كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكترونيات١

المحاضرة : الرابعة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

إلكترونيات 1

المحاضرة الرابعة

مميزة جهد-تيار للمتصل الثنائي

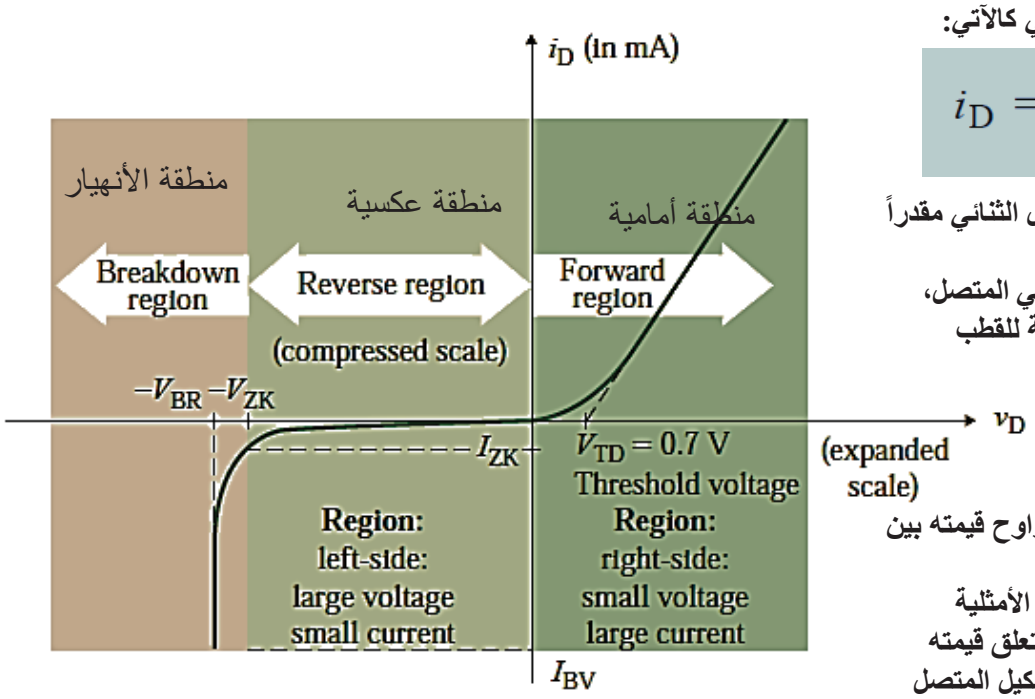
تُعطى معادلة المتصل الثنائي كالآتي:

$$i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1)$$

حيث:

i_D التيار المار خلال المتصل الثنائي مقدراً بالأمبير.

v_D الجهد المطبق على طرفي المتصل، جهد القطب الموجب بالنسبة للقطب السالب.



Voltage-versus-current characteristic of practical diode

I_S تيار الإشباع العكسي تتراوح قيمته بين 10^{-6} – 10^{-15} A.

n ثابت عملي ويسمى ثابت الأمثلية تتراوح قيمته بين 1 و 2. تتعلق قيمته بنوع المادة المستخدمة لتشكيل المتصل الثنائي. بالنسبة للجرمانيوم $n = 1$ بالنسبة للسيلكون $n = 2$. القيمة العملية للثابت n تتراوح بين 1.1 – 1.8

مميزة جهد-تيار للمتصل الثنائي

تُعطى قيمة الجهد الحراري على النحو الآتي:

$$V_T = \frac{kT_K}{q}$$

where q = electron charge = 1.6022×10^{-19} coulomb (C)
T_K = absolute temperature in kelvins = $273 + T_{Celsius}$
k = Boltzmann's constant = 1.3806×10^{-23} J per kelvin

تساوي قيمة الجهد الحراري عند درجة حرارة الغرفة 25°C على النحو الآتي:

$$V_T = \frac{kT_K}{q} = \frac{(1.3806 \times 10^{-23})(273 + 25)}{1.6022 \times 10^{-19}} = \frac{T_K}{11,605.1} \approx 25.8 \text{ mV}$$

تصنف مناطق عمل المتصل الثنائي إلى ثلاث مناطق وفقاً للجهد المطبق على طرفي المتصل الثنائي v_D على النحو الآتي:

Forward-biased region, where $v_D > 0$
Reverse-biased region, where $v_D < 0$
Breakdown region, where $-V_{ZK} > v_D > 0$

