Electronics 1 – Unit 2: Diodes and Applications

ملخّص المحاضرة ٣

المحاضرة الثالثة: تشغيل الثنائي ومنحنى الجهد والتيار

Lecture 3 – Diode Operation and V-I Characteristics

جامعة الطائف — الوحدة الثانية: الثنائيات وتطبيقاتها

إعداد وشرح

Eng. Emad Mahdy

دوائر كهربية • إلكترونيات • إشارات وأنظمة • معالجات دقيقة

WhatsApp: +20 12 7148 2006

YouTube: si-manual (Eng. Emad Mahdy)

https://si-manual.com

لمزيد من الملخّصات والشروح تابع القناة والموقع

فهرس المحتويات

١) الثنائي وطرفاه – The Diode

٢) الانحياز الأمامي – Forward Bias

٣) الانحياز الأمامي ومنطقة الاستنزاف – Effect on the Depletion Region

٤) الانحياز العكسي – Reverse Bias

٥) التيار العكسي والانهيار – Reverse Current and Breakdown

٦) منحنى الجهد والتيار أماميًا – V-I Characteristic in Forward Bias

٧) المقاومة الديناميكية – Dynamic Resistance

٨) منحنى الجهد والتيار عكسيًا – V-I Characteristic in Reverse Bias

٩) المنحنى الكامل وأثر الحرارة – Complete Curve and Temperature

١٠) أسئلة المراجعة – Review Questions

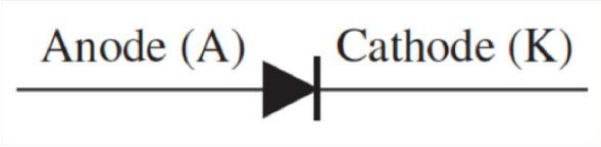
١) الثنائي وطرفاه – The Diode

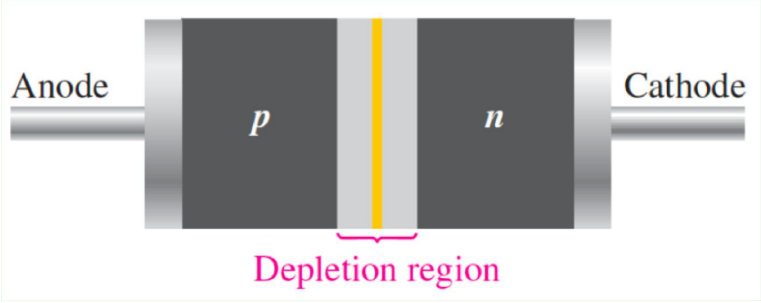
Diode is made from a small piece of semiconductor material, usually silicon, in which half is doped as a p region and half is doped as an n region with a pn junction and depletion region in between.

الثنائى قطعة صغيرة من شبه موصل، سليكون في الغالب، نصفها مطعّم ليصير موجبًا ونصفها ليصير سالبًا، وبينهما وصلة ومنطقة استنزاف.

The p region is called the anode and is connected to a conductive terminal. The n region is called the cathode and is connected to a second conductive terminal.

الجزء الموجب اسمه المصعد ويخرج منه طرف موصّل، والجزء السالب اسمه المهبط ويخرج منه طرف ثانٍ.



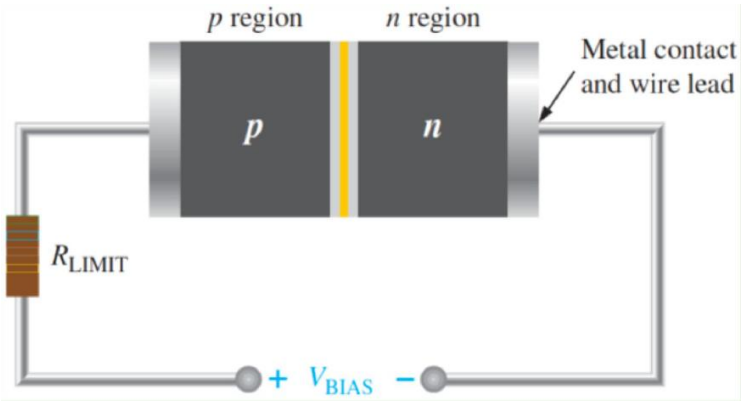


الطرف	Anode (A) المصعد	Cathode (K) المهبط
الجزء الذي يخرج منه	الجزء الموجب من الثنائي	الجزء السالب من الثنائي
موضعه في الرمز	جهة المثلث	جهة الشرطة

٢) الانحياز الأمامي – Forward Bias

Forward bias is the condition that allows current through the pn junction.

