



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



Chương 2

DIODE

PGS.TS. Phan Trần Đăng Khoa

Nội dung

2.1 Giới thiệu

2.2 Cấu tạo và ký hiệu

2.3 Nguyên lý hoạt động

2.4 Mô hình toán học

2.5 Đặc tuyến

2.6 Các thông số

2.7 Mô hình mạch tương đương

2.8 Phân tích mạch sử dụng diode

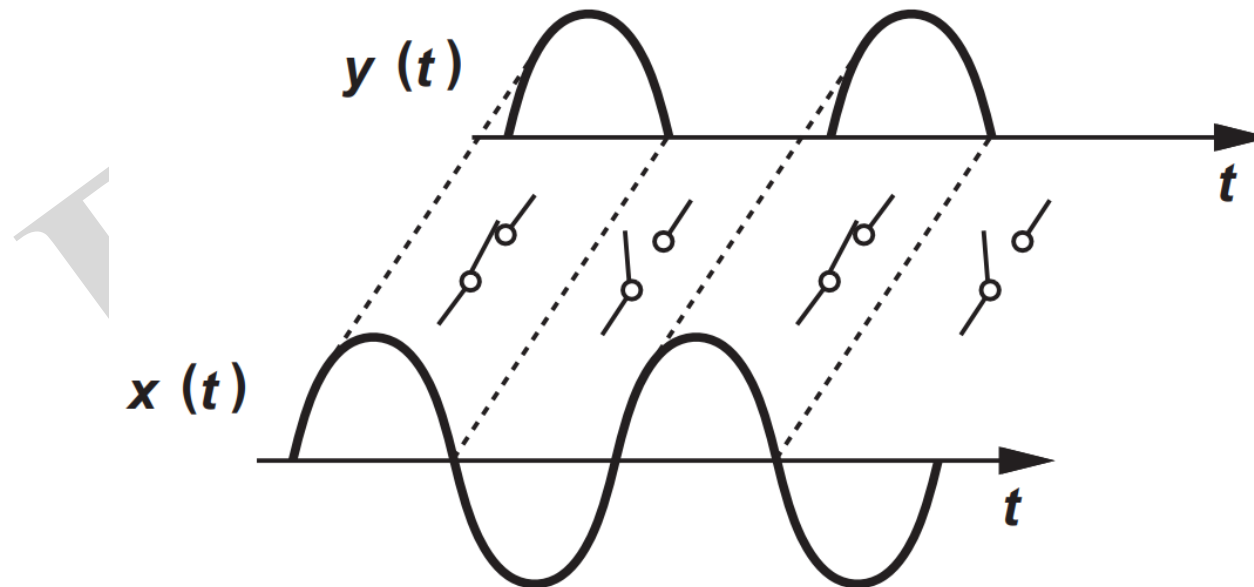
2.9 Một số loại diode khác

2.10 Ứng dụng

2.1 Giới thiệu

- Bộ sạc chuyển đổi từ điện áp AC 110V và 60Hz sang điện áp DC 3.5V.

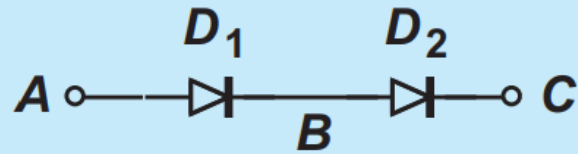
- Sự cần thiết của một linh kiện có khả năng phân biệt giữa điện áp dương và âm, chỉ cho điện áp có chiều xác định đi qua.
 - Điện trở không thể thực hiện vai trò này.
 - Linh kiện hành xử như:
 - ngắn mạch đối với điện áp dương;
 - hở mạch đối với điện áp âm.
- Linh kiện phi tuyến.



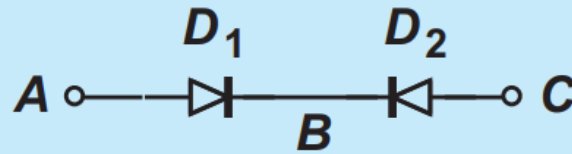
- Linh kiện có chức năng này là diode.
- Diode có hai chân: anode và cathode.
- “Diode lý tưởng” cho phép dòng chạy từ anode sang cathode và chặn dòng điện chạy từ cathode sang anode.
- Ví dụ tương đương: van nước một chiều.