منطقة الانحياز الأمامي

- يعمل المتصل الثنائي في منطقة الانحياز الأمامي عند جهد $v_D > 0$، يمر تيار أمامي صغير جدا من أجل قيم صغيرة للجهد الأمامي، عندما يصبح الجهد المطبق أكبر من جهد العتبة threshold voltage عندها يصبح المصل الثنائي في حالة ON ويمر تيار خلال المتصل الثنائي.
- على سبيل المثال، إذا كان لدينا جهد $v_D = 0.1$ V و n =1 و $V_T = 25.8$ mV، فان التيار i_D يساوي:

$$i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1) = I_S(e^{0.1/(1\times 0.0258)} - 1) = I_S(48.23 - 1)$$
$$\approx 48.23 I_S \quad \text{with } 2.1\% \text{ error}$$

- عندما يكون المتصل في حالة الوصل الأمامي (حالة ON)، فإن التيار العكسي يكون أصغر بكثير من التيار الأمامي $i_D >> I_S$، لذلك يمكن إهماله، أي

$$i_D = I_S(e^{v_D/nV_T} - 1) \approx I_S e^{v_D/nV_T}$$

- يمكن حساب الجهد المطبق على المتصل الثنائي كالآتي:

$$v_D = nV_T \ln\left(\frac{i_D}{I_S}\right)$$

منطقتي الانحياز العكسي والانهيار

يصبح المتصل في حالة انحياز عكسي إذا كان الجهد $v_D < 0$، من أجل الحالة

$$-V_{ZK} < v_D < 0.$$

التي تُسمى المنطقة العكسية. يكون التيار المار خلال المتصل الثنائي مساوياً إلى:

$$i_D = I_S(e^{-|v_D|/nV_T} - 1) \approx -I_S$$

حيث $V_T >> |v_D|$ لذلك يهمل الجزء الأسي من المعادلة كون أصغر بكثير من 1.

عندما يكون الجهد كبير جداً أكبر من 100 V فإن المتصل الثنائي ينهار ويمر تيار عكسي كبير جداً ويبقى الجهد العكسي ثابتاً عند القيمة V_{BR} التي تسمى جهد الانهيار العكسي breakdown voltage

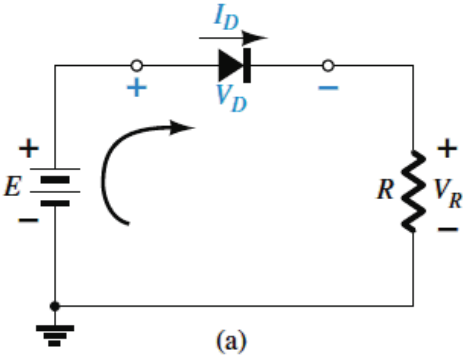
تحليل دارة المتصل الثنائي

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد، ينتج:

$$+E - V_D - V_R = 0$$

$$E = V_D + I_D R$$

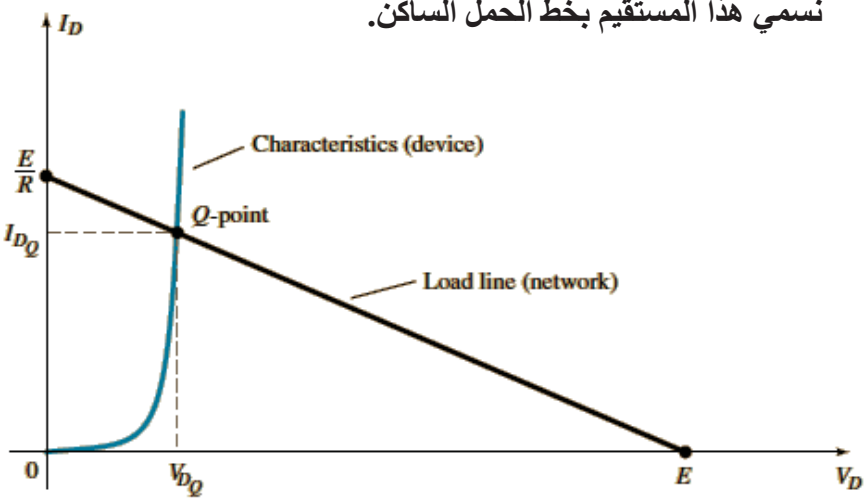
وهي عبارة عن معادلة مستقيم،
نُسمي هذا المستقيم بخط الحمل الساكن.



