

الفصل الخامس

الديود (المتصل الثاني)

الديود (المتصل الثاني)

- 5.1 الانحياز الأمامي
- 5.2 الانحياز العكسي
- 5.3 منحنى المميزة $V-J$ للديود
- 5.4 نماذج الديوادات
- 5.5 مقاومات الديود
- 5.6 سعة الانتشار والاستزاف (العبور) للديود

الديود

عندما يتحقق تشكيل المتصل الثنائي **p-n** ، وفي حالة التوازن الحراري تتساوى سوية فيرمي على جانبي المتصل، فإنه تزاح عصب الطاقة بحيث تصبح سوية فيرمي أعلى من منتصف العصابة المحظورة في نصف الناقل من **نوع n** وأسفل مننصف العصابة المحظورة في نصف الناقل من **نوع p**، ولذلك تصبح الطاقة الكامنة للإلكترونات في **المنطقة-p** أعلى من طاقتها الكامنة في **المنطقة-n** كما هو مبين **بالشكل (5.1)** .

ويخضع توزع الإلكترونات في **المنطقة-p** والمنطقة-**n** على جانبي المتصل لـ**إحصاء ماكسويل بولتزمان**:

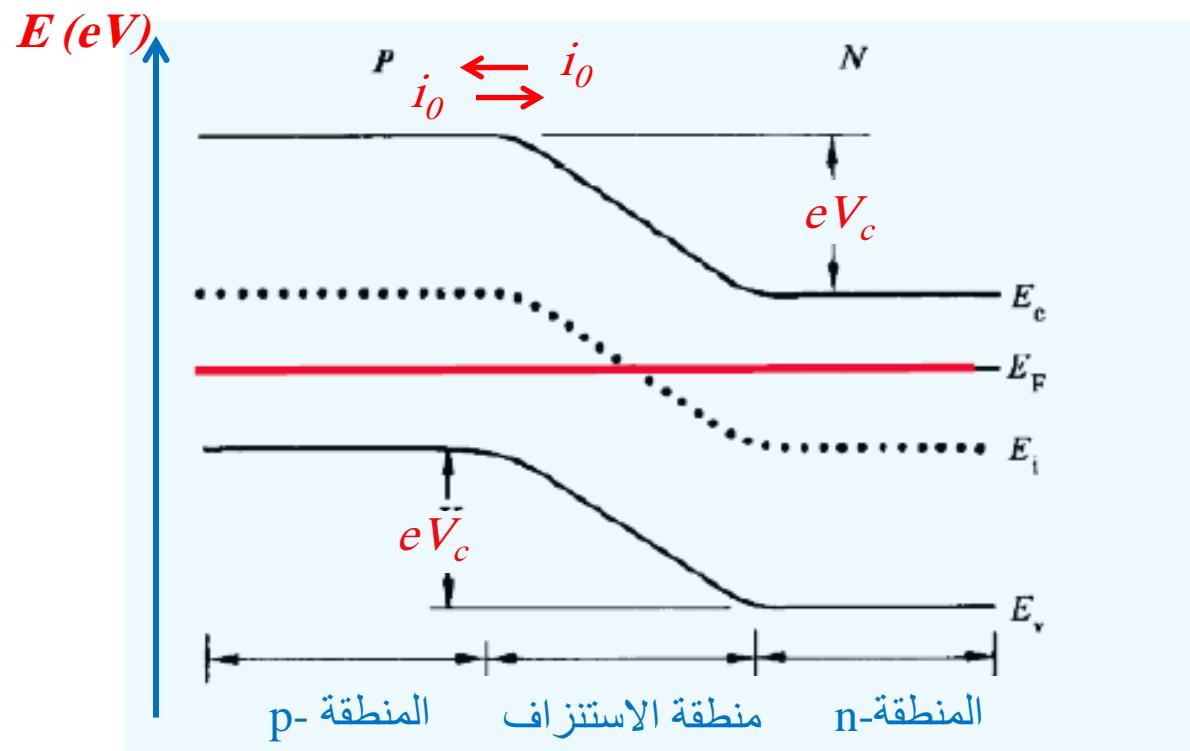
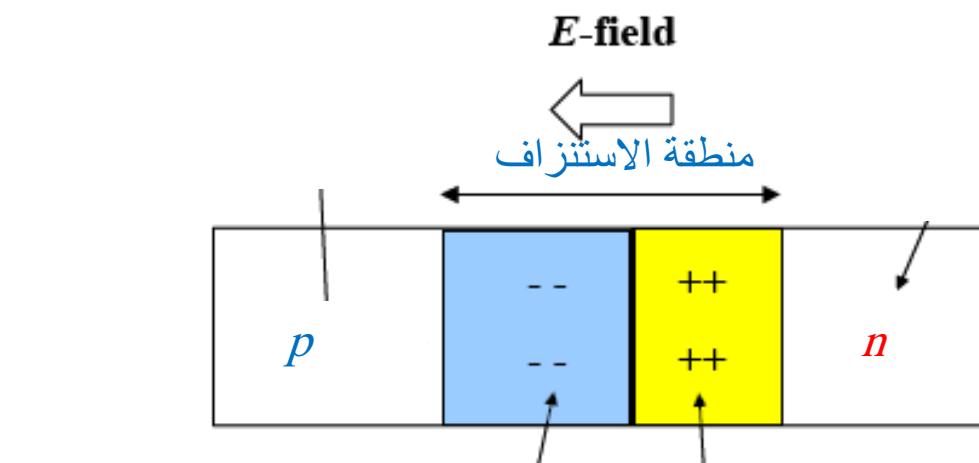
$$n_p = n_n \exp\left(-\frac{eV_c}{KT}\right) \quad (5.1)$$

وفي حالة التوازن يتساوى عدد الإلكترونات المتدفقة في كل اتجاه عبر الحاجز ويساوي i_0 ، وبما أن $i_0 \propto n_p$ فإن عدد الإلكترونات المتدفقة عبر الحاجز في كل اتجاه تعطى بالعلاقة:

$$i_0 = n_n \exp\left(-\frac{eV_c}{KT}\right) \quad (5.2)$$

و كمون التماس V_c يمنع أي تدفق إضافي للإلكترونات عبر منطقة العبور أو الاستنزاف في المتصل والتي يتراوح عرضها ضمن المجال $(200-300A^0)$.

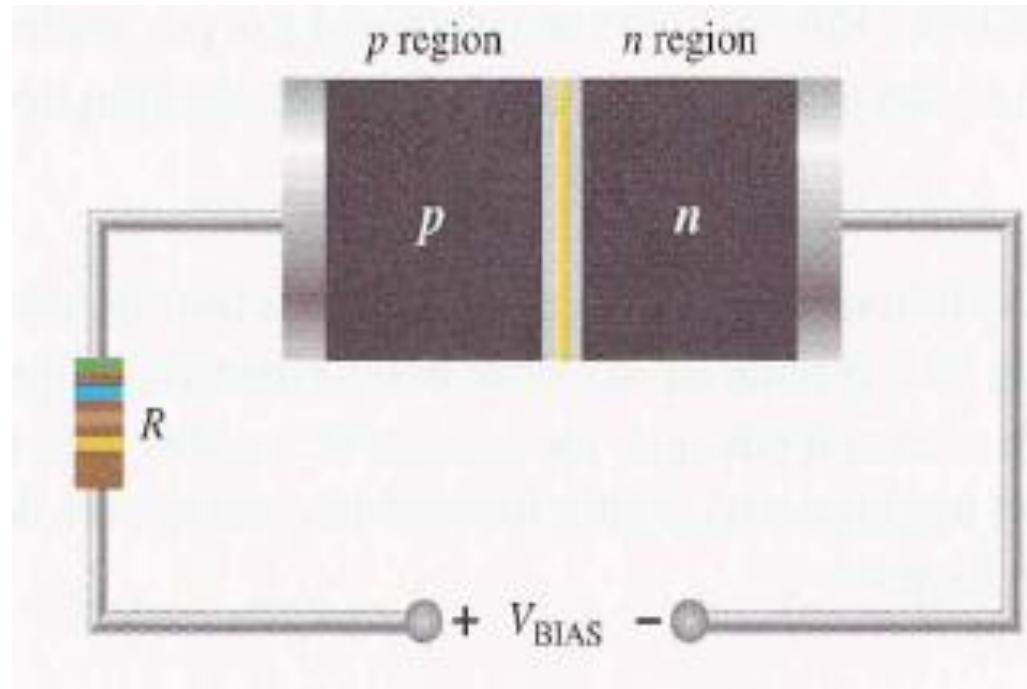
متصل ثنائي p-n في حالة توازن حراري



الشكل (5.1)

5.1 الانحياز الأمامي

عندما يطبق جهد خارجي V على الديود كما في الشكل (5.2) ، حيث يوصل القطب الموجب للمولد إلى **الجانب -p** المتصل ، والقطب السالب للمولد إلى **الجانب -n** ، فيدعى هذا التوصيل بالانحياز الأمامي للديود ، والجهد بجهد الانحياز الأمامي. والشكل (5.2) يوضح الوصل في حالة الانحياز الأمامي وهذا التحيز الخارجي للجهد يدعى V_{Bias} .



الشكل (5.2) المتصل الثنائي في حالة الانحياز الأمامي

آلية نشوء تيار الديود في حالة التحييز الأمامي تتم كما يلي:

في هذا النوع من التوصيل يتناقص ارتفاع حاجز الطاقة الكامنة بالمقدار eV ، ويصبح ارتفاع حاجز الكمون $(V_c - V)$ وتأثر سوية فيرمي في جانبي المتصل، حيث تصبح سوية فيرمي في **الجانب-p** أخفض من سوية فيرمي في **الجانب-n** من المتصل بـ eV كما هو موضح بالشكل(5.3)، وبالتالي تكتسب الإلكترونات في **الجانب-n** طاقة كافية لاجتياز حاجز الطاقة الكامنة.

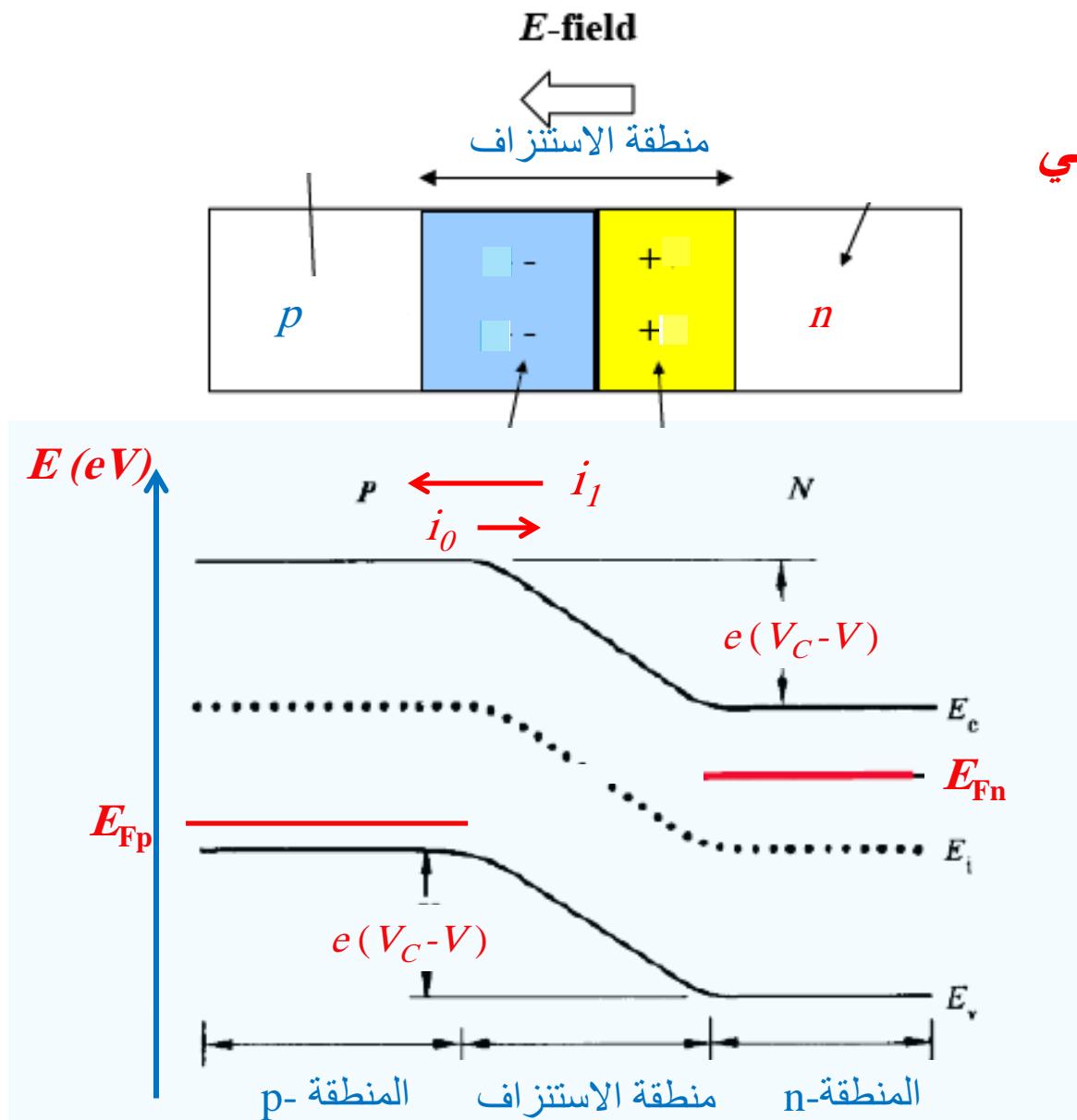
وكذلك يزداد عدد الإلكترونات المنسابة من **الجانب-n** عبر المتصل إلى **الجانب-p**. وإن عدد الإلكترونات المتداقة من **الجانب-n** إلى **الجانب-p** يساوي:

$$i_1 = n_n e^{-\frac{e(V_c - V)}{KT}} = i_0 e^{+\frac{eV}{KT}} \quad (5.3)$$

وبالتالي فالتدفق الكلي للإلكترونات عبر المتصل من **الجانب-p** إلى **الجانب-n** يساوي:

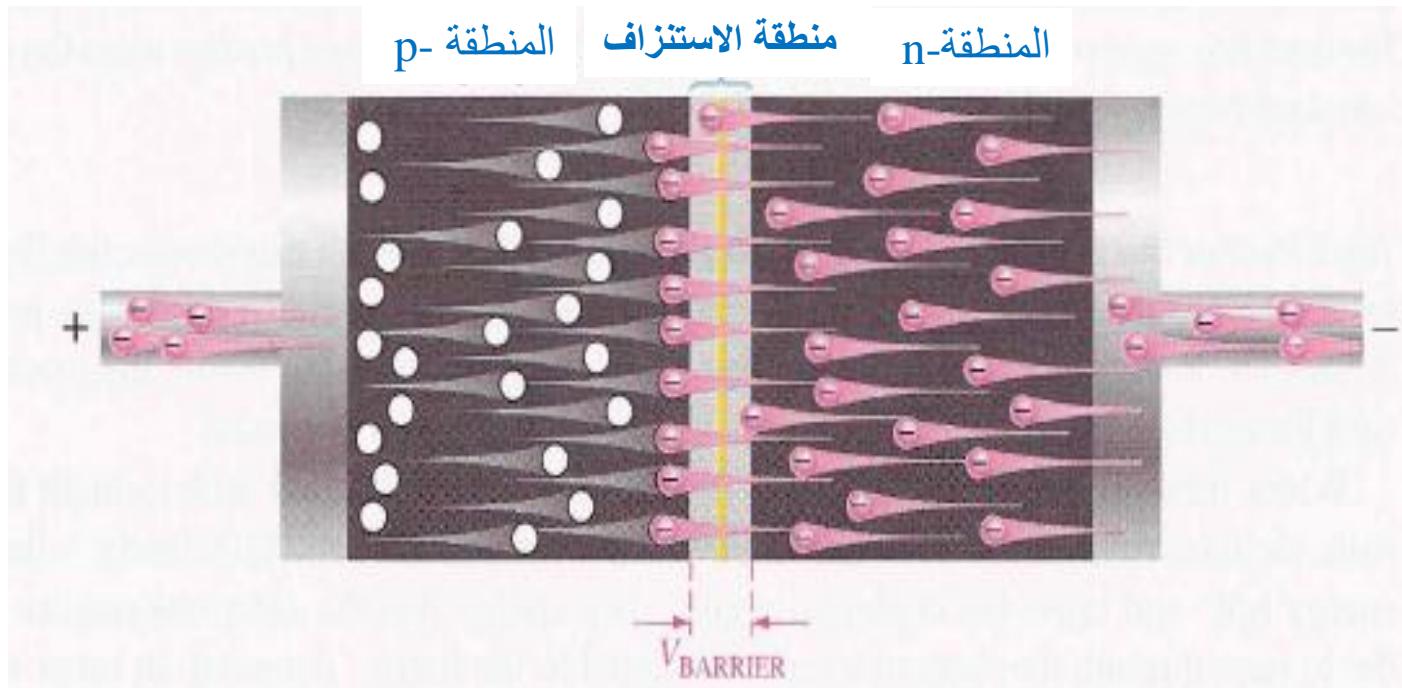
$$i_{p \rightarrow n} = i_0 - i_1 = i_0 \left(1 - e^{+\frac{eV}{KT}}\right) \quad (5.4)$$

متصل ثنائي p-n في حالة انحياز أمامي



الشكل (5.3)

والصورة الأساسية لما يحدث عند تحيز الديود أمامياً موضحة بالشكل (5.4) ، وبسبب كون الشحنات المتماثلة تتنافر فإن القطب السالب من منبع الجهد يدفع الإلكترونات الحرة، والتي تشكل حاملات الأكثريّة في الجانب n باتجاه المتصل $p-n$. ويدعى انسياط الإلكترونات الحرة **التيار الإلكتروني**.



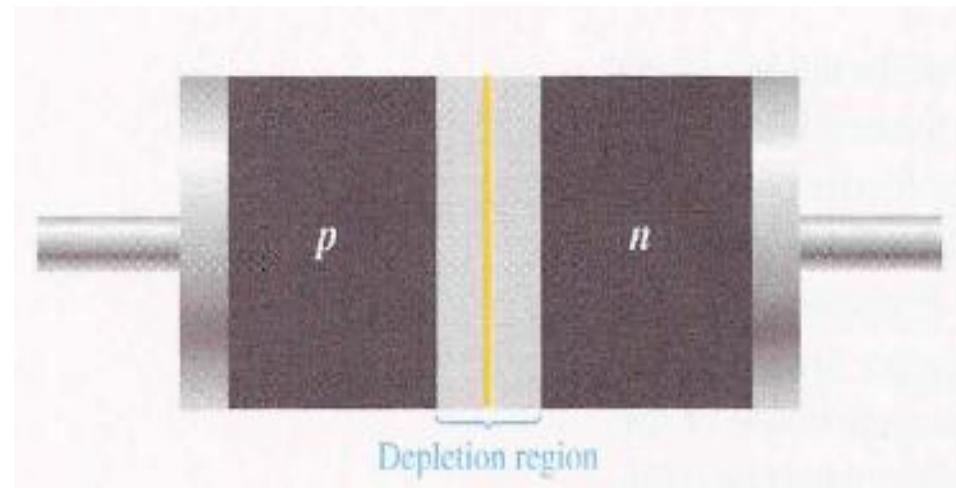
الشكل (5.4) ديو^د متّحِيز أمامياً يبيّن انسياط حاملات الأكثريّة ويبيّن فرق الجهد بسبب حاجز الكمون عبر منطقة الاستنزاف

إن منبع جهد الانحياز يعطي طاقة كافية إلى الإلكترونات الحرة لتنغلب على حاجز الكمون ولكي تعبر إلى المنطقة p ، وعندما تصل إلى الجانب p ، فإن إلكترونات الناقلة تفقد طاقة لتنحد مع التقوب في عصبة التكافؤ. وكذلك التقوب حاملات الأكتيرية في الجانب p تتحرك نحو اليمين باتجاه المتصل وتشكل تيار التقوب.

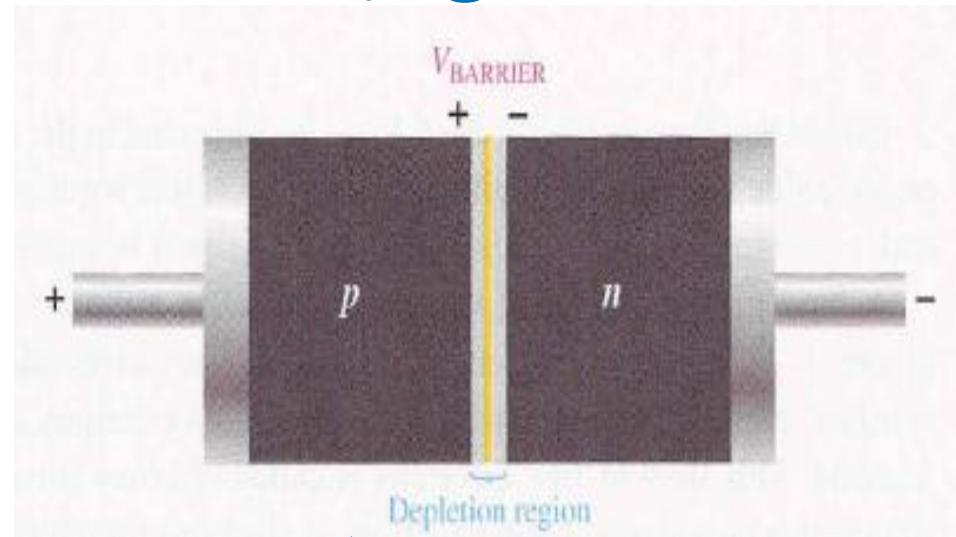
تأثير الانحياز الأمامي على منطقة الاستنزاف

كلما انسابت الإلكترونات الحرة إلى منطقة الاستنزاف تناقصت عدد الأيونات الموجبة الساكنة. وكلما انسابت التقوب إلى منطقة الاستنزاف من الجانب المقابل من المتصل $p-n$ تناقصت عدد الأيونات السالبة.

هذا التناقص بعدد الأيونات الموجبة والسالبة عند تطبيق جهد الانحياز الأمامي يسبب تضيق في عرض منطقة الاستنزاف كما هو موضح بالشكل (5.5).



ديود بدون تطبيق جهد انحصار



ديود متحيز أمامياً

الشكل (5.5) يتناقض عرض منطقة الاستنزاف ويتناقض حاجز الكمون للمتصل الثنائي $p-n$ في حالة التحبيز الأمامي للديود

تأثير حاجز الكمون في حالة الانحياز الأمامي

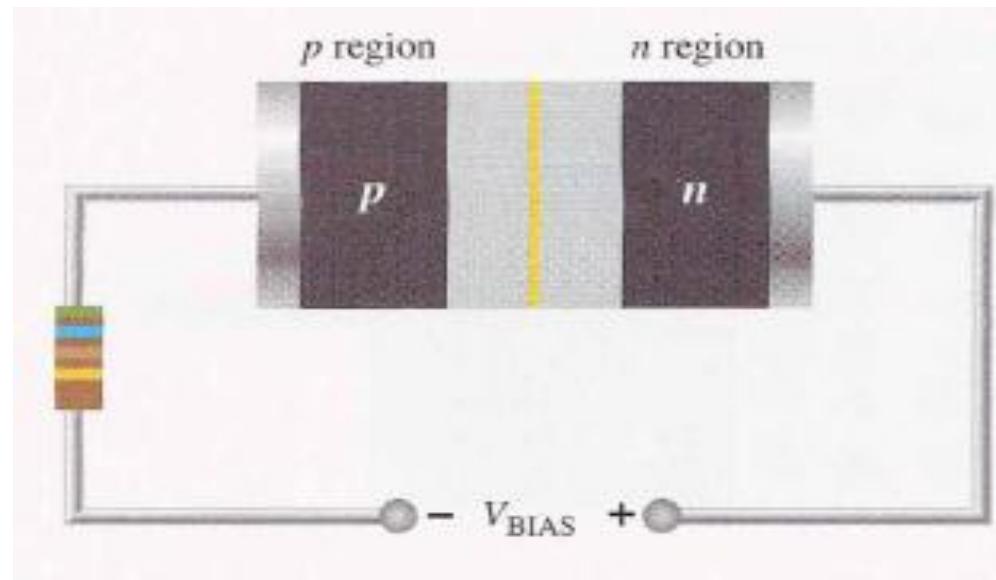
كما هو معلوم إن الحقل الكهربائي E بين الأيونات الموجبة والسلبية في منطقة الاستنراف على جانبي المتصل يولد هضبة طاقة تمنع الإلكترونات من الانتشار عبر المتصل في حالة التوازن كما هو موضح بالشكل (5.1) وتدعى بحاجز الكمون.

عند تطبيق جهد انحياز أمامي تكتسب الإلكترونات طاقة كافية من منبع انحياز الجهد لتنقلب على حاجز الكمون وتعبر منطقة الاستنراف.

وبعبارة أخرى تفقد الإلكترونات جزء من الطاقة مكافئة لحاجز الكمون عند عبورها منطقة الاستنراف. وتنتج هذه الخسارة في الطاقة هبوط في الكمون عبر المتصل يساوي حاجز الكمون ($0.7V$) كما هو موضح بالشكل (5.3) وكذلك يوجد هبوط في الكمون عبر المتصل بسبب المقاومة الداخلية لمادة نصف الناقل.

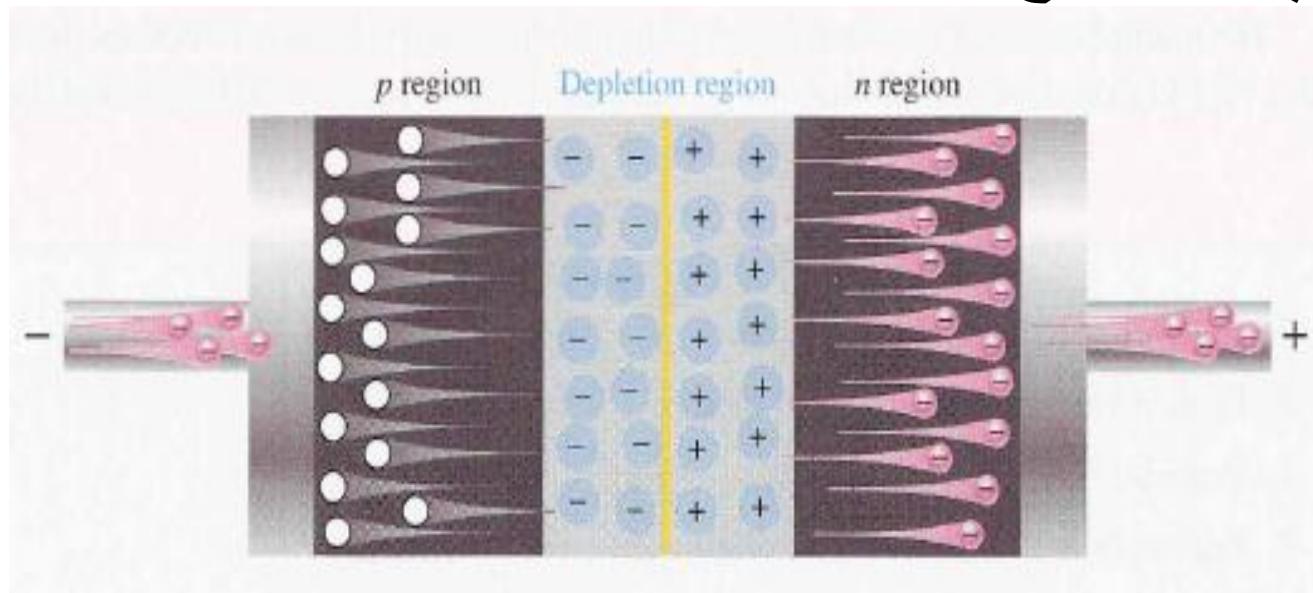
5.2 الانحياز العكسي

التحييز العكسي هو الحالة التي يمنع مرور التيار الكهربائي عبر الديود. الشكل (5.6) يوضح توصيل منبع الجهد المستمر مع الديود في حالة التحييز العكسي. ويدعى جهد التحييز الخارجي بـ V_{Bias} حيث يوصل القطب الموجب إلى الجانب n للديود و يوصل القطب السالب إلى الجانب p. ويتسع عرض منطقة الاستنزاf عن حالة التحييز الأمامي أو حالة التوازن.