BÀI TẬP:

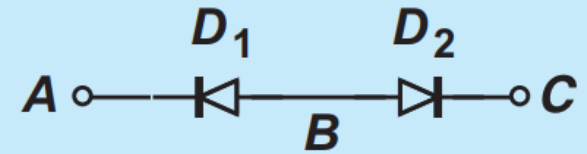
Là một linh kiện có hai chân, diode có thể mắc nối tiếp hoặc song song. Hãy cho biết cách mắc nào sau đây dẫn dòng.



(a)



(b)



(c)

GIẢI:

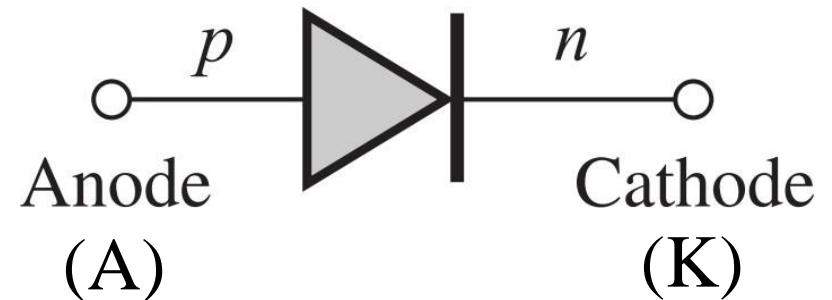
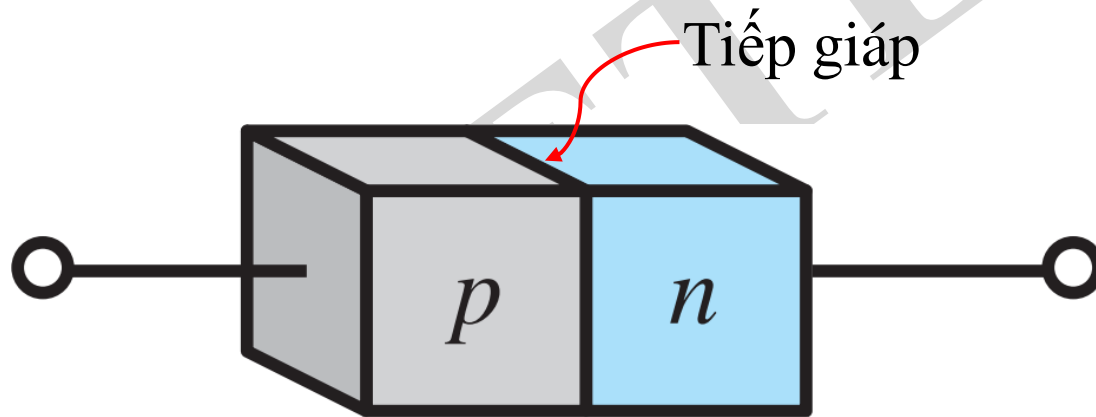
Cách mắc (a) dẫn dòng.

Cách mắc (b) và (c) không dẫn dòng.

- Có nhiều loại diode: diode tiếp giáp pn, diode phát quang (LED), diode Schottky, diode biến dung, diode chỉnh lưu, diode Zener, diode quang, diode hiệu ứng hầm,...
- Về bản chất, nguyên lý hoạt động của các loại diode tương tự nhau.
- Trong học phần này, chúng ta tập trung tìm hiểu sâu về một loại diode: **diode tiếp giáp pn**.
- Từ đó, chúng ta nhanh chóng tìm hiểu các loại diode khác.