(a)

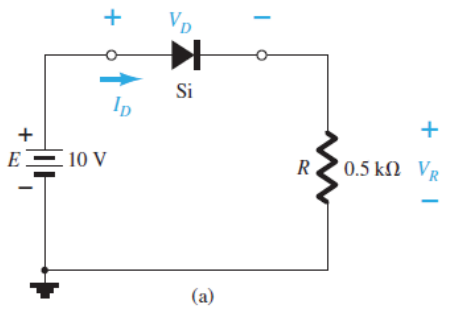
$$I_D = I_s(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

بالحل المشترك للمعدلتين، تنتج النقطة Q-point التي تُسمى **نقطة العمل الساكنة. نسمي التيار عند هذه النقطة تيار نقطة العمل I_{DQ}، والجهد عندها بجهد نقطة العمل V_{DQ}.**

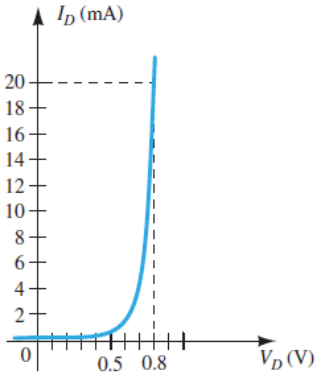


مثال

من أجل الدارة والمميزة المبينة بالشكل، جد جهد وتيار نقطة العمل.



(a)



(b)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد، ينتج:

$$+E - V_D - V_R = 0$$

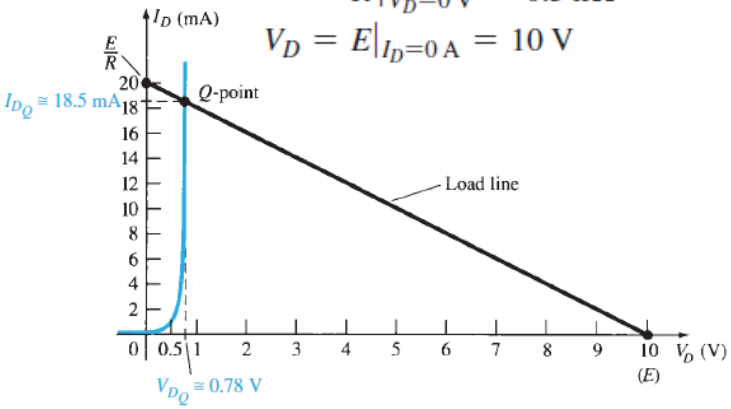
$$\boxed{E = V_D + I_D R}$$

$$I_D = \left.\frac{E}{R}\right|_{V_D=0\,\text{V}} = \frac{10\,\text{V}}{0.5\,\text{k}\Omega} = 20\,\text{mA}$$

$$V_D = E|_{I_D=0\,\text{A}} = 10\,\text{V}$$

$$V_{D_Q} \cong 0.78\,\text{V}$$

$$I_{D_Q} \cong 18.5\,\text{mA}$$



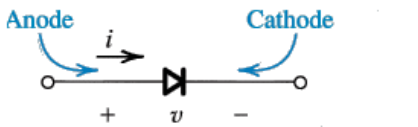
المتصل الثنائي المثالي

يعمل المتصل الثنائي المثالي كمفتاح الكتروني

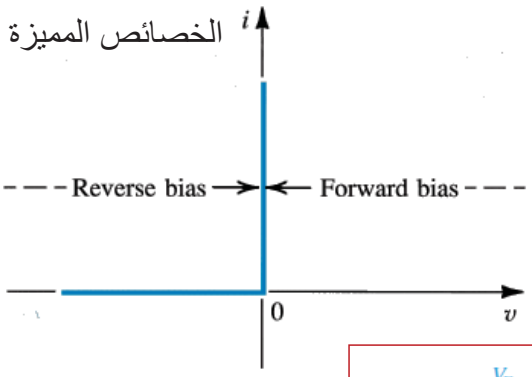
في حالة الانحياز العكسي: دارة مفتوحة، المفتاح في الحالة Off.

في حالة الانحياز الأمامي: دارة مقصورة، المفتاح في الحالة On.

الخصائص المميزة المثالية

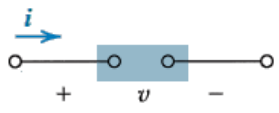


(a)



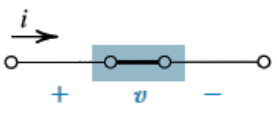
(b)

الرمز الالكتروني للمتصل الثنائي



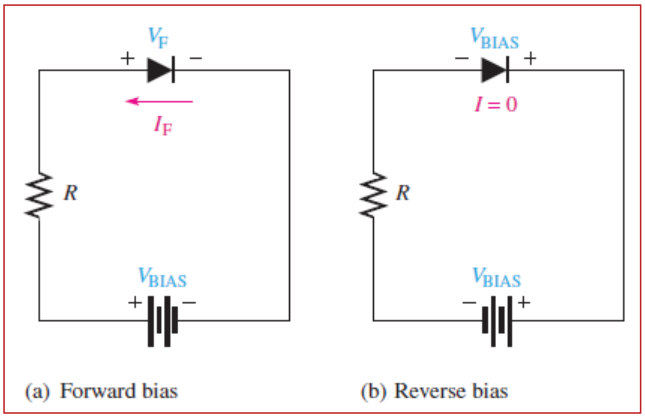
$v < 0 \Rightarrow i = 0$

(c)



