محاضرات مادة الفيزياء /2/

لطلاب السنة الأولى

(ميكاترونيكس)

الأستاذ الدكتور جبُّور نوفل جبُّور

2025 - 2024

الفصل الخامس

المتصل الثنائي (الديود) PN

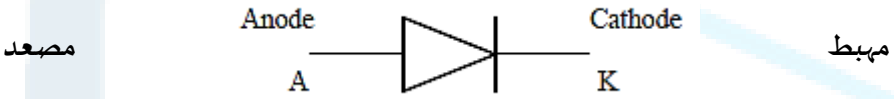
PN junction Diode

1- تعريف
2- استقطاب أو تغذية الديود
3- معاملات المتصل الثنائي
4- الميزة الساكنة تيار-جهد للديود،
5- المخططات المكافئة للديود،
   5-1- الميزة الخطية للديود
   5-2- الميزة المثالية للديود
6- ديود زينر،
   6-1- تعريف
   6-2- الميزة الساكنة تيار-جهد،

المتصل الثنائي (الديود) PN

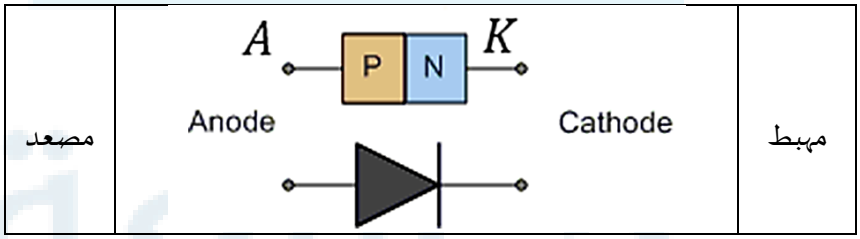
1- تعريف:

الديود أو المتصل الثنائي هو عنصر إلكتروني بمأخذين: المصعد (A) والمهبط (K). نرمز له بالرمز الموضح في الشكل (1).



شكل (1): رمز ديود أو متصل ثنائي.

المتصل الثنائي PN أو ما يسمى بالديود Diode، هو عبارة عن التحام قطعتين من نصف ناقل احداهما من النوع P والأخرى من النوع N، كما في الشكل (2).



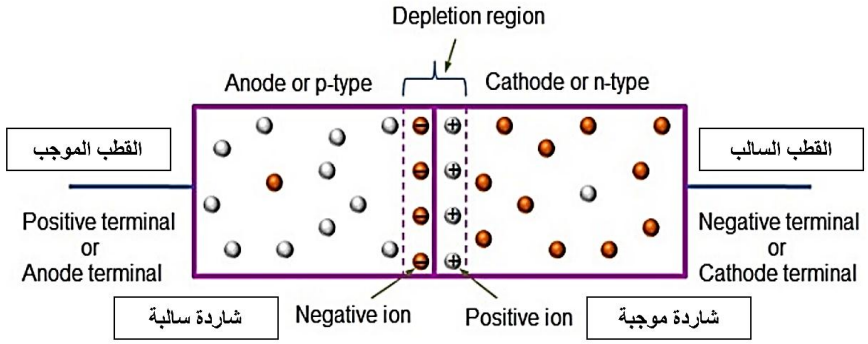
الشكل (2): يبين متصل ثنائي من نوع PN.

يسمى القطب المتصل بالقطعة P بالمصعد Anode، ويرمز له اختصارا بالحرف A، ويسمى القطب المتصل بالقطعة N بالمهبط Cathode ويرمز له اختصاراً بالحرف K.

تنتشر عند تشكيل المتصل الثنائي حاملات الشحنة الأكثرية، بسبب حركتها الحرارية، من كل نوع من نصف الناقل المشوب إلى النوع الأخر. وهكذا فإن حاملات الشحنة الأكثرية ستنتقل من المكان الأكثر تركيزاً إلى المكان الأقل تركيزاً.

وهكذا بسبب اختلاف تركيز حاملات الشحنة الأكثرية في المنطقتين P، N تنتشر حاملات الشحنة الموجبة من المنطقة P إلى المنطقة N، وتنتشر بالمقابل حاملات الشحنة السالبة من المنطقة N إلى المنطقة P. ينشأ بسبب انتشار الشحنات في منطقة التماس d شحنتان فراغيتان متعاكستان بالإشارة.

