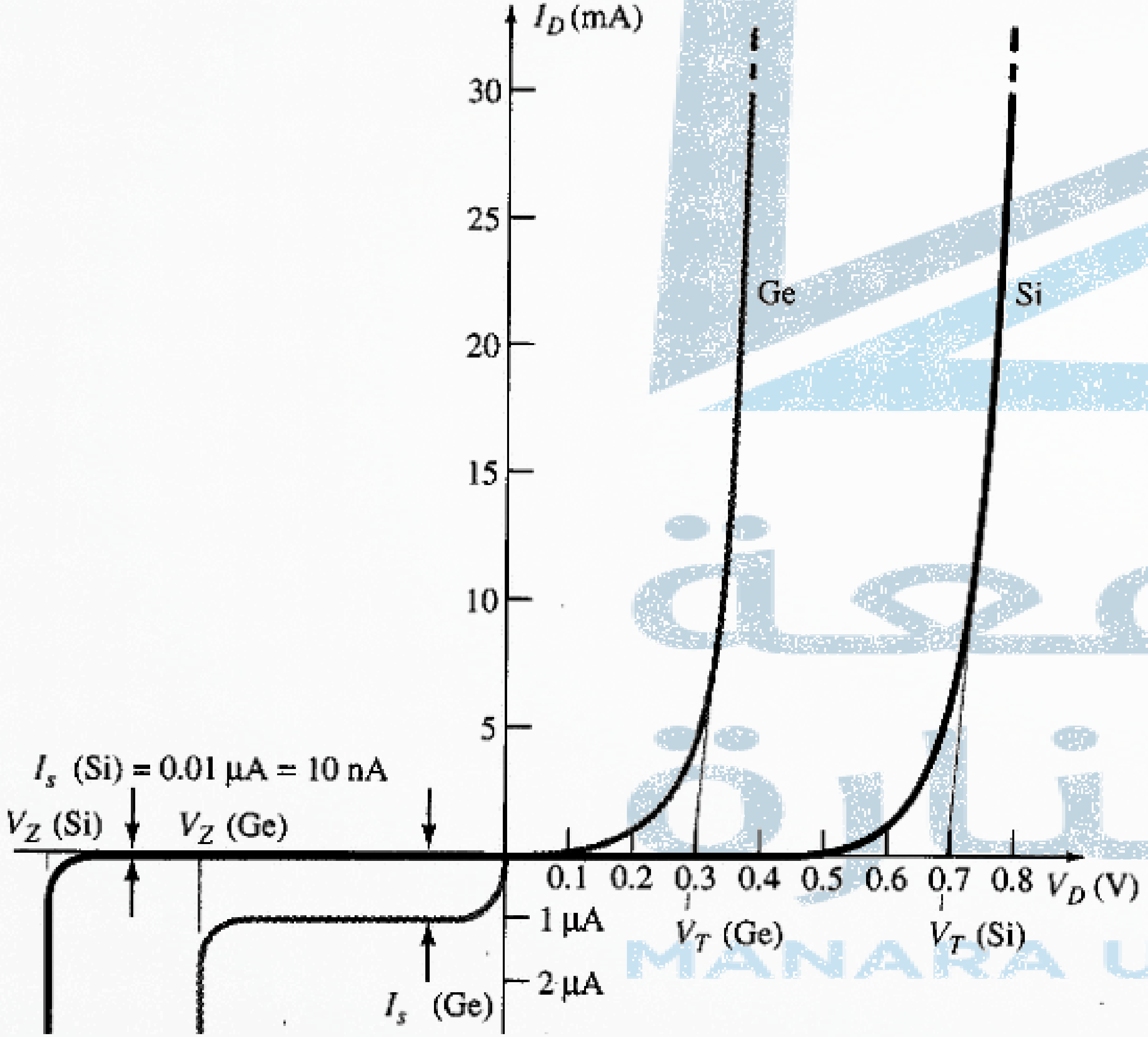
Lecture 3

DIODE EQUIVALENT CIRCUIT

DR. BASSAM ATIEH

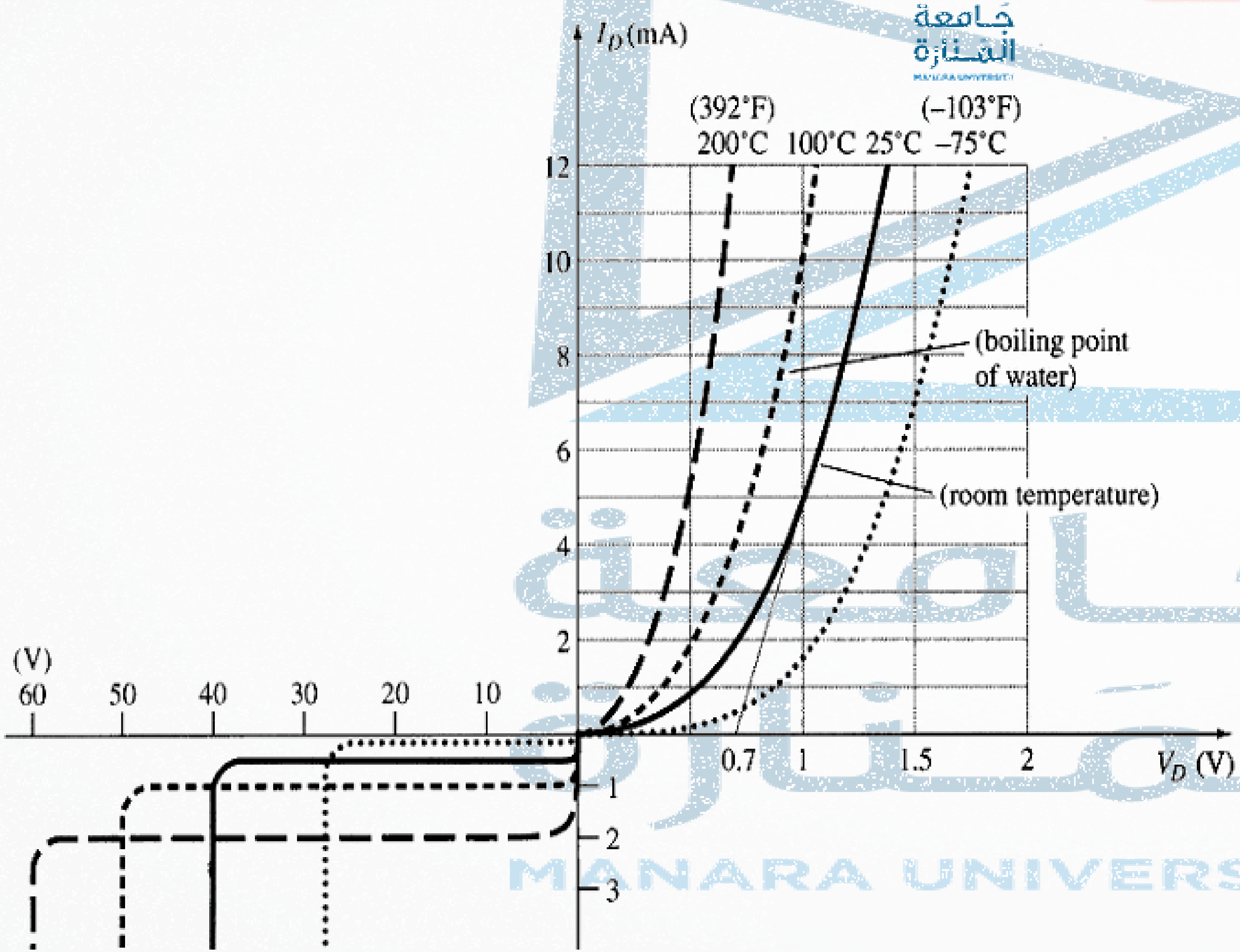
المقارنة بين ثنائيات السيلكون و الجرمانيوم:



- تمتلك ثنائيات السيلكون Si تيارات أكبر من تيارات ثنائيات الجرمانيوم Ge
- كما أنها تمتلك أيضاً PIV أعلى .
- تعمل ضمن مجال حراري أوسع من تلك الخاصـــة بثنائيات الـــ Ge
- إن معدل PIV لثنائيات السيلكون هي بحـــدود 1000Volts للجرمانيوم 400Volts .
- يمكن للثنائيات السيلكونية أن تعمل في مجال حراري 200 C° للجرمانيوم(100C°).
- جهـــد العتبـــة

$$V_T = 0.7 \text{ (Si)}$$
$$V_T = 0.3 \text{ (Ge)}$$

Temperature Effects : تأثيرات الحرارة



بزيادة درجة الحرارة

زيادة في تيار الإشباع العكسي I_s

ينخفض جهد العتبة

Resistance Levels

Semiconductors react differently to DC and AC currents.

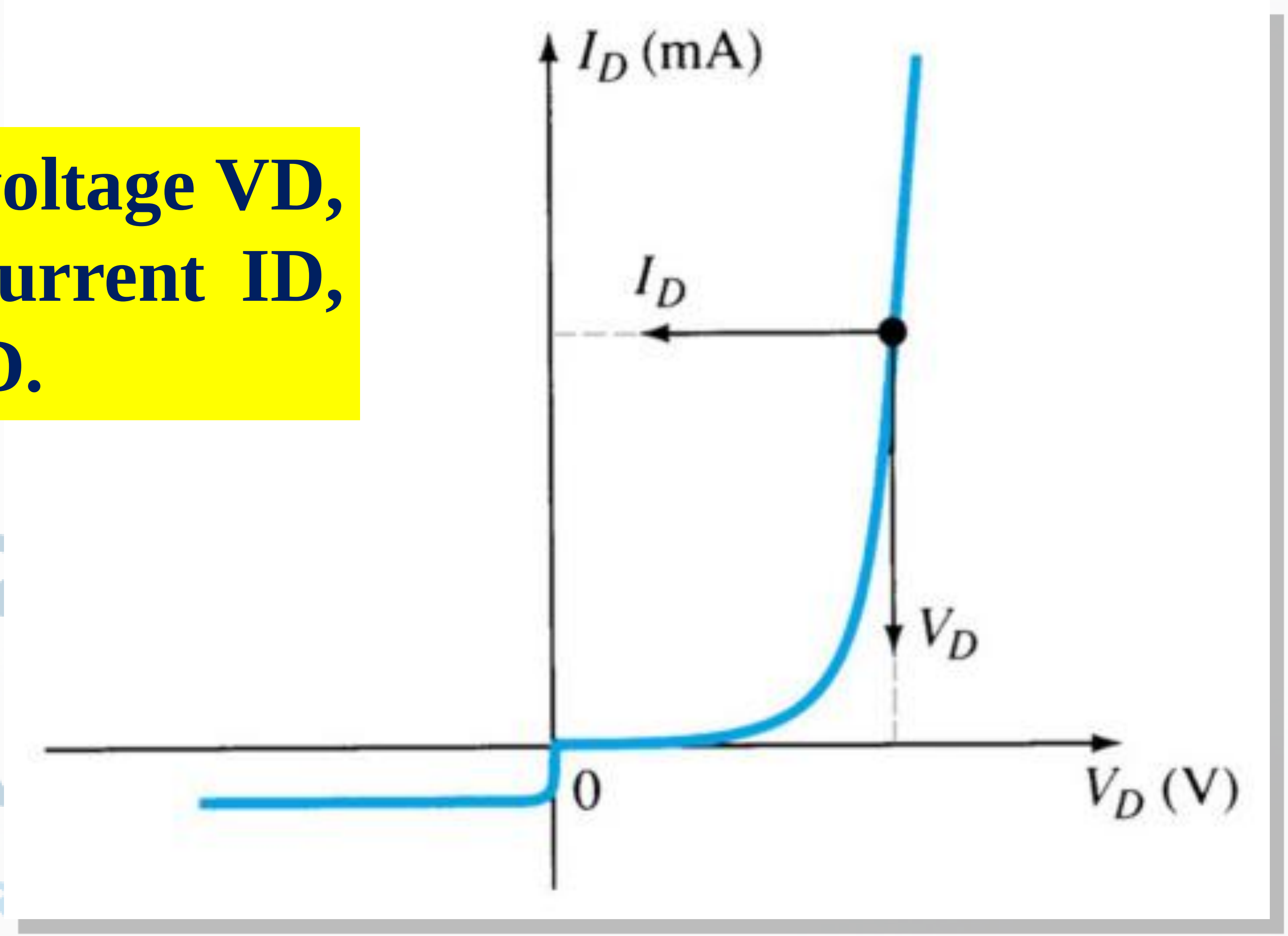
There are three types of resistance:

- **DC (static) resistance**
- **AC (dynamic) resistance**
- **Average AC resistance**

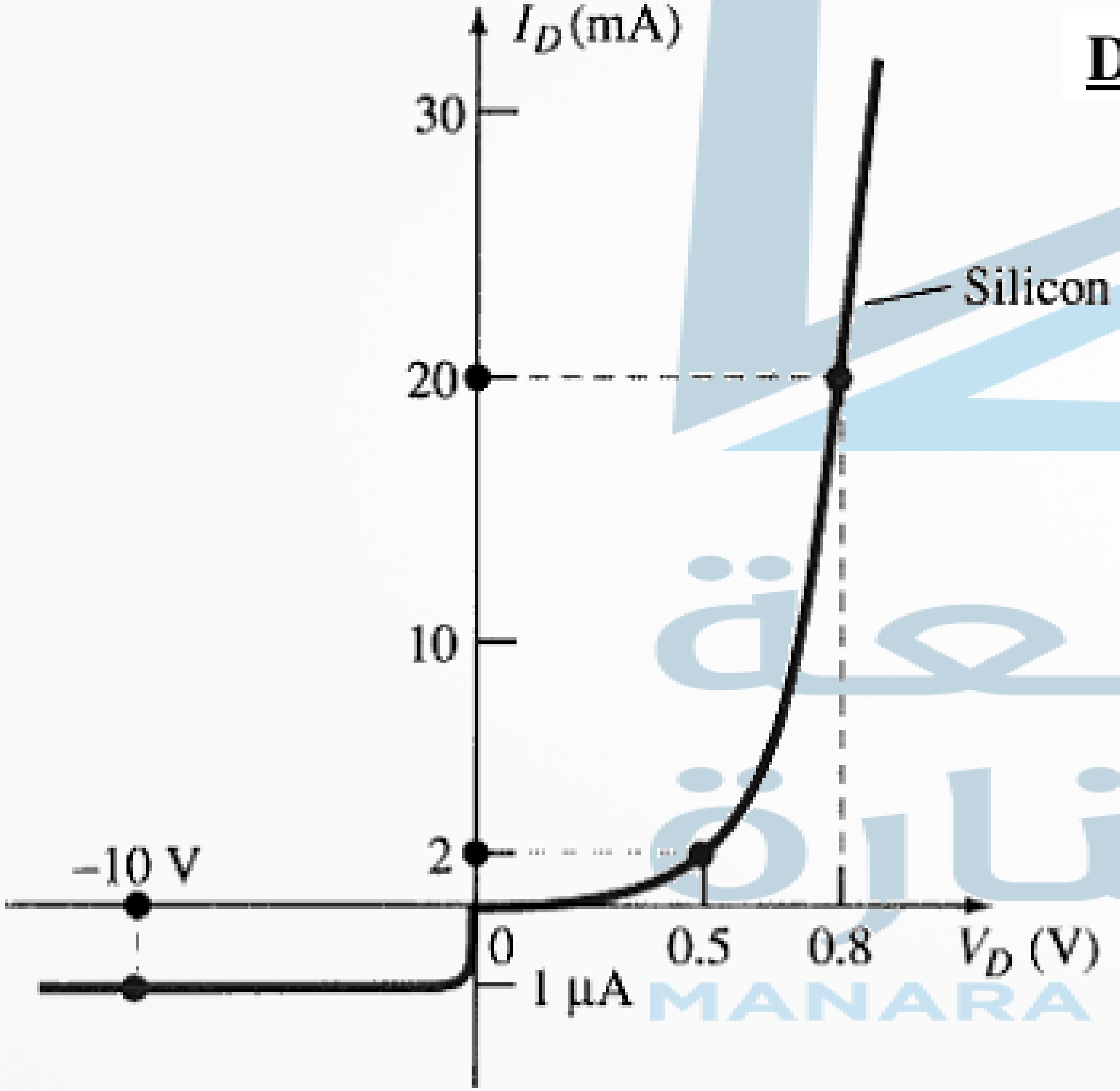
DC (Static) Resistance

For a specific applied DC voltage VD, the diode has a specific current ID, and a specific resistance RD.