الانحياز الأمامي هو توصيل الثنائي بالمصدر بطريقة تسمح بمرور التيار خلال الوصلة.



Notice that the negative side of VBIAS is connected to the n region of the diode and the positive side is connected to the p region.

نوصّل الطرف السالب للمصدر بالجزء السالب من الثنائي، والطرف الموجب بالجزء الموجب.

VBIAS must be greater than the barrier potential.

ويجب أن يكون جهد المصدر أكبر من جهد الحاجز حتى يمرّ التيار.

ماذا يحدث داخل الثنائي – What Happens in Forward Bias

The bias-voltage source imparts sufficient energy to the free electrons to overcome the barrier potential of the depletion region and move on through into the p region.

المصدر يمنح الإلكترونات الحرة طاقة تكفي لتجاوز جهد الحاجز والعبور إلى الجزء الموجب.

Once in the p region, these conduction electrons have lost enough energy to immediately combine with holes in the valence band.

وبعد العبور تكون قد فقدت طاقة كافية فتتحد فورًا مع ثقوب نطاق التكافؤ.

The positive side of the bias-voltage source attracts the valence electrons toward the left end of the p region.

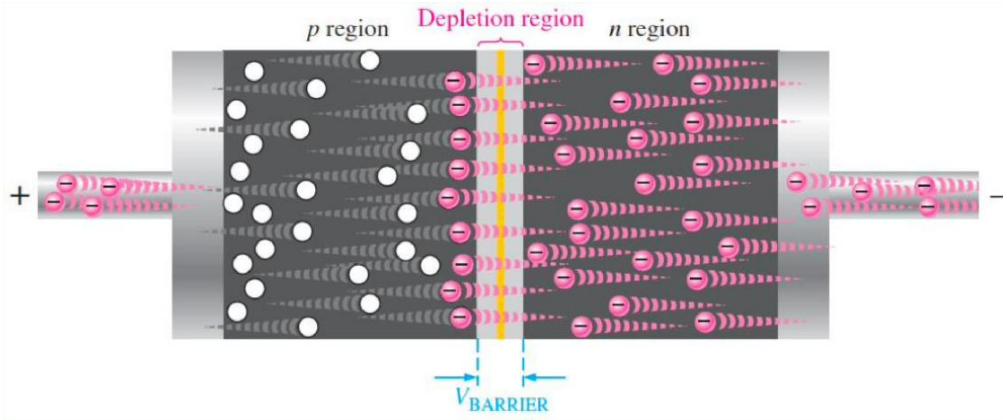
والطرف الموجب للمصدر يجذب إلكترونات التكافؤ نحو طرف الجزء الموجب.

The valence electrons move from one hole to the next toward the left.

فتنتقل هذه الإلكترونات من ثقب إلى ثقب في اتجاه الطرف الموجب.

As the electrons flow out of the p region, they leave holes behind in the p region.

وكلّما خرج إلكترون من الجزء الموجب ترك خلفه ثقبًا جديدًا، فيستمرّ التيار في الدائرة.


p region
Depletion region
n region
+
–
$V_{BARRIER}$

٣) الانحياز الأمامي ومنطقة الاستنزاف – Effect on the Depletion Region

As the electrons flow into the depletion region, the number of positive ions is reduced.

دخول الإلكترونات إلى منطقة الاستنزاف يقلّل عدد الأيونات الموجبة فيها.