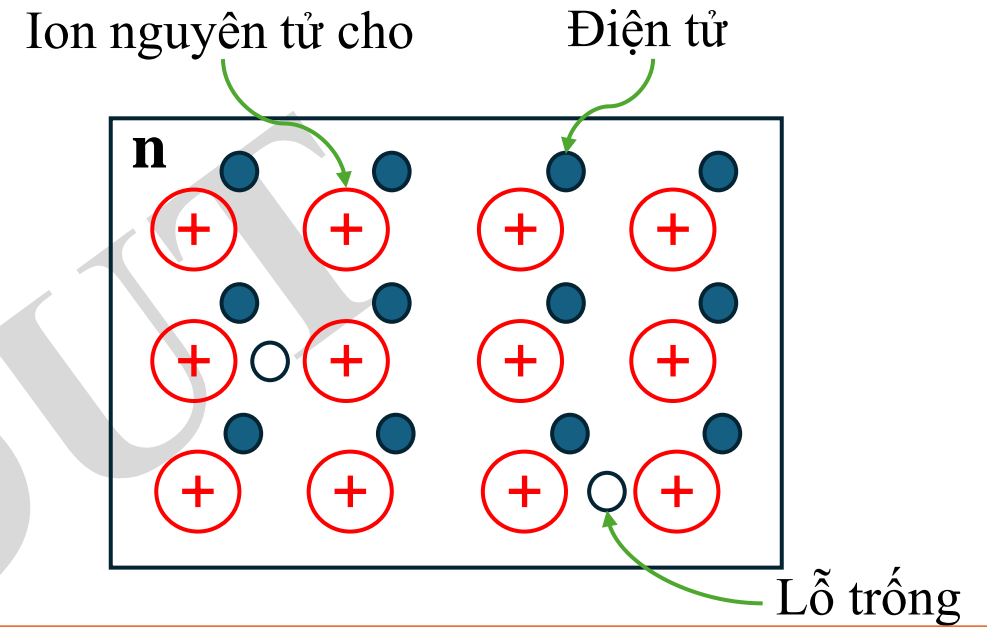
2.2 Cấu tạo và ký hiệu

- Diode tiếp giáp pn được tạo nên bằng cách ghép hai mẫu bán dẫn pha tạp loại n và p lại với nhau.
- Vùng tiếp xúc giữa hai loại bán dẫn loại n và p được gọi là tiếp giáp.
- Vùng p được gọi là anode; vùng n – cathode.
- Để đơn giản, trong phần này, thuật ngữ “diode” để chỉ diode tiếp giáp pn.



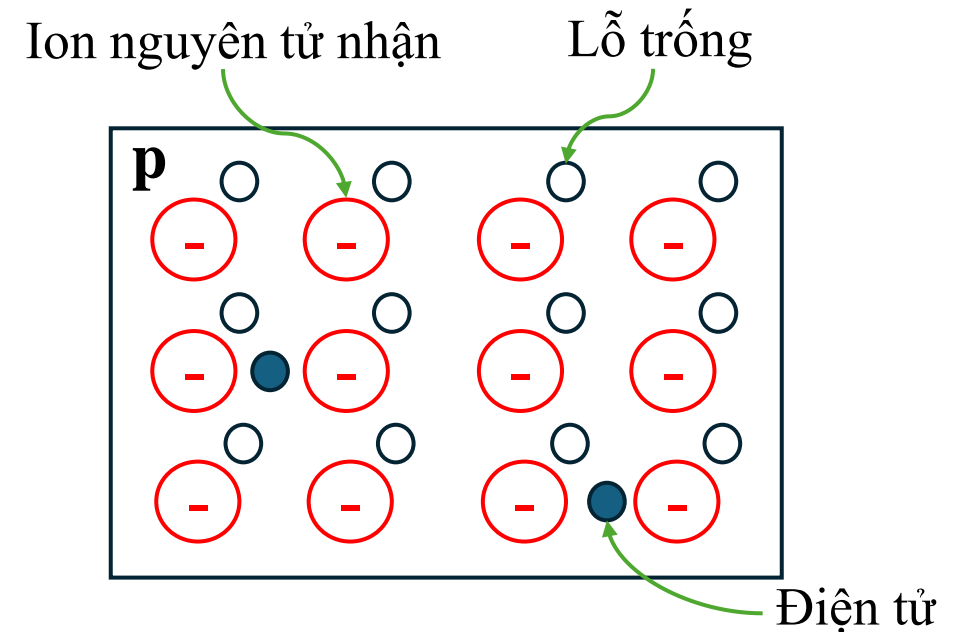
- **Bán dẫn loại n:**

- $n > p$.
- Điện tử: hạt tải điện đa số.
- Lỗ trống: hạt tải điện thiểu số.
- Nguyên tử cho = ion dương + điện tử.
- Ion bị cố định trong mạng tinh thể.



- **Bán dẫn loại p:**

- $p > n$.
- Lỗ trống: hạt tải điện đa số.
- Điện tử : hạt tải điện thiểu số.
- Nguyên tử nhận = ion âm + lỗ trống.
- Ion bị cố định trong mạng tinh thể.



VÍ DỤ:

Cho tiếp giáp pn có mật độ pha tạp như sau: $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ và $N_D = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Hãy tính mật độ điện tử và lỗ trống trong hai lớp bán dẫn loại n và p.

GIẢI:

- Đối với lớp bán dẫn loại p:

$$p_p \approx N_A$$
$$= 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$
$$= \frac{(1.08 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}{10^{16} \text{ cm}^{-3}}$$
$$\approx 1.1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}.$$

- Đối với lớp bán dẫn loại n:

$$n_n \approx N_D$$
$$= 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$
$$= \frac{(1.08 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3})^2}{5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}}$$
$$= 2.3 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}.$$

- Lưu ý rằng, mật độ hạt tải điện đa số ở mỗi bên lớn hơn nhiều lần mật độ hạt tải điện thiểu số ở phía còn lại.

2.3 Nguyên lý hoạt động

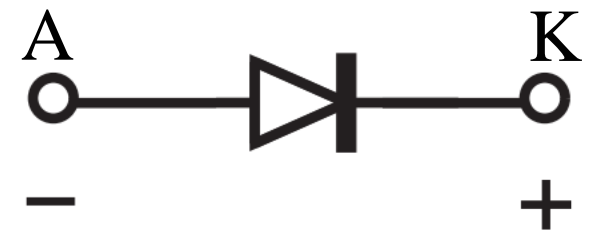
- Phân cực là quá trình áp đặt một điện áp hoặc dòng điện thích hợp vào các chân của linh kiện điện tử để thiết lập chế độ hoạt động mong muốn của linh kiện đó.
- Diode có hai chân nên có 3 trường hợp phân cực như sau:



Không phân cực
 $V_A = V_K$



Phân cực thuận
 $V_A > V_K$

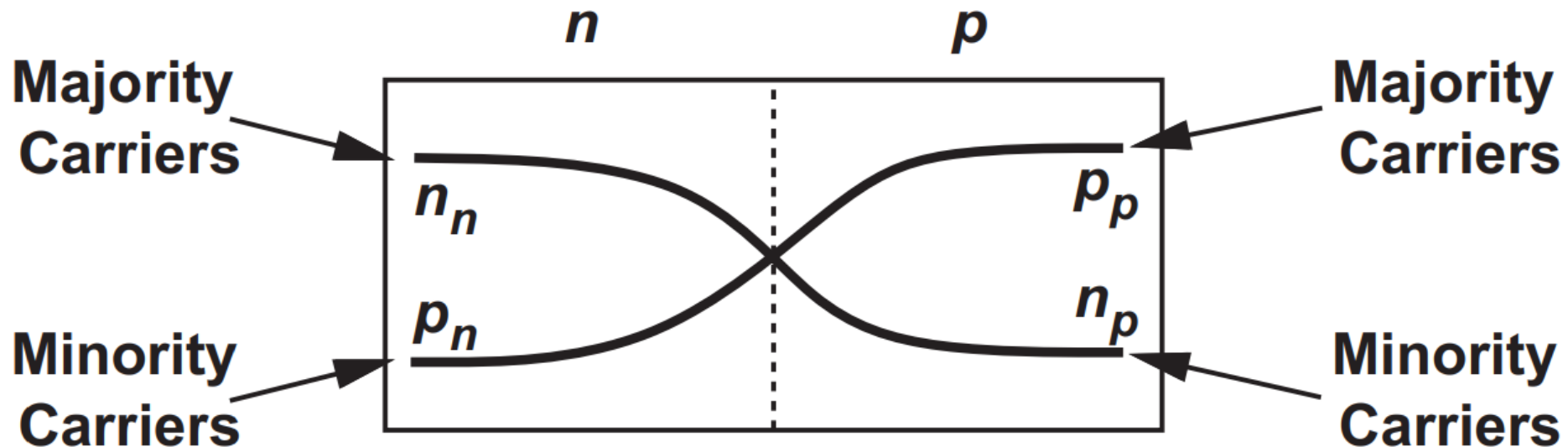


Phân cực ngược
 $V_K > V_A$

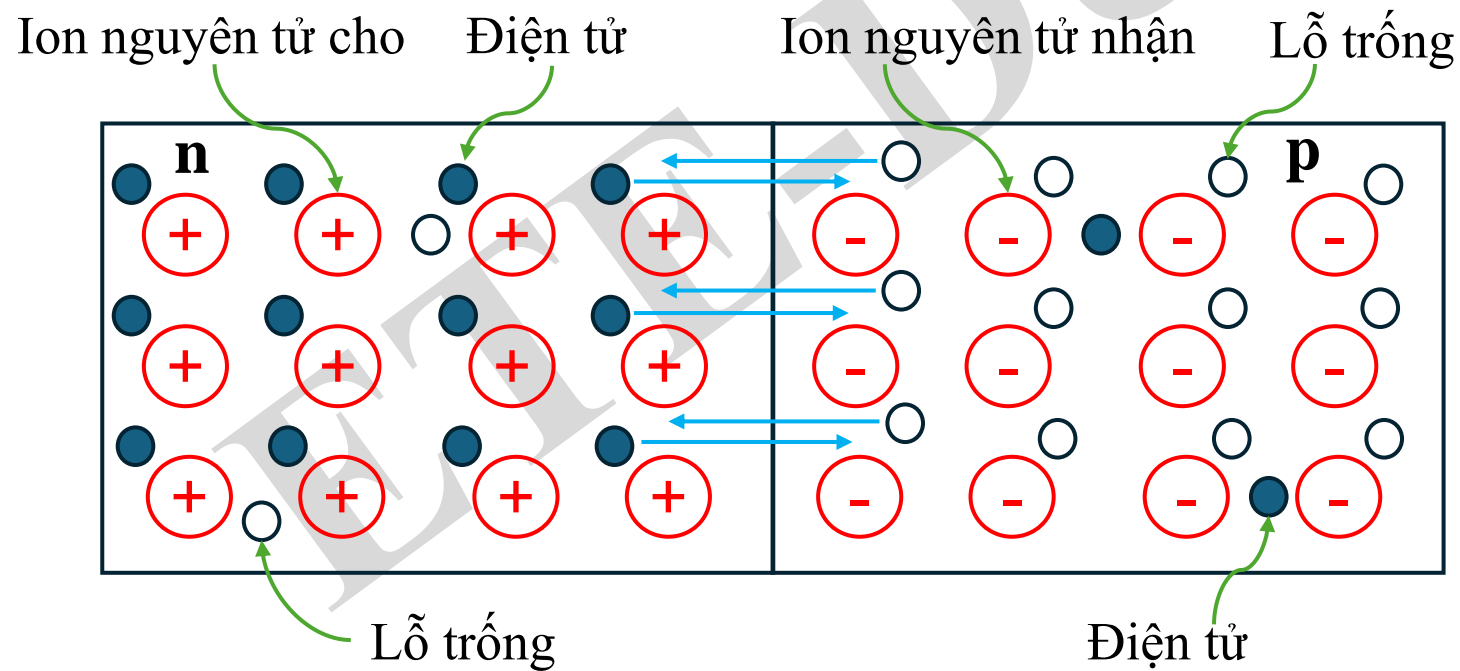
- Chúng ta lần lượt xem xét hoạt động của diode đối với ba trường hợp phân cực.
- Trường hợp không phân cực (hay còn gọi là trạng thái cân bằng) được xem xét trước tiên.
- Từ đó, chúng ta sẽ hiểu được hoạt động của diode trong phân cực thuận và ngược.

2.3.1 Diode ở trạng thái không phân cực

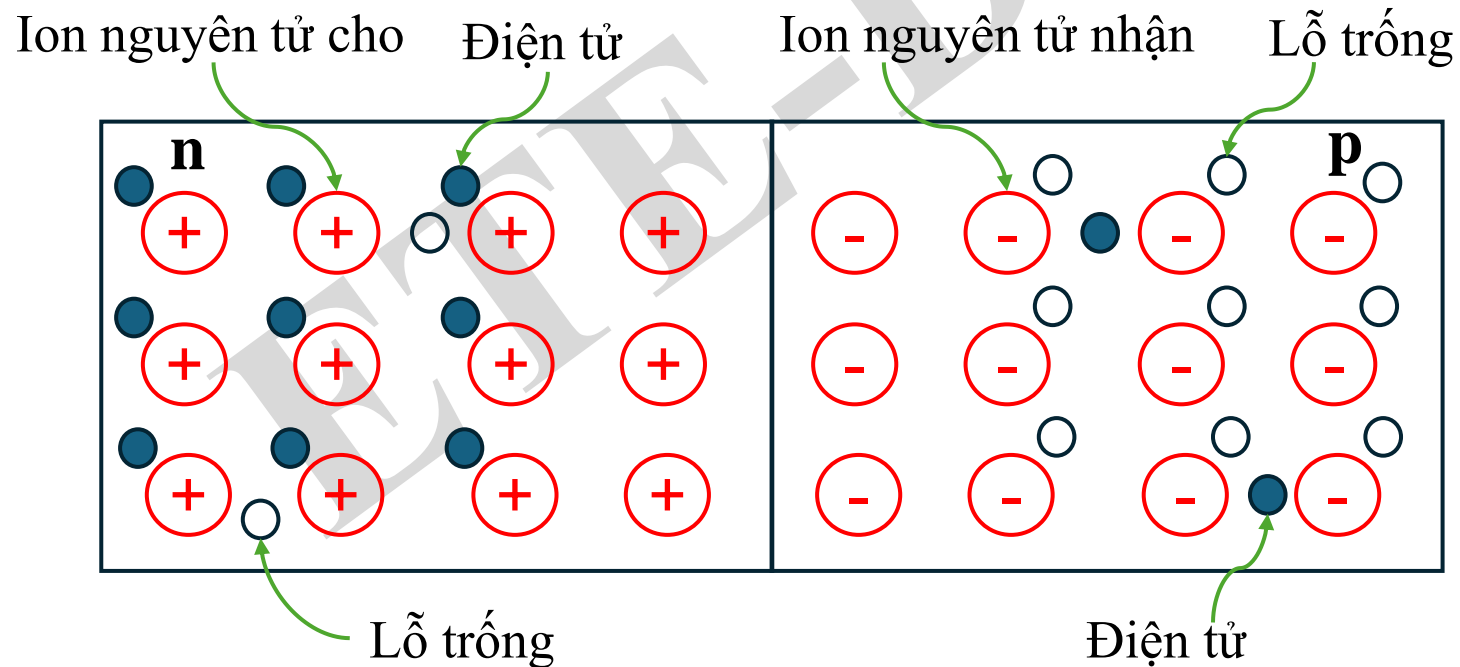
- Trạng thái không phân cực: không có nguồn điện áp ngoài đặt vào các chân của diode.
- Sự chênh lệch mật độ hạt tải điện giữa hai lớp bán dẫn p và n:
 - Lớp n có mật độ điện tử cao hơn lớp p.
 - Lớp p có mật độ lỗ trống cao hơn lớp n.



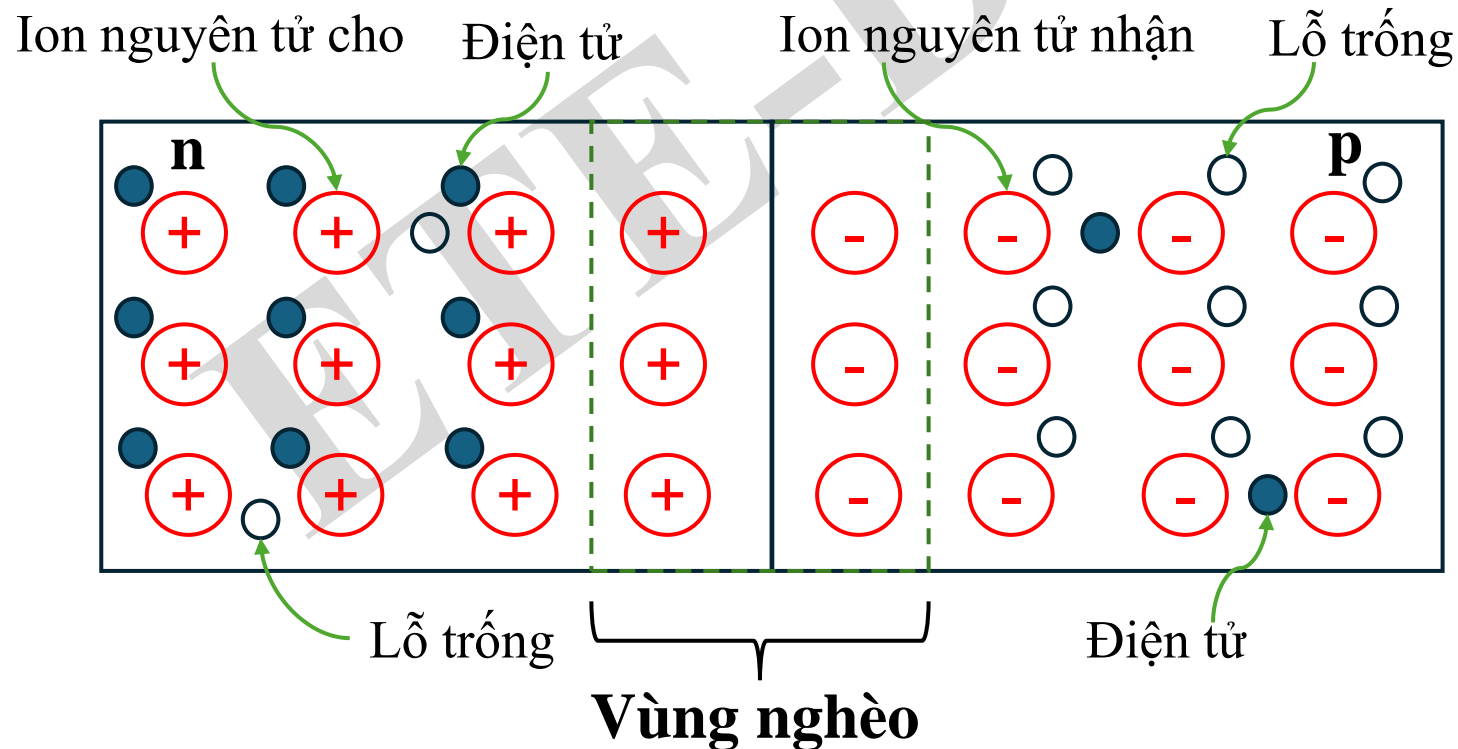
- Sự chênh lệch nồng độ dẫn đến sự hình thành dòng khuếch tán:
 - Các điện tử khuếch tán từ vùng n sang vùng p.
 - Các lỗ trống khuếch tán từ vùng p sang vùng n.



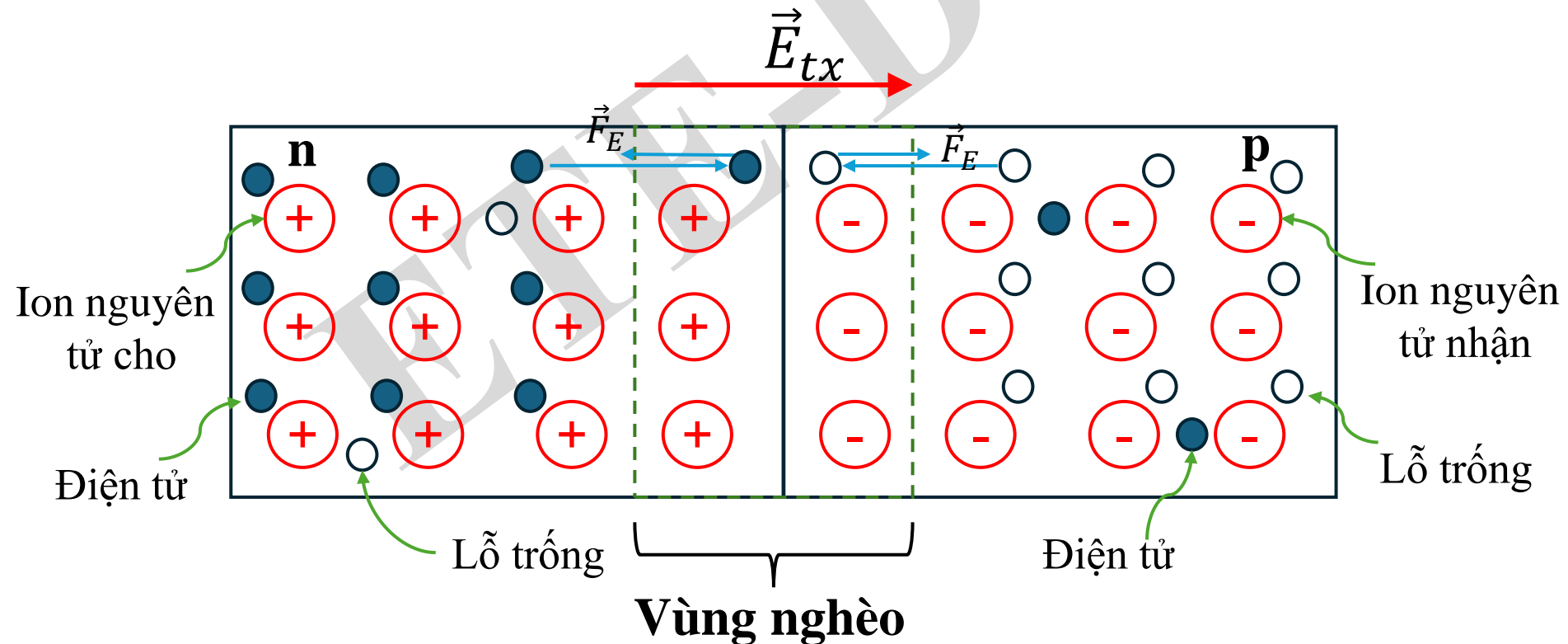
- Khi điện tử khuếch tán khỏi vùng n, chúng để lại các ion dương của nguyên tử nhận bị cố định trong mạng tinh thể.
- Khi lỗ trống khuếch tán khỏi vùng p, chúng để lại các ion âm của nguyên tử cho bị cố định trong mạng tinh thể.
- Các điện tử và lỗ trống bị tái hợp trong quá trình khuếch tán.



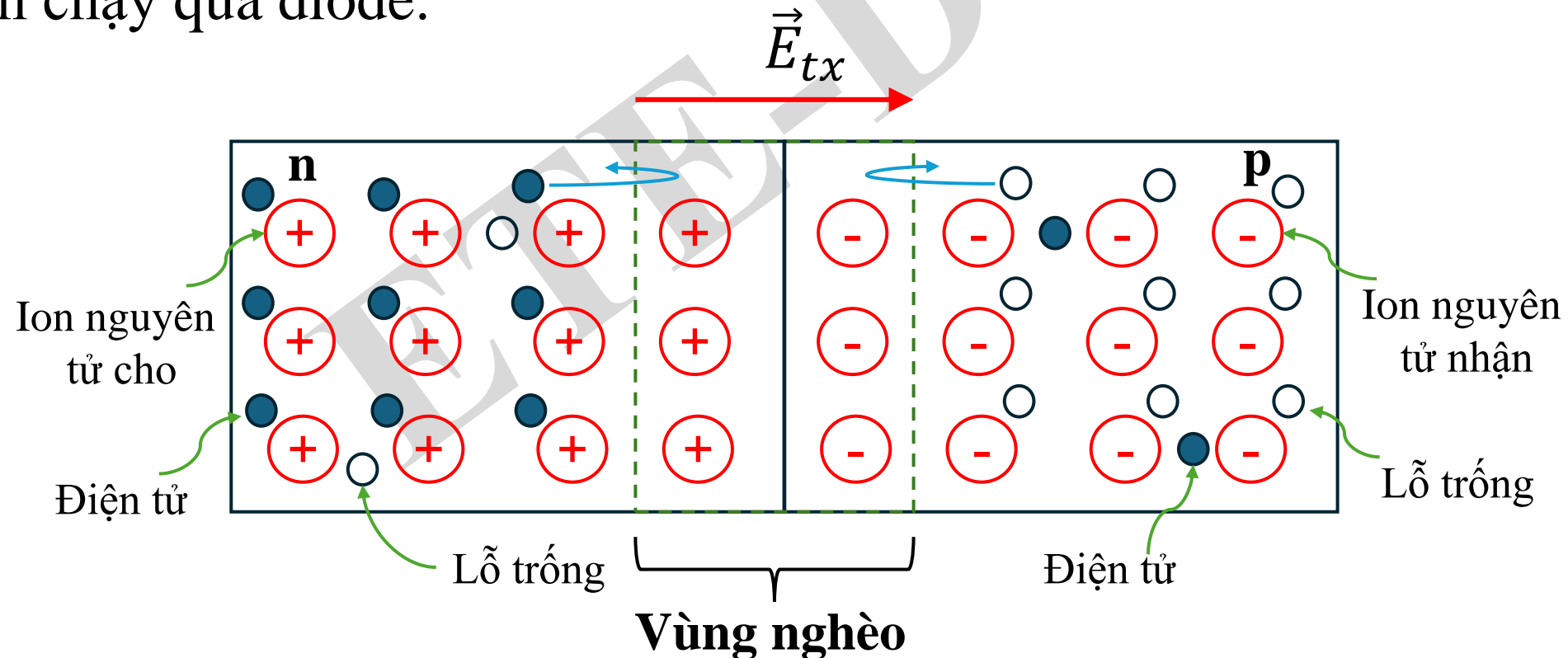
- Hình thành nên vùng quanh tiếp giáp, chứa các ion âm và dương của nguyên tử nhận và nguyên tử cho.
- Vùng này thiếu các hạt tải điện nên được gọi là vùng nghèo.
- Do thiếu các hạt tải điện và các ion bị cố định trong mạng tinh thể nên khả năng dẫn điện của vùng này rất kém.



- Hình thành một điện trường trong vùng nghèo, hướng từ khối ion dương sang khối ion âm.
- Điện trường này được gọi là điện trường tiếp xúc.
- Điện trường này chống lại dòng khuếch tán.