الشكل (5.6) حالة التحييز العكسي للديود

الشكل (5.7) توضيح لما يحدث في حالة **تطبيق جهد تحيز عكسي** للديود. وبما أن الشحنات المتباعدة تتجاذب فإن القطب الموجب لمنبع الجهد يسحب الإلكترونات الحرة والتي تشكل حاملات الأكثريّة في الجانب n بعيداً عن منطقة المتصل. وعندما تنساب الإلكترونات باتجاه القطب الموجب لمنبع الجهد فإنه تتولد أيونات موجبة إضافية. وهذا يؤدي إلى اتساع منطقة الاستنزاف ، واستنزاف حاملات الشحنة.



الشكل (5.7) تطبيق جهد تحيز عكسي على ديو

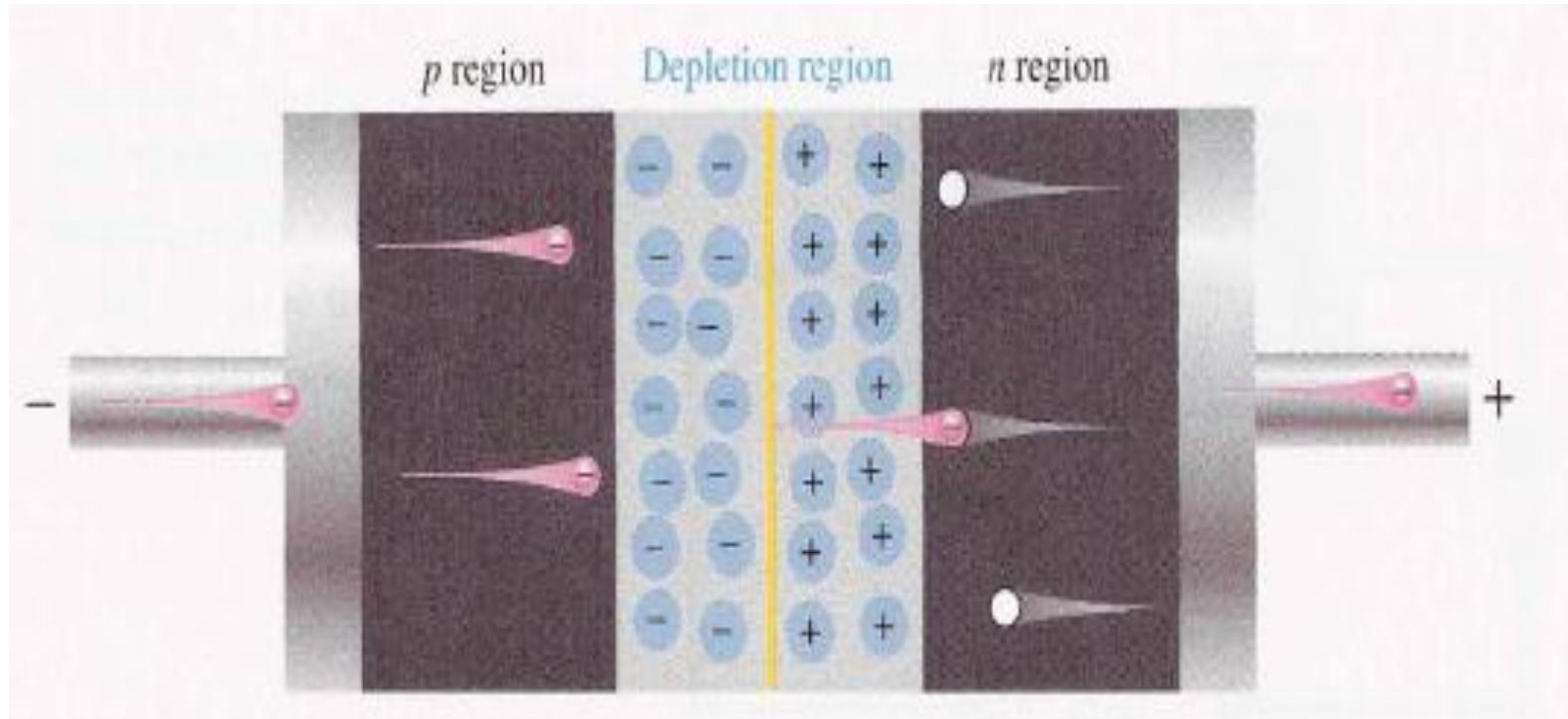
وكلما ازداد عرض منطقة الاستنزاف يتناقص عدد حاملات الشحنة في منطقة المتصل، ويزداد الحقل الكهربائي E بين الأيونات الموجبة والسلبية حتى يتساوى فرق الكمون عبر منطقة الاستنزاف مع جهد الانحياز V_{Bias} ، عندئذ يتوقف تيار العبور (الانتقال) ما عدا تيار عكسي صغير جداً يدعى **تيار الجهد العكسي**.

تيار العكسي

ينشأ التيار العكسي من حاملات الأقلية في الجانبين n و p المتولدة بالإثارة الحرارية للأزواج إلكترونات – ثقوب.

وإن عصابة الناقلة في الجانب p ذات سوية طاقة أعلى من عصبة الناقلة في الجانب n وبالتالي فإن إلكترونات الأقلية تعبر بسهولة منطقة الاستنزاف لأنها لا تحتاج إلى طاقة إضافية.

تيار العكسي مبين بالشكل (5.8).



الشكل (5.8) التيار العكسي في الديود عند تطبيق جهد عكسي ينتج عن حاملات أقلية متولدة بالإثارة الحرارية للأزواج إلكترون - ثقب

إن التيار العكسي المار في الديود في حالة التحيز العكسي يكون صغيراً جداً وذلك بسبب أن **أعداد أزواج الإلكترونات والثقوب المتولدة بالإثارة الحرارية في البلورة** صغيرة جداً.

ويدعى هذا التيار بتيار الإشباع العكسي، ويرمز له بـ i_0 . وحيث يزداد بازدياد درجة الحرارة.

وإن آلية نشوء تيار الديود في حالة التحيز العكسي تتم كما يلي:

(a) عندما لا يطبق على الديود جهد خارجي ، أي $V = 0$ ، فإن حاجز الطاقة الكامنة في منطقة العبور للمتصل يساوي eV_c .

(b) عند تطبيق جهد خارجي V على الديود في حالة التحيز العكسي (جهد انحياز عكسي) كما هو مبين بالشكل (5.9)، فإنه يزداد ارتفاع حاجز الطاقة الكامنة بالمقدار eV .

وتتأثر سوية فيرمي في جانبي المتصل، حيث تصبح سوية فيرمي في الجانب-p أعلى من سوية فيرمي في الجانب-n من المتصل بـ eV .

وبالتالي يؤدي إلى تناقص انسياط حاملات الشحنة الأكثريّة (الثقوب في **الجانب -p** ، والإلكترونات في **الجانب -n**) عبر المتصل.

بينما حاملات الشحنة الأقلّية (الإلكترونات في **الجانب -p** والثقوب في **الجانب -n**) المناسبة عبر المتصل لا تتأثر بارتفاع حاجز الطاقة الكامنة.

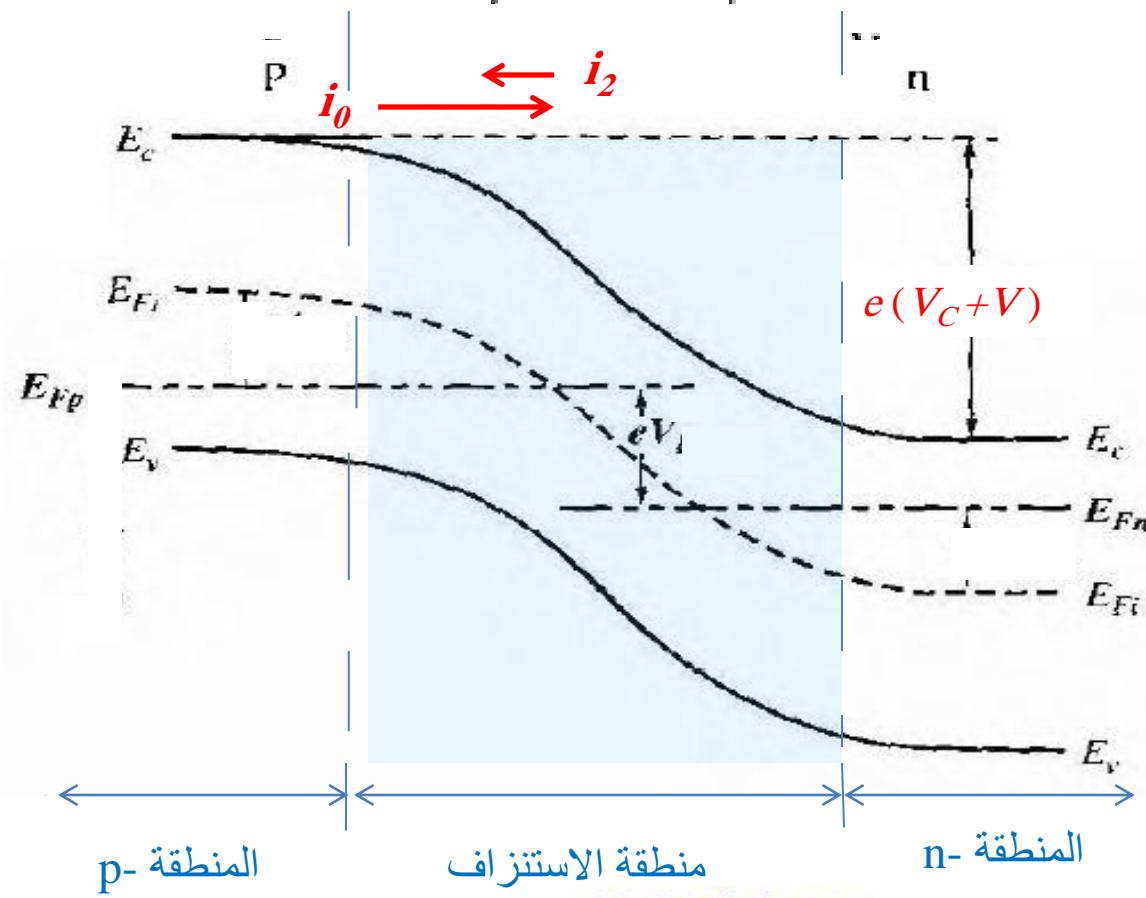
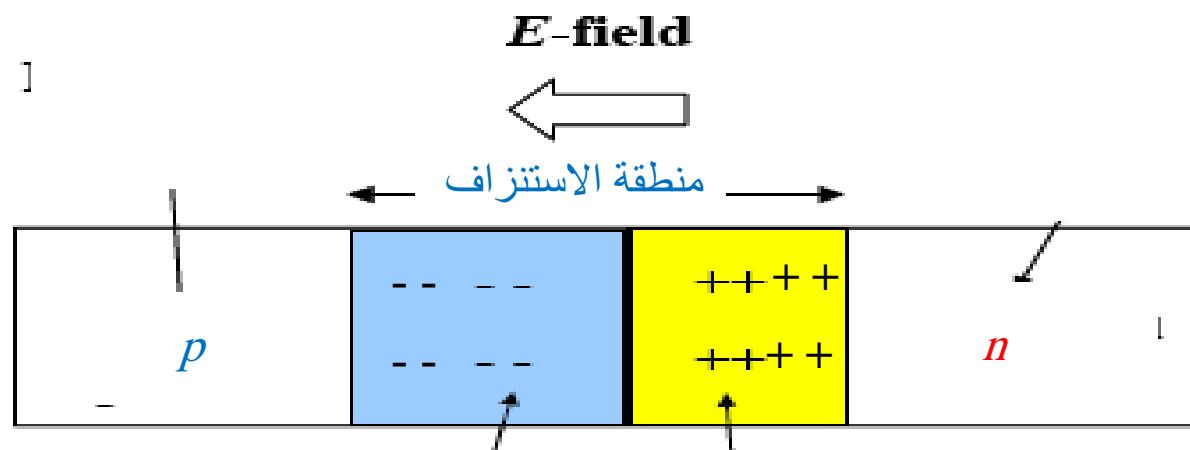
ويعطى عدد الإلكترونات المتدفقة من **الجانب -n** إلى **الجانب -p** عبر المتصل بالعلاقة التالية:

$$i_2 = n_n e^{-\frac{e(V_c + V)}{KT}} = i_0 e^{-\frac{eV}{KT}} \quad (5.5)$$

وإن عدد الإلكترونات المتدفقة من **الجانب -p** إلى **الجانب -n** عبر المتصل لا يتأثر بالجهد الخارجي ويساوي i_0 .

وبالتالي فتدفق الإلكترونات الكلي عبر المتصل يساوي:

$$i_{p \rightarrow n} = i_0 - i_2 = i_0 \left(1 - e^{-\frac{eV}{KT}}\right) \quad (5.6)$$



5.3 مميزة منحني تيار-جهد V - I للديود:

إن تغيرات التيار الكلي الذي يجتاز الديود $p-n$ كتابع للجهد الخارجي المطبق V ، تدعى بـمميزة منحني التيار-جهد للديود.