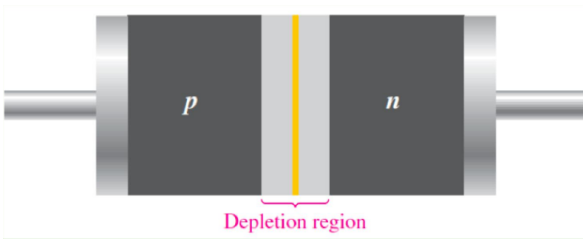
As more holes effectively flow into the depletion region, the number of negative ions is reduced.

ودخول الثقوب إليها يقلّل عدد الأيونات السالبة.

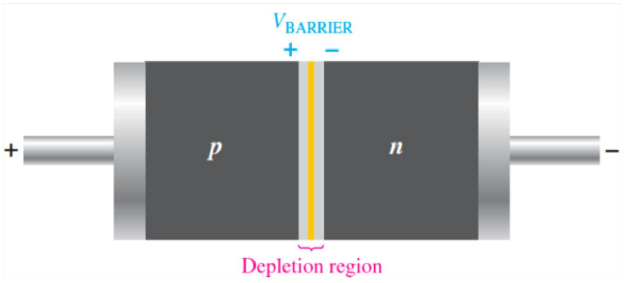
This reduction in positive and negative ions during forward bias causes the depletion region to narrow.

ونقص الأيونات من النوعين يجعل منطقة الاستنزاف تضيق.

الشكل الأول يبيّن منطقة الاستنزاف في حالة الاتزان بلا انحياز:



والشكل الثاني يبيّنها بعد تسليط الانحياز الأمامي، وقد ضاقت:



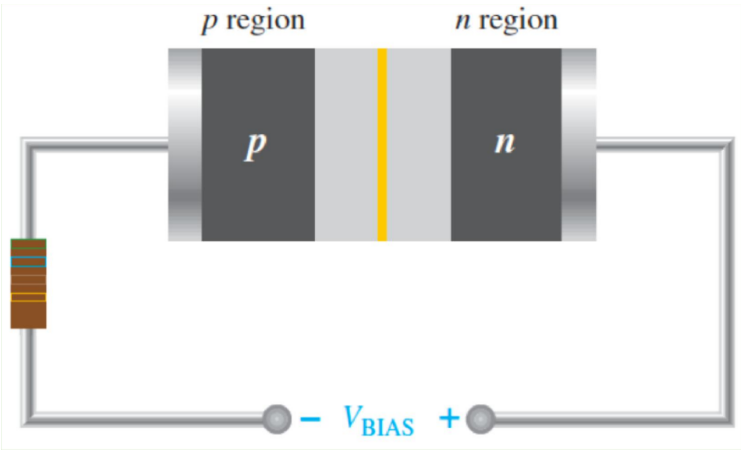
خلاصة:

ضيق منطقة الاستنزاف هو سبب مرور التيار في الانحياز الأمامي، واتساعها هو سبب منعه في الانحياز العكسي. وهذه إجابة السؤال الأول في أسئلة المراجعة.

٤) الانحياز العكسي – Reverse Bias

Reverse bias is the condition that essentially prevents current through the diode.

الانحياز العكسي هو توصيل الثنائي بالمصدر بطريقة تمنع مرور التيار عمليًا.



Notice that the positive side of VBIAS is connected to the n region of the diode and the negative side is connected to the p region.

نوصّل الطرف الموجب للمصدر بالجزء السالب من الثنائي، والطرف السالب بالجزء الموجب، أي عكس الحالة السابقة.

Note that the depletion region is shown much wider than in forward bias or equilibrium.

ومنطقة الاستنزاف هنا أعرض كثيرًا منها في الانحياز الأمامي وفي حالة الاتزان.

ماذا يحدث داخل الثنائي – What Happens in Reverse Bias

In the n region, as the electrons flow toward the positive side of the voltage source, additional positive ions are created. This results in a widening of the depletion region and a depletion of majority carriers.