تظهر شـحنة موجبة في المنطقة N تكونها الثقوب التي جاءت إليها، بينما تظهر شـحنة سـالبة في المنطقة P تكونها الإلكترونات التي جاءت إليها. تولد الشـحنات الفراغية في منطقة التماس فرقا في الكمون V_o يدعى حاجز الكمون كما في الشكل (3).



الشكل (3): مفهوم حاجز الكمون.

إن ارتفاع حاجز الكمون في المتصل الثنائي المصنوع من الجرمانيوم من مرتبة 0.2 eV، أما المصنوع من السليكون من مرتبة 0.6 eV.

إن وجود فرق في الكمون في منطقة التماس d دليل على وجود حقل كهربائي $\vec{E}_0$ فيها جهته من المنطقة N إلى المنطقة P.

2- استقطاب أو تغذية الديود:

انظر الشكل (4).

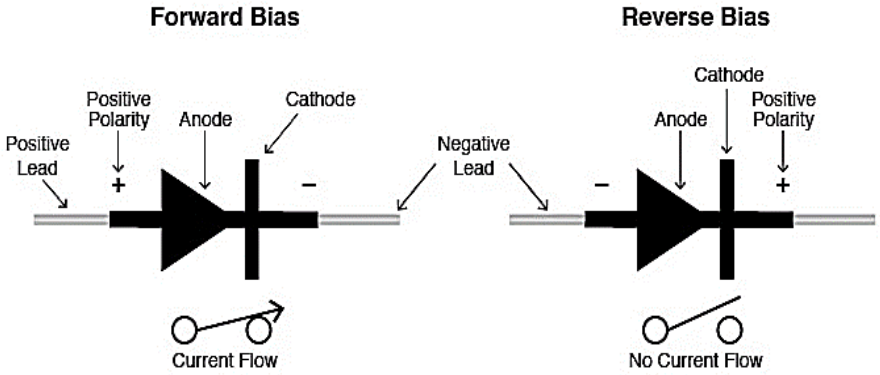
تغذية أمامية **تغذية عكسية**

شكل (4): تغذية أمامية وعكسية للديود أو للمتصل ثنائي.

عند التغذية الأمامية: الجهد المطبق $(V_{AK} > 0)$ يسمح بمرور التيار الكهربائي من المصعد نحو المهبط ويُسمى **"تيار مباشر"**.

عند التغذية العكسـية: الجهد المطبق $(V_{AK} < 0)$ يمنع مرور التيار الكهربائي. التيار العكسـي عملياً **معدوم**.

يكون المتصل الثنائي في حالة تغذية أمامية عند تطبيق فرق في الكمون مستمر بين طرفيه، بحيث تكون المنطقة P موجبة بالنسبة للمنطقة N. بينما يكون المتصل الثنائي في حالة تغذية عكسية إذا كانت المنطقة P سالبة بالنسبة للمنطقة N. الشكل (5) يوضح ذلك.



الشكل (5): يوضح التغذية الأمامية (Forward Bias) والتغذية العكسية (Reverse Bias).

3- معاملات المتصل الثنائي:

أولاً: المقاومة الستاتيكية أو الساكنة:

تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

حيث I_D و V_D تيار وجهد المتصل عند نقطة العمل وغالبا تكون في المنطقة الخطية لمنحني (الجهد-تيار)، وهذه المقاومة ثابتة لا تتغير مع الزمن.

ثانياً: المقاومة الديناميكية أو المتناوبة:

في حالة التيار المتناوب لا توجد نقطة عمل واحدة وإنما ستتحرك نقطة العمل على منحني (الجهد-تيار) لتتغير بشكل لحظي لتشمل مجالا للتيار ΔI_D يقابله مجال للجهد ΔV_D وتعطى بالعلاقة:

$$r_D = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$

ثالثاً: جهد العتبة:

هو الجهد اللازم في الانحياز الأمامي حتى يفتح الديود ويصبح في حالة تمرير on يختلف هذا الجهد باختلاف المادة نصف الناقلة.

رابعاً: التيار الأمامي الأعظمي:

هو أعظم تيار يمر بالمتصل الثنائي أماميا دون أن تتجاوز استطاعته قيمة الاستطاعة العظمى المسموحة، وبالتالي يتسبب بانهيار المتصل، لأن زيادة I تؤدي إلى زيادة T وبالتالي الانهيار.