ففي حالة التحيز العكسي فإن التيار العكسي I_r صغيراً جداً ، فمن العلاقة (5.6) يمكننا كتابة:

$$I_r = I_0 \left(e^{-\frac{eV}{KT}} - 1 \right) \quad (5.7)$$

أما في حالة التحيز الأمامي فإن التيار الأمامي يعطى بالعلاقة التالية:

$$I_f = I_0 \left(e^{\frac{eV}{KT}} - 1 \right) \quad (5.8)$$

وتعني القيمة الموجبة للتيار الأمامي بأن جهة التيار هي من **الجانب- p** إلى **الجانب- n** للمتصل،

ومميزة منحني التيار-جهد للديود موضحة من الشكل (5.10).

فالتيار في حالة التحيز الأمامي يزداد أسيّاً مع الجهد.

بينما في حالة التحيز العكسي ومن أجل القيم الكبيرة لـ V ،

فالتيار العكسي يبقى ثابتاً ويساوي ($I_r = -I_0$) تيار الإشباع العكسي.

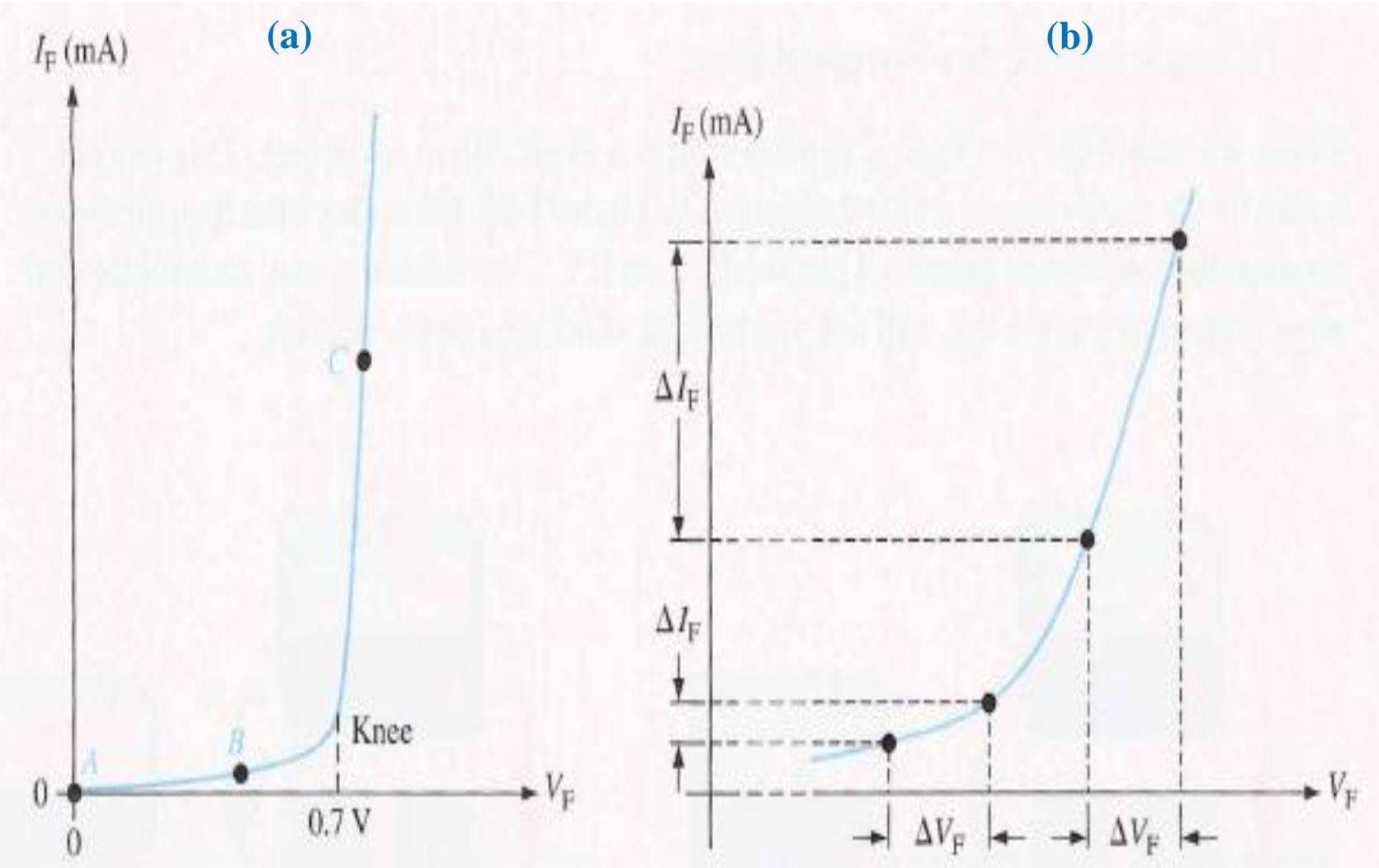
منحنى $I-V$ للديود في حالة الانحياز الأمامي

إن منحنى المميزة $I-V$ لـ ديوه في حالة تحيز أمامي موضح بالشكل (5.10). حيث يزداد I_F ببطء إلى أن يصل $V_F = 0.7V$ عند نقطة انعطاف المنحنى.

وبعد هذه النقطة يبقى $I_F \approx 0.7V$ ويزداد بسرعة كبيرة، ويعود ذلك إلى هبوط الكمون عبر المقاومة الديناميكية.

والعمل الطبيعي للديود المتحيز أمامياً هو المجال الذي يلي نقطة انعطاف المنحنى.

النقطة A توافق $V_F = 0$ والنقطة B توافق $V_F \approx 0.7V$ والنقطة C توافق $V_F < 0.7V$.



الشكل (5.10) منحني المميزة $V-I$ للديود المتغير أمامياً

المقاومة الديناميكية

الشكل (5.10b) تكبير لمنحنى مميزة $I-V$ في الشكل (5.10a)، وتبين أن المقاومة الديناميكية مختلفة عن المقاومة الخطية، فمقاومة الديود المتحيز أمامياً ليست ثابتة على المنحنى. وبسبب أن المقاومة تتغير مع نقاط المنحنى $I-V$ فإنها تدعى بالمقاومة الديناميكية وتسماى r_d وتعطى بالعلاقة :

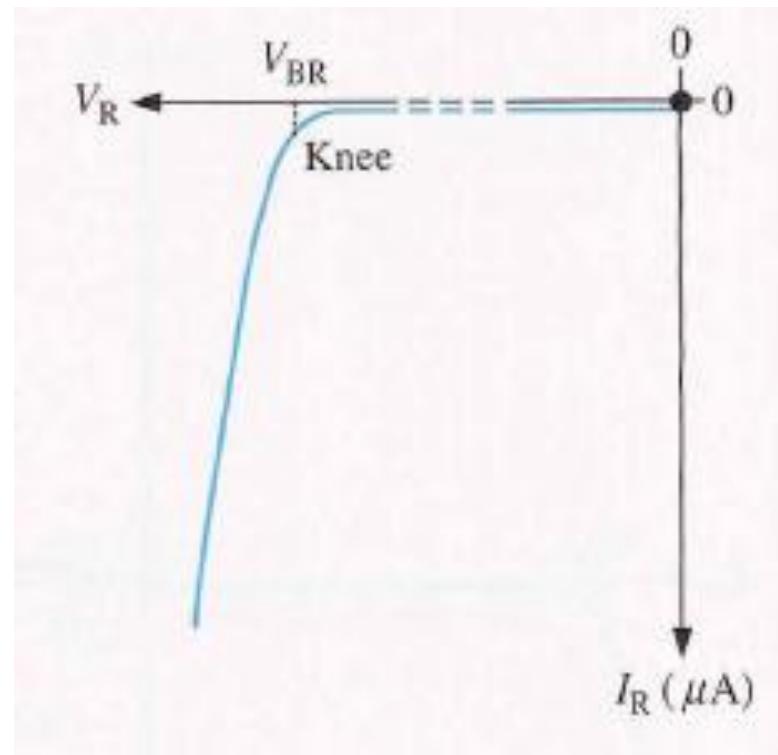
$$r_d = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F} \quad (5.9)$$

مميزة المنحنى $I-V$ في حالة التحيز العكسي

عند تطبيق جهد عكسي على الديود يمر تيار عكسي صغير I_R عبر المتصل $p-n$. فعندما $V_R=0$ يكون $I_R=0$ ، وبازدياد الجهد العكسي V_R تدريجياً فإنه يمر تيار عكسي صغير جداً، وعندما يصل الجهد العكسي إلى قيمة جهد الانهيار يزداد التيار العكسي بشكل كبير جداً.

منحنی I-V في حالة التحييز العكسي

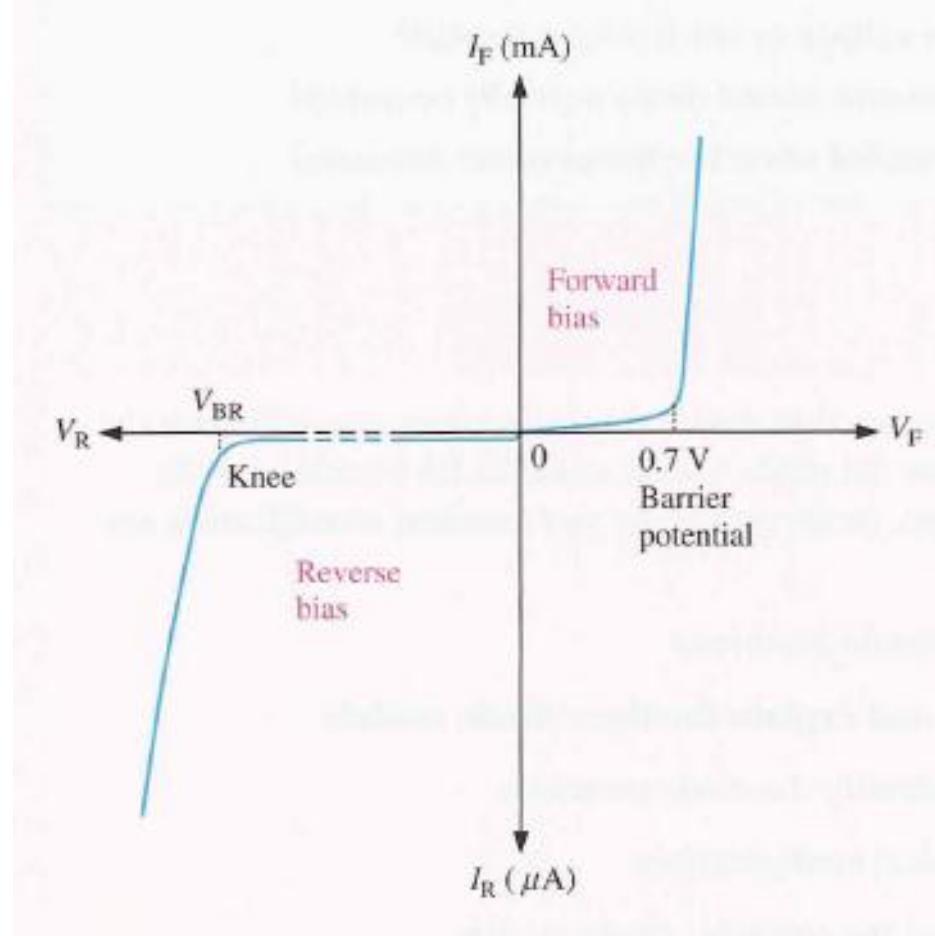
منحنى تغير I_R بدراسة V_R مبين بالشكل (5.11)، حيث التيار العكسي I_R من مرتبة (nA أو μA)، وقيمة جهد الانهيار $V_{BR} \approx 50V$ من أجل السيلكون.



الشكل (5.11) منحنى مميزة $I-V$ للديود في حالة الانحياز العكسي

منحنى المميزة I-V للديود

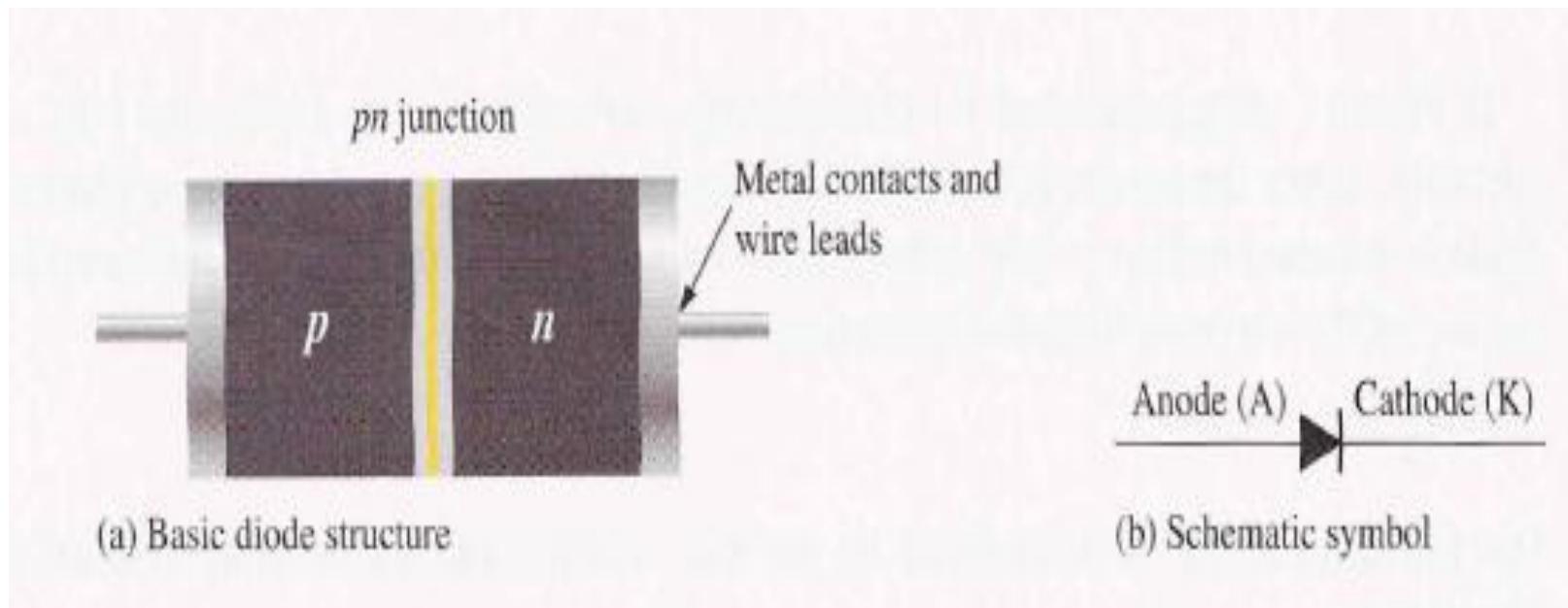
إن المنحنيين في حالة الانحياز الأمامي والعكسي للديود مبينة بالشكل .(5.12) حيث I_F من مرتبة (mA) بينما I_R من مرتبة (μA).