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



Resistance Levels



DC or Static Resistance المقاومة الساكنة (المستمرة)

1- عندما $I_D = 2mA$ يكون $V_D = 0.5V$ $\Leftarrow$

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

2- عندما $I_D = 20\ mA$ فإن $\Leftarrow$ $V_D = 0.8V$ $\Leftarrow$

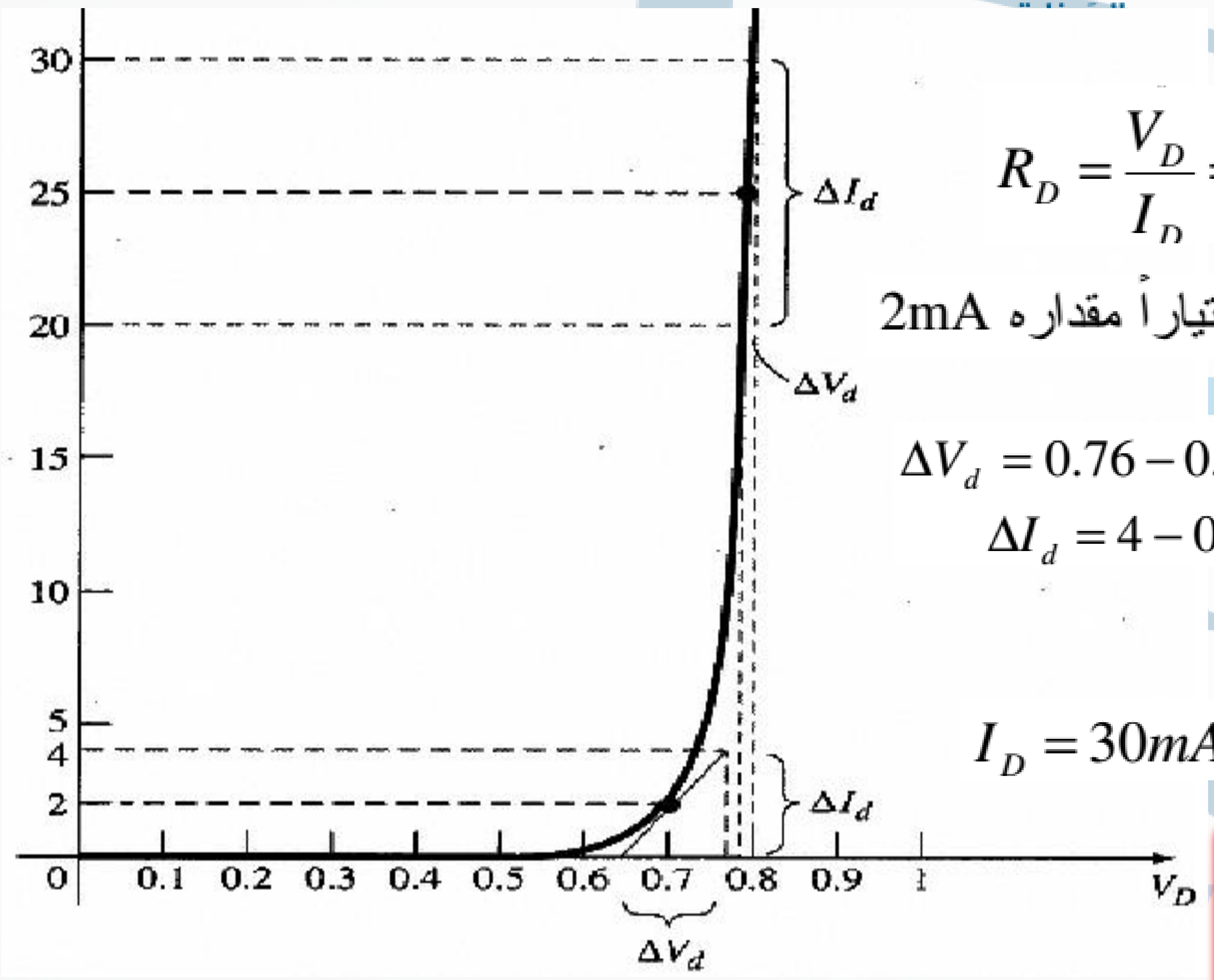
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8V}{20*10^{-3}} = 40\Omega$$

3- عندما $V_D = -10V$ فإن $I_D = -I_s = -1\ A$ $\Leftarrow$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10V}{-1*10^{-6}A} = 10M\Omega$$

AC (Dynamic) Resistance

$$r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta I_D}$$



عندما يكون تيار الديود $I_D = 2mA$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.7V}{2*10^{-3}A} = 350\Omega$$

المقاومة الساكنة

نرسم مماس منحني الخواص في النقطة التي تعطي تياراً مقداره 2mA

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

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

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

عندما يكون تيار الديود $I_D = 25mA$

$$I_D = 30mA \Rightarrow V_D = 0.8V; \quad I_D = 20mA \Rightarrow V_D = 0.78V.$$

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

AC (Dynamic) Resistance

جَـامعة المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

$$I_D = I_s(e^{KV_D/T_K} - 1)$$

بأخذ مشتق هذه العلاقة بالنسبة للجهد نجد:

$$\frac{d}{dV_D}(I_D) = \frac{d}{dV_D}\left[I_s(e^{\frac{KV_D}{T_K}} - 1)\right] = \frac{K}{T_K}(I_S * e^{\frac{KV_D}{T_K}}) = \frac{K}{T_K}(I_S + I_D)$$

ذلك لأن :

$$I_D = I_s e^{KV_D/T_K} - I_S) \Rightarrow \quad I_D + I_S = I_S * e^{\frac{KV_D}{T_K}}$$

وبما أن $I_D >> I_S$

$$\frac{dI_D}{dV_D} \cong \frac{K}{T_K} * I_D$$

وعلى اعتبار أن $\eta = 1$ في الجزء العمودي من منحني الخواص للجرمانيوم والسيلكون علـــى السواء فإننا نستطيع أن نكتب:

$$K = 11.6/\eta = 11.6/1 = 11.6$$

وتكون T_K عند العمل في درجة حرارة الغرفة هي:

$$K/T_K = 11.6*10^{+3}/298 = 38.93 \qquad T_K = T_C + 273 = 25 + 273 = 298\ K^0$$

$$\frac{dI_D}{dV_D} = 38.93 I_D \Rightarrow \quad \frac{dV_D}{dI_D} = \frac{1}{38.93 I_D} \cong \frac{0.026}{I_D} \Rightarrow$$

$$\boxed{r_d = \frac{26\ \text{mV}}{I_D}} \quad \text{Ge,Si}$$

AC (Dynamic) Resistance

In the forward bias region:

$$r'_d = \frac{26\,\mathrm{mV}}{I_D} + r_B$$

- **The resistance depends on the amount of current (I_D) in the diode.**
- **The voltage across the diode is fairly constant (26 mV for 25°C).**
- **r_B ranges from a typical 0.1 Ω for high power devices to 2 Ω for low power, general purpose diodes. In some cases r_B can be ignored.**

In the reverse bias region:

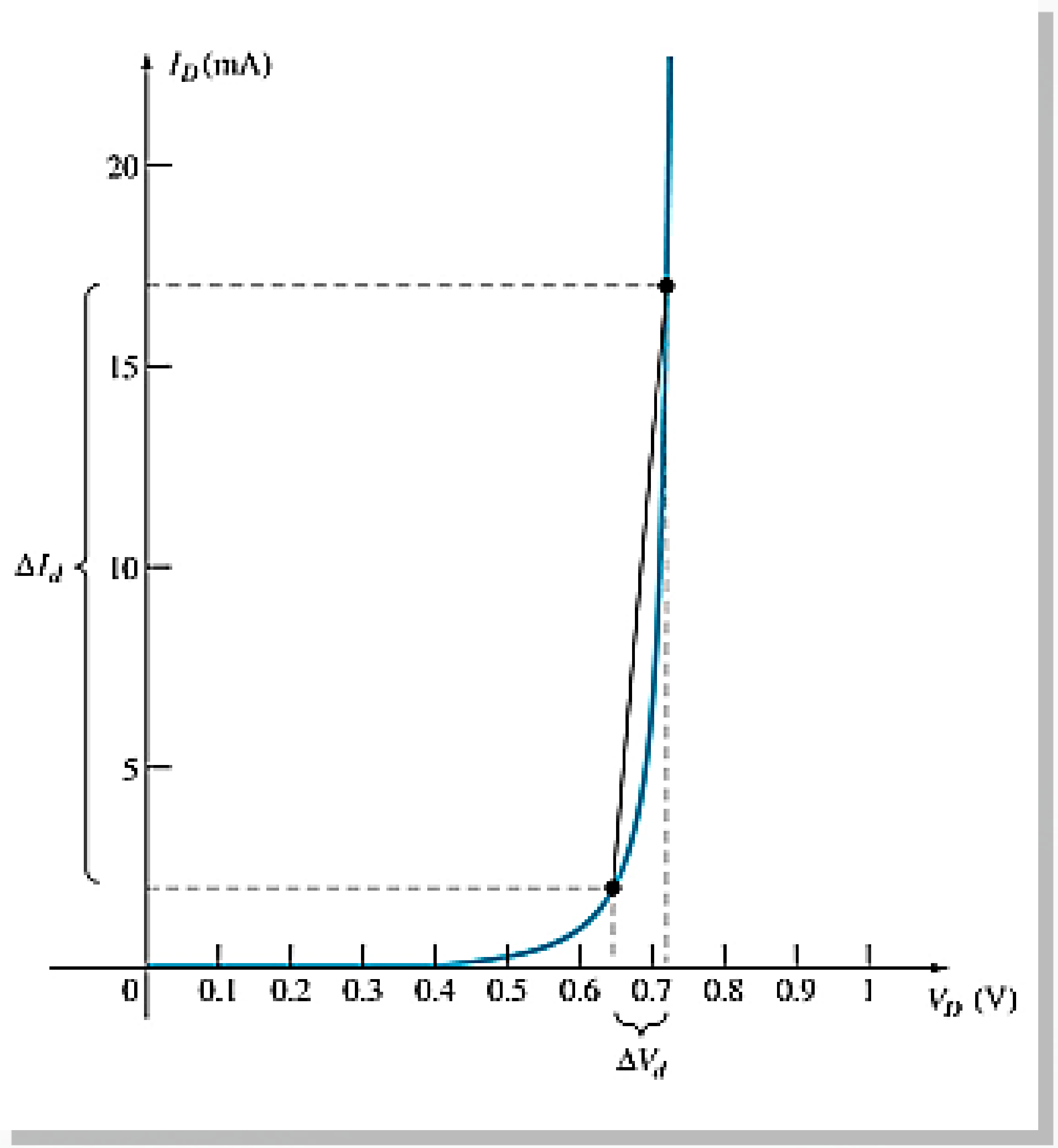
$$\mathrm{r}'_\mathrm{d} = \infty$$

The resistance is effectively infinite. The diode acts like an open.

Average AC Resistance

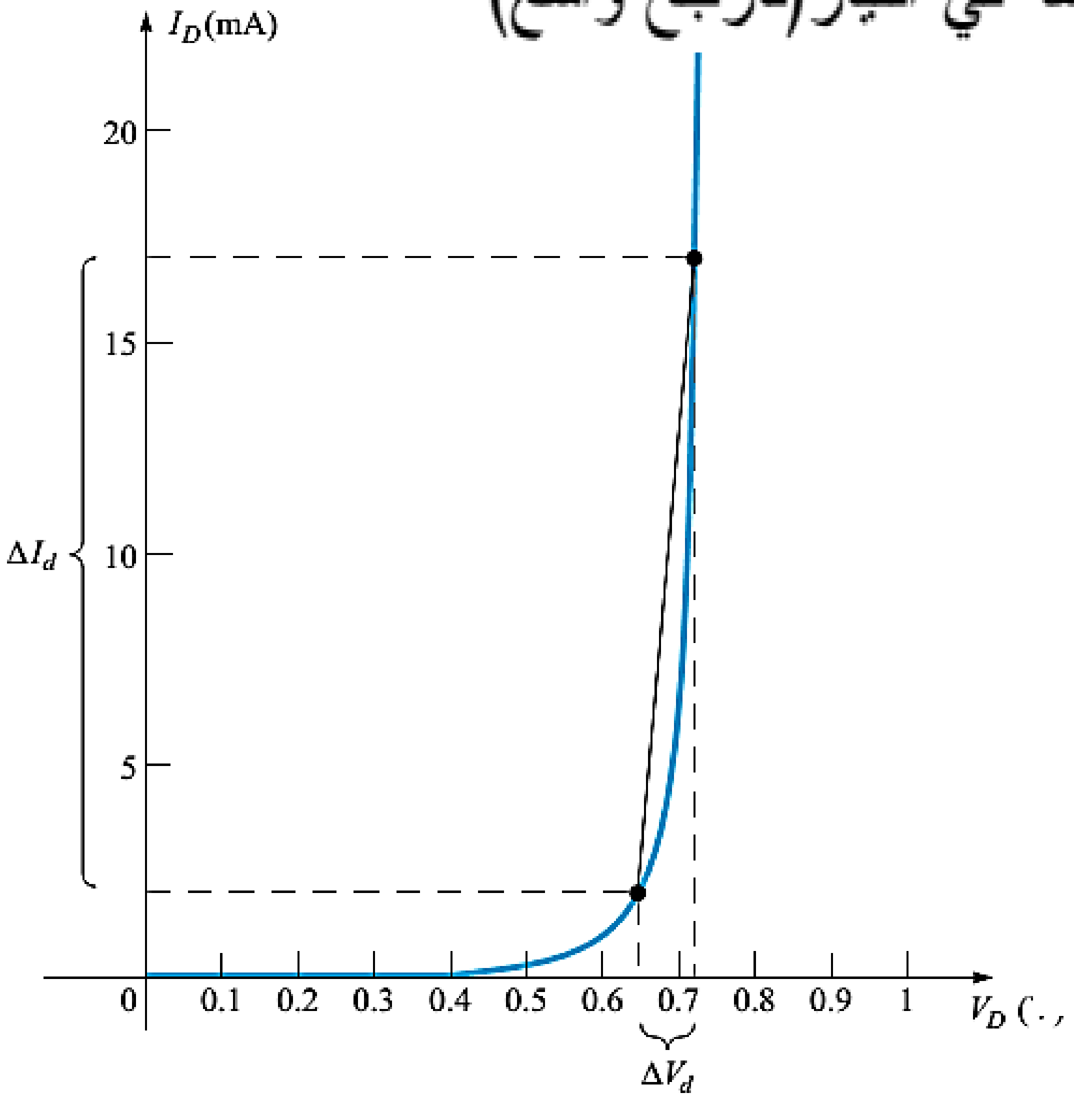
$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \Bigg| \text{pt. to pt.}$$

AC resistance can be calculated using the current and voltage values for two points on the diode characteristic curve.



