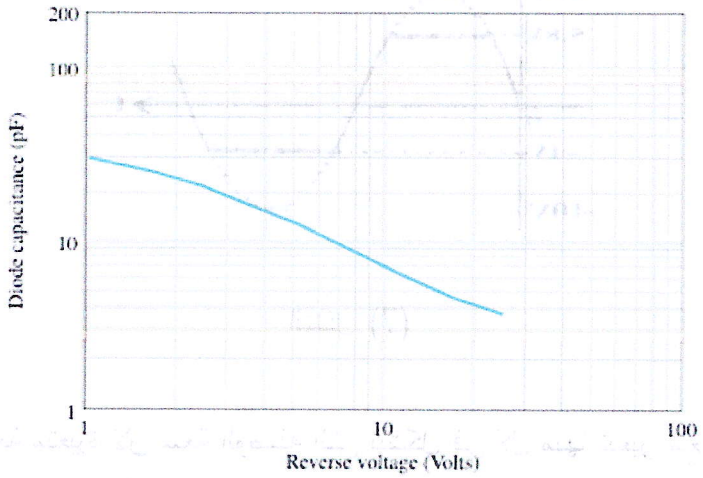
السعة تعرف بالعلاقة:

$$C = \frac{A\varepsilon}{d}$$

ويمكن ضبط الوسطاء للسعة A وε وd مساحة الصفيحة وثابت العزل الكهربائي وسماكة العينة على الترتيب من خلال تطعيم جوار الوصلة وتغيير أبعاد وهندسة بنية الديود.



الشكل (8)

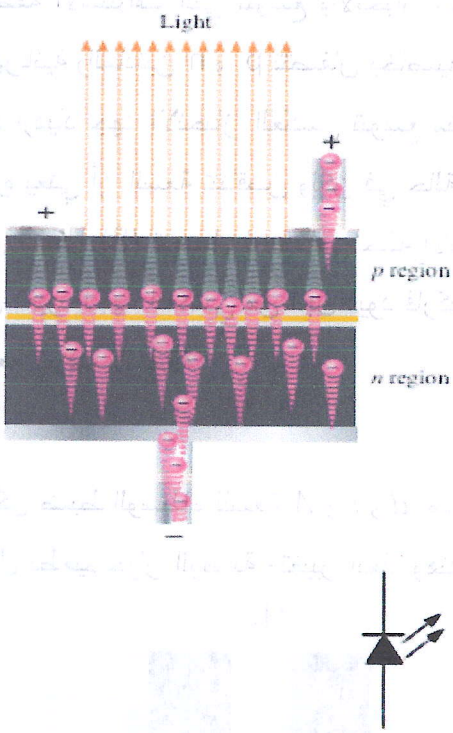


الشكل (9)

الديود المصدر للضوء LED:

لدى انحياز الجهاز المكون للديود أمامياً تعبر الالكترونات الوصلة حيث تنطلق من المادة n ويعاد اتحادها مع الثقوب في p وهذه الالكترونات الحرة تقع في عصابة الناقلية عند طاقة أعلى من طاقة الثقوب الواقعة في عصابة التكافؤ ولدى حدوث عملية إعادة الاتحاد تحرر الالكترونات المعاد اتحادها طاقة على شكل حرارة أو ضوء إن مساحة سطح كبير مكشوف لإحدى طبقات المادة نصف الناقلة تسمح للفوتونات بالانبعاث على هيئة ضوء مرئي تسمى مثل هذه العملية بالتألق الكهربائي تضاف شوائب في أثناء عملية التطعيم للتحكم بطول موجة الضوء المنبعث فطول الموجة يحدد لون الضوء من جهة وفيما إذا كان مرئياً أم تحت الأحمر.

يبين الشكل (10) الرمز الالكتروني له والتغيرات التي تطرأ عند عملية الانحياز وعملية التألق الكهربائي في LED.