$i > 0 \Rightarrow v = 0$

(d)

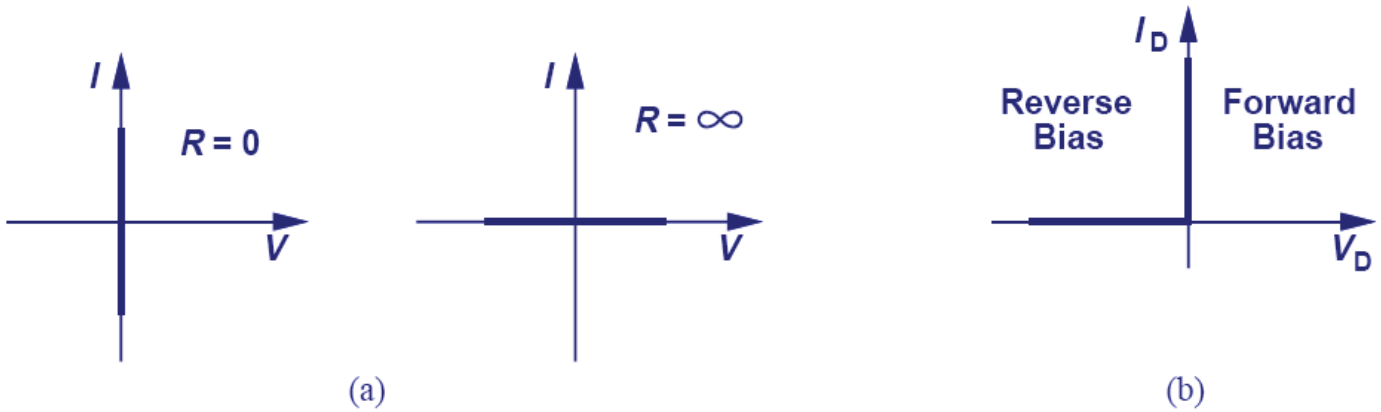


(a) Forward bias (b) Reverse bias

الدارة المكافئة للمتصل الثنائي: دارة مفتوحة (c) انحياز عكسي ،ودارة مقصورة (d) انحياز أمامي

مميزة المتصل الثنائي المثالي

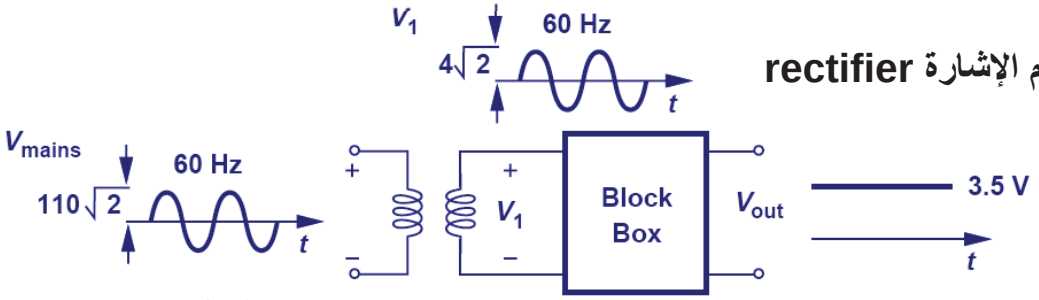
$$R = 0 \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \infty \qquad R = \infty \Rightarrow I = \frac{V}{R} = 0$$



- إذا كان الجهد المطبق على المتصل الثنائي أكبر من الصفر، تكون المقاومة للمتصل الثنائي المثالي مساوية للصفر والتيار لانهائي، أما إذا كان الجهد المطبق على المتصل الثنائي أقل من الصفر تكون المقاومة للمتصل الثنائي المثالي لانهائية والتيار معدوم.