الشكل (5.12) منحنى مميزة I-V للديود

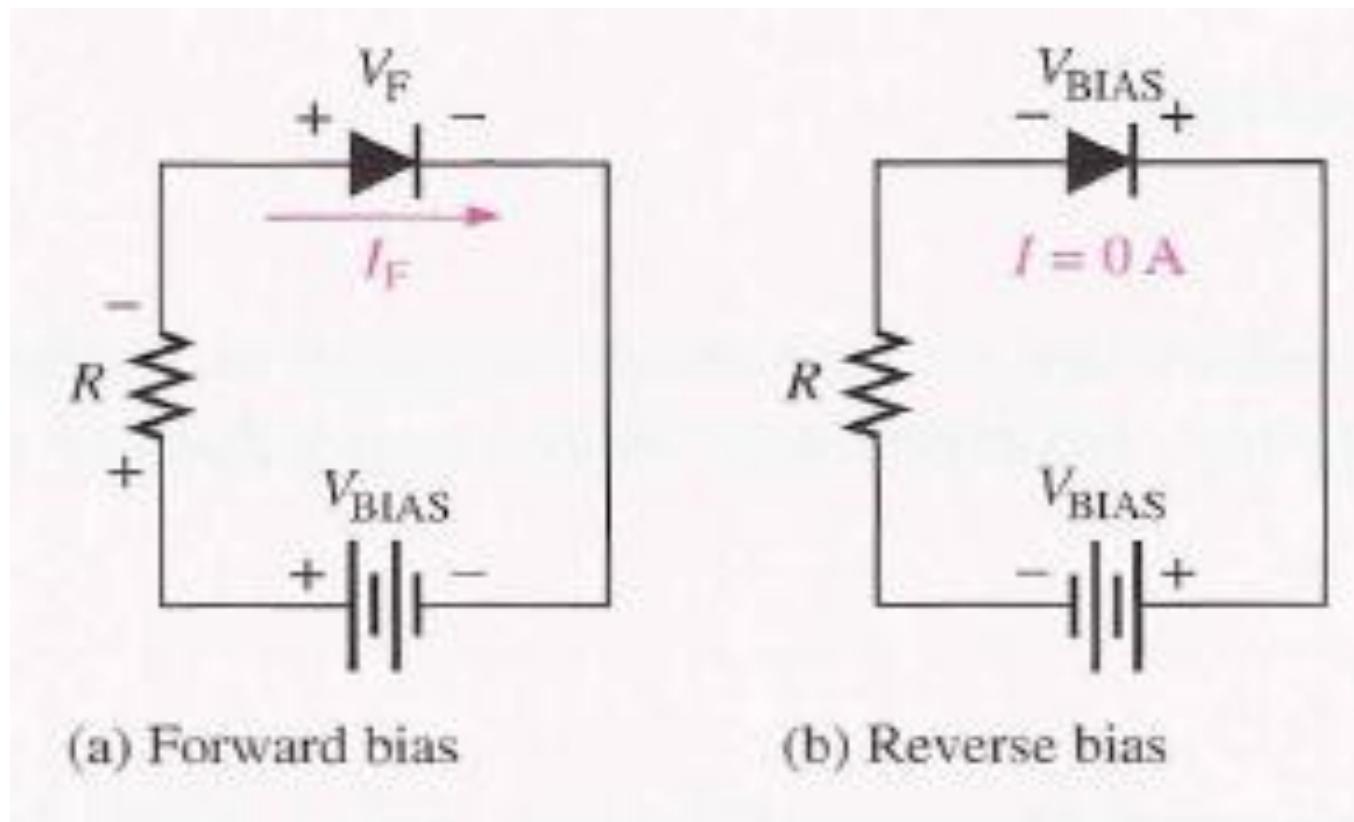
بنية ورمز الديود

في الشكل (5.13) الجانب *n* من الديود يدعى المهبط (الكافود *K*) والجانب *p* يدعى المصعد (الأنود *A*)، ويشير السهم في رمز الديود إلى جهة التيار الاصطلاحي (تعاكس جهة انسياط الإلكترونات).



الشكل (5.13) بنية ورمز الديود

توصيل الانحياز الأمامي والعكسي للديود



الشكل (5.14) توصيل التحيز الأمامي والتحيز العكسي للديود

علاقة $I-V$ للديود $p-n$

إن العلاقة بين تيار الأنود و الجهد المطبق تعطى كما يلي:

$$I = I_s (e^{\frac{eV}{\eta kT}} - 1) \quad (5.10)$$

حيث:

I : تيار الديود (A)

I_s : تيار الإشباع للديود (A)

V : الجهد المطبق على الديود (V)

e : شحنة الإلكترون (C)

k : ثابت بولتزمان (J/K)

T : درجة الحرارة المطلقة (K)

($\eta=1$ من أجل герمانيوم Ge و $\eta=2$ من أجل السيلكون Si)

عند تطبيق جهد $V=0.1V$ (حالة تحيز عكسي على المتصل) ، فإنه يمر تيار كهربائي I_s ويدعى بالتيار العكسي، وينشأ بسبب الإثارة الحرارية للإلكترونات والثقوب.

و عندما يتم تطبيق جهد في حالة تحيز أمامي على المتصل $V=0.1V$ فإنه يمر تيار شدته $I=50I_s$.

5.4- نماذج الديودات

نموذج الديود المثالي

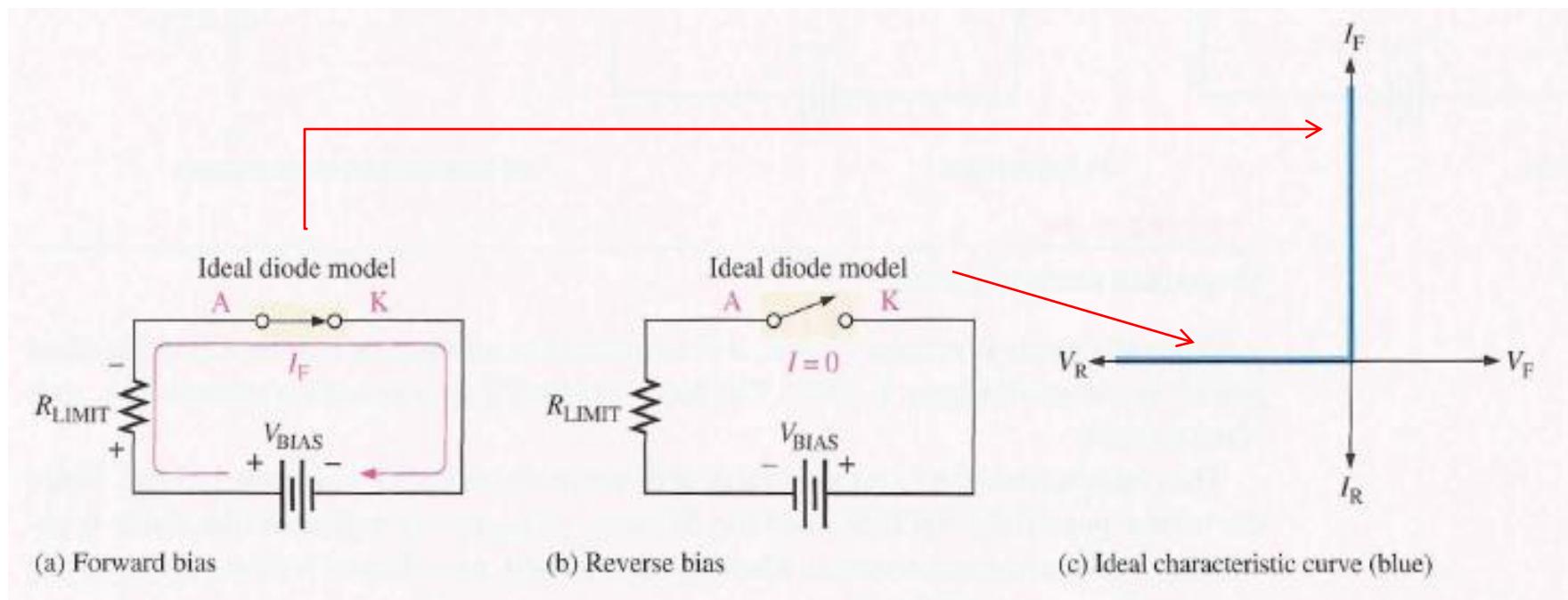
نموذج الديود العملي

نموذج الديود التام

5.4 نماذج الديودات

نموذج الديود المثالي

يمثل الديود المثالي مفتاح كهربائي، فعندما يكون الديود متخيز أمامياً فإنه يعمل كمفتاح مغلق (حالة توصيل on) كما هو موضح بالشكل (5.15a). وعندما يكون الديود متخيز عكسيًّا فإنه يعمل كمفتاح كهربائي مفتوح (حالة قطع off) كما هو موضح بالشكل (5.15b). في هذه الحالة يتم إهمال حاجز الكمون والمقاومة الديناميكية والتيار العكسي.



الشكل (5.15) النموذج المثالي للديود

في الشكل (5.15c) منحني المميزة $V-I$ للديود المثالي. حيث تم اعتبار أن فرق الجهد عبر الديود يساوي الصفر في حالة التحبيز الأمامي كما هو موضح بالشكل. ويكون لدينا:

$$V_F = 0$$

والتيار الأمامي يحدد من المعادلة:

$$I_F = \frac{V_{BIAS}}{R_{limit}}$$

والتيار العكسي:

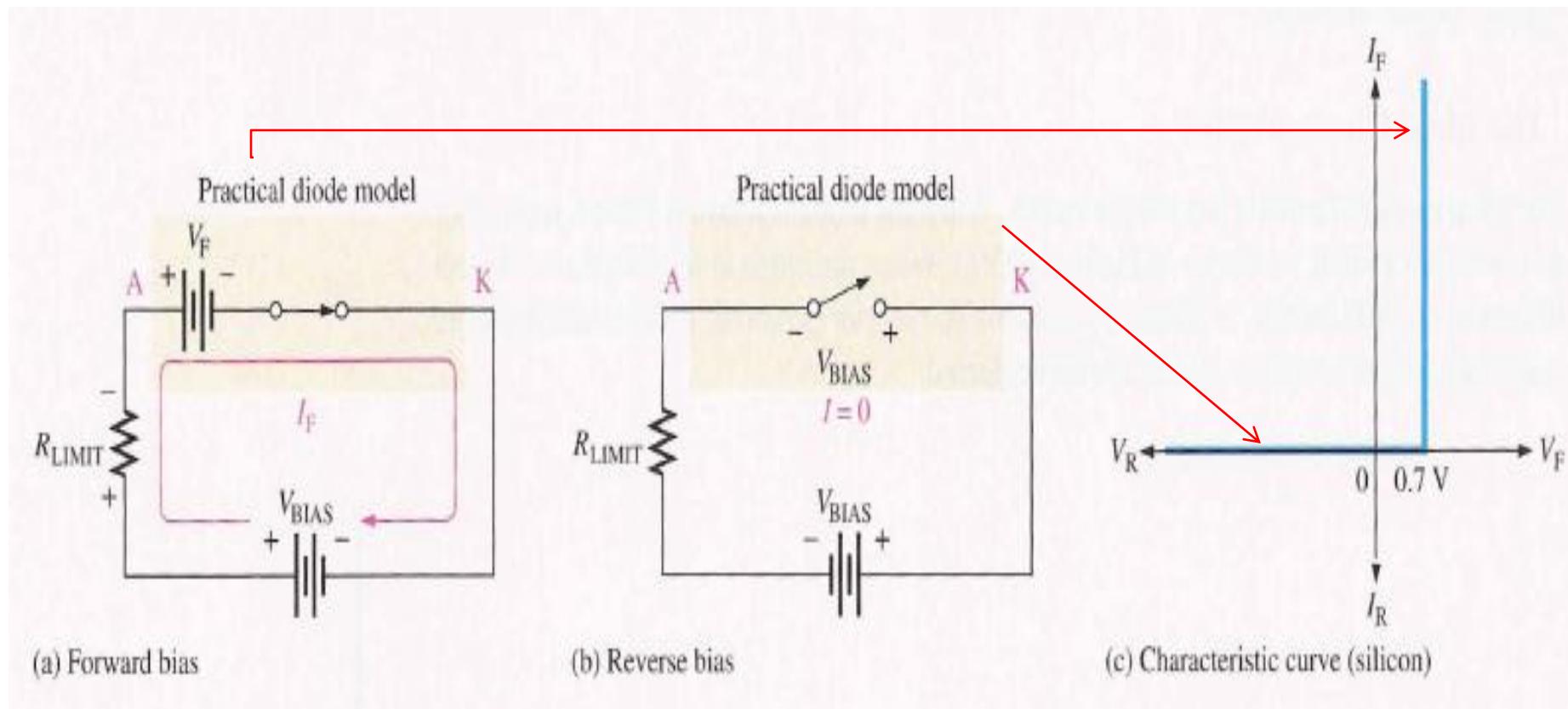
$$I_R = 0$$

والجهد العكسي :

$$V_R = V_{BIAS}$$

نموذج الديود العملي

في النموذج العملي يضاف حاجز الكمون إلى نموذج الديود المثالي، فعندما يكون الديود في حالة **تحييز أمامي** فإنه يكافئ مفتاح مغلق (حالة توصيل on) على التسلسل مع منبع جهد مكافئ يساوي حاجز الكمون ($V_F = 0.7V$) (قطبه الموجب بجهة الأنود كما هو موضح بالشكل (5.16a)).



