

الدارات الكهربائية والإلكترونية
محاضرة عملي
المحاضرة العاشرة

إعداد:

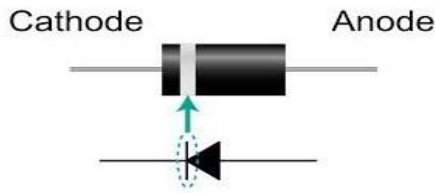
م.همام ياسين م.بسام حسن م.محمد عيسى

إشراف:

د.فادي غصنه

الديود (Diode) :

تعتبر الوظيفة الأساسية للديود هي التحكم في اتجاه سريان التيار، فالتيار الساري خلال الديود يمكنه السريان في اتجاه واحد فقط يدعى الاتجاه الأمامي (forward direction) ، ولا يسمح الديود بمرور أي تيار في الاتجاه العكسي (reverse direction) ، فهو يشبه في عمله صمام إلكتروني أحادي الاتجاه.



من المعلوم أنّ ثنائي الوصلة PN يتشكل من نصف ناقلٍ نوع n وآخر نوع p، حيث نعلم أنّ لهذا الثنائي جهد عتبة، فإذا تغلبنا على هذا الجهد من خلال تطبيق جهدٍ خارجيٍّ على الثنائي سنكون قادرين على التوصيل، وهذا يعني أنّ التيار سيمرّ عبر وصلة الثنائي فقط إذا طبّقنا جهداً خارجياً أعلى من جهد العتبة للوصلة.

لنحاول الآن تطبيق جهدٍ خارجيٍّ لـديود ثنائي الوصلة PN ، حيث تدعى عملية تطبيق الجهد الخارجي بـ "الانحياز"، وهناك طريقتان لانحياز الديود ثنائي الوصلة :

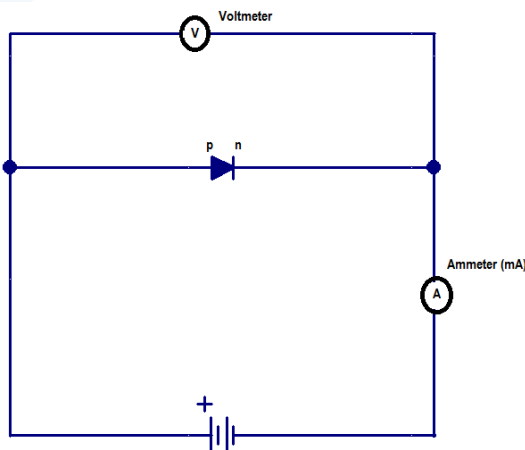
1. الانحياز الأمامي

2. الانحياز العكسي

الاختلاف الأساسي بين الانحياز الأمامي والانحياز العكسي هو في جهة تطبيق الجهد الخارجي، حيث أنّه يُطبّق اتجاه الجهد الخارجي في الانحياز العكسي بعكس اتجاه الجهد الخارجي المُطبّق في الانحياز الأمامي.

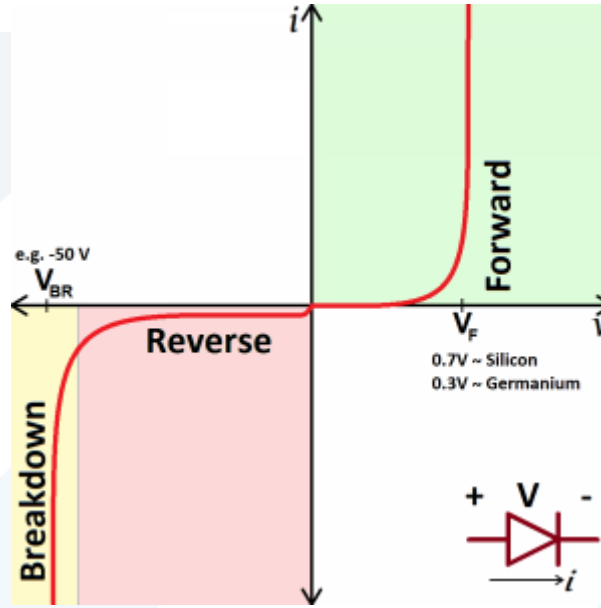
ملاحظة:

نفترض أنّ الديود ثنائي الوصلة مصنوعٌ من مادة السيليكون، وسبب هذا الافتراض هو اختلاف جهد العتبة لكلٍّ من الجرمانيوم والسيليكون (حيث أن جهد العتبة للديود المصنوع من السيليكون هو 0.7 فولت، جهد العتبة للديود المصنوع من الجرمانيوم 0.3 فولت).



العلاقة بين التيار (current) والجهد (voltage):

تعتبر العلاقة بين التيار والجهد أهم خصائص الديود، فمن طريق ذلك يمكن معرفة التيار الساري خلال الديود بدلالة فرق الجهد خلاله. المقاومات – على سبيل المثال – لها علاقة خطية (linear) بسيطة بين الجهد والتيار متمثلة في قانون أوم (Ohm's Law)، لكن منحنى العلاقة بين الجهد والتيار الخاص بالديود غير خطي (non-linear) على الإطلاق، وهو يشبه التالي:



العلاقة بين الجهد والتيار للديود. لتوضيح بعض النقاط الهامة على الرسم فإن مقياس الرسم في الجانب الموجب مختلف عنه في الجانب السالب.

اعتماداً على الجهد المطبق عبر الديود يعمل الديود تحت حالة من الثلاث حالات الآتية:

1. **انحياز أمامي:** عندما يكون الجهد المطبق عبر الديود موجباً يكون مفتوح (on) ويسري التيار خلاله، ويجب أن يكون فرق الجهد أكبر من الجهد الأمامي الخاص بالديود (V_F) حتى يسري التيار بشكل ملحوظ.
2. **انحياز عكسي:** في هذه الحالة يكون الديود متوقف (off)، ويحدث عندما يكون الجهد أقل من الجهد الأمامي (V_F) ولكن أكبر من جهد الانهيار (V_{BR}). في هذه الحالة يتم منع سريان التيار ويكون الديود مغلقاً. في الواقع لا يتم منع سريان التيار تماماً بل تسري كمية ضئيلة جداً من التيار (تقدر ببضعة نانومتترات من الأمبير) في الاتجاه العكسي، يطلق على هذا التيار اسم "تيار التشبع العكسي" (reverse saturation current).
3. **الانهيار:** عندما يكون الجهد المطبق خلال الديود كبير جداً وسالب يسري الكثير من التيار في الاتجاه العكسي (من المهبط إلى المصعد).

الانحياز الأمامي :

لكي يتم تشغيل الديود وتوصيل التيار في الاتجاه الأمامي يتطلب الديود كمية معينة من الجهد الموجب يتم تطبيقها بين طرفيه. أقل قيمة لذلك الجهد المطلوب لكي يسري التيار خلال الديود يطلق عليها الجهد الأمامي (VF) (forward voltage)، ويمكن كذلك تسميته جهد التشغيل (on-voltage) أو جهد القطع (cut-in voltage).

من منحنى الجهد-التيار نجد أن التيار الساري خلال الديود وفرق الجهد بين طرفيه مرتبطان ببعضهما، فزيادة التيار تعني زيادة الجهد، ونقص الجهد يعني نقص التيار. بعد أن يتجاوز الجهد معدل الجهد الأمامي تحدث زيادة كبيرة في التيار عند زيادة الجهد بدرجة صغيرة جداً. إذا كان الديود موصلاً بالكامل فيمكن الافتراض بأن فرق الجهد بين طرفيه يساوي معدل الجهد الأمامي.



استخدام الأفومتر لقياس فرق الجهد الأمامي عبر الديود.