Average AC Resistance

إذا كانت إشارة الدخل كبيرة بشكل كافٍ لتعطي تغيرات عريضة في التيار (تأرجح واسع)



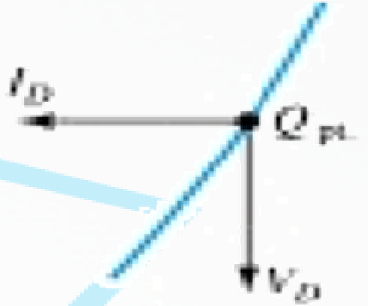
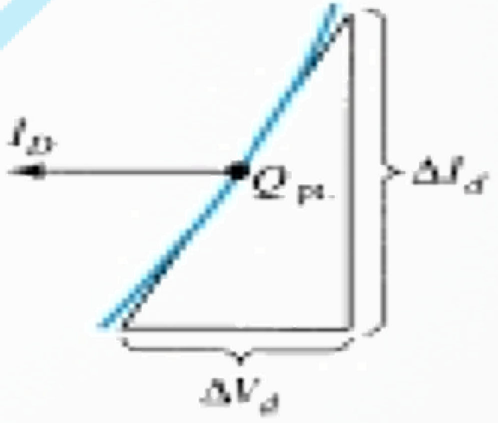
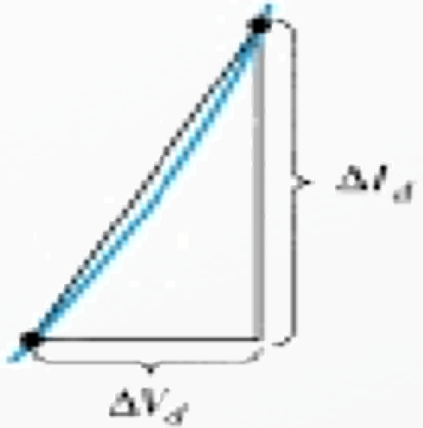
$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}\bigg|_{\text{pt. to pt.}}$$

$$\Delta I_d = 17\text{ mA} - 2\text{ mA} = 15\text{ mA}$$

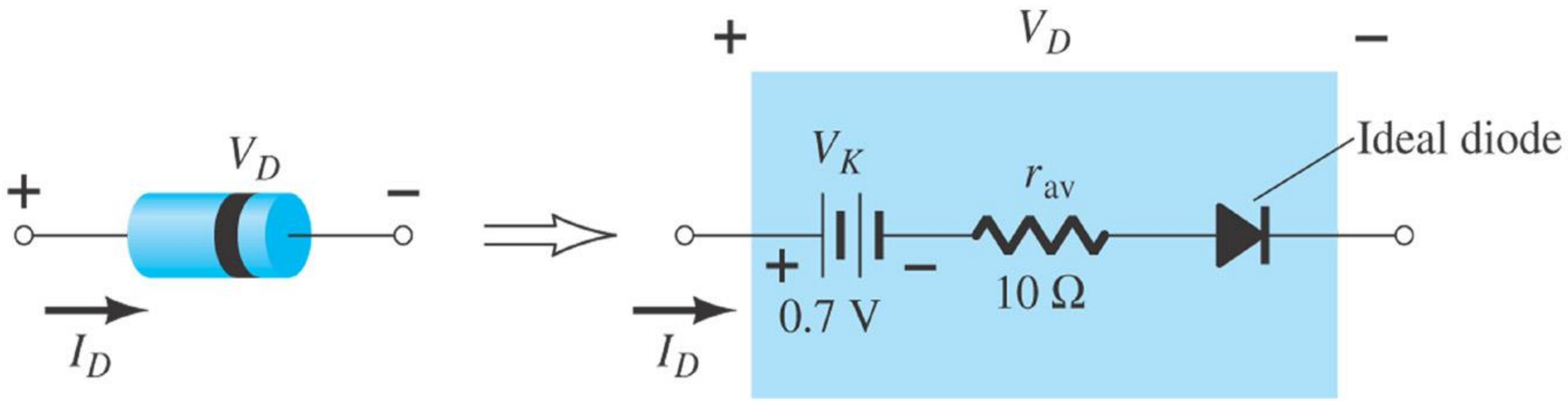
$$\Delta V_d = 0.725\text{ V} - 0.65\text{ V} = 0.075\text{ V}$$

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

Resistance Levels

DC or static	$R_D = \dfrac{V_D}{I_D}$	Defined as a *point* on the characteristics	
AC or dynamic	$r_d = \dfrac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \dfrac{26\ \text{mV}}{I_D}$	Defined by a tangent line at the *Q*-point	
Average ac	$r_{av} = \dfrac{\Delta V_d}{\Delta I_d}\bigg\vert_{\text{pt. to pt.}}$	Defined by a straight line between limits of operation	

Diode Equivalent Circuit



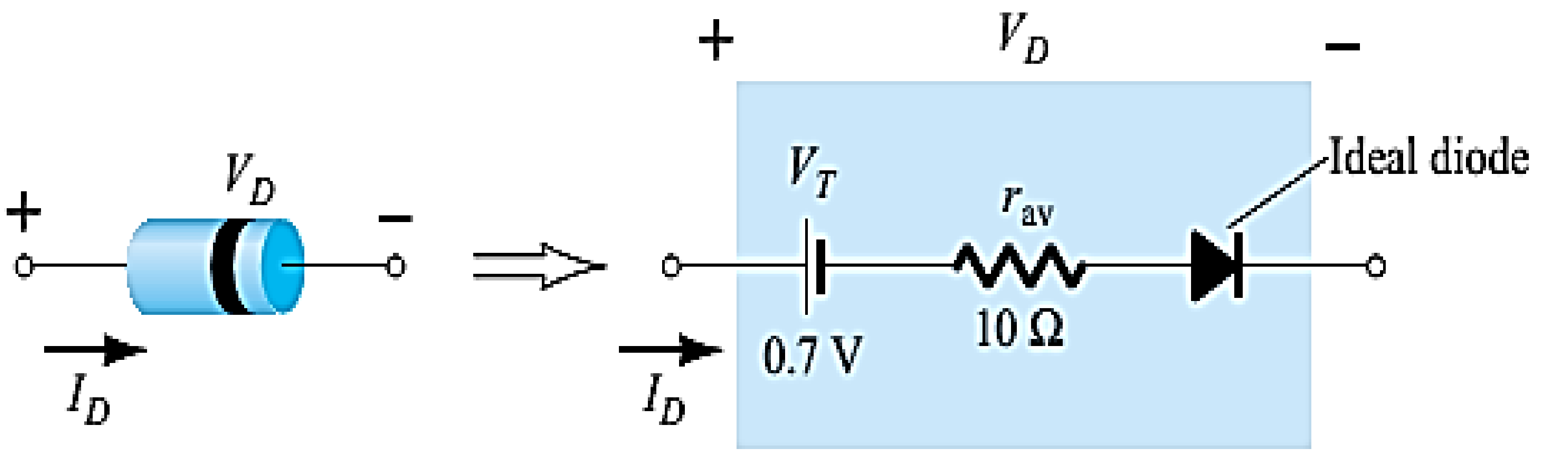
الدارات المكافئة للثنائي. Diode Equivalent Circuits

توجد ثلاث طرق لمكافأة الديود هي:

الدارة المكافئة الخطية المجزأة Piecewise-Linear Equivalent Circuit

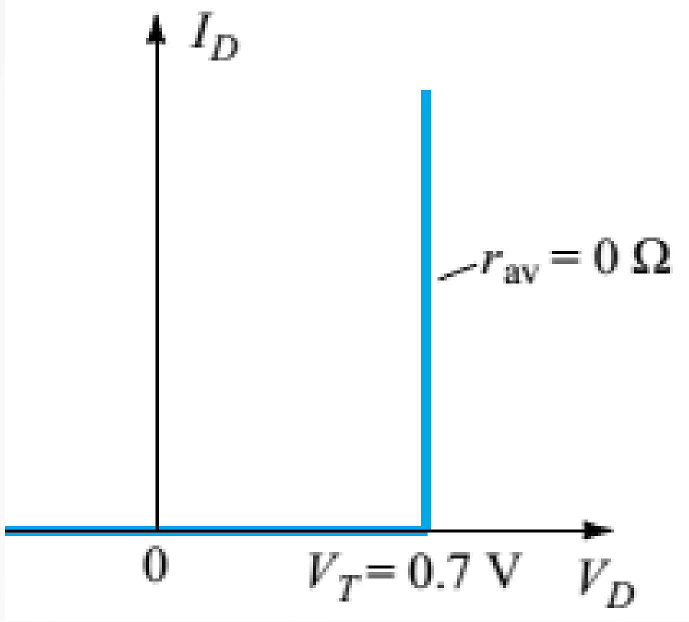
يستعاض عن الديود في هذه الحالة بديود مثالي وبالمقاومة r_{av} إضافة إلى منبع جهـد يمثـل جهد العتبة الخاص بنوع الديود المستخدم كما هو موضح بالشكل

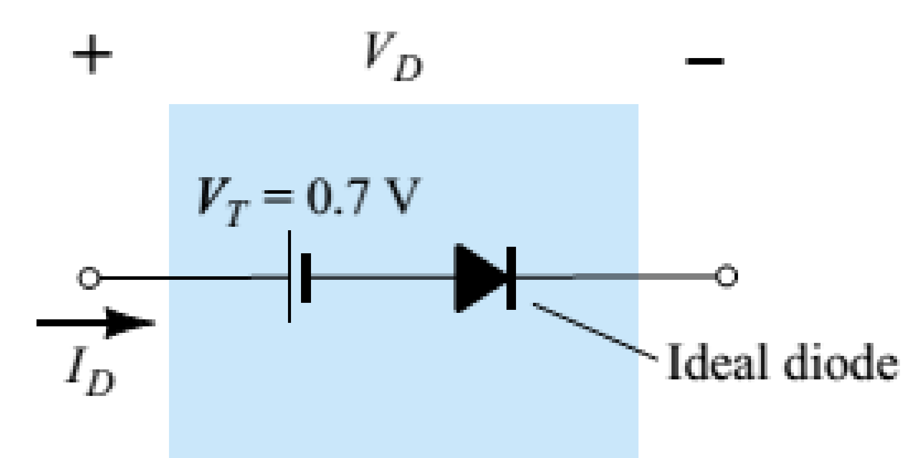
يستعاض في حالة التغذية العكسية عن الديود بدارة مفتوحة.



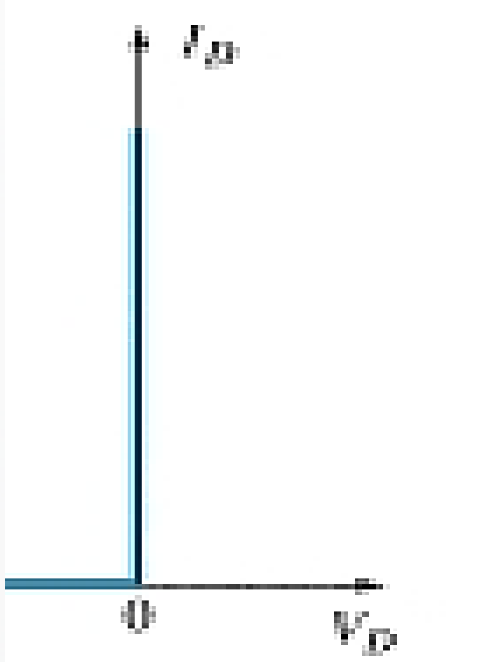
الدارة المكافئة المبسطة.

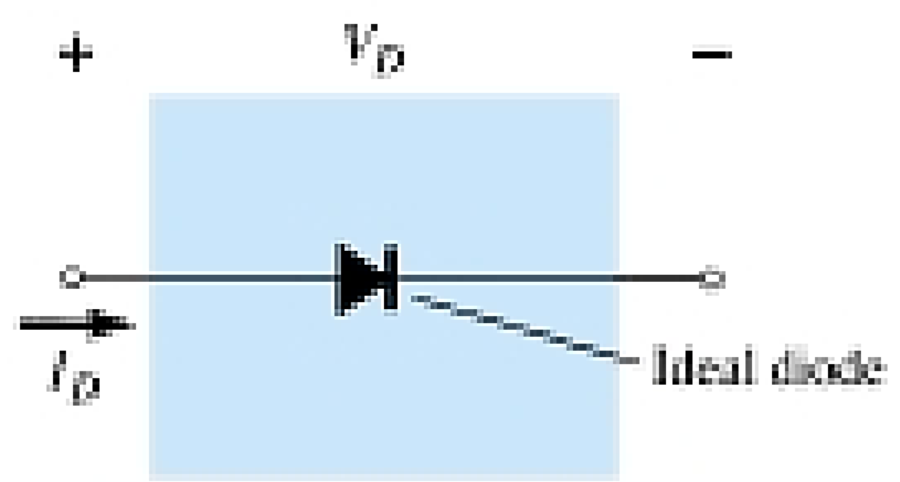
Simplified Equivalent Circuit





Ideal Equivalent Circuit الدارة المكافئة المثالية:





سعة العبور وسعة الانتشار Transition and Diffusion Capacitance

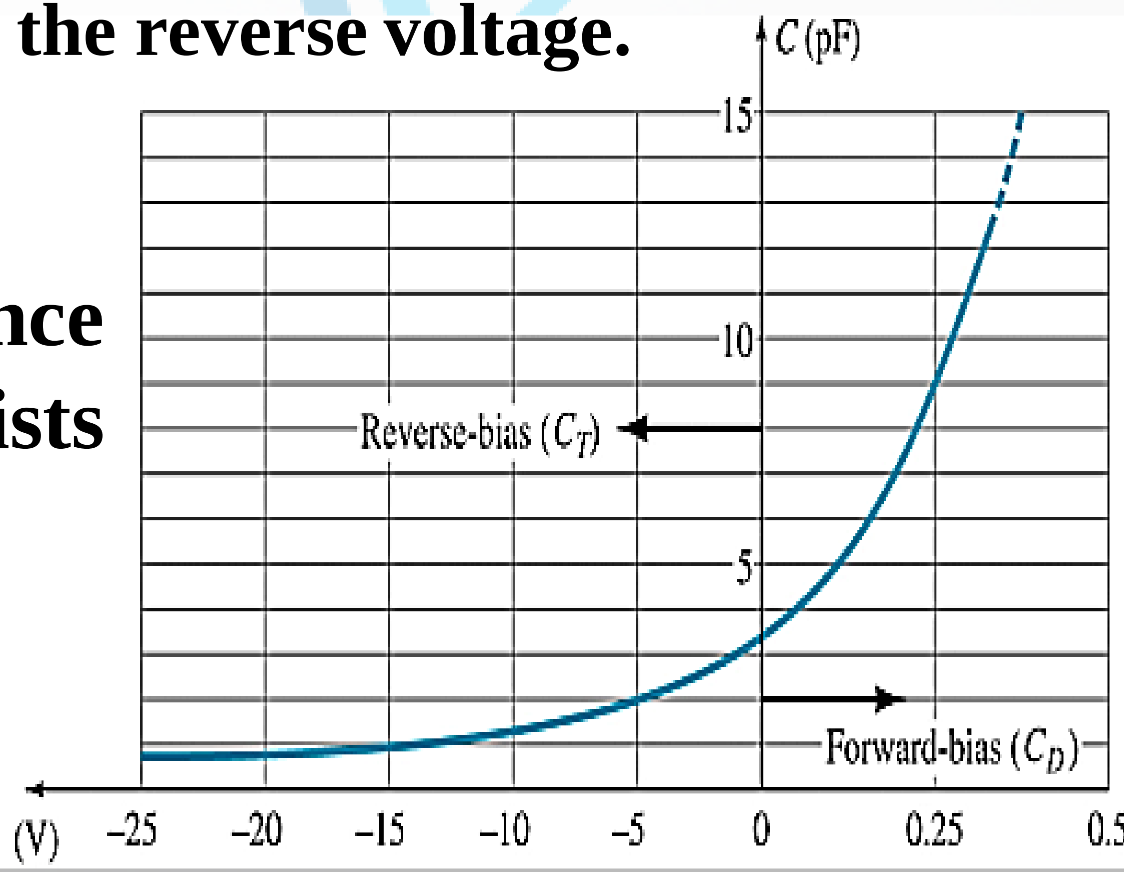
يمكن إهمال أغلب السعات التفرعية وتأثيراتها عندما تكون الترددات منخفضة، إذ تكون ممانعة هذه السعات عالية $X_C = \dfrac{1}{2\pi . fc}$ وبالتالي يمكن أن تشكل دارة مفتوحة. عندما يصبح f عالٍ جداً تصبح هذه السعات التفرعية ذات تويمكن أن تشكل دارات قصر، يؤدي إلى حدوث حلقات تغذية عكسية فـي الدارات الإلكترونية غير محمودة العواقب.

في أنصاف النواقل وبالتحديد في ثنائي الوصلة $p - n$ يوجد تأثير لسعتين أساسيتين هما سعة العبور Transition Capacitance (C_T) وسعة الانتشار Diffusion Capacitance (C_D) .تظهر هاتان السعتان في حالتي التغذية الأمامية والعكسية للديود. تكون إحدى هاتين السعتين فعالة في مجال ومهملة في المجال الآخر. ففي حالة الاستقطاب العكسي تكون سعة العبور C_T (سعة المنطقة الممنوعة) هي المؤثرة أما سعة الانتشار C_D (سعة التخزين Storage Capacitance) فتكون مهملة و في حالة الاستقطاب الأمامي يصبح العكس هو الصحيح.