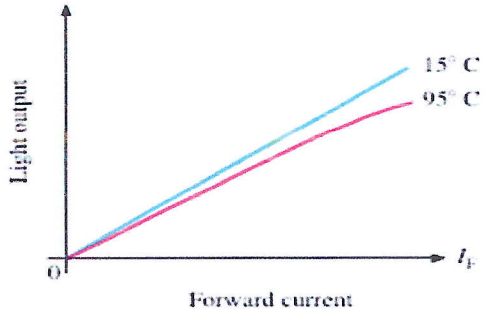
الشكل (10)

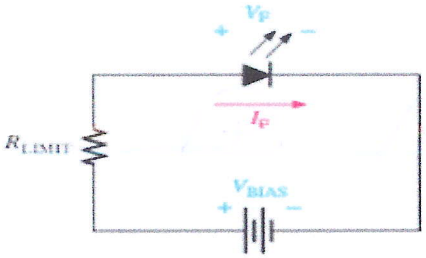
انحياز الديود الباعث للضوء:

إن الجهد الأمامي المطبق بين طرفي LED يكون أكبر من الجهد الأمامي بين طرفي ديود سليكوني فالقيمة العظمى النموذجية في حالة الانحياز الأمامي للجهد بين 1.2V و 3.2 V وجهد الانهيار العكسي أقل من أجل ديود مقوم سليكوني وبقيم نموذجية 3V و 10V.

يصدر الليد ضوءاً استجابة لمرور تيار أمامي فيه بقيمة معقولة وكافية و كمية استطاعة الخرج التي تتحول إلى ضوء تتناسب تناسباً طردياً مع التيار الأمامي والزيادة في التيار الأمامي يرافقها زيادة في ضوء الخرج.

يبين الشكل (11) دارة الانحياز الأمامي للديود وتغير الخرج الضوئي بتغيير التيار الأمامي من أجل درجتي حرارة.

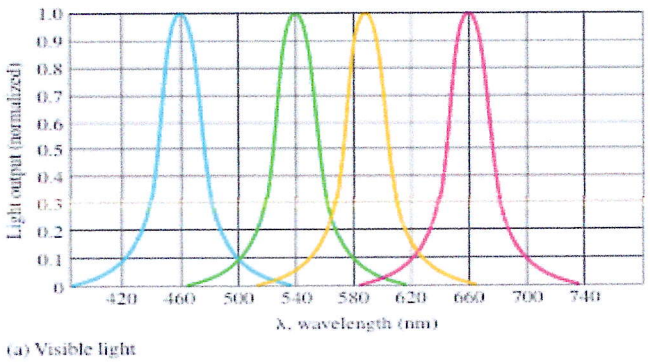


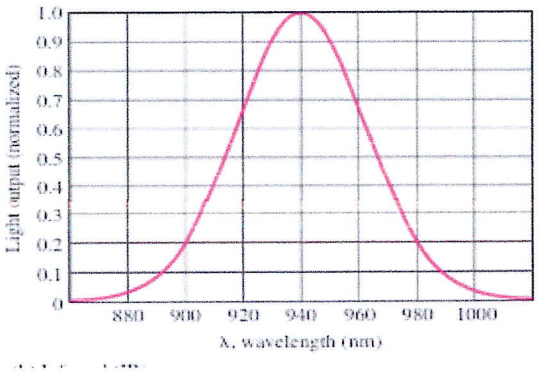


الشكل (11)

ويشار إلى الضوء الصادر في مجال معين من الأطوال الموجية من الليد بمنحنيات الخرج الطيفي الموضحة في الشكل (12) للطيف المرئي وتحت الأحمر.

تصدر المتصلات الضوئية الضوء في اتجاه محدد على خلاف مصابيح الفلورانس ويكون نموذج الإشعاع الضوئي عمودي على سطح المتصل الضوئي.





الخرج الطيفي تحت الأحمر الخرج الطيفي المرئي

الشكل (12)

ومن أشهر تطبيقاته مصابيح الإشارة وشاشات القراءة الرقمية وأجهزة التحكم.