يعتمد الجهد الأمامي (VF) الخاص بالديود على المادة التي يُصنع منها. على سبيل المثال يكون الجهد الأمامي للديود المصنوع من السيليكون بين 0.6V إلى 1V، بينما الديود المصنوع من الجرمانيوم يكون جهده الأمامي أقل من ذلك (في حدود 0.3V). كذلك يلعب نوع الديود دوراً هاماً في تحديد الجهد الأمامي؛ فالديود الباعث للضوء (light-emitting diode) (LED) يكون له جهد أمامي (VF) كبير، بينما ديودات شوتكي (Schottky diodes) يتم تصميمها ليكون لها جهد أمامي أقل بكثير من المعتاد.

جهد الانهيار (Breakdown Voltage) :

إذا تم تطبيق جهد سالب كبير بدرجة كافية بين طرفي الديود فإن الديود يسمح بمرور التيار في الاتجاه العكسي. هذا الجهد السالب عالي القيمة يُطلق عليه جهد الانهيار. بعض الديودات يتم تصميمها خصيصاً للعمل في منطقة (ظروف) جهد الانهيار، ولكن معظم الديودات القياسية ليس من الجيد لها أن يتم تعريضها لجهد سالب مرتفع (تتلف).

ملاحظة: جهد الانهيار لمعظم الديودات القياسية يقع في مدى من 50V إلى 100V- أو أكبر من ذلك.

أوراق بيانات الديودات (Diodes Datasheet) :

كل الخصائص التي أسلفناها سابقاً لا بد أن يتم تضمينها بالتفصيل في ورقة البيانات الخاصة بكل ديود. على سبيل المثال ورقة البيانات التالية خاصة بديود من النوع (N41481) ومُدَوّن فيها أقصى جهد أمامي (V_F1)، وجهد الانهيار (V_I100)، والعديد من المعلومات الأخرى.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	I _F = 10 mA	V _F			1000	mV
Reverse current	V _R = 20 V	I _R			25	nA
	V _R = 20 V, T _J = 150 °C	I _R			50	μA
	V _R = 75 V	I _R			5	μA
Breakdown voltage	I _R = 100 μA, t _p /T = 0.01, t _p = 0.3 ms	V _(BR)	100			V
Diode capacitance	V _R = 0 V, f = 1 MHz, V _{HF} = 50 mV	C _D			4	pF
Rectification efficiency	V _{HF} = 2 V, f = 100 MHz	η _r	45			%
Reverse recovery time	I _F = I _R = 10 mA, i _R = 1 mA	t _{rr}			8	ns
	I _F = 10 mA, V _R = 6 V, i _R = 0.1 x I _R , R _L = 100 Ω	t _{rr}			4	ns
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT		
Repetitive peak reverse voltage		V _{RRM}	100	V		
Reverse voltage		V _R	75	V		
Peak forward surge current	t _p = 1 μs	I _{FSM}	2	A		
Repetitive peak forward current		I _{FRM}	500	mA		
Forward continuous current		I _F	300	mA		
Average forward current	V _R = 0	I _{F(AV)}	150	mA		
Power dissipation	I = 4 mm, T _L = 45 °C	P _{tot}	440	mW		
	I = 4 mm, T _L ≤ 25 °C	P _{tot}	500	mW		

يمكن أن تحتوي ورقة البيانات أيضاً على رسم بياني (graph) يوضح العلاقة المألوفة بين الجهد والتيار لمعرفة سلوك الديود بشكل أكثر تفصيلاً. هذا الرسم البياني من ورقة بيانات الديود يركز على منطقة الانحياز الأمامي لمنحني (الجهد-التيار) لاحظ أن زيادة التيار تتطلب زيادة الجهد:

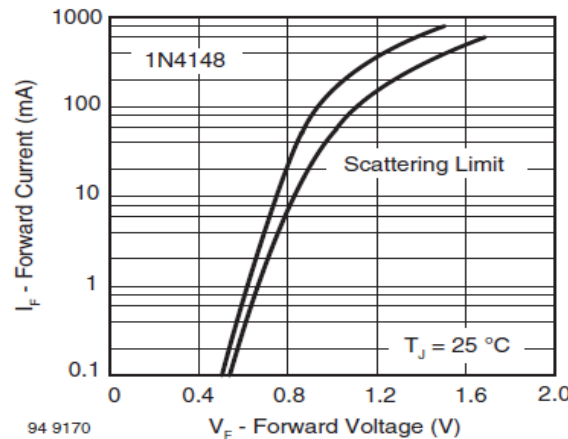


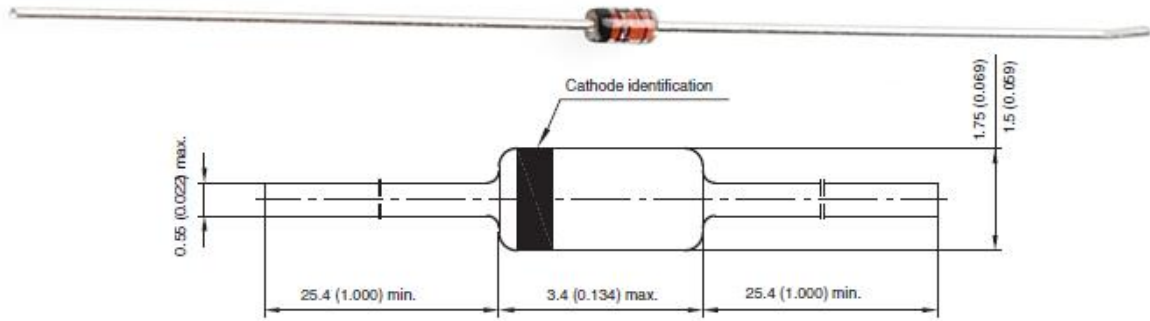
Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage

يوضح الرسم أيضاً خاصية هامة للديود – أقصى تيار أمامي (maximum forward current). كأي مكون إلكتروني آخر، يمكن للديودات أن تستنفذ كمية محددة من القدرة الكهربائية قبل أن تتلف. جميع الديودات يجب أن تحتوي ورقة البيانات الخاصة بها على أقصى تيار، أقصى جهد عكسي، وأقصى استنفاد للقدرة يمكن أن تتحمله. إذا تم تعريض الديود لجهد أو تيار أعلى مما يستطيع تحمله تنتج حرارة كبيرة (ومن الممكن أن ينصهر أو يحترق). بعض الديودات يتم تصنيعها لتحمل تيارات عالية (1 أمبير أو أكثر)، بينما الديودات الأخرى (مثل N41481 الموجود في الأعلى) مُصنعة لتحمل تيار في حدود 200 ملي أمبير.

أنواع الديودات :

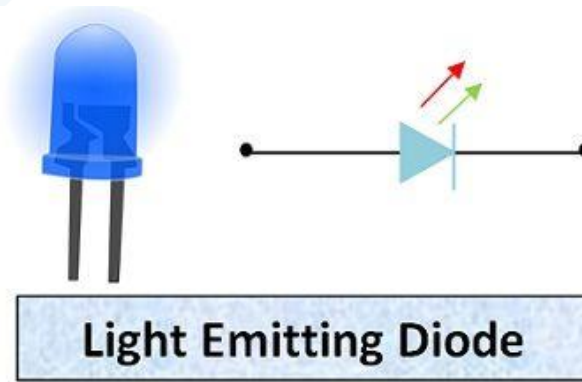
1- الديودات القياسية :

تعتبر ديودات الإشارة (signal diodes) القياسية أحد أكثر أعضاء عائلة الديودات شيوعاً وانتشاراً. في المتوسط يكون لها مدى فرق جهد أمامي متوسط، بينما يكون أقصى معدل للتيار (maximum current rating) منخفض. أحد أكثر الديودات انتشاراً من هذا النوع هو الديود N41481. ومن أهم خواصه فرق الجهد الأمامي النموذجي قيمته 0.72V، وأقصى معدل تيار أمامي 300mA.



ديود إشارة صغير من النوع N41481. لاحظ وجود حلقة دائرية سوداء أو رمادية حول الديود لتحديد الطرف الذي يمثل المهبط.

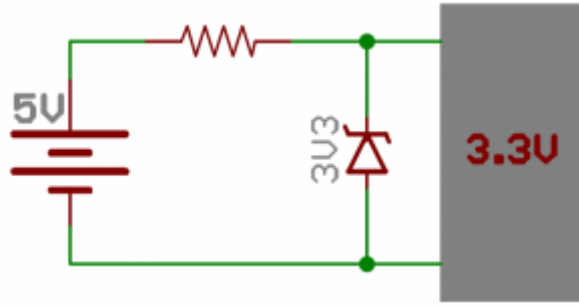
2- الديود الباعث للضوء (LED) (Light-Emitting Diode) :



بالتأكيد ستقابل الكثير من الديودات الباعثة للضوء في تطبيقات الإضاءة. والأكثر من ذلك أنها منتشرة بشكل كبير بسبب كفاءتها العالية؛ فهي تستخدم في إضاءة الشوارع، شاشات العرض، الإضاءة الخلفية وغيرها الكثير والكثير. توجد أيضاً ديودات باعثة للضوء تشع ضوء غير مرئي للعين البشرية (مثل الديودات الباعثة للأشعة تحت الحمراء) التي تمثل أساس معظم أجهزة التحكم عن بعد.

3- ديوادات زينر (Zener Diodes) :

ديود زينر هو أكثر أنواع الديودات غرابة وتميز، فغالباً ما يتم استخدامه بغرض توصيل التيار العكسي. يتم تصميم ديودات زينر بحيث يكون لها جهد انهيار محدد بشكل دقيق يطلق عليه جهد انهيار زينر (Zener breakdown)، أو جهد زينر (Zener voltage). عندما يسري تيار كبير خلال ديود زينر في الاتجاه العكسي، يكون فرق الجهد خلاله ثابتاً عند قيمة تساوي جهد الانهيار. بفضل خاصية جهد الانهيار التي تتميز بها ديودات زينر يتم استخدامها بشكل كبير لإنتاج جهد ثابت مساوي لجهد زينر الخاص بها (جهد الانهيار). ويمكن استخدامها كمنظم للجهد (voltage regulator) للأحمال الصغيرة، ولكنها ليست مصنوعة لتنظيم التيارات ذات الأحمال الكبيرة (تستهلك كمية كبيرة من التيار). ديودات زينر مميزة بشكل كافٍ لكي يكون لها رمز مميز خاص بها في الدوائر الإلكترونية، يتميز رمز ديود زينر بوجود خطين مائلين عند نهايته من جهة المهبط، ويمكن كذلك أن يتم كتابة جهد زينر بجوار الرمز. على السبيل المثال الدائرة التالية تحتوي على ديود زينر V3.3 وظيفته إنتاج جهد ثابت بقيمة 3.3V.



4- الديود الضوئي:

يتم بناء الديودات الضوئية بشكل خاص يسمح باستقبال الطاقة القادمة من فوتونات الضوء (photons) وتحويلها إلى تيار كهربائي. أي أنها تعمل بطريقة معاكسة لطريقة عمل الديودات الباعثة للضوء.



ديود ضوئي BPW34 (الجزء الصغير الموضوع على العملة)، إذا تم تعريضه لضوء الشمس نحصل على قدرة كهربائية ضئيلة (تقاس بالميكرو وات).

الخلايا الشمسية (Solar Cells) هي أحد أهم استخدامات تقنية الديودات الضوئية، وكذلك يمكن استخدامها لملاحظة الضوء أو حتى في التواصل البصري.