في الجزء السالب تنسحب الإلكترونات نحو الطرف الموجب للمصدر فتتكوّن أيونات موجبة إضافية، فتتّسع منطقة الاستنزاف ويقلّ عدد حاملات الأغلبية.

In the p region, electrons from the negative side of the voltage source move from hole to hole toward the depletion region where they create additional negative ions.

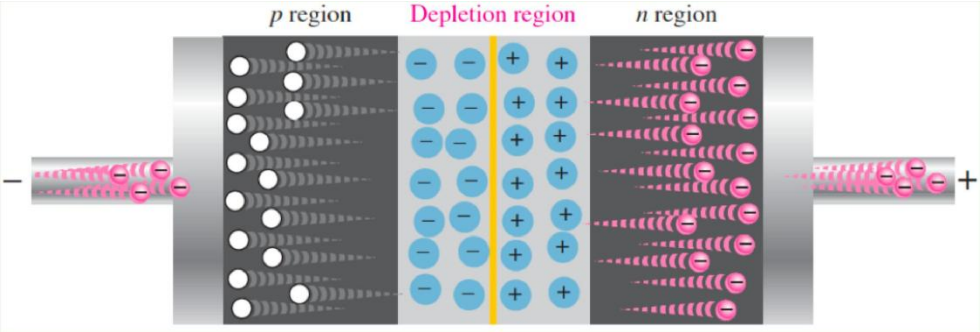
وفي الجزء الموجب تنتقل الإلكترونات القادمة من الطرف السالب للمصدر من ثقب إلى ثقب نحو منطقة الاستنزاف فتكوّن أيونات سالبة إضافية، فتتّسع المنطقة أكثر.

As more of the n and p regions become depleted of majority carriers, the electric field between the positive and negative ions increases in strength until the potential across the depletion region equals the bias voltage, VBIAS.

ومع اتساع المنطقة يقوى المجال الكهربي بين الأيونات حتى يصبح الجهد عبر منطقة الاستنزاف مساويًا لجهد المصدر.

At this point, the transition current essentially stops.

وعندها يتوقّف تيار الانتقال عمليًا.



وجه المقارنة	Forward Bias انحياز أمامي	Reverse Bias انحياز عكسي
الطرف الموجب للمصدر يوصل بـ	الجزء الموجب	الجزء السالب
منطقة الاستنزاف	تضيق	تتّسع
الأيونات في المنطقة	يقلّ عددها	يزيد عددها
التيار	يمرّ	لا يمرّ عمليًا

٥) التيار العكسي والانهيار – Reverse Current and Breakdown

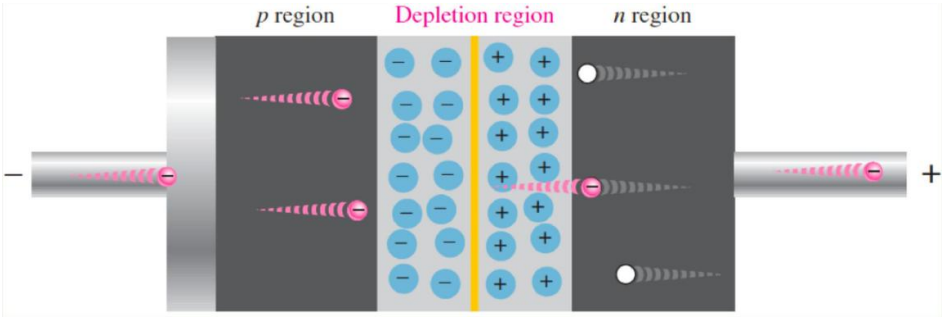
التيار العكسي – Reverse Current

The extremely small current that exists in reverse bias after the transition current dies out is caused by the minority carriers in the n and p regions that are produced by thermally generated electron-hole pairs.

بعد توقّف تيار الانتقال يبقى تيار صغير جدًا سببه حاملات الأقلية في الجزأين، وهي التي تتولّد بالحرارة على صورة أزواج إلكترون-ثقب.

The conduction band in the p region is at a higher energy level than the conduction band in the n region. Therefore, the minority electrons easily pass through the depletion region because they require no additional energy.