تطبيقات المتصل الثنائي: خلية شحن الهاتف

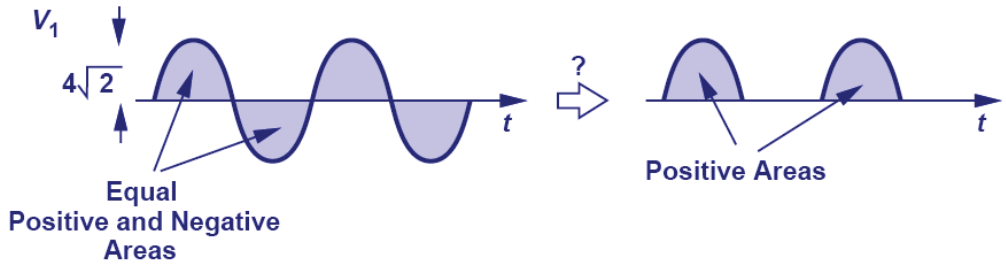
دارة مقوم الإشارة rectifier



إشارة الدخل عبارة عن إشارة متناوبة

إشارة الخرج: مستمرة DC

(a)

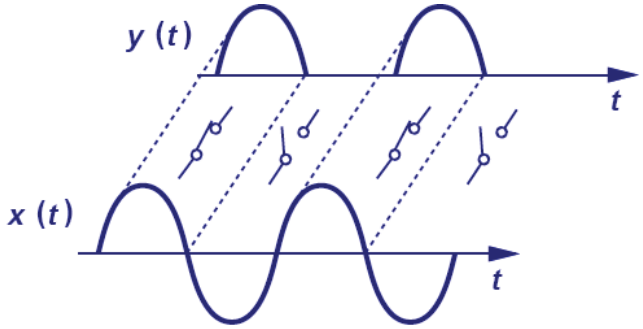


(b)

أحد أهم التطبيقات للمتصل الثنائي عمله كشاحن charger.

يقوم المتصل الثنائي فقط بتمرير الجزء الموجب من إشارة الدخل المتناوبة.

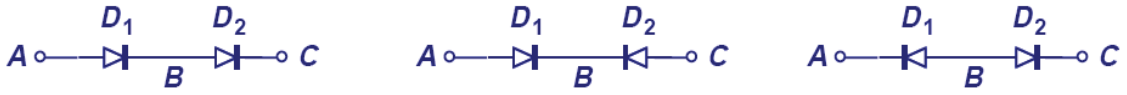
آلية عمل المتصل الثنائي المثالي



إشارة الخرج

إشارة الدخل

يسلك المتصل الثنائي سلوك دارة مقصورة خلال الجزء الموجب من إشارة الدخل (حالة الانحياز الأمامي)، يسمح بتمرير إشارة الدخل.
يسلك المتصل الثنائي سلوك دارة مفتوحة خلال الجزء السالب من إشارة الدخل (حالة الانحياز العكسي)، يمنع الجزء السالب من المرور.

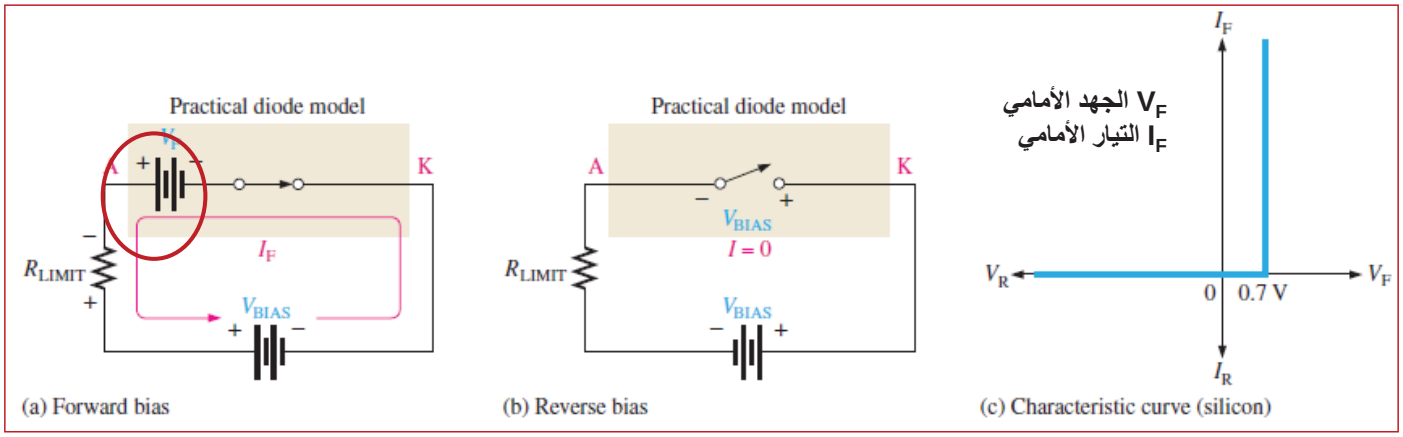


(a) (b) (c)

لا يمكن وصل المتصلات الثنائية على التسلسل بشكل عشوائي، فقط الحالة (a) هي الحالة المسموحة التي تسمح بمرور التيار في حالة الانحياز الأمامي، بينما الحالة (b) والحالة (c) حالات ممنوعة.