Diode Capacitance

- **In reverse bias, the depletion layer is very large.**
- **The diode's strong positive and negative polarities create capacitance, C_T.**
- **The amount of capacitance depends on the reverse voltage.**

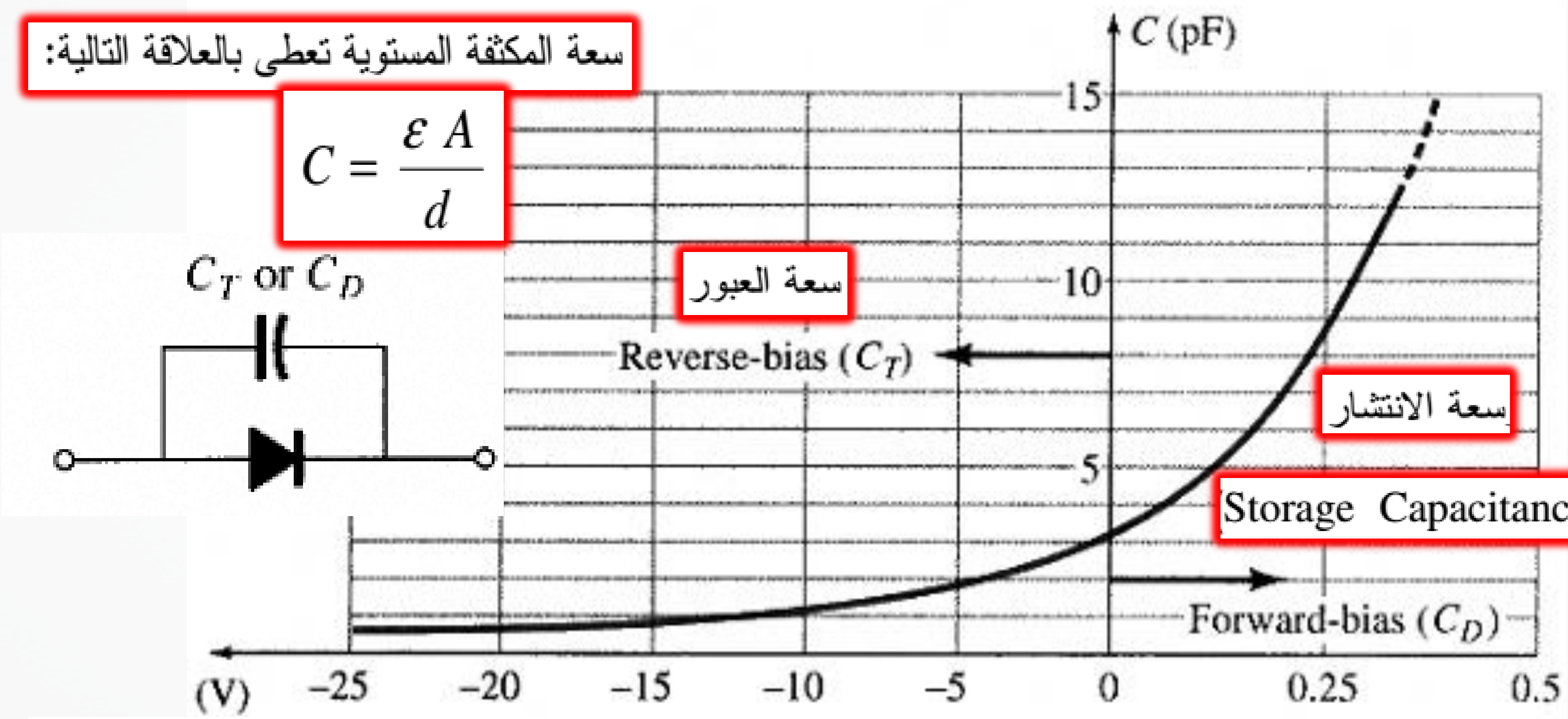
- **In forward bias storage capacitance or diffusion capacitance (C_D) exists as the diode voltage increases.**



تغيرات سعة العبور وسعة الانتشار تبعاً للجهد المطبق على الديود.

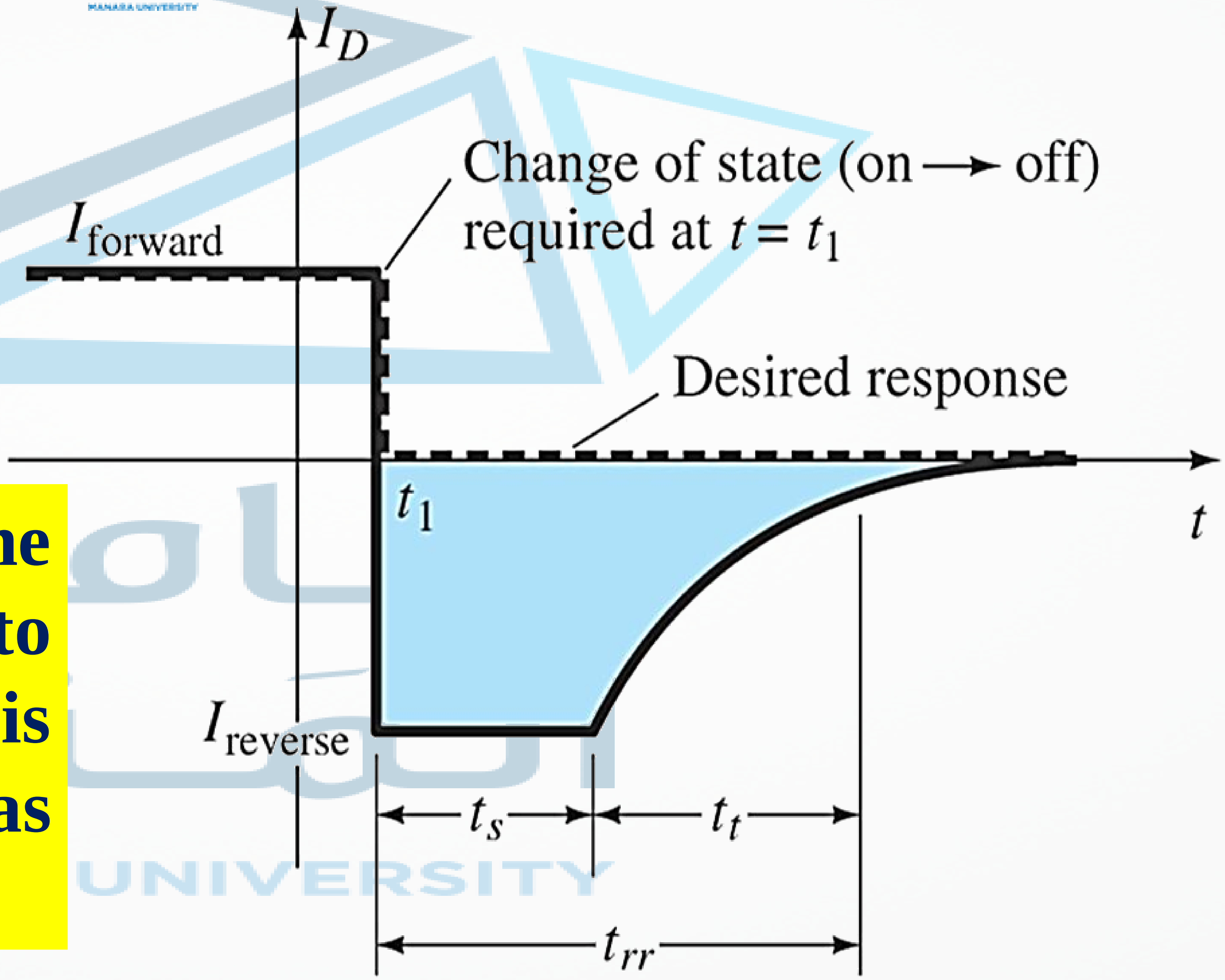
سعة المكثفة المستوية تعطى بالعلاقة التالية:

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



يلعب الثابت الزمنـــي $\tau_D = R_D * C_D$ دوراً بـــالغ الأهمية في التطبيقات التي تتطلب سرعات استجابة عالية. يكافأ الديود مع سعته بديود مثالي موصولة معه سعته على التفرع

Reverse Recovery Time (trr)

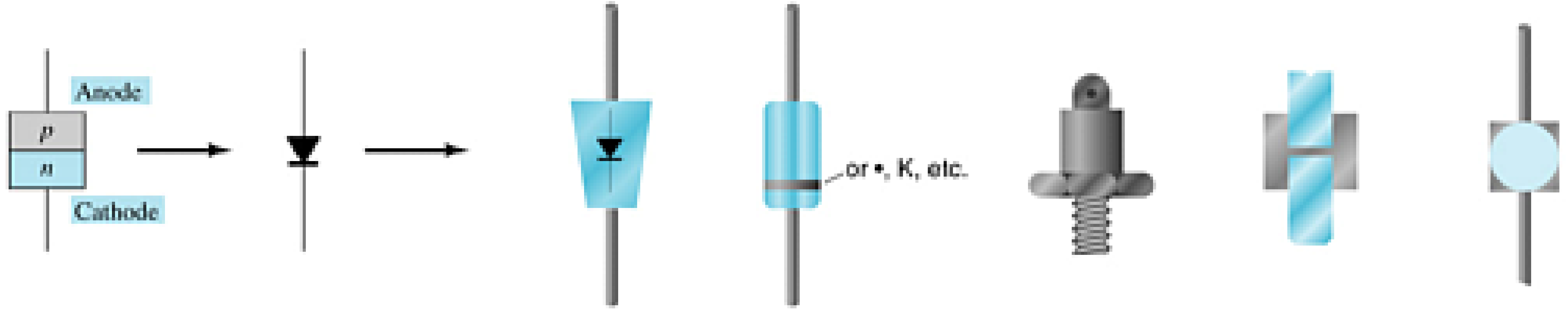


Reverse recovery time is the time required for a diode to stop conducting once it is switched from forward bias to reverse bias.

Diode Specification Sheets

1. Forward Voltage (V_F) at a specified current and temperature.
2. Maximum forward current (I_F) at a specified temperature.
3. Reverse saturation current (I_R) at a specified voltage and temperature.
4. Reverse voltage rating, PIV or PRV or V(BR), at a specified temperature.
5. Maximum power dissipation at a specified temperature.
6. Capacitance levels.
7. Reverse recovery time, t_{rr}.
8. Operating temperature range.

Diode Symbol and Packaging



The anode is abbreviated A
The cathode is abbreviated K

Diode Testing

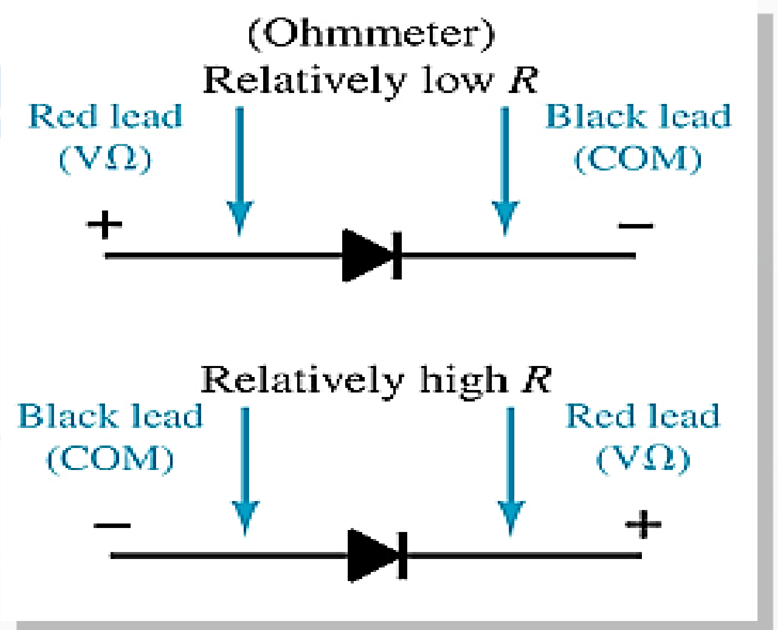
1. Diode Checker

- Many digital multimeters have a diode checking function.
- The diode should be tested out of circuit.
- A normal diode exhibits its forward voltage:

- Gallium arsenide ≅ 1.2 V
- Silicon diode ≅ 0.7 V
- Germanium diode ≅ 0.3 V

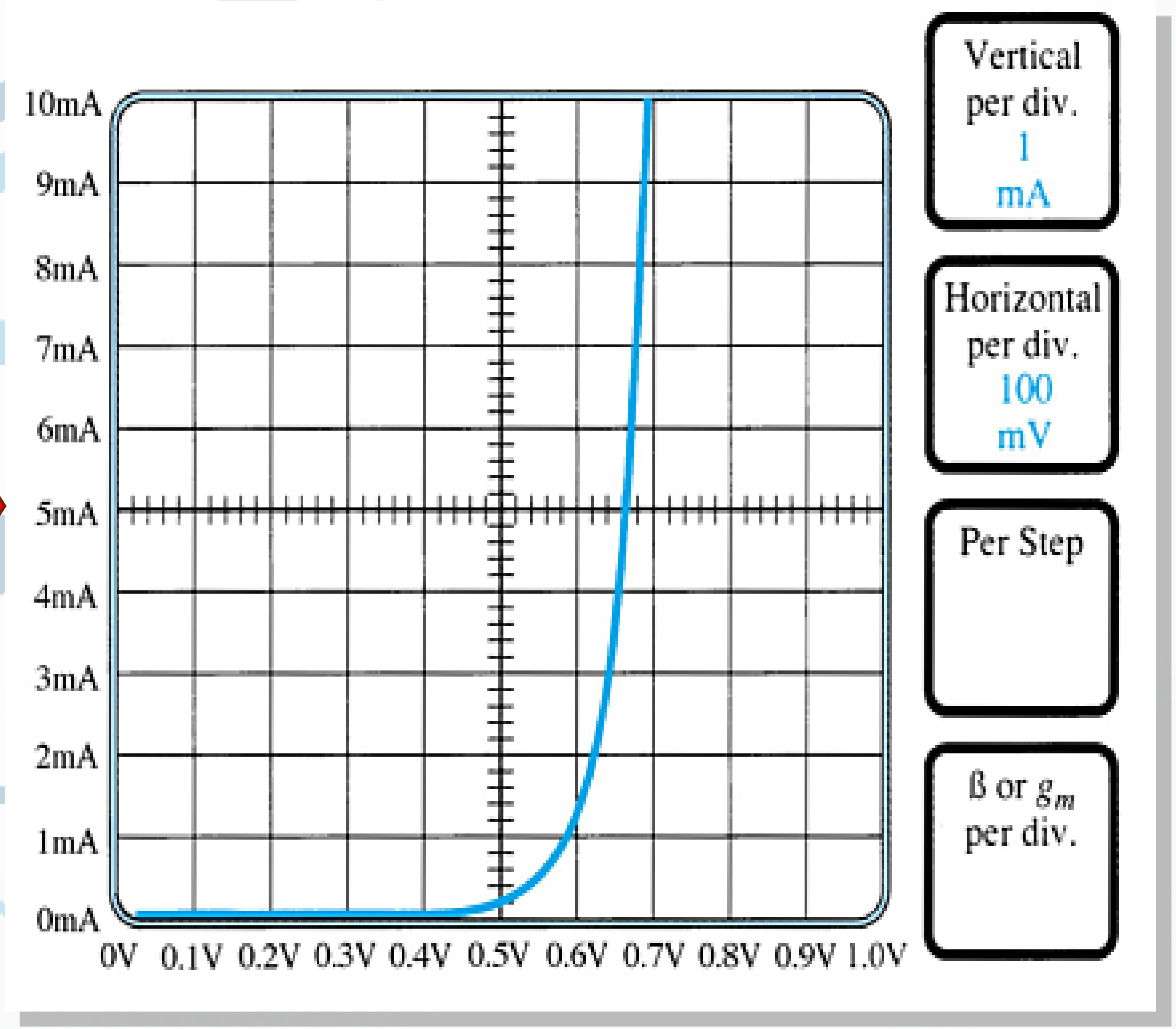
2. Ohmmeter

- An ohmmeter set on a low Ohms scale can be used to test a diode.
- The diode should be tested out of circuit.