ولأن نطاق التوصيل في الجزء الموجب أعلى طاقة من نطاق التوصيل في الجزء السالب تعبر إلكترونات الأقلية منطقة الاستنزاف بلا طاقة إضافية.



الانهيار العكسي – Reverse Breakdown

If the external reverse-bias voltage is increased to a value called the breakdown voltage, the reverse current will drastically increase.

إذا زاد جهد الانحياز العكسي حتى بلغ قيمة تسمّى جهد الانهيار ارتفع التيار العكسي ارتفاعًا حادًا.

The high reverse-bias voltage imparts energy to the free minority electrons so that as they speed through the p region, they collide with atoms with enough energy to knock valence electrons out of orbit and into the conduction band.

الجهد العكسي العالي يمنح إلكترونات الأقلية طاقة كبيرة، فتصطدم بالذرّات وتقذف إلكترونات تكافؤ من مداراتها إلى نطاق التوصيل.

The newly created conduction electrons are also high in energy and repeat the process.

والإلكترونات الجديدة تحمل طاقة عالية بدورها فتكرّر العملية نفسها.

The multiplication of conduction electrons is known as the avalanche effect.

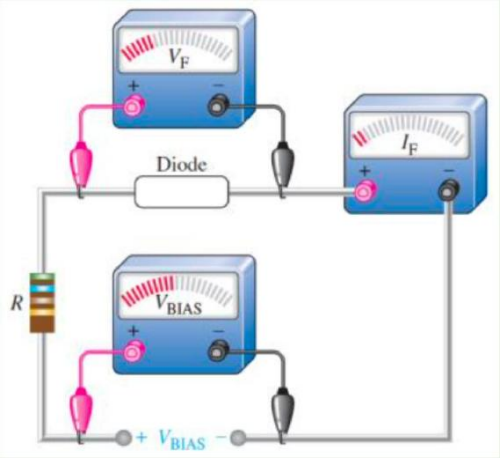
التأثير الانهياري هو تضاعف إلكترونات التوصيل بهذه الطريقة المتسلسلة.

٦) منحنى الجهد والتيار أماميًا – V-I Characteristic in Forward Bias

When a forward-bias voltage is applied across a diode, there is current. This current is called the forward current (IF).

عند تسليط جهد انحياز أمامي على الثنائي يمرّ تيار اسمه التيار الأمامي.

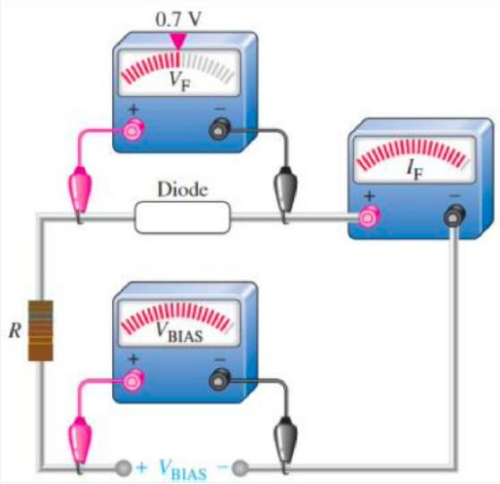
في القياس الأول يكون جهد المصدر صغيرًا:



Small forward-bias voltage (VF < 0.7 V), very small forward current.

فالجهد على الثنائي أقلّ من جهد الحاجز، والتيار الأمامي صغير جدًا.