خامساً: شدة التيار:

تعطى شدة التيار في حالة التغذيتين الأمامية والعكسية بالعلاقة التالية:

$$I = I_s\left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1\right)$$

حيث: I_s تيار الاشباع في حالة التغذية العكسية،

e شحنة الالكترون بالقيمة المطلقة،

V فرق الكمون المطبق على المتصل الثنائي ويعتبر موجبا في حالة التغذية الأمامية وسالبا في حالة التغذية العكسية،

k ثابت بولتزمان،

T درجة الحرارة بالدرجات المطلقة.

من أجل $V_D > 0{,}1V$ يصبح التيار في حالة التغذية الأمامية:

$$I = I_s e^{\frac{eV}{kT}}$$

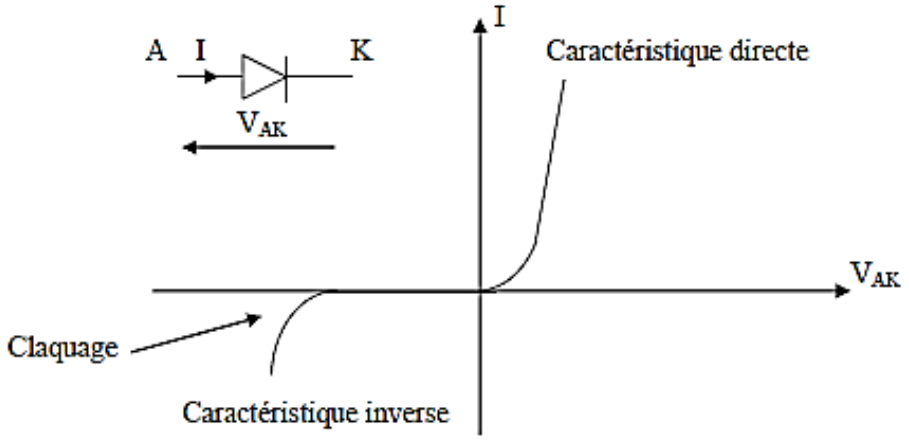
بأخذ لوغاريتم الطرفين نجد أن:

$$\ln I = \ln I_s + \frac{eV}{kT}$$

وإذا رسمنا التابع $\ln I$ بتابعية V نحصل على مستقيم ميله يساوي $\frac{e}{kT}$ ونحصل بالتالي على قيمة ثابت بولتزمان k.

4- الميزة الساكنة تيار-جهد للديود:

هذه الميزة تصف تطور التيار الذي يجتاز الديود بتابعية الجهد المستمر المطبق بين طرفي الديود، أو بين مأخذي الديود، انظر الشكل (6).

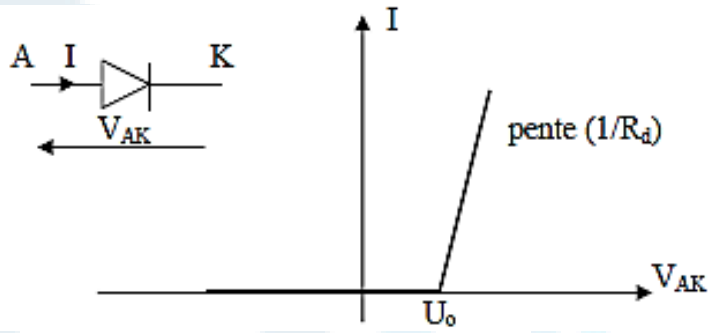


شكل (6): الميزة الساكنة تيار-جهد.

5- المخططات المكافئة للديود:

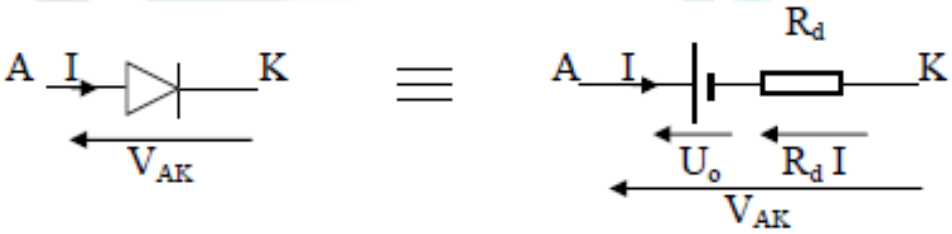
5-1- الميزة الخطية للديود:

الميزة الخطية للديود يمكن تقريبها بقطعتين مستقيمتين، انظر الشكل (7)، حيث U_0 و R_d: جهد العتبة والمقاومة الديناميكية (التحريكية) للديود.