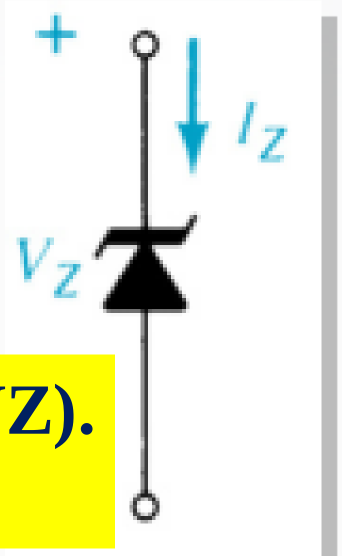
3. Curve Tracer

- **A curve tracer displays the characteristic curve of a diode in the test circuit. This curve can be compared to the specifications of the diode from a data sheet.**



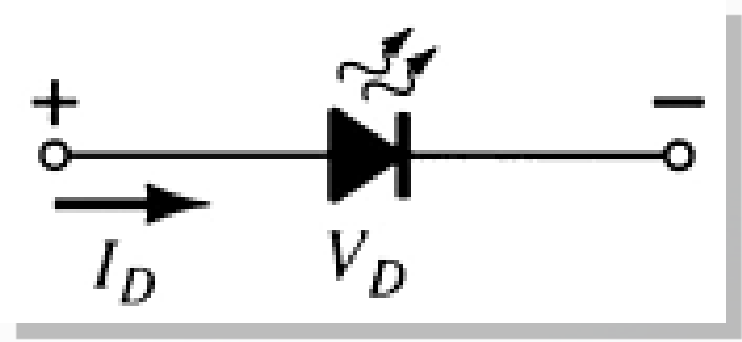
Other Types of Diodes

1. Zener Diode



- A Zener is a diode operated in reverse bias at the Zener voltage (VZ). Common Zener voltages are between 1.8 V and 200 V

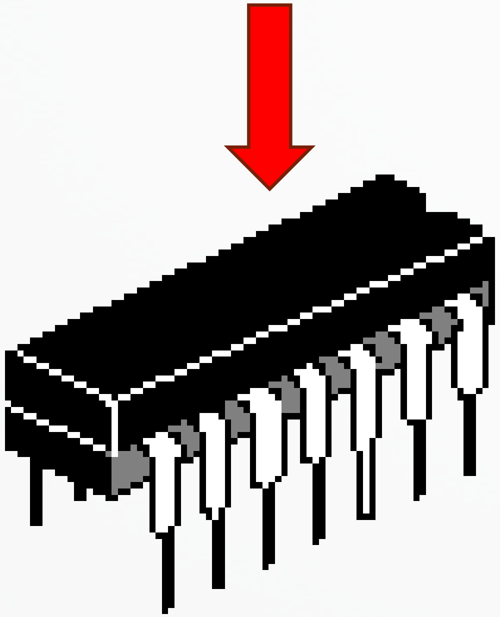
2. Light-Emitting Diode (LED)

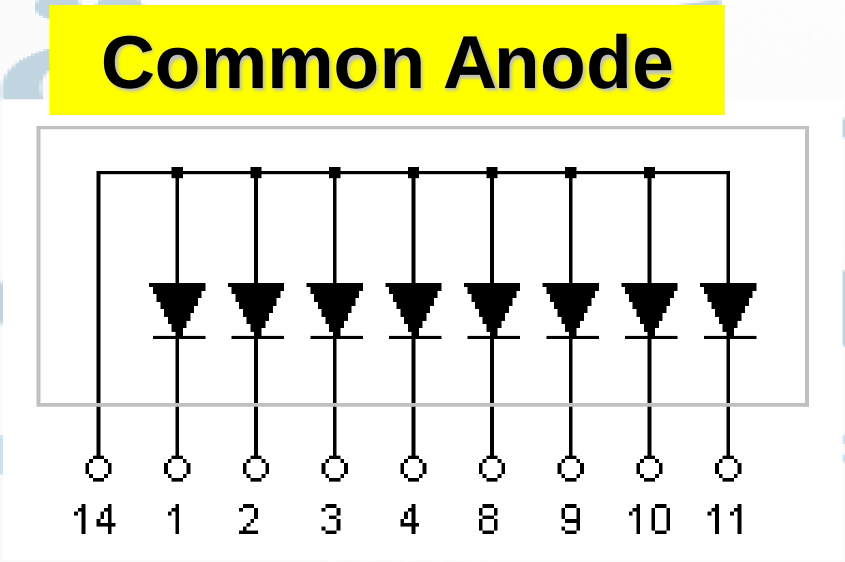


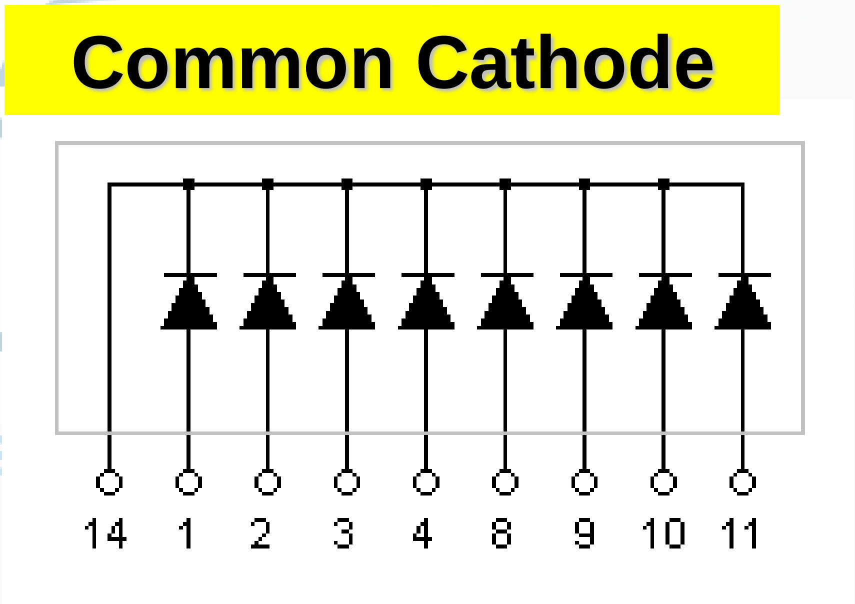
- An LED emits photons when it is forward biased.
- These can be in the infrared or visible spectrum.
- The forward bias voltage is usually in the range of 2 V to 3 V.

3. Diode Arrays

Multiple diodes can be packaged together in an integrated circuit (IC).

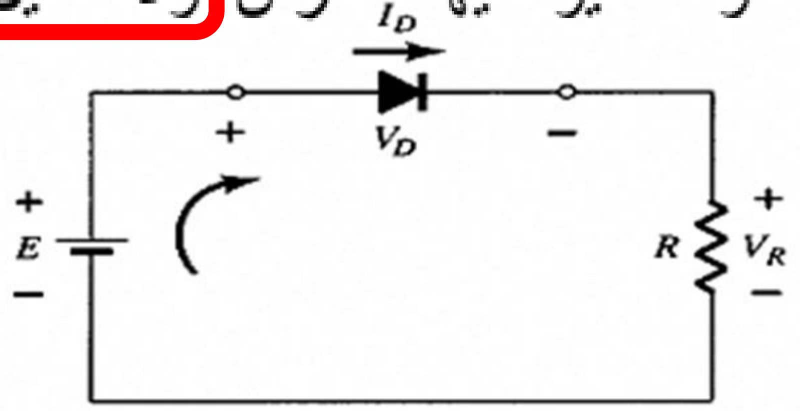


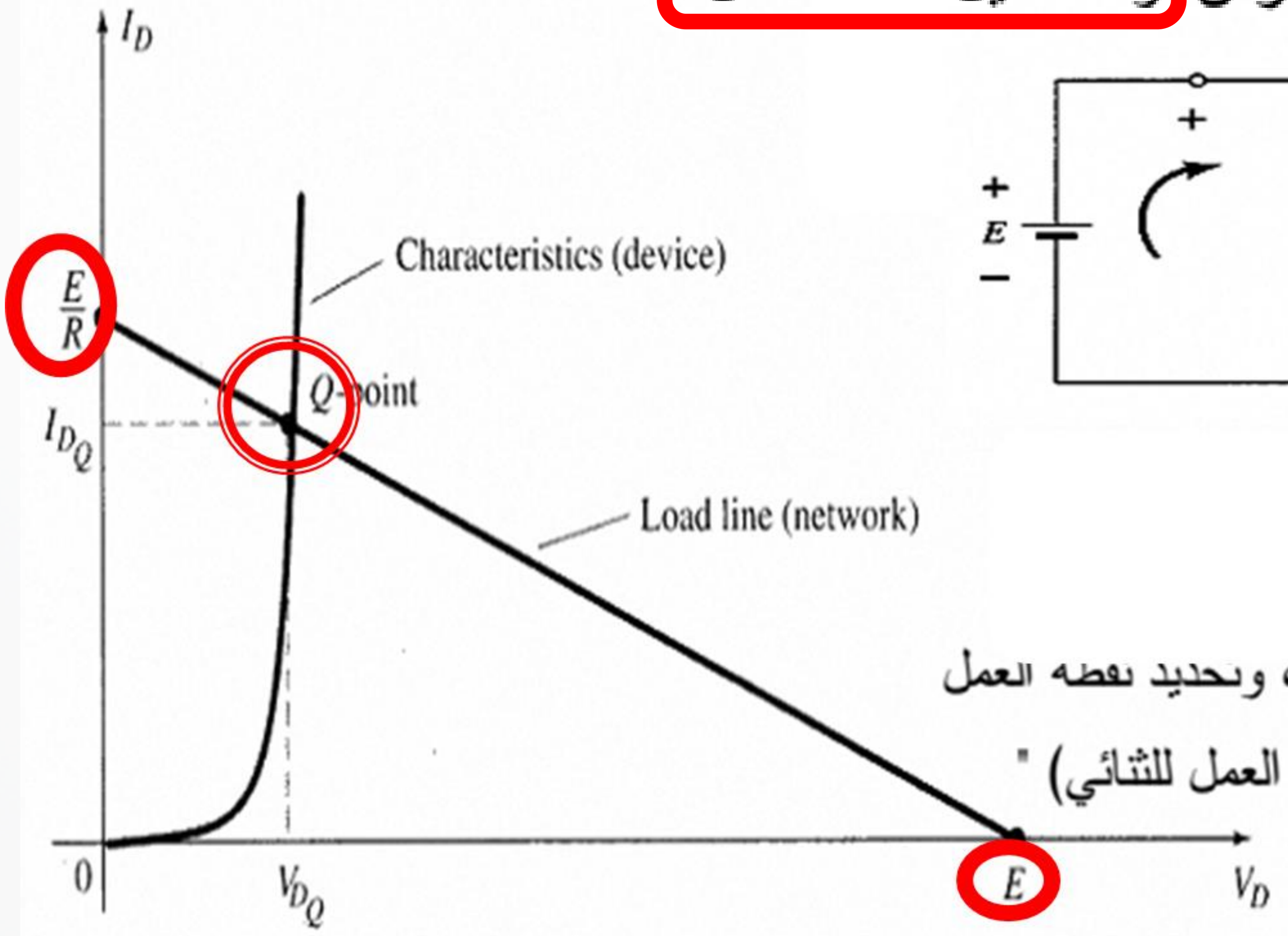




Diode Applications : تطبيقات الديود

يستخدم الديود في مجالات عديدة كالتحديد، التقويم والقص.....إلخ . من أجـــل حل الدارات وفهم سلوك الديود فيها سندرس أولاً تحليل خط الحمل:



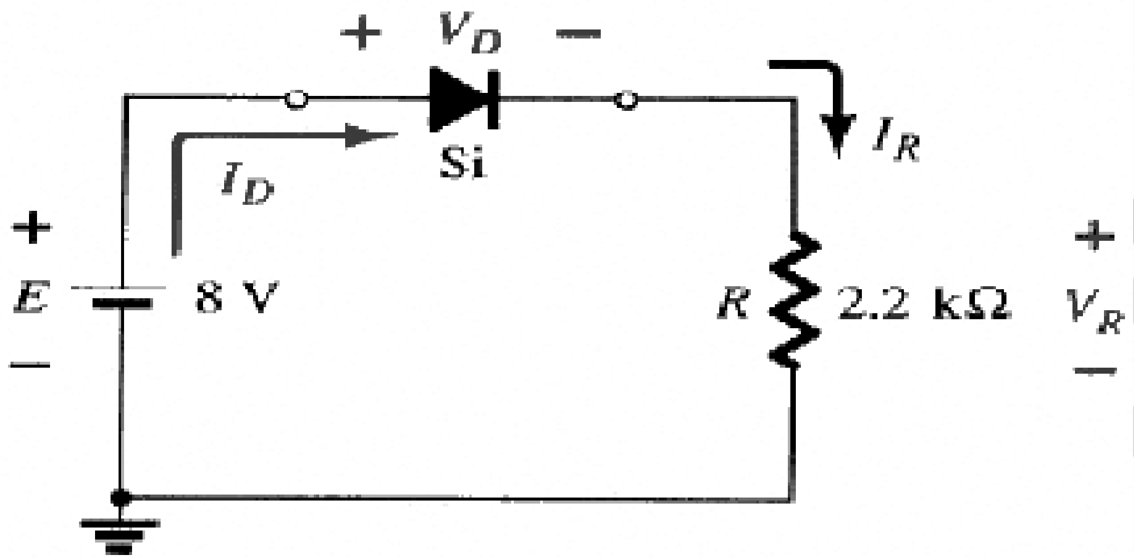


رسم خط الحمل، وتحديد نقطة العمل

(تيار وجهد العمل للثنائي) "

مثال

أوجد V_D و V_R و I_D في الدارة المبينة في الشكل



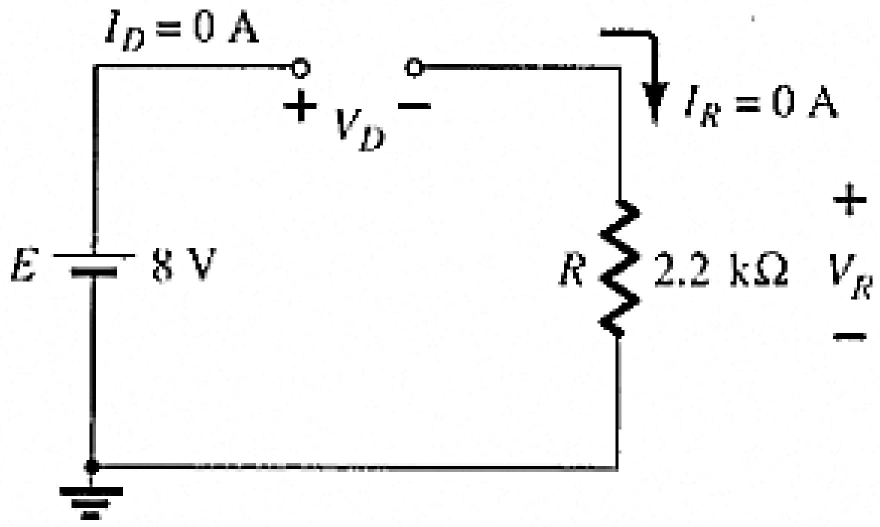
$$V_D = 0.7V$$

$$V_R = E - V_D = 8 - 0.7 = 7.3volts$$

$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3V}{2.2*10^3\Omega} \Rightarrow$$

$$I_D \cong 3.32\,mA$$

الديود مستقطب عكسياً.



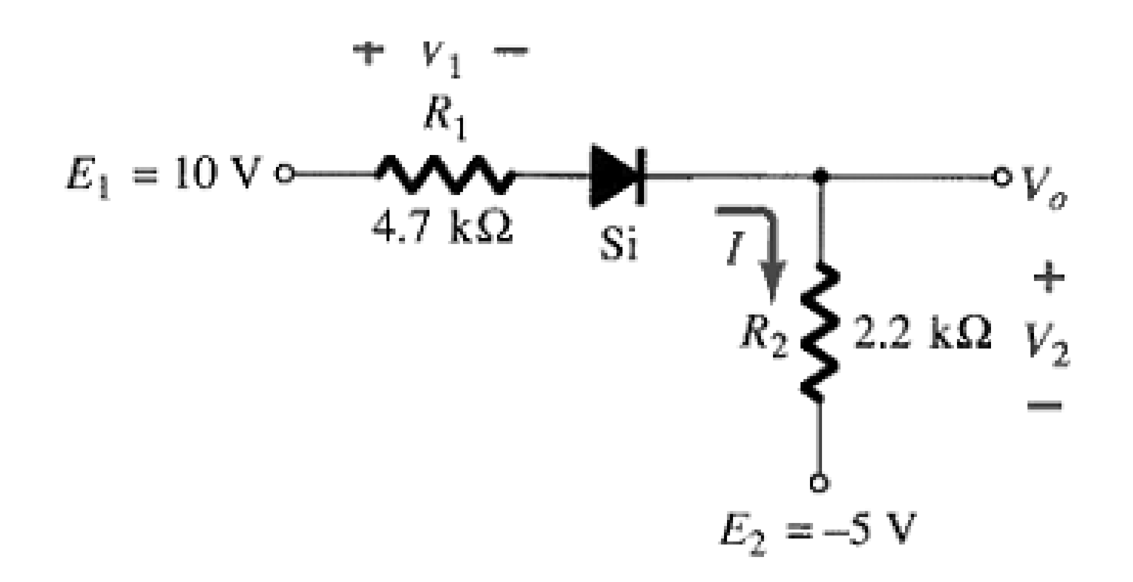
$$I_D = 0 \Rightarrow$$

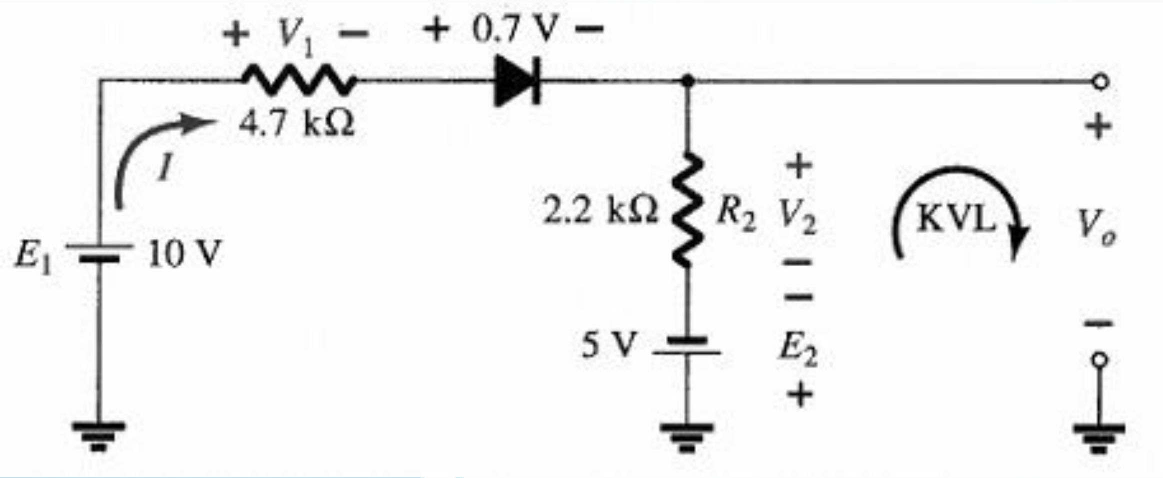
$$E - V_D - V_R = 0 \Rightarrow$$

$$V_D = E - V_R$$

$$V_D = E - 0 = 8volts$$

مثال





$$I = \frac{E_1 + E_2 - V_D}{R_1 + R_2} = \frac{10 + 5 - 0.7}{(4.7 + 2.2) * 10^3} = \frac{14.3 volts}{6.9 * 10^3 \Omega} \Rightarrow$$