وفي القياس الثاني نزيد جهد المصدر:



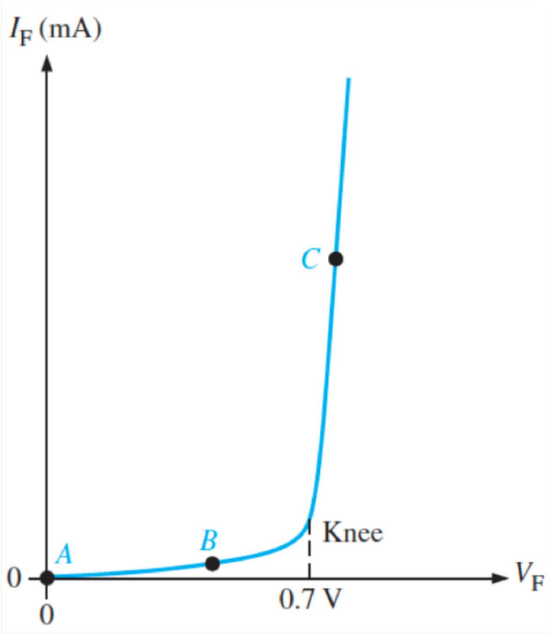
Forward voltage reaches and remains nearly constant at approximately 0.7 V. Forward current continues to increase as the bias voltage is increased.

فيثبت الجهد على الثنائي عند 0.7 فولت تقريبًا ولا يكاد يزيد، بينما يستمرّ التيار في الازدياد كلّما زاد جهد المصدر.

قراءة المنحنى – Graphing the V-I Curve

The diode forward voltage (VF) increases to the right along the horizontal axis, and the forward current (IF) increases upward along the vertical axis.

المحور الأفقي يمثّل الجهد الأمامي ويزيد ناحية اليمين، والمحور الرأسي يمثّل التيار الأمامي ويزيد إلى أعلى.



النقطة	موضعها على المنحنى
A	حالة انعدام الانحياز: الجهد صفر والتيار صفر
B	الجهد الأمامي أقلّ من جهد الحاجز، والتيار ما زال صغيرًا
C	الجهد الأمامي يساوي جهد الحاجز تقريبًا، وعندها تبدأ الركبة

As the external bias voltage and forward current continue to increase above the knee, the forward voltage will increase slightly above 0.7 V.

وفوق الركبة يزيد الجهد الأمامي زيادة طفيفة فقط مهما زاد التيار.

خلاصة:

الركبة هي الحدّ الفاصل: تحتها التيار ضئيل، وفوقها يرتفع التيار بسرعة ويكاد الجهد يثبت عند 0.7 فولت.
وهذه إجابة سؤالي المراجعة عن أهمية الركبة وعن موضع تشغيل الثنائي.

V) المقاومة الديناميكية – Dynamic Resistance

The resistance of the forward-biased diode is not constant over the entire curve. It is called dynamic or ac resistance.

المقاومة الديناميكية هي مقاومة الثنائي عند نقطة معيّنة من المنحنى، وتختلف من نقطة إلى أخرى لأن المنحنى غير مستقيم.

قانون المقاومة الديناميكية:

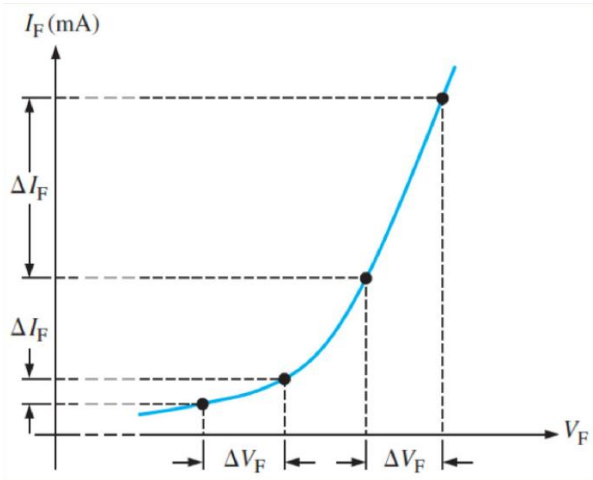
$$r'_d = \Delta V_F / \Delta I_F$$

Below the knee of the curve the resistance is greatest because the current increases very little for a given change in voltage.

تحت الركبة تكون المقاومة أكبر ما يمكن، لأن التيار يزيد زيادة ضئيلة مقابل تغيّر معيّن في الجهد.

The resistance begins to decrease in the region of the knee of the curve and becomes smallest above the knee where there is a large change in current for a given change in voltage.