النموذج العملي للمتصل الثنائي

يتضمن النموذج العملي للمتصل الثنائي حاجز كموني.
يتم تمثيل الحاجز الكموني بمنبع جهد وهو يمثل الجهد اللازم لتجاوز الحاجز، وهو ليس مصدراً فعّالاً للجهد الكهربائي.



Forward bias: By applying Kirchhoff's voltage law

$$V_{BIAS} - V_F - V_{R_{LIMIT}} = 0$$

$$V_{R_{LIMIT}} = I_F R_{LIMIT}$$

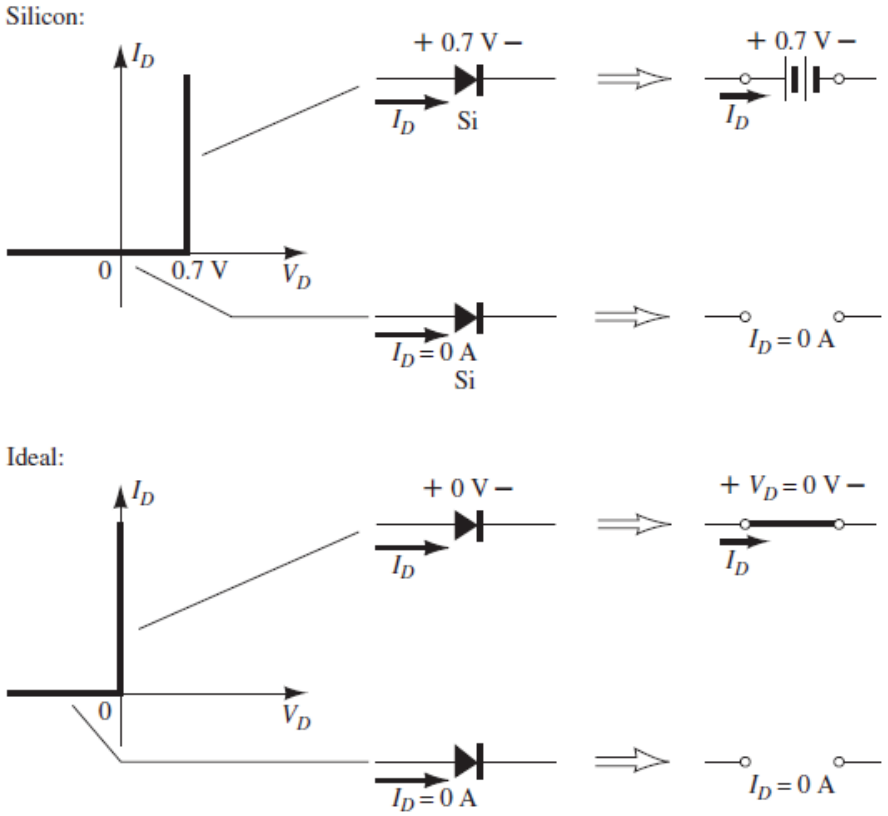
$$I_F = \frac{V_{BIAS} - V_F}{R_{LIMIT}}$$

Reverse bias

$$I_R = 0\ A$$

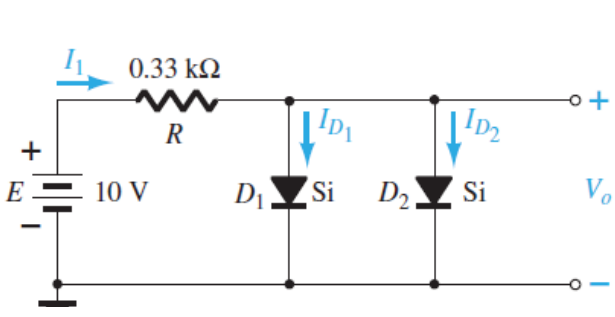
$$V_R = V_{BIAS}$$

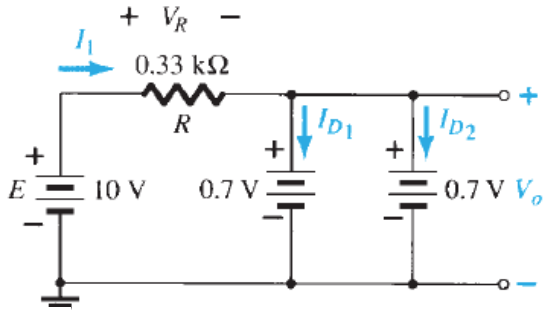
نماذج المتصل الثنائي العملي والمثالي



مثال

من أجل الدارة المبينة في الشكل، أوجد V_o, I, I_{D2}, I_{D1}.