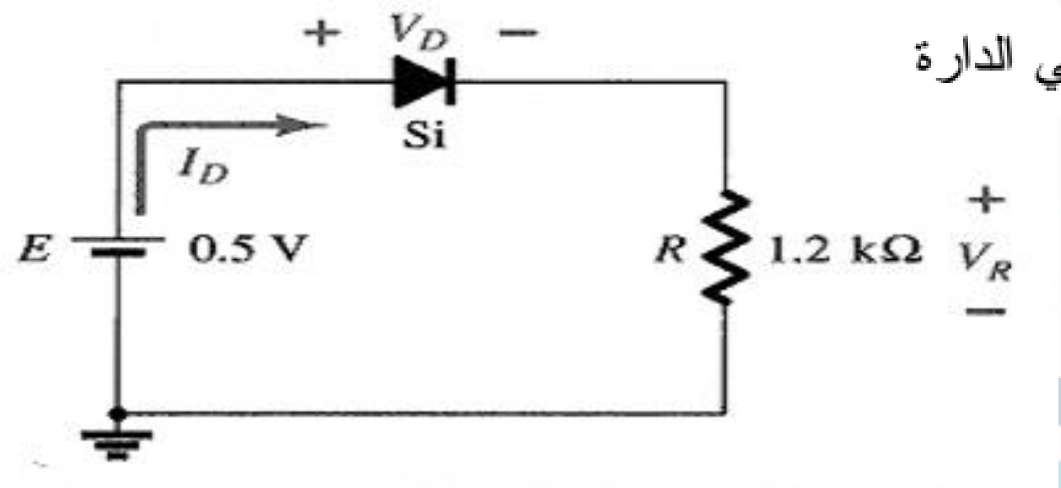
$$I = 2.07 mA$$

$$V_1 = I * R_1 = 2.07 * 10^{-3} * 4.7 * 10^3 = 9.73 volts$$

$$V_2 = I * R_2 = 2.07 * 10^{-3} * 2.2 * 10^3 = 4.55 volts$$

$$V_0 = V_2 - E_2 = 4.55 - 5 = -0.45 volts$$

مثال



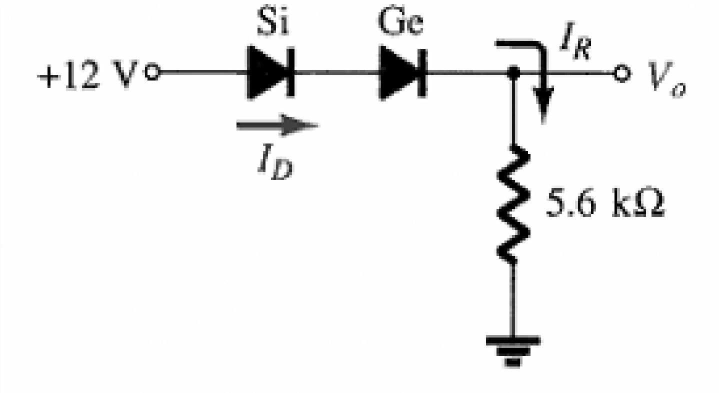
نلاحظ أن جهد التغذية أقل من الجهد اللازم لفتح الديود، لذا فإن التيار المار في الدارة

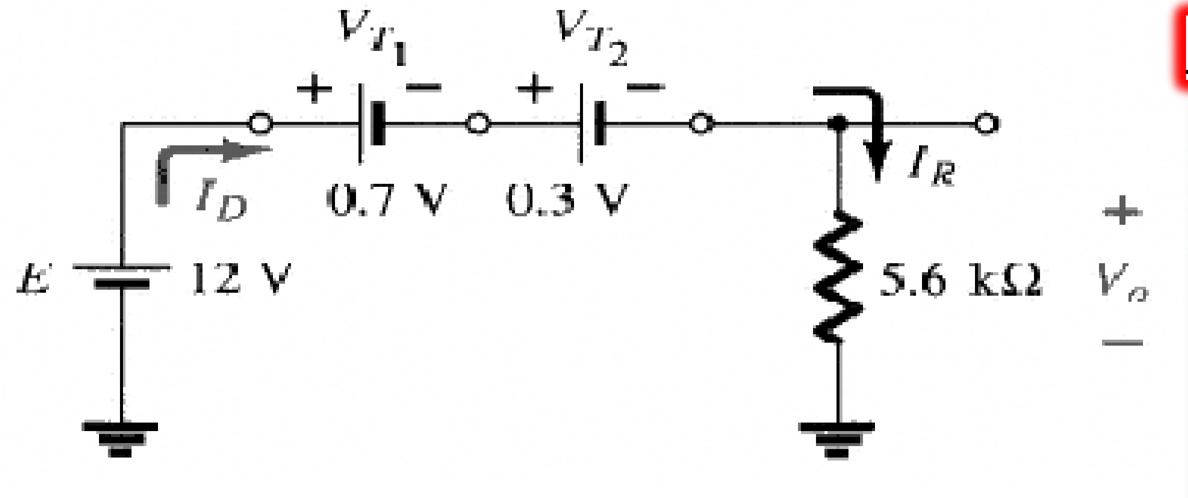
$$I_D = 0 Amper$$

$$V_R = I_R * R = I_D * R = 0 volts$$

$$V_D = E - V_R = 0.5 - 0 = 0.5 volts$$

مثال



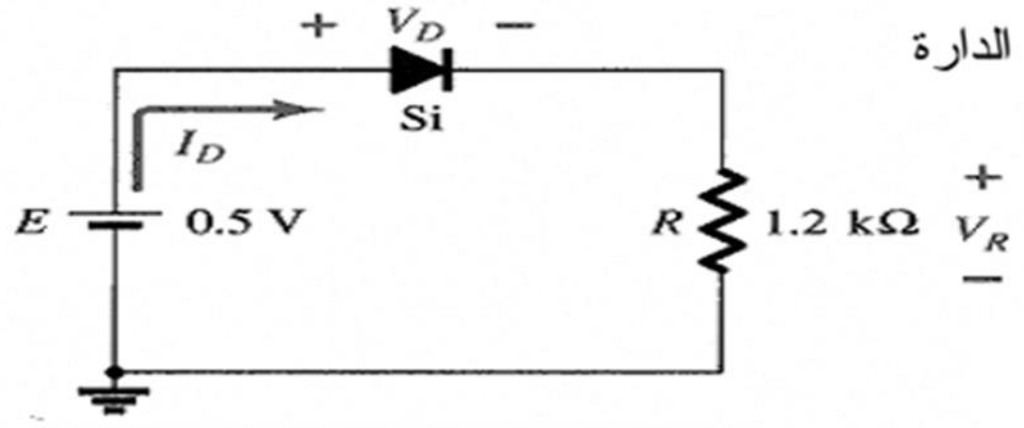


$$V_0 = E - V_{T_1} - V_{T_2} \Rightarrow$$

$$V_0 = 12 - 0.7 - 0.3 = 11 volts$$

$$I_D = I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{11}{5.6 * 10^3} \cong 1.96 mA$$

مثال



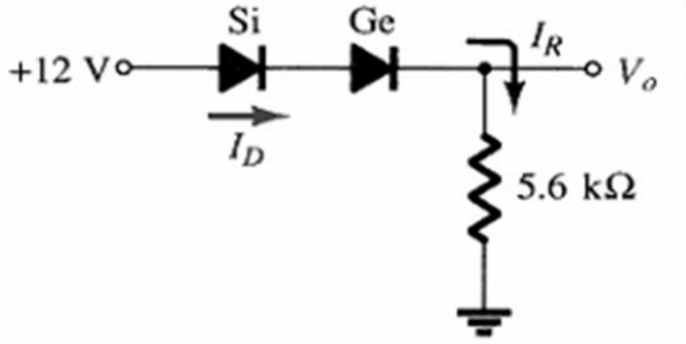
نلاحظ أن جهد التغذية أقل من الجهد اللازم لفتح الديود، لذا فإن التيار المار في الدارة

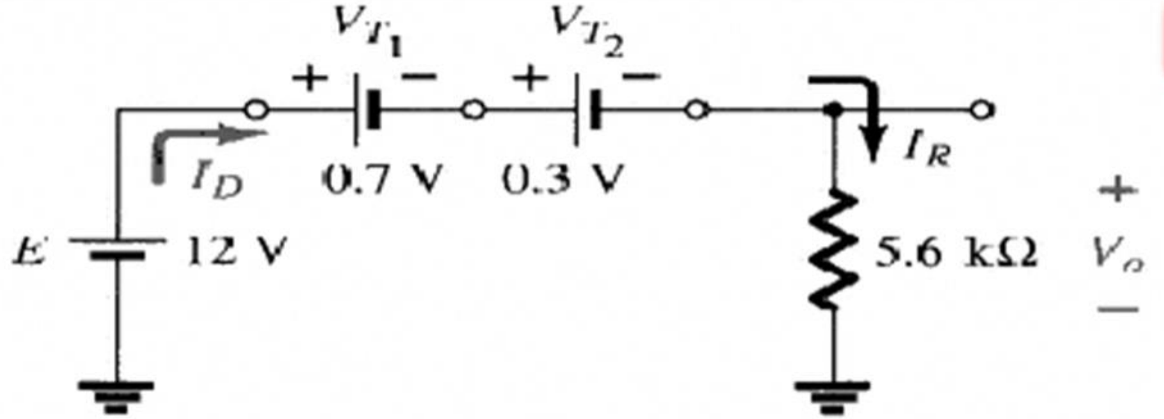
$$I_D = 0\,Amper$$

$$V_R = I_R * R = I_D * R = 0\,volts$$

$$V_D = E - V_R = 0.5 - 0 = 0.5\,volts$$

مثال

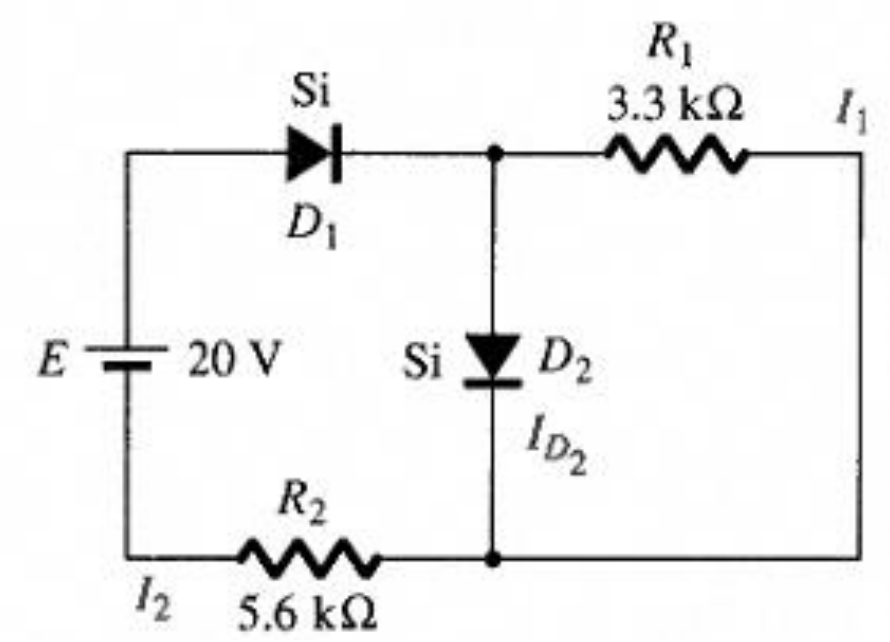


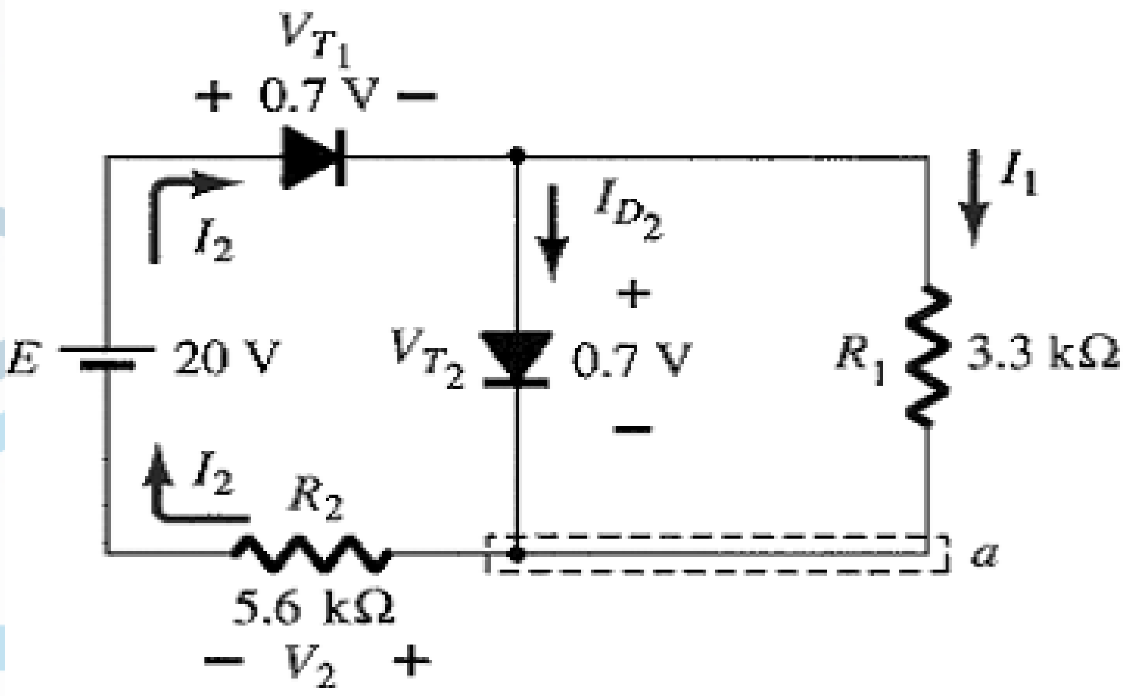


$$V_0 = E - V_{T_1} - V_{T_2} \Rightarrow$$

$$V_0 = 12 - 0.7 - 0.3 = 11\,volts$$

$$I_D = I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{11}{5.6*10^3} \cong 1.96\,mA$$