شكل (7): الميزة الخطية للديود.

عند التغذية الأمامية: ومن أجل $I > 0$، الديود يكافئ مســتقبل لقوة محركة U_0، والمقاومة الداخلية تساوي: $R_d = \Delta V_{AK}/\Delta I$، انظر الشكل (8).



شكل (8): مخطط مكافئ للديود في حالة التغذية الأمامية.

عند التغذية العكســية: ومن أجل $\Delta V_{AK} < 0$، $I = 0$ الديود يكافئ قاطع مفتوح، انظر الشكل (9).

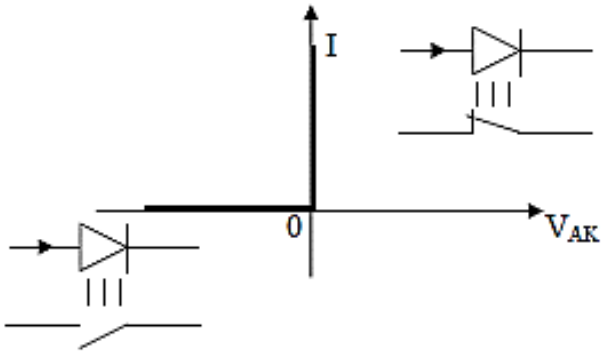
شكل (9): مخطط مكافئ للديود في حالة التغذية العكسية.

5-2- الميزة المثالية للديود:

عند التغذية الأمامية: الديود يمرر التيار $I > 0$ و $\Delta V_{AK} = 0$.

عند التغذية العكسية: الديود لا يمرر التيار (مغلق) $I = 0$ و $\Delta V_{AK} < 0$.

انظر الشكل (10).

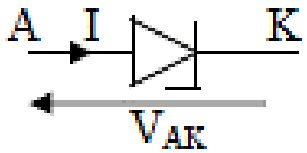


شكل (10): الميزة المثالية للديود.

6- ديود زينر:

6-1- تعريف:

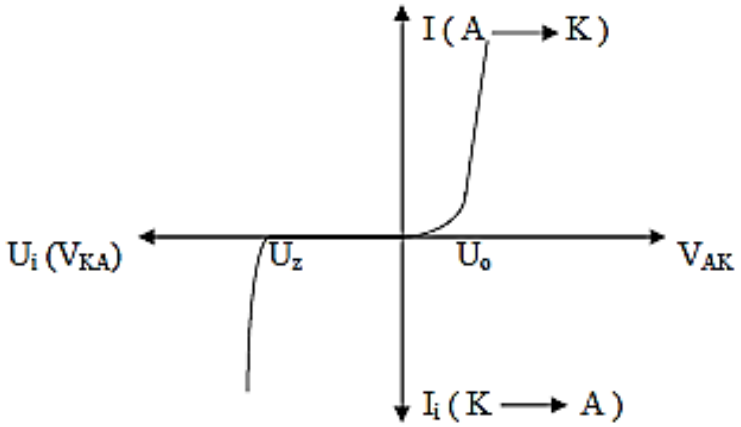
ديود زينر هو عبارة عن ديود مصمم خصيصاً لاستثمار الانهيار العكسي. جهد الانهيار يُسمى بـ **"جهد زينر"**. يرمز له بالرمز الآتي، انظر الشكل (11).



شكل (11): رمز ديود زينر.

6-2- الميزة الساكنة تيار-جهد:

انظر الشكل (12).



شكل (12): ميزة تيار-جهد لديود زينر.

عند التغذية الأمامية: ديود زينر يكافئ ديود عادي.

عند التغذية العكسية: ديود زينر يمرر التيار عندما يصبح الجهد العكسي U_i أعلى (أكبر) من جهد زينر U_Z. إن الميزة الخطية تقود إلى المعادلة: $\boldsymbol{U_i = U_z + R_z I_i}$ حيث $\boldsymbol{R_z}$ المقاومة الديناميكية العكسية. في هذه الحالة فديود زينر يكافئ النموذج التالي، انظر الشكل (13).

شكل (13): مخطط مكافئ لديود زينر مثالي بتغذية عكسية.