$$V_o = \mathbf{0.7\ V}$$

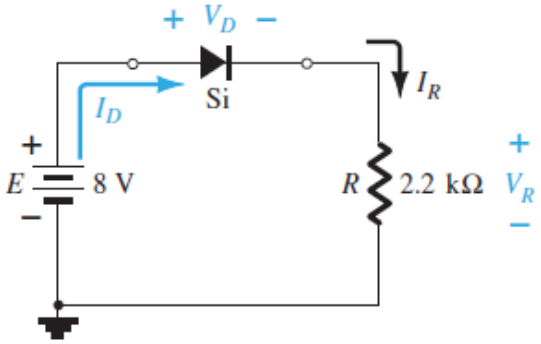
كما هو واضح فإن المتصل الأول والثاني في الحالة ON، تصبح الدارة كما هو مبين أعلاه.

$$I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10\ \text{V} - 0.7\ \text{V}}{0.33\ \text{k}\Omega} = \mathbf{28.18\ mA}$$

$$I_{D_1} = I_{D_2} = \frac{I_1}{2} = \frac{28.18\ \text{mA}}{2} = \mathbf{14.09\ mA}$$

مثال

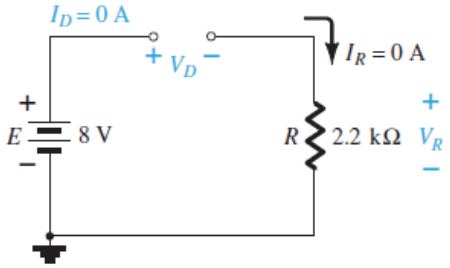
من أجل الدارة المبينة في الشكل، أوجد V_D, V_R, I_D.



اتجاه التيار ID يشير أن المتصل الثنائي في الحالة ON.

$$V_D = 0.7\ \text{V}$$
$$V_R = E - V_D = 8\ \text{V} - 0.7\ \text{V} = 7.3\ \text{V}$$
$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3\ \text{V}}{2.2\ \text{k}\Omega} \cong 3.32\ \text{mA}$$

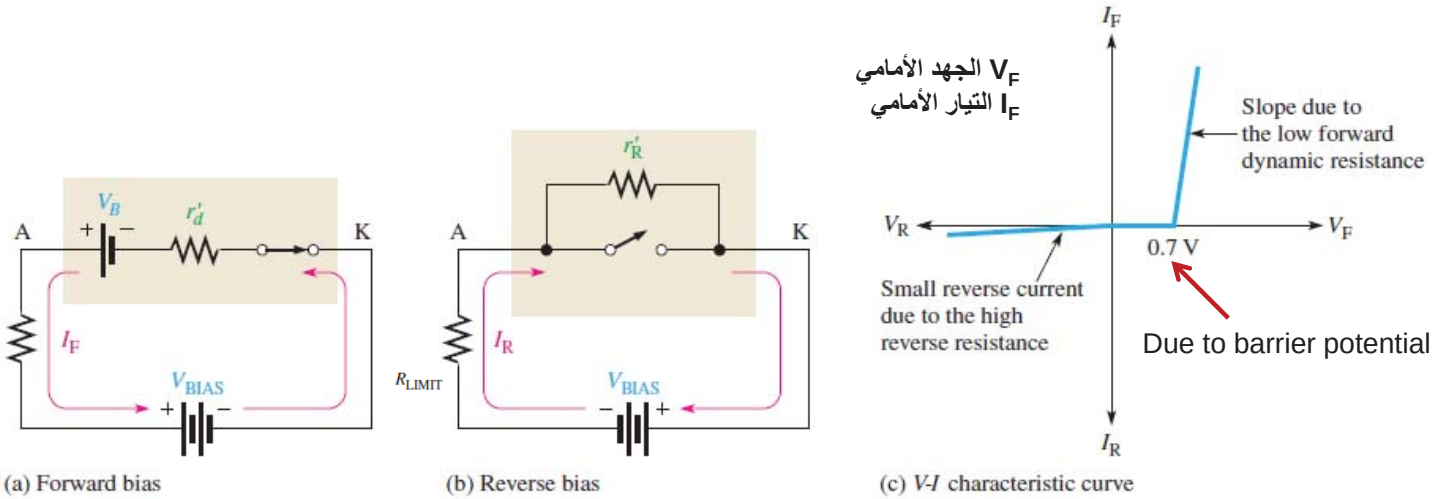
في حال عكسنا اتجاه المتصل الثنائي، يكون في هذه الحالة المتصل في الحالة OFF، بتطبيق كيرشوف ينتج:



$$E - V_D - V_R = 0$$
$$V_D = E - V_R = E - 0 = E = 8\ \text{V}$$

النموذج الكامل للمتصل الثنائي

بالنسبة للنموذج الكامل للمتصل الثنائي: يُكافئ المتصل الثنائي بمقاومة صغيرة جداً r'_d في حالة الانحياز الأمامي.
ويكافئ المتصل الثنائي بمقاومة كبيرة جداً r'_R في حالة الانحياز العكسي.