$$I_1 = \frac{V_{T_2}}{R_1} = \frac{0.7\,v}{3.3 * 10^3\,A} = 0.212\ mA$$

$$-V_2 + E - V_{T_2} - V_{T_1} = 0 \Rightarrow$$

$$V_2 = +E - V_{T_2} - V_{T_1} = 20 - 0.7 - 0.7 \Rightarrow$$

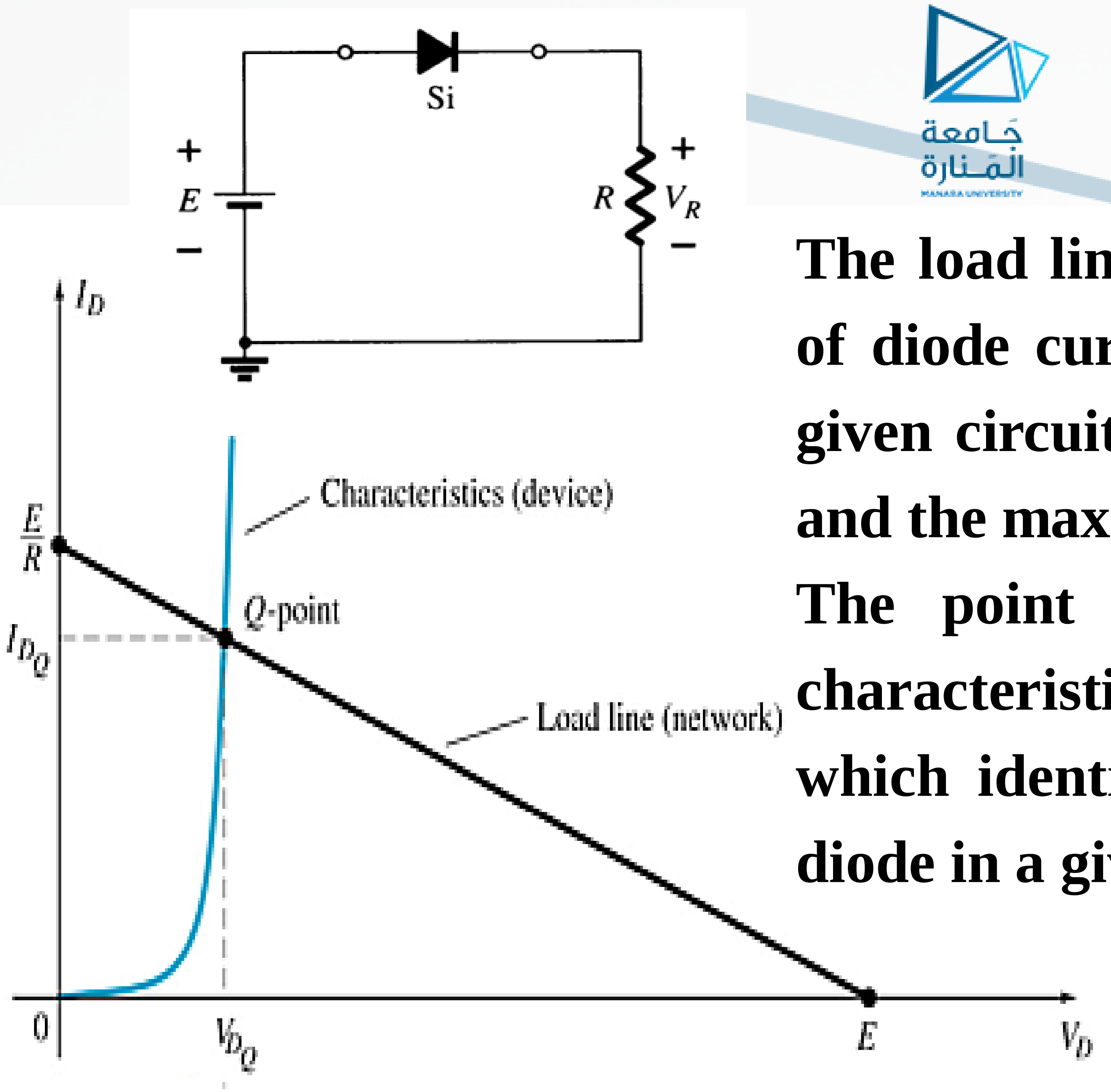
$$V_2 = 18.6\,volts$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18.6\,v}{5.6 * 10^3\,\Omega} = 3.32\,mA$$

$$I_{D_2} + I_1 = I_2 \Rightarrow$$

$$I_{D_2} = I_2 - I_1 = 3.32\,mA - 0.212\,mA = 3.108\,mA.$$

Load-Line Analysis



The load line plots all possible combinations of diode current (I_D) and voltage (V_D) for a given circuit. The maximum I_D equals E/R, and the maximum V_D equals E.

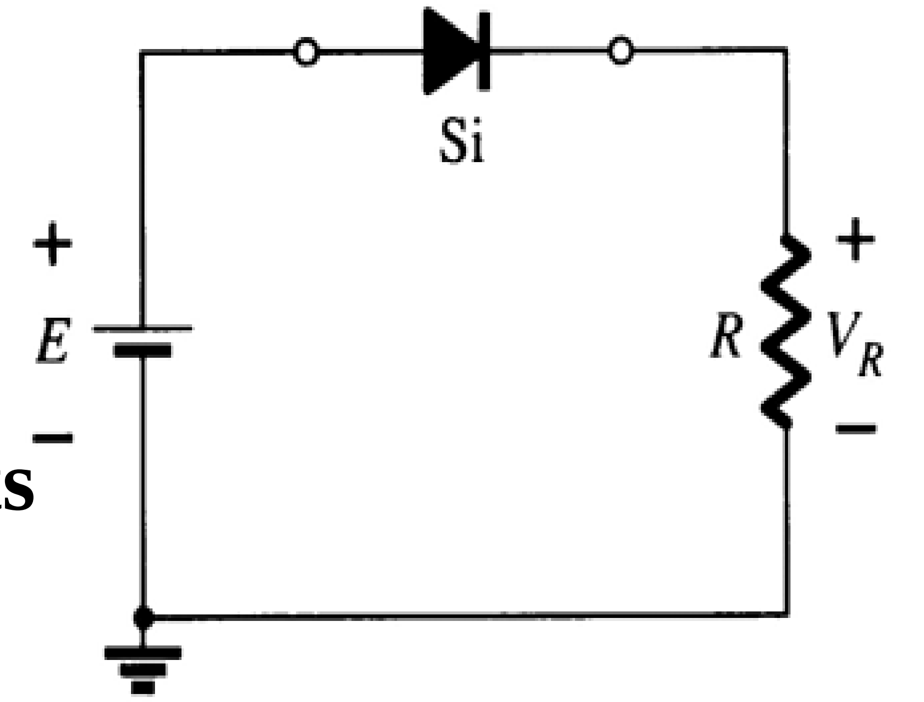
The point where the load line and the characteristic curve intersect is the Q-point, which identifies I_D and V_D for a particular diode in a given circuit.

Series Diode Configurations

Forward Bias

Analysis (for silicon)

- $V_D = 0.7$ V (or $V_D = E$ if $E < 0.7$
- $V_R = E - V_D$
- $I_D = I_R = I_T = V_R / R$



Reverse Bias

Diodes ideally behave as open circuits

Analysis

- $V_D = E$
- $V_R = 0$ V
- $I_D = 0$ A

Parallel Configurations

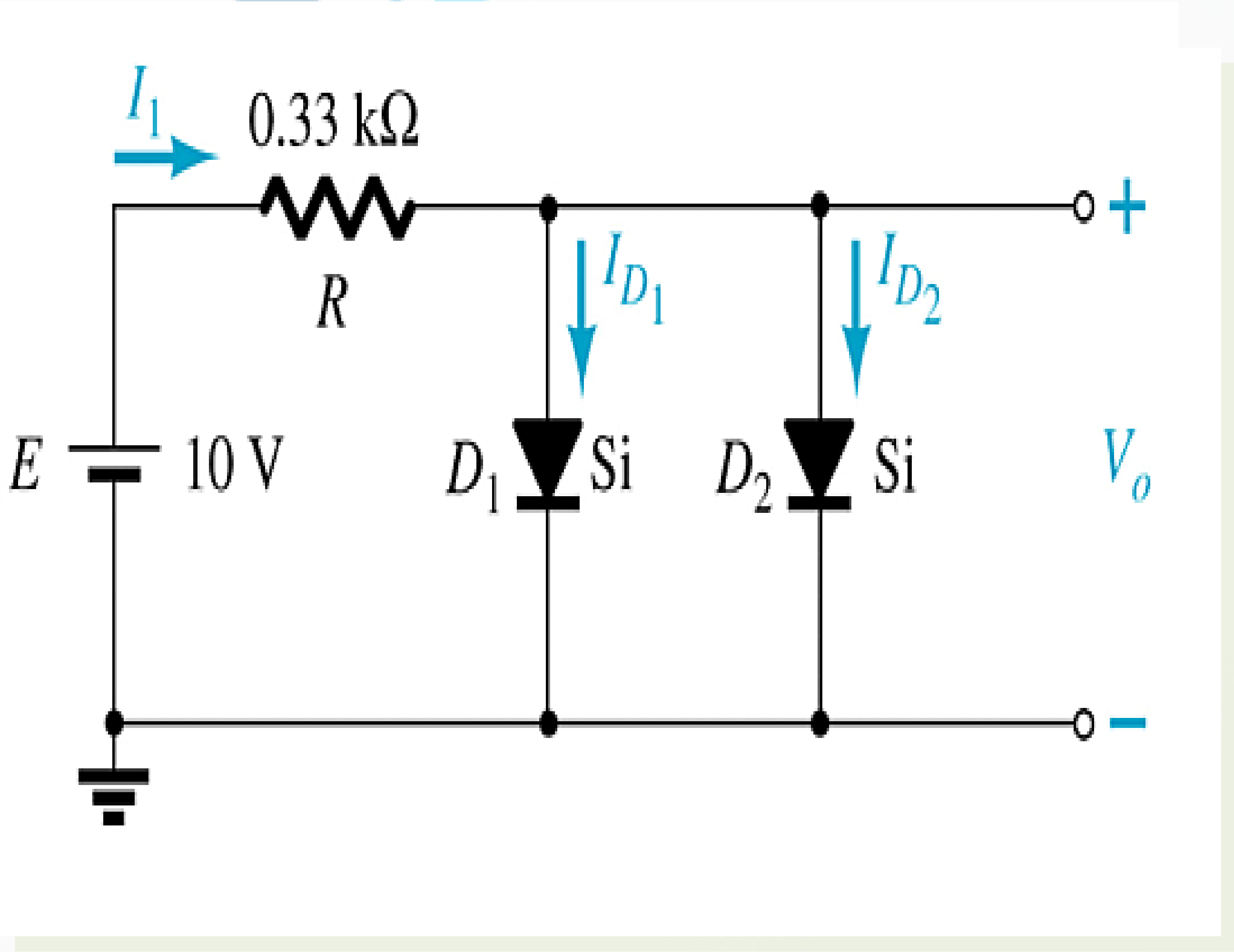
$$V_D = 0.7\,V$$

$$V_{D1} = V_{D2} = V_O = 0.7\,V$$

$$V_R = 9.3\,V$$

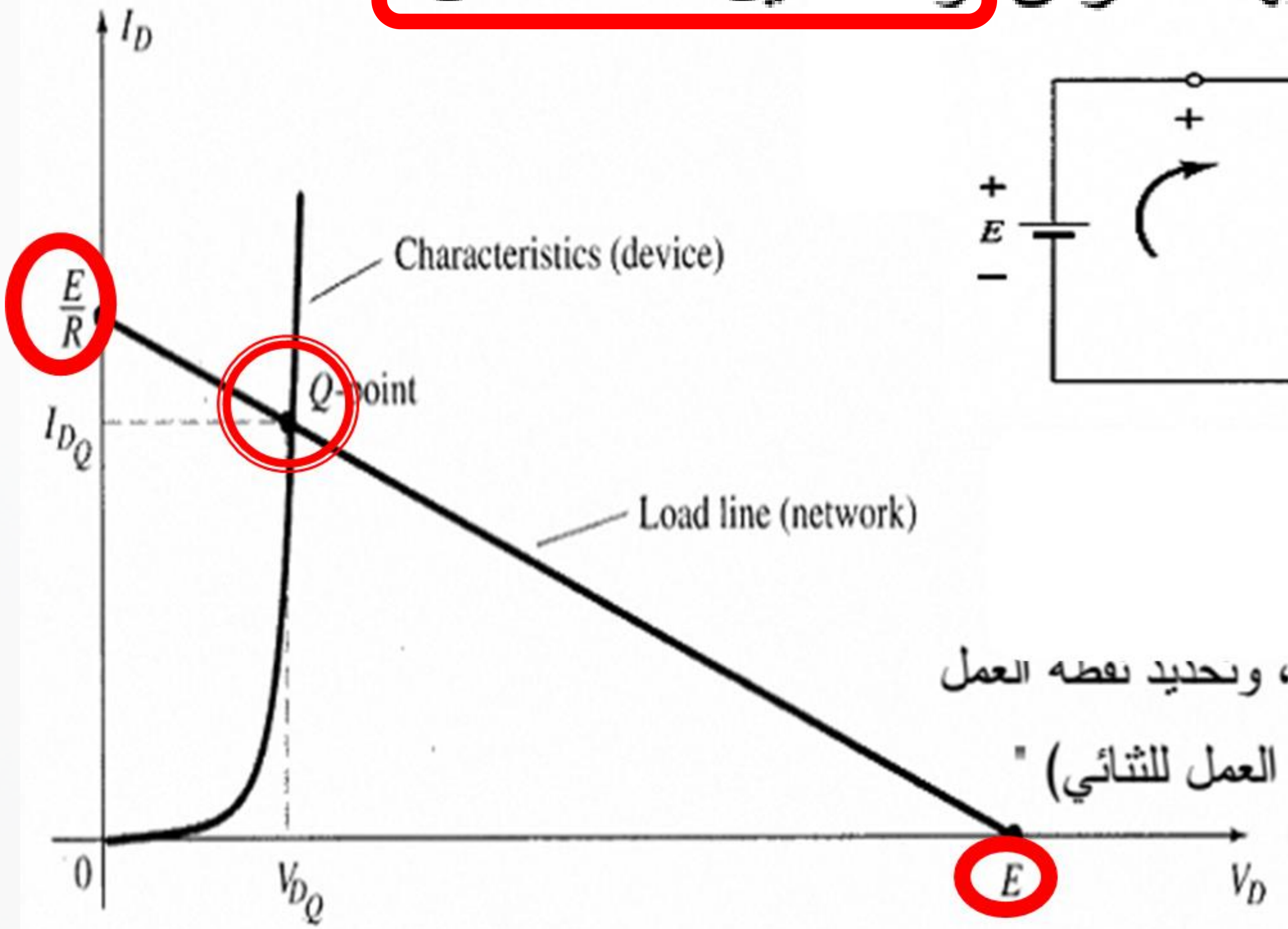
$$I_R = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10\,V - .7\,V}{.33k\Omega} = 28\,mA$$

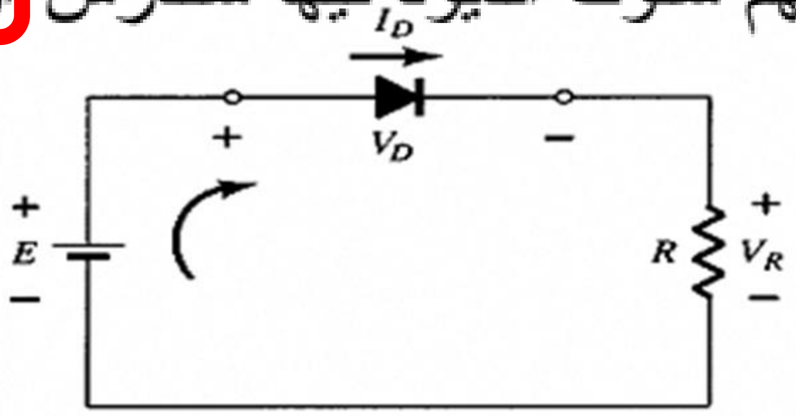
$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{28\,mA}{2} = 14\,mA$$



Diode Applications : تطبيقات الديود

يستخدم الديود في مجالات عديدة كالتحديد، التقويم والقص.....إلخ . من أجــل حل الدارات وفهم سلوك الديود فيها سندرس أولاً تحليل خط الحمل:



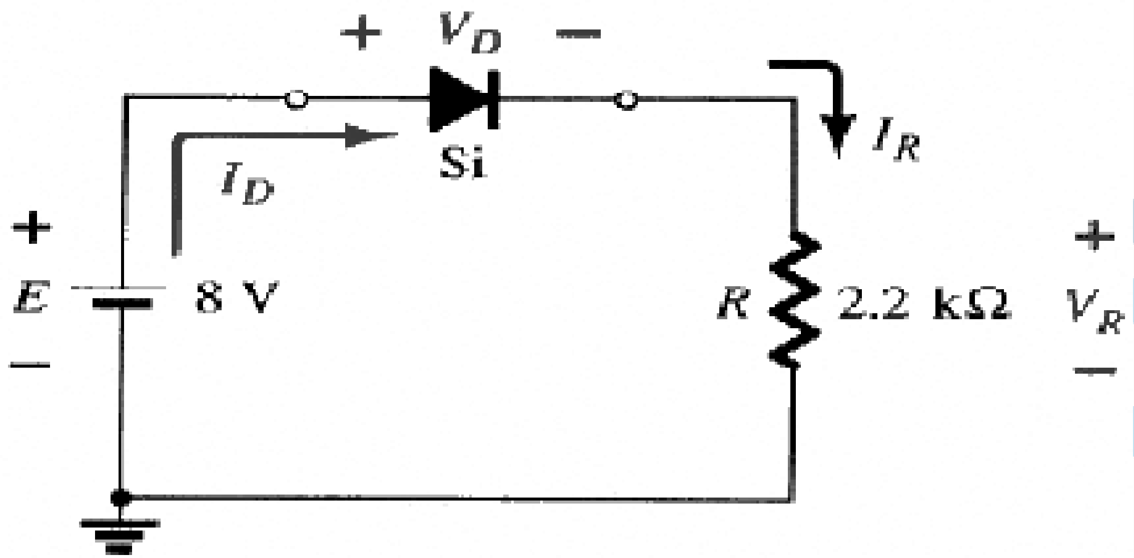


رسم خط الحمل، وتحديد نقطة العمل

(تيار وجهد العمل للثنائي)

مثال

أوجد V_D و V_R و I_D في الدارة المبينة في الشكل



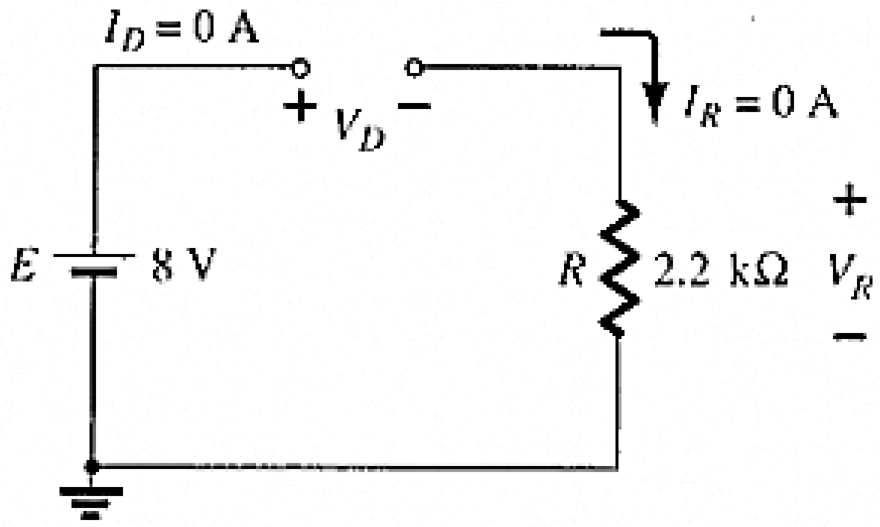
$$V_D = 0.7V$$

$$V_R = E - V_D = 8 - 0.7 = 7.3volts$$

$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3V}{2.2 * 10^3 \Omega} \Rightarrow$$

$$I_D \cong 3.32\, mA$$

الديود مستقطب عكسياً.