الشكل (5.16) الديود العملي في حالة الانحياز الأمامي

و عندما يكون الديود في حالة **التحيز العكسي** فإنه يكافئ مفتاح كهربائي مفتوح كما في حالة الديود المثالى كما هو موضح بالشكل (5.16b).

إن منحنى المميزة $I-V$ للديود العملي موضح بالشكل (5.16c). وبما أنه تم اعتبار حاجز الكمون في هذه الحالة، وأهملت المقاومة الديناميكية، فيوجد فرق جهد بين طرفي الديود في حالة **التحيز الأمامي**. ويكون لدينا:

$$V_F = 0.7V$$

ونحصل على التيار الأمامي I_F من تطبيق قانون كيرشوف للجهود للدارة

$$V_{Bias} - V_F - V_{RLIMIT} = 0 \quad .(5.32a)$$

$$V_{RLimit} = I_F R_{limit}$$

$$I_F = \frac{V_{Bias} - V_F}{R_{limit}}$$

و منه:

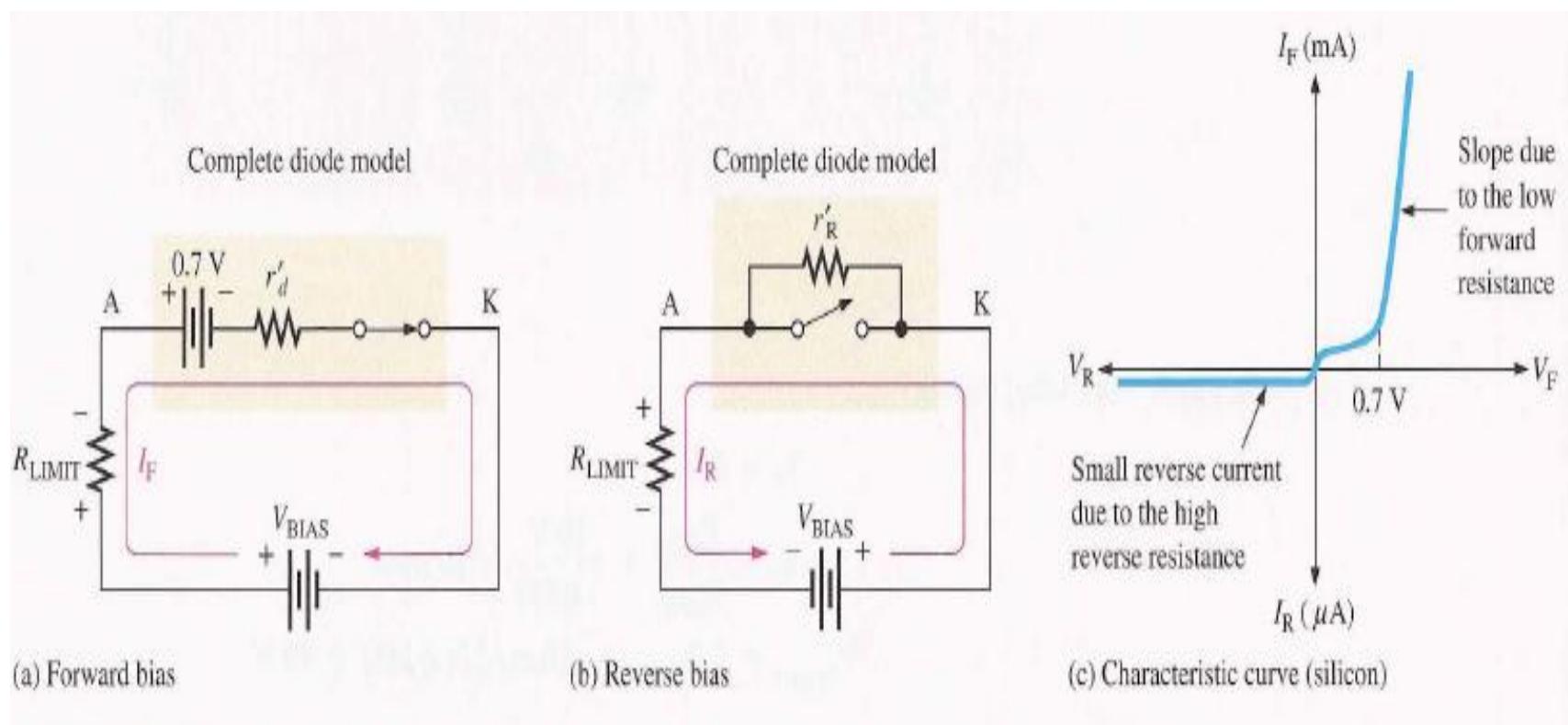
$$I_R = 0$$

$$V_R = V_{Bias}$$

وفي حالة **التحيز العكسي**:

نموذج الديود التام

يتكون نموذج الديود التام من حاجز كمون ومقاومة ديناميكية صغيرة (r_d') ومقاومة عكسية داخلية كبيرة (r_R'). وعندما يكون الديود متحيزاً أمامياً فإنه يعمل كمفتاح كهربائي مغلق (on) على التسلسل مع حاجز كمون ومقاومة ديناميكية (r_d') كما هو مبين بالشكل (5.17a) وعندما يكون الديود محيد عكسيًا فإنه يعمل كمفتاح كهربائي (في حالة قطع off) على التوازي مع مقاومة عكسية داخلية كبيرة (r_R') كما هو مبين بالشكل (5.17b).



الشكل (5.17) الديود التام

و المنهني المميز $I-V$ نموذج لليود التام مبين بالشكل (5.17c)، ويتم تطبيق العلاقات التالية:

$$V_F = 0.7V + I_F r_d$$

$$I_F = \frac{V_{Bias} - 0.7}{R_{limit} + r_d}$$

إن مميزة الديود $I-V$ غير خطية . ففي التحيز العكسي تكون مقاومة الديود من مرتبة $10^8 \Omega$ وشدة التيار ثابتة حتى نقطة كمون الانهيار .

و في حالة التحيز الأمامي فإن مقاومة الديود تابعة للنقطة على منحنى مميزة الديود $I-V$ ، حيث تفاصس كما يلي:

لدينا:

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

و بالتالي:

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

و منه

$$r = \frac{dV}{dI} = \frac{kT}{eI} = \frac{1}{40I}$$

و تدعى r بالمقاومة الديناميكية للديود و تتغير قيمتها من مرتبة $K\Omega$ عندما يكون التيار من مرتبة μA إلى عدة أومات Ω عندما يكون التيار من مرتبة mA .

5.5 مقاومات الديود

المقاومة السكونية (القدرة على إيقاف التيار المستمر)
المقاومة الديناميكية (القدرة على إيقاف التيار المتناوب AC)
المقاومة المتناوبة المتوسطة

مقاوِمات الديوِد

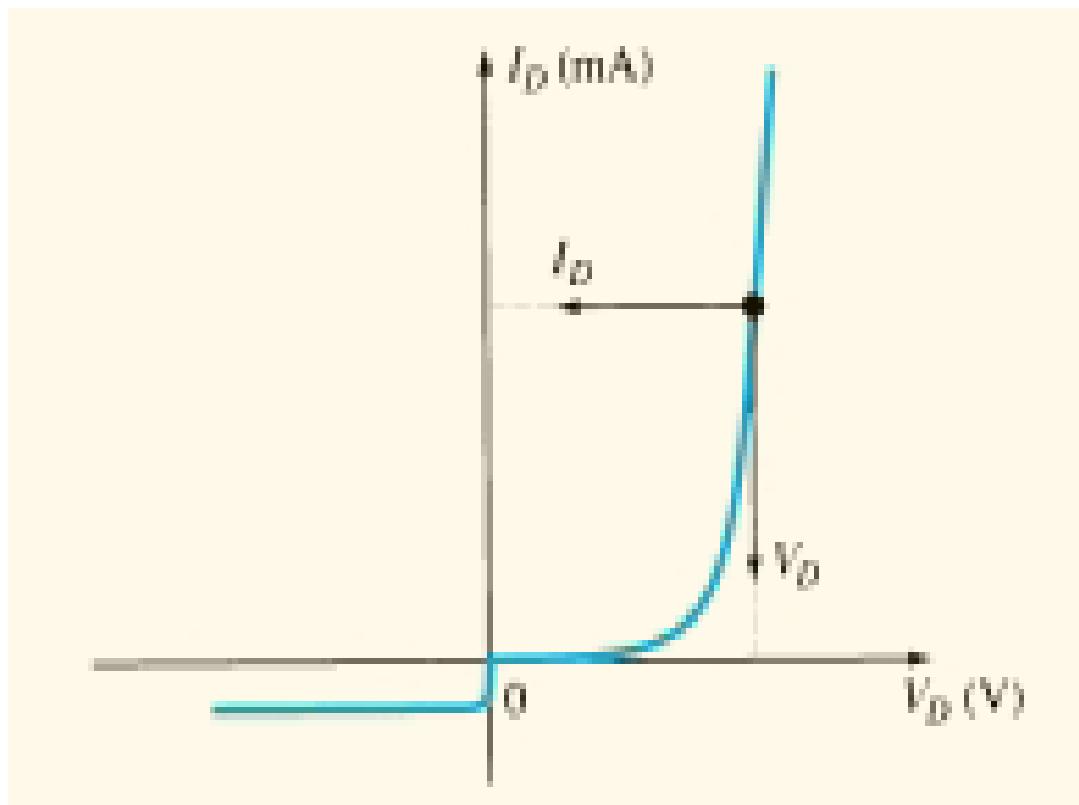
إن مقاومة الديود ليست ثابتة إنما تتغير بسبب مميزة الديود اللاخطية. ف MMI مميزة الديود تتعلق بالجهد المطبق عليه، وللديود ثلاثة أنواع من المقاومات:

- (a) المقاومة السكونية (مقاومة التيار المستمر)
- (b) المقاومة الديناميكية (مقاومة التيار المتناوب)
- (c) المقاومة المتناوبة المتوسطة.

المقاومة السكونية (مقاومة التيار المستمر)

إن تطبيق جهد مستمر على ديوِد، فإنه سوف يحدد نقطة عمل ثابتة على منحني مميزة الديود اللاخطية $V-I$. ويمكن إيجاد مقاومة الديود عند نقطة العمل من تعين قيم I_D و V_D كما هو موضح بالشكل (5.18) وتطبيق العلاقة:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \quad (5.11)$$



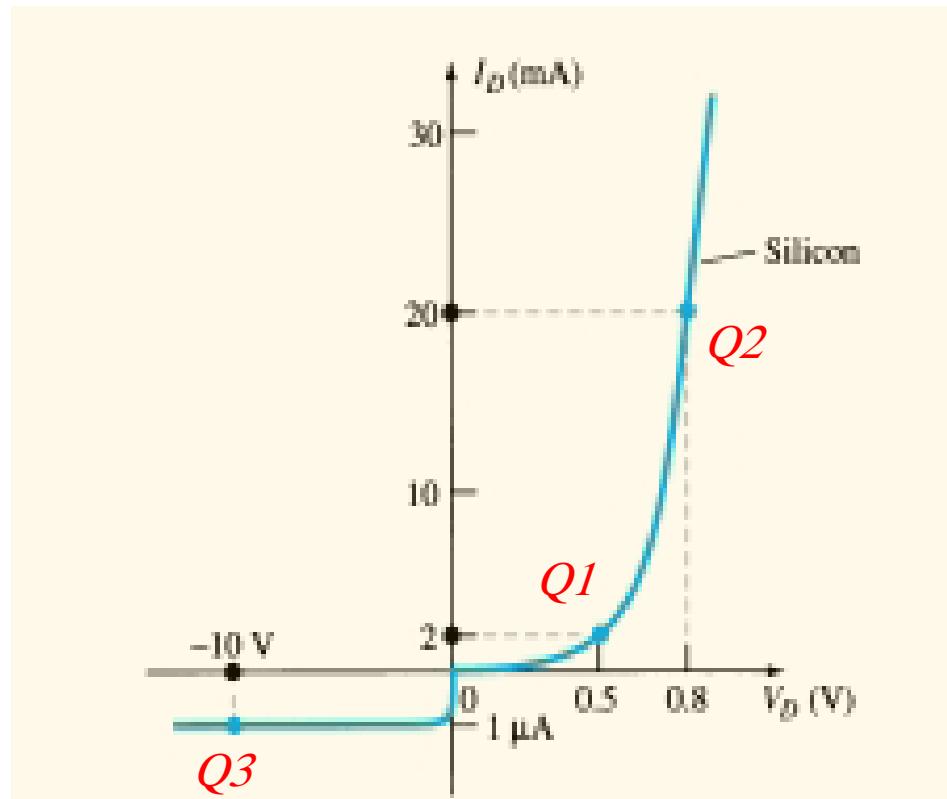
الشكل (5.18) تحديد المقاومة السكونية للديود عند نقطة عمل معينة
 إن المقاومة السكونية R_D عند نقطة انعطاف المنحني V_T والنقاط الموافقة
 لـ $V < V_T$ في مجال الانحياز الموجب تكون أكبر من مقاومة الديود عند
 النقاط التي تقع على الجزء المتزايد(الصاعد) من المنحني والموافقة
 لـ $V > V_T$. أما مقاومة الديود في مجال الانحياز العكسي فتكون كبيرة جدأً.