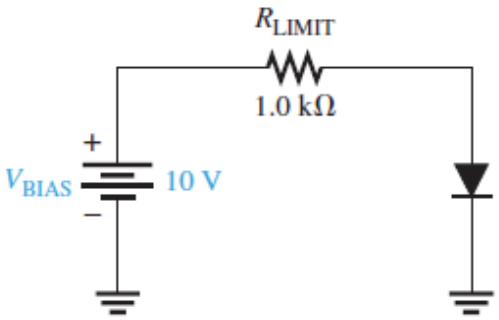


(a) Forward bias (b) Reverse bias (c) *V-I* characteristic curve

$$V_F = 0.7\ \text{V} + I_F r'_d$$
$$I_F = \frac{V_{BIAS} - 0.7\ \text{V}}{R_{LIMIT} + r'_d}$$

مثال

أوجد الجهد والتيار الأمامي للمتصل الثنائي للنموذج المثالي والنموذج العملي والنموذج الكامل للدارة المبينة في الشكل.



Ideal model:

$$V_F = \mathbf{0\ V}$$

$$I_F = \frac{V_{BIAS}}{R_{LIMIT}} = \frac{10\ V}{1.0\ k\Omega} = \mathbf{10\ mA}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = I_F R_{LIMIT} = (10\ mA)(1.0\ k\Omega) = \mathbf{10\ V}$$

Practical model:

$$V_F = \mathbf{0.7\ V}$$

$$I_F = \frac{V_{BIAS} - V_F}{R_{LIMIT}} = \frac{10\ V - 0.7\ V}{1.0\ k\Omega} = \frac{9.3\ V}{1.0\ k\Omega} = \mathbf{9.3\ mA}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = I_F R_{LIMIT} = (9.3\ mA)(1.0\ k\Omega) = \mathbf{9.3\ V}$$

Complete model:

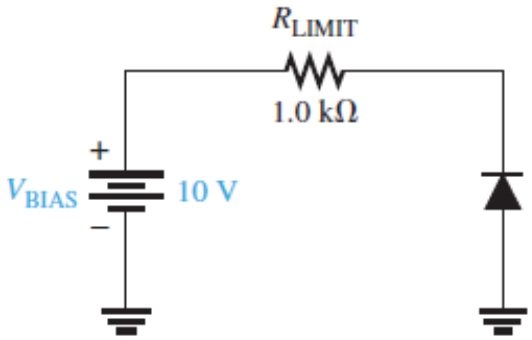
$$I_F = \frac{V_{BIAS} - 0.7\ V}{R_{LIMIT} + r'_d} = \frac{10\ V - 0.7\ V}{1.0\ k\Omega + 10\ \Omega} = \frac{9.3\ V}{1010\ \Omega} = \mathbf{9.21\ mA}$$

$$V_F = 0.7\ V + I_F r'_d = 0.7\ V + (9.21\ mA)(10\ \Omega) = \mathbf{792\ mV}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = I_F R_{LIMIT} = (9.21\ mA)(1.0\ k\Omega) = \mathbf{9.21\ V}$$

مثال

أوجد الجهد والتيار الأمامي للمتصل الثنائي للنموذج المثالي والنموذج العملي والنموذج الكامل للدارة المبينة في الشكل.



Ideal model:

$$I_R = \mathbf{0\ A}$$

$$V_R = V_{BIAS} = \mathbf{10\ V}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = \mathbf{0\ V}$$

Practical model:

$$I_R = \mathbf{0\ A}$$

$$V_R = V_{BIAS} = \mathbf{10\ V}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = \mathbf{0\ V}$$

Complete model:

$$I_R = \mathbf{1\ \mu A}$$

$$V_{R_{LIMIT}} = I_R R_{LIMIT} = (1\ \mu A)(1.0\ k\Omega) = \mathbf{1\ mV}$$

$$V_R = V_{BIAS} - V_{R_{LIMIT}} = 10\ V - 1\ mV = \mathbf{9.999\ V}$$