ثم تبدأ المقاومة في النقصان عند الركبة، وتصبح أصغر ما يمكن فوقها حيث يتغيّر التيار تغيّرًا كبيرًا مقابل التغيّر نفسه في الجهد.

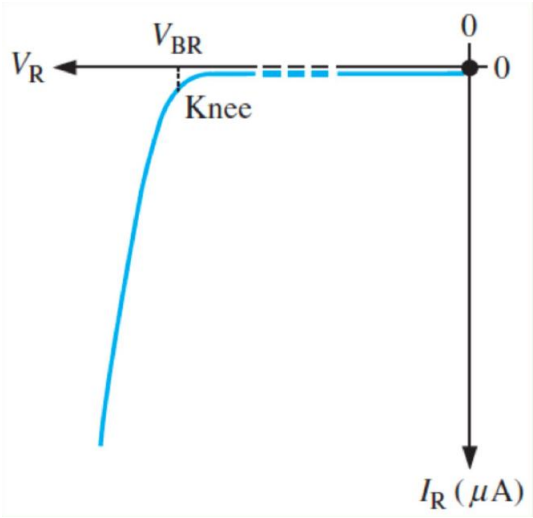


موضع النقطة على المنحنى	المقاومة الديناميكية
تحت الركبة	أكبر ما يمكن
عند الركبة	تبدأ في النقصان
فوق الركبة	أصغر ما يمكن

٨) منحنى الجهد والتيار عكسيًا – V-I Characteristic in Reverse Bias

When a reverse-bias voltage is applied across a diode, there is only an extremely small reverse current (IR) through the pn junction.

عند تسليط جهد انحياز عكسي لا يمرّ خلال الوصلة غير تيار عكسي صغير جدًا.



At 0 V across the diode, no reverse current.

عند جهد صفر على الثنائي لا يوجد تيار عكسي.

As you gradually increase VR, there is a very small reverse current and the voltage across the diode increases.

ومع زيادة الجهد العكسي تدريجيًا يبقى التيار صغيرًا جدًا ويزيد الجهد على الثنائي.

When the applied bias voltage is increased to a value where VR reaches the breakdown value (VBR), the IR begins to increase rapidly.

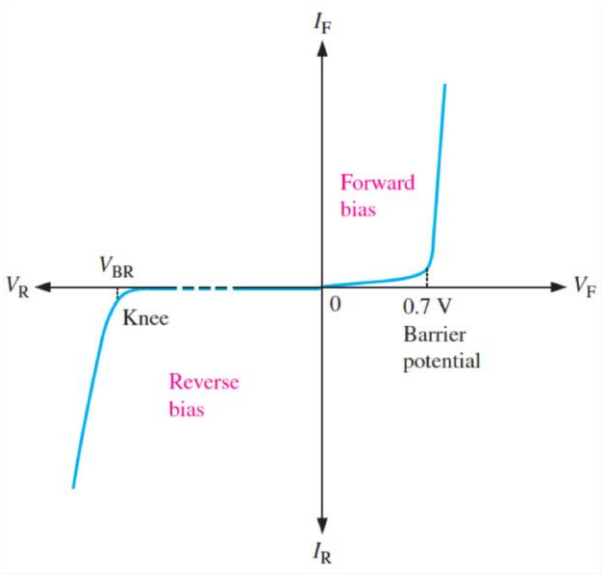
فإذا بلغ الجهد العكسي قيمة الانهيار بدأ التيار العكسي في الازدياد السريع.

As you continue to increase VR, the current continues to increase very rapidly, but the voltage across the diode increases very little above VBR.

وبعد ذلك يستمرّ التيار في الازدياد بسرعة كبيرة، بينما لا يكاد الجهد على الثنائي يزيد عن جهد الانهيار.

9) المنحنى الكامل وأثر الحرارة – Complete Curve and Temperature

يجمع المنحنى الكامل الحالتين معًا: الانحياز الأمامي إلى يمين المحور الرأسي وفوق المحور الأفقي، والانحياز العكسي إلى يساره وتحته. وعليه علامتان مهمّتان: جهد الحاجز 0.7 فولت في الجهة الأمامية، وجهد الانهيار في الجهة العكسية.