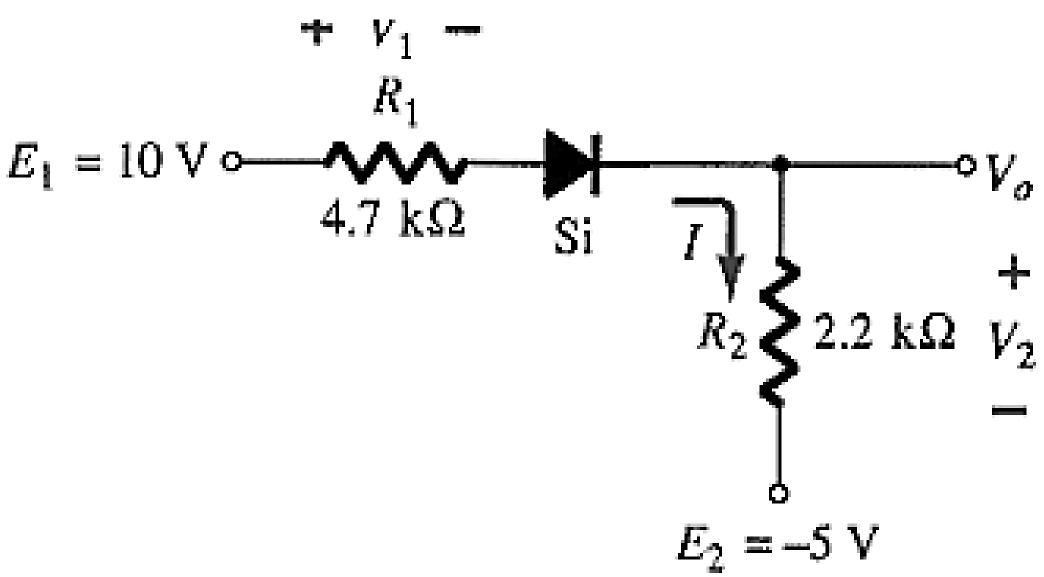
$$I_D = 0 \Rightarrow$$

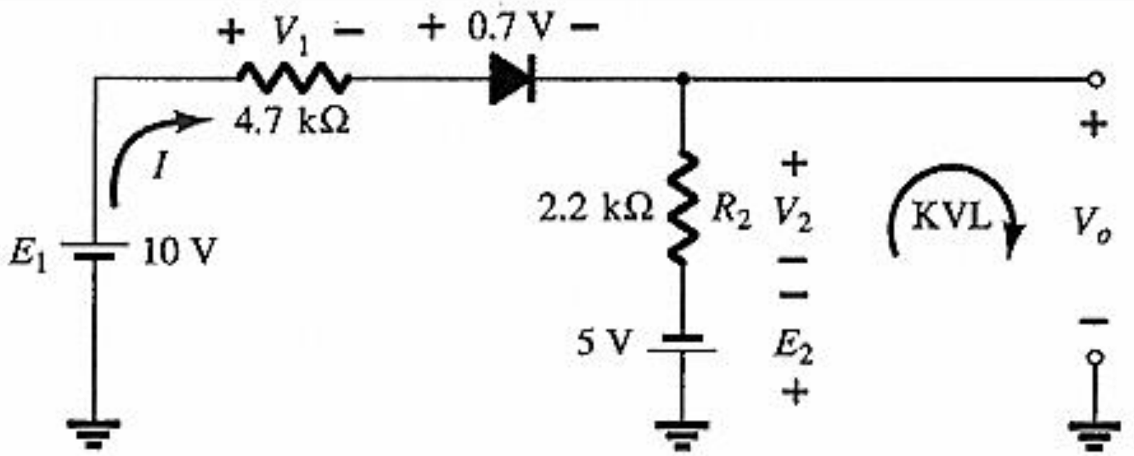
$$E - V_D - V_R = 0 \Rightarrow$$

$$V_D = E - V_R$$

$$V_D = E - 0 = 8volts$$

مثال





$$I = \frac{E_1 + E_2 - V_D}{R_1 + R_2} = \frac{10 + 5 - 0.7}{(4.7 + 2.2) * 10^3} = \frac{14.3 volts}{6.9 * 10^3 \Omega} \Rightarrow$$

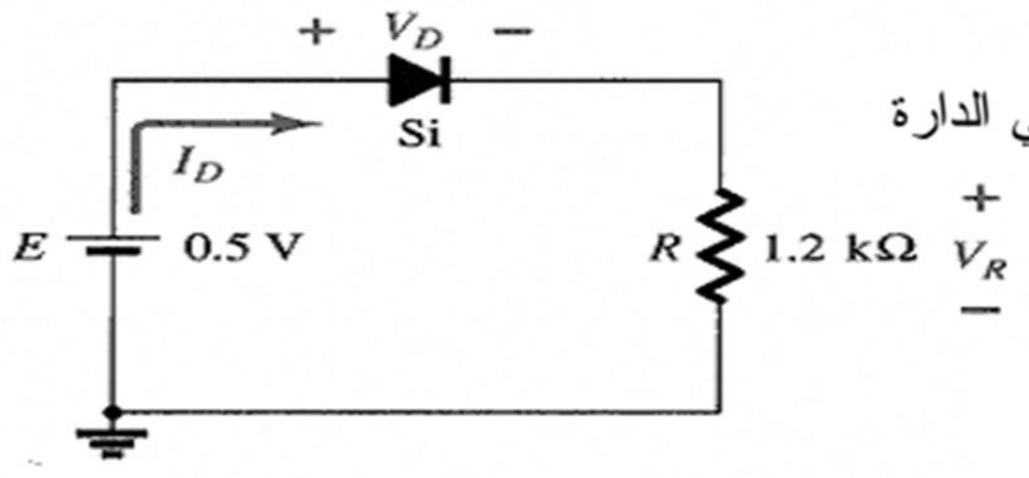
$$I = 2.07 mA$$

$$V_1 = I * R_1 = 2.07 * 10^{-3} * 4.7 * 10^3 = 9.73 volts$$

$$V_2 = I * R_2 = 2.07 * 10^{-3} * 2.2 * 10^3 = 4.55 volts$$

$$V_0 = V_2 - E_2 = 4.55 - 5 = -0.45 volts$$

مثال



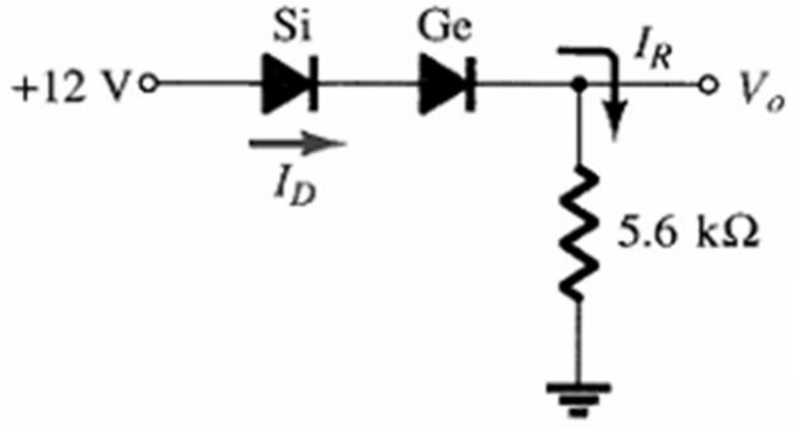
نلاحظ أن جهد التغذية أقل من الجهد اللازم لفتح الديود، لذا فإن التيار المار في الدارة

$$I_D = 0 Amper$$

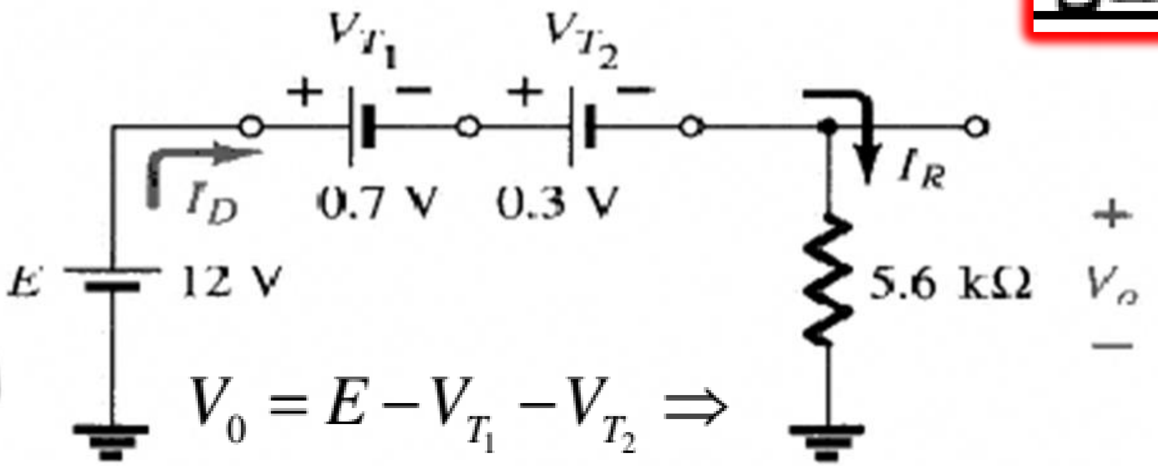
$$V_R = I_R * R = I_D * R = 0 volts$$

$$V_D = E - V_R = 0.5 - 0 = 0.5 volts$$

مثال



الدارة المكافئة

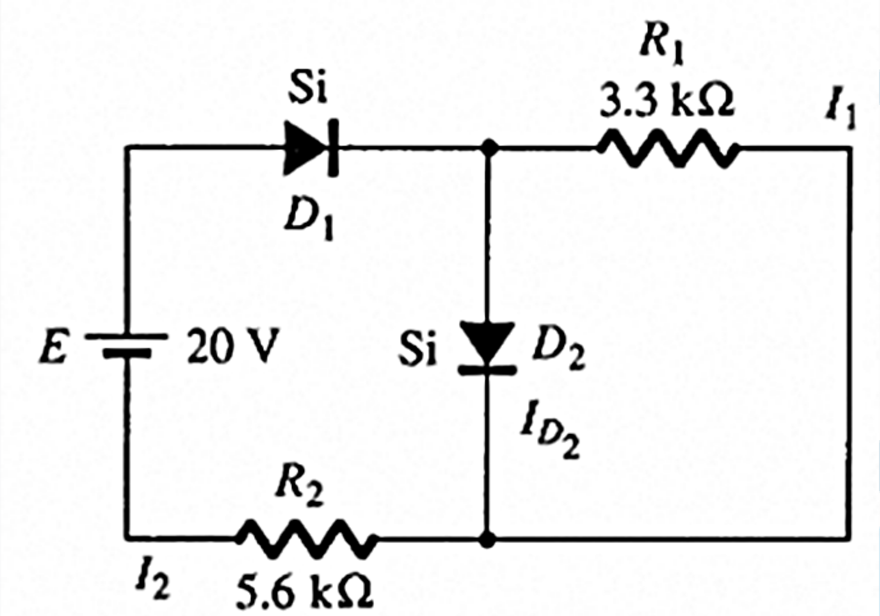


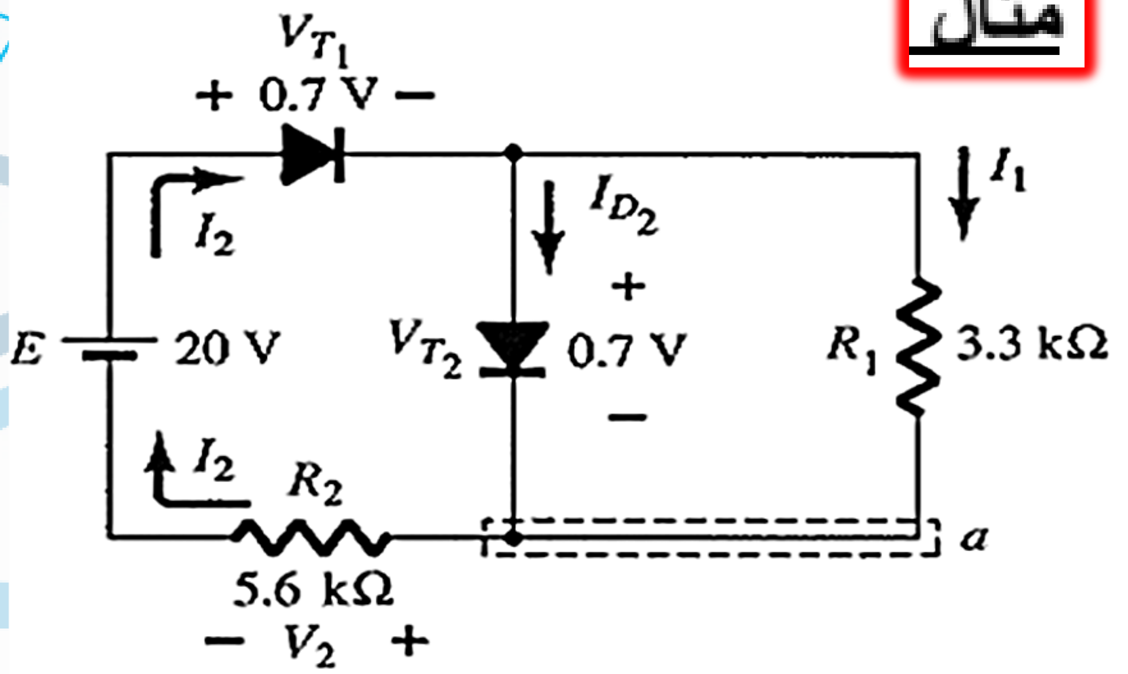
$$V_0 = E - V_{T_1} - V_{T_2} \Rightarrow$$

$$V_0 = 12 - 0.7 - 0.3 = 11 volts$$

$$I_D = I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{11}{5.6*10^3} \cong 1.96 mA$$

مثال





$$I_1 = \frac{V_{T_2}}{R_1} = \frac{0.7\,v}{3.3 * 10^3\,A} = 0.212\ mA$$

$$-V_2 + E - V_{T_2} - V_{T_1} = 0 \Rightarrow$$

$$V_2 = +E - V_{T_2} - V_{T_1} = 20 - 0.7 - 0.7 \Rightarrow$$

$$V_2 = 18.6\,volts$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18.6\,v}{5.6 * 10^3\,\Omega} = 3.32\ mA$$

$$I_{D_2} + I_1 = I_2 \Rightarrow$$

$$I_{D_2} = I_2 - I_1 = 3.32\,mA - 0.212\,mA = 3.108\,mA.$$