مثال (5.1) عين المقاومة السكونية (المقاومة DC) للديود حيث ممizza المنحنى $I-V$ له مبينة بالشكل جانبًا من أجل قيم I_D التالية:

$$I_D = 2mA \quad (a)$$

$$I_D = 20mA \quad (b)$$

$$V_D = -10V \quad (c)$$



الشكل (المثال 5.1) المنحنى المميز للديود

الحل:

عند النقطة **Q1** عند النقطة $V_D = 0.5V$ و $I_D = 2mA$) لدينا:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5V}{2 \times 10^{-3} A} = 250\Omega$$

عند النقطة **Q2** عند النقطة $V_D = 0.8V$ و $I_D = 20mA$) لدينا:

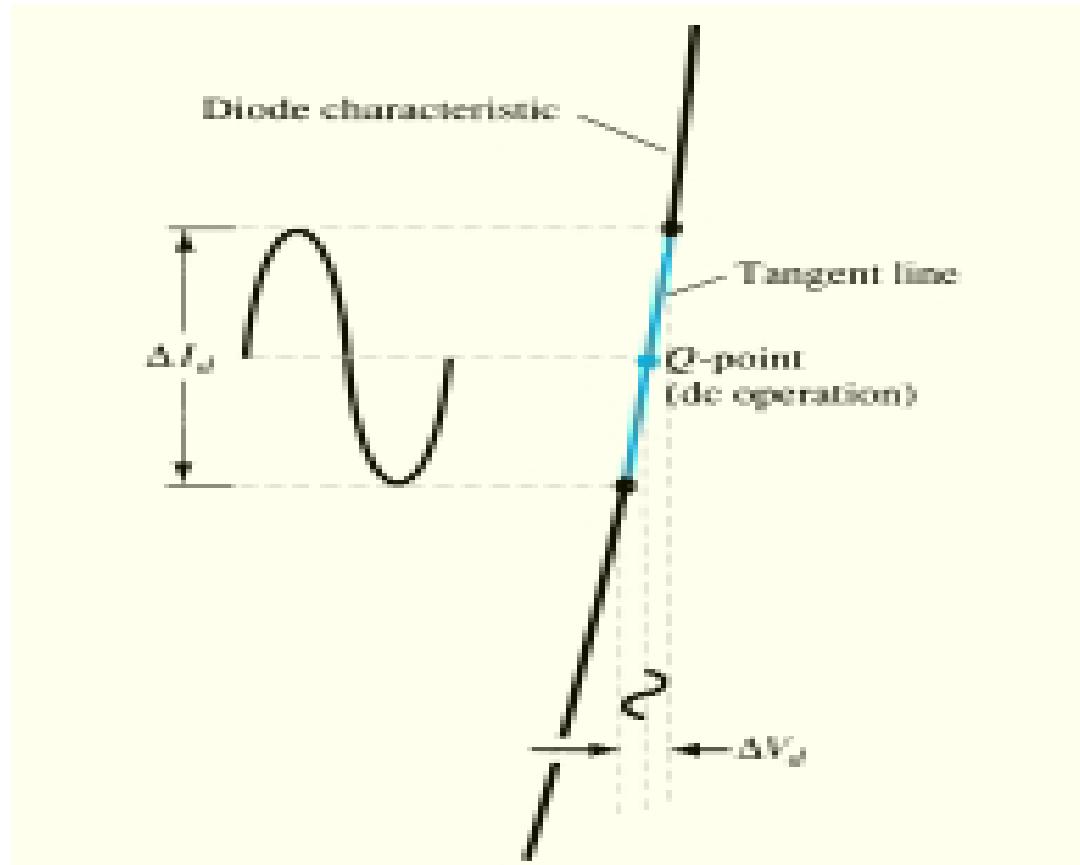
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8V}{20 \times 10^{-3} A} = 40\Omega$$

عند النقطة **Q3** وبالناتي: ($I_D = -I_S = -1\mu A$ فـان $V_D = -10V$)

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{10V}{10^{-6} A} = 10M\Omega$$

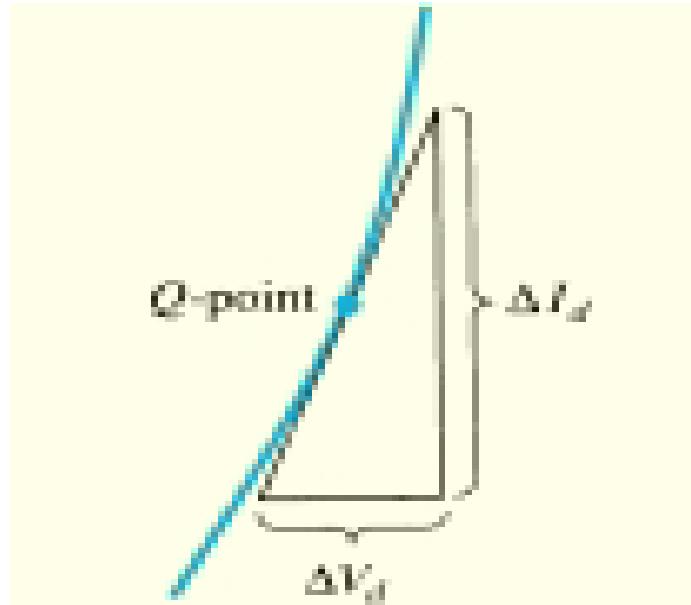
المقاومة الديناميكية (المقاومة المتناوبة AC)

عند تطبيق جهد متناوب على دارة كهربائية تحتوي ديوداً، فإن جهد الدخل المطبق سوف يغير نقطة العمل Q باتجاه الأعلى والأسفل ضمن مجال معين من المنحني المميز للديود، ويعرف تغيير محدد في التيار والجهد كما هو موضح بالشكل .(5.19)



الشكل (5.19) تحديد المقاومة الديناميكية

وبالتالي برسم ميل المنحني عند النقطة Q كما هو موضح بالشكل (5.20)



الشكل (5.20) تحديد المقاومة الديناميكية (المتناوبة) عند النقطة Q الثابتة.

فإنه يتم تعريف تغيير محدد في الجهد والتيار ويستخدمان لتعيين المقاومة الديناميكية (المتناوبة) لهذا المجال من المنحني المميز للديود، وتعطى العلاقة التالية:

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \quad (5.12)$$

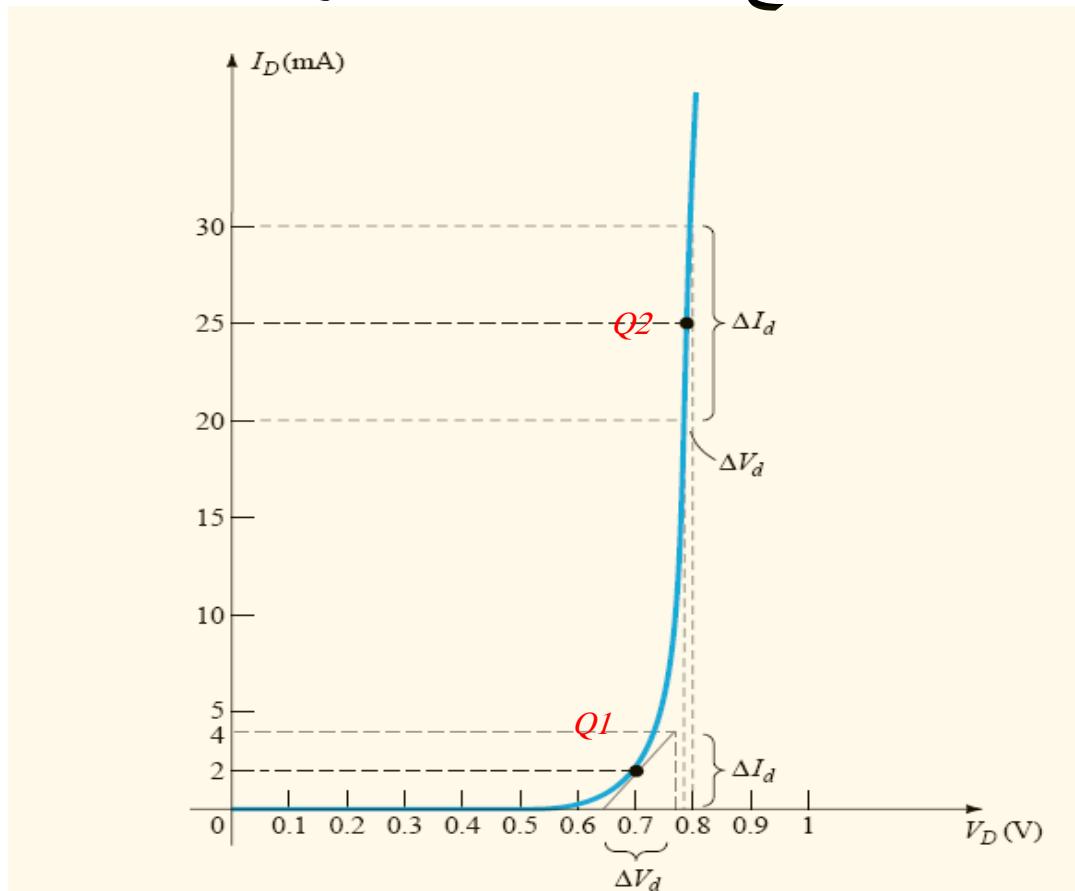
فال مقاومة المتناوبة r_d تكون صغيرة جداً في المجال الصاعد (المتزايد) من المنحني $I-V$ ، وتكون كبيرة جداً في المجال الصغير للتيار.

مثال (5.2) من المنحني المميز للديود الموضح بالشكل (E 5.2)

(a) عين المقاومة المتناوبة عندما $I_D = 2mA$

(b) عين المقاومة المتناوبة عندما $I_D = 25mA$

(c) قارن نتائج الحالتين a و b مع المقاومة المستمرة من أجل كل تيار.



الشكل (E 5.2) المنحني المميز للديود

الحل:

عندما $I_D = 2mA$ فإن ميل المحنبي عند النقطة $I_D = 2mA$ بحيث يتغير تيار الديود بـ $2mA$ نحو الأعلى وبـ $2mA$ نحو الأسفل حول نقطة العمل $Q1$ ، وبالتالي يكون لدينا:

$$\Delta I_D = 4mA - 0 = 4mA$$

ومن المحنبي نجد:

$$\Delta V_D = 0.76V - 0.65 = 0.11V$$

ومنه فالمقاومة المتناوبة:

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_D} = \frac{0.11V}{4mA} = 27.5\Omega$$

من أجل $I_D = 25mA$ فإن ميل المنحنى عند النقطة $I_D = 25mA$ يتم رسمه بحيث يتغير تيار الديود بمقدار $5mA$ نحو أعلى وأسفل نقطة العمل $Q2$ ، ويكون لدينا:

$$\Delta I_D = 30mA - 20mA = 10mA$$

ومن المنحنى نجد:

$$\Delta V_D = 0.8V - 0.78V = 0.02V$$

وبالتالي فالمقاومة المتناوبة:

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_D} = \frac{0.02V}{10mA} = 2\Omega$$

من أجل نقطة نقطة العمل $Q1$ فإن المقاومة الساكنة تساوي:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.7V}{2mA} = 350\Omega$$

وبالمقارنة مع $r_d = 27.5\Omega$ نجد أن :

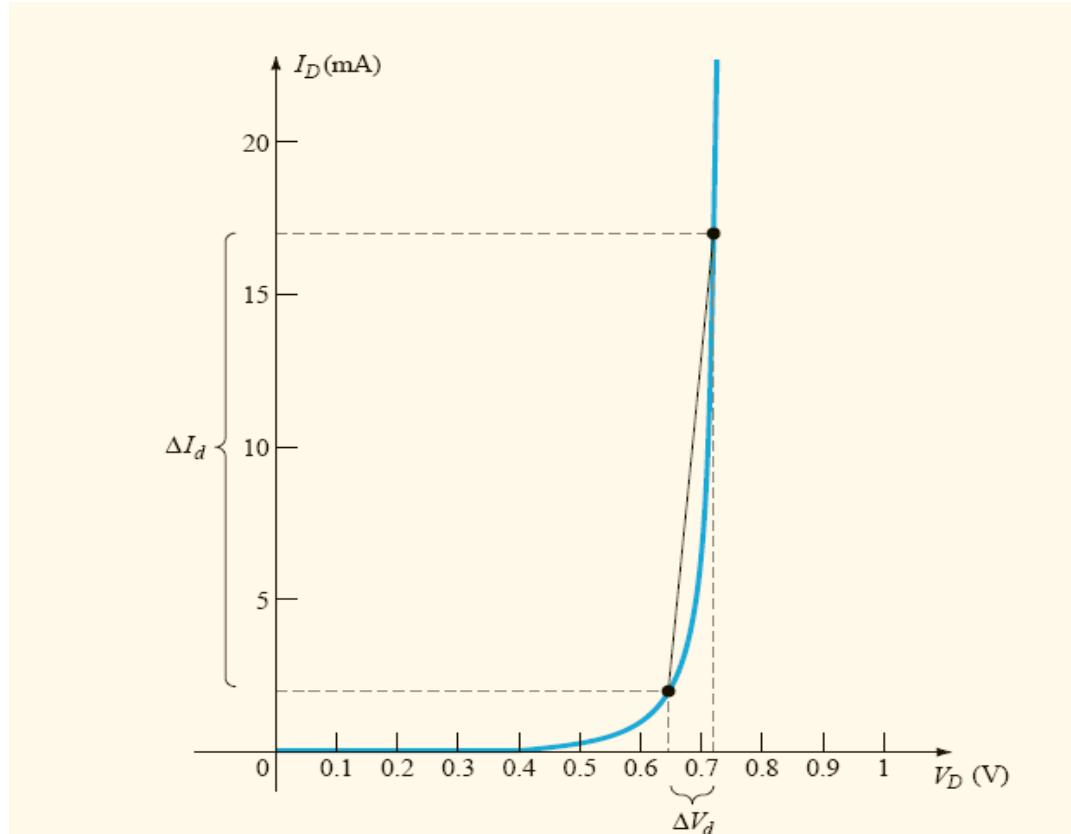
($V_D = 0.79V$ و $I_D = 25mA$) $Q2$ وكذلك من أجل نقطة العمل $Q2$ فإن المقاومة الساكنة تساوي:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.79V}{25mA} = 31.62\Omega$$

$R_D > r_d$ نجد أن: $r_d = 2\Omega$ وبالمقارنة مع

المقاومة المتناوبة المتوسطة:

عندما تطبق إشارة دخل كبيرة على الديود بحيث يكون مجال اهتزازها حول نقطة العمل واسعاً كما هو موضح بالشكل (5.20) فإن مقاومة الديود في هذه الحالة ضمن هذا المجال تدعى **بالمقاومة المتناوبة المتوسطة**.



الشكل (5.20) تعين المقاومة المتناوبة الوسطى

وتحدد المقاومة المتداولة الوسطى من ميل الخط المستقيم المار بال نقطتين والمحدد من القيمتين الصغرى والعظمى لجهد الدخل

ومن الشكل لدينا:

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \quad (5.13)$$

ومن أجل هذه الحالة لدينا:

$$\Delta I_d = 17mA - 2mA = 15mA$$

$$\Delta V_d = 0.725V - 0.65V = 0.075V$$

ومنه نجد:

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.075V}{15mA} = 5\Omega$$

5.6 سعة الانتشار والاستنراف (العبور) لليود

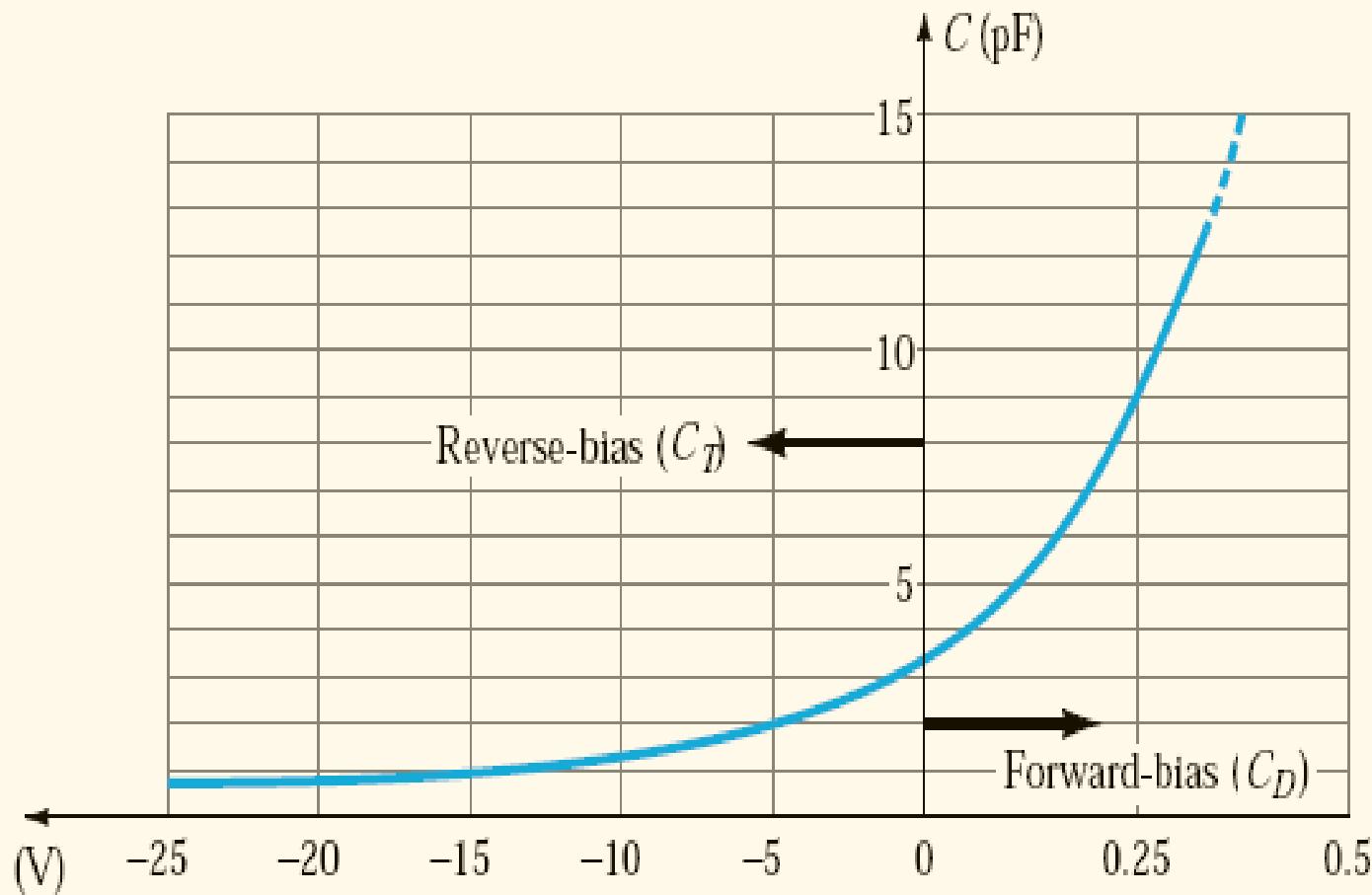
يوجد في الديود تأثيران سعويان في مجال التحييز الأمامي والعكسي. ففي مجال الانحياز العكسي توجد سعة منطقة الاستنراف (العبور) C_T . بينما في مجال الانحياز الأمامي توجد سعة الانتشار أو التخزين C_D . فمن معادلة سعة المكثفة المستوية :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

حيث : ϵ_0 : السماحية الكهربائية للعزل بين لبوسي المكثفة، و A : مساحة اللبوس و d : البعد بين اللبوسين.

ففي مجال الانحياز العكسي توجد منطقة استنراف (خالية من حاملات الشحنة) فإنها تسلك سلوك عازل بين طبقتين من الشحنات المتعاكسة، وبما أن عرض منطقة الاستنراف d يزداد بازدياد جهد الانحياز العكسي فإن سعة الاستنراف (العبور) سوف تتناقص كما هو موضح بالشكل (5.21).

وكذلك في مجال الانحياز الأمامي فإن ازدياد تدفق الشحنات المحقونة إلى منطقة العبور يؤدي إلى تناقص d وبالتالي يؤدي إلى ازدياد سعة الانتشار C_D لليود.



الشكل (5.21) سعة الانتشار والاستنفاف (العبور) كتابع لجهد الانحياز من أجل ديوان السيليكون.

مسائل الفصل الخامس

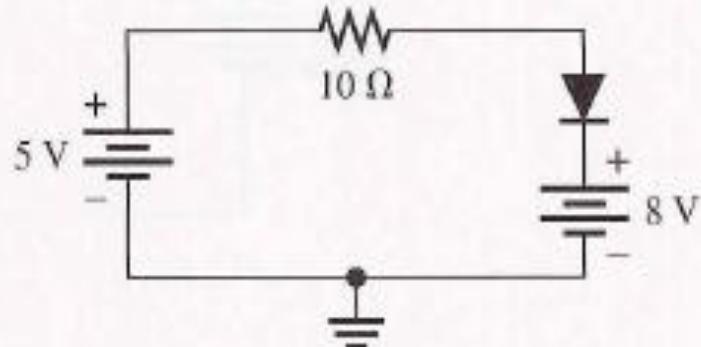
1- يلزم طاقة قدرها $eV = 48$ لنقل شحنة Q بين نقطتين فرق الكمون بينهما $V = 12$. أوجد مقدار الشحنة Q .

2- (a) أوجد تيار ديو德 السيلكون عند درجة الحرارة $T = 20^\circ C$ حيث $I_s = 50 \text{ nA}$ و جهد الانحياز المطبق يساوي 0.6 V
(Ans. : 7.197 mA)

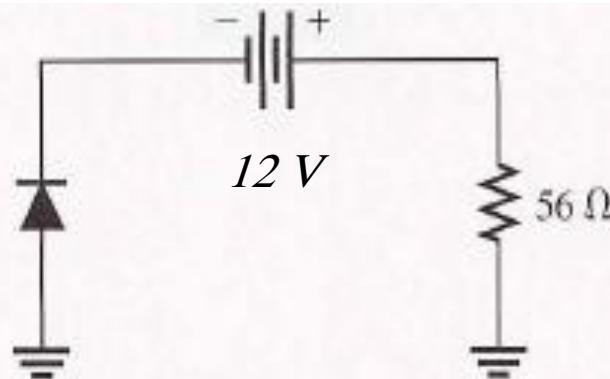
. (b) كرر الطلب (a) من أجل $T = 100^\circ C$ و باعتبار $I_s = 5 \mu A$
(Ans.: 56.35 mA)

(c) أوجد تيار الديود عند درجة الحرارة $T = 20^\circ C$ من أجل ديو德 السيلكون حيث $I_s = 0.1 \mu A$ ومن أجل جهد انحياز عكسي (-10 V) .
(Ans.: $I_D = I_s = 0.1 \mu A$)

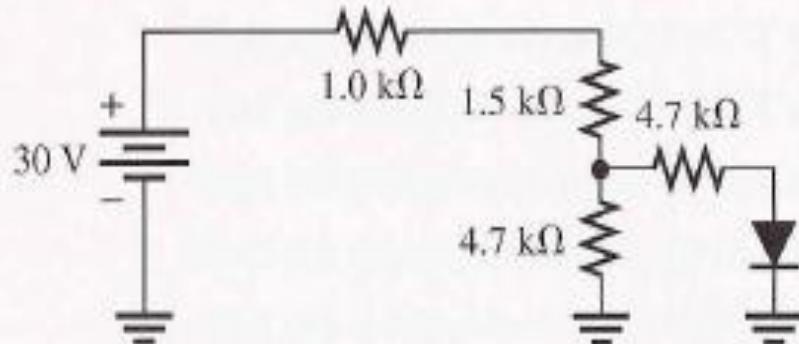
3- في الحالات المبينة أدناه. حدد أي من الديودات في حالة انحياز أمامي أو انحياز عكسي.



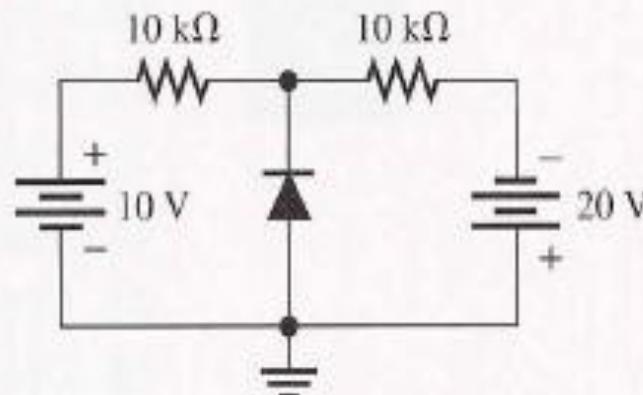
(a)



(b)

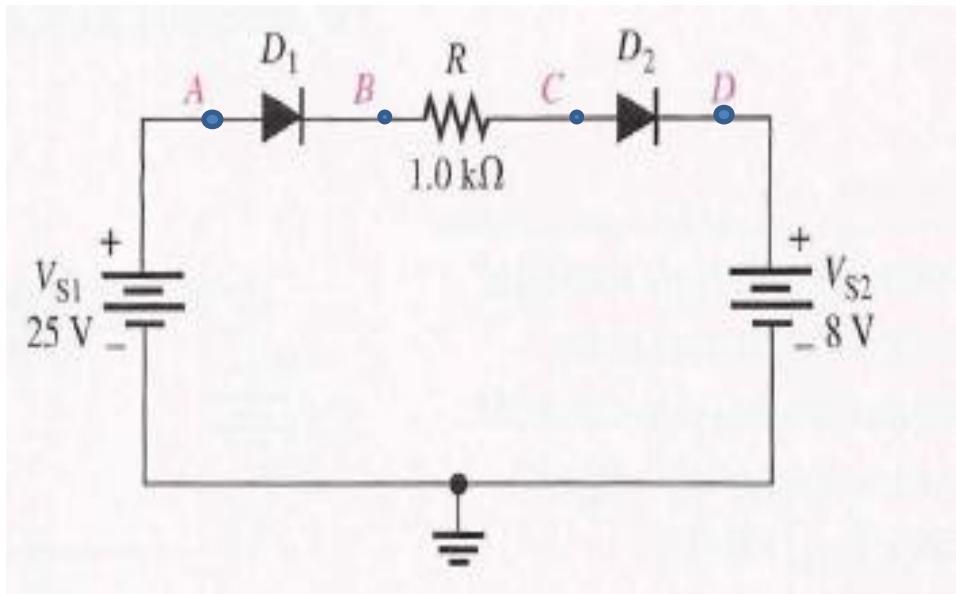


(c)

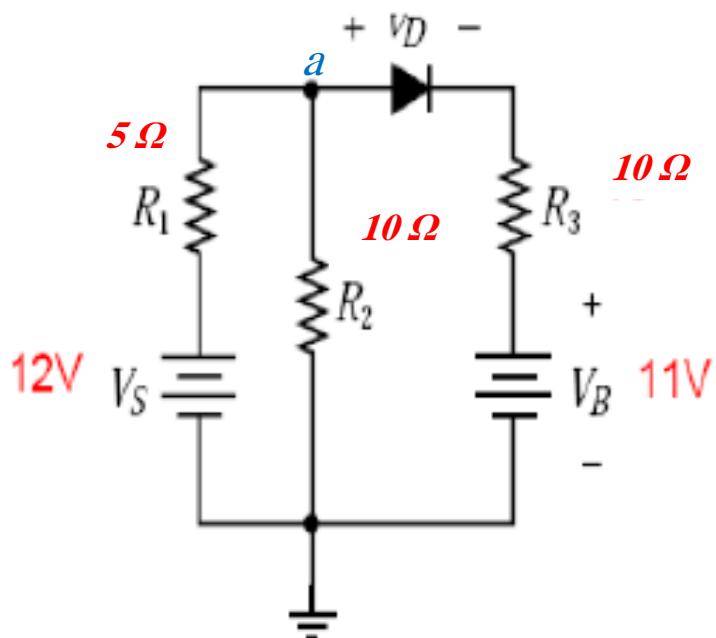


(d)

4 - حدد كمون كل نقطة من الدارة الكهربائية بالنسبة للكمون الأرضي.



5 - في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل جانباً، أوجد V_a وحدد إذا كان الديود في حالة توصيل(on)، أو في حالة قطع(off).



Thank You!!

Dr.Sadek pro



sadekpro

sadek berro

د. سعد برو



sadekpro @gmail.com

MOB 0933406346