أثر الحرارة – Temperature Effects

For a forward-biased diode, as temperature is increased, the forward current increases. Also, the forward voltage decreases.

في الانحياز الأمامي يزيد التيار الأمامي مع ارتفاع الحرارة، وينقص الجهد الأمامي.

The barrier potential decreases by 2 mV for each degree increase in temperature.

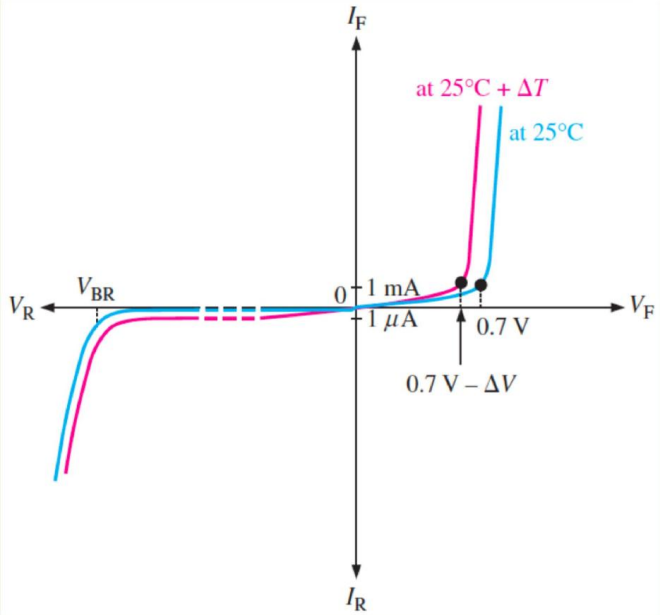
وينقص جهد الحاجز بمقدار 2 ملّي فولت لكل درجة ارتفاع في الحرارة.

For a reverse-biased diode, as temperature is increased, the reverse current increases.

وفي الانحياز العكسي يزيد التيار العكسي مع ارتفاع الحرارة.

Note: the reverse current below breakdown remains extremely small and can usually be neglected.

ومع ذلك يبقى التيار العكسي تحت الانهيار صغيرًا جدًا ويمكن إهماله عادة.



الكمية	أثر ارتفاع الحرارة
التيار الأمامي	يزيد
الجهد الأمامي	ينقص
جهد الحاجز	ينقص بمقدار 2 ملّي فولت لكل درجة
التيار العكسي	يزيد، ويبقى صغيرًا جدًا تحت الانهيار

١٠) أسئلة المراجعة – Review Questions

السؤال	الإجابة المختصرة
1. Compare the depletion regions in forward bias and reverse bias.	تضيق في الانحياز الأمامي لنقص الأيونات فيها، وتتّسع في الانحياز العكسي لزيادتها.
2. When does reverse breakdown occur in a diode?	عندما يبلغ جهد الانحياز العكسي قيمة جهد الانهيار، فيرتفع التيار العكسي ارتفاعًا حادًا بالتأثير الانهياري.
3. Discuss the significance of the knee of the characteristic curve in forward bias.	الركبة هي حدّ بدء التوصيل الفعلي: تحتها التيار ضئيل والمقاومة كبيرة، وفوقها يرتفع التيار بسرعة ويثبت الجهد عند 0.7 فولت تقريبًا.
4. On what part of the curve is a forward-biased diode normally operated?	فوق الركبة، حيث المقاومة الديناميكية أصغر ما يمكن.
5. Which is greater, the breakdown voltage or the barrier potential?	جهد الانهيار أكبر بكثير؛ فجهد الحاجز 0.7 فولت للسليكون، ولم تذكر المحاضرة قيمة عددية لجهد الانهيار.
6. What happens to the barrier potential when the temperature increases?	ينقص بمقدار 2 ملّي فولت لكل درجة ارتفاع في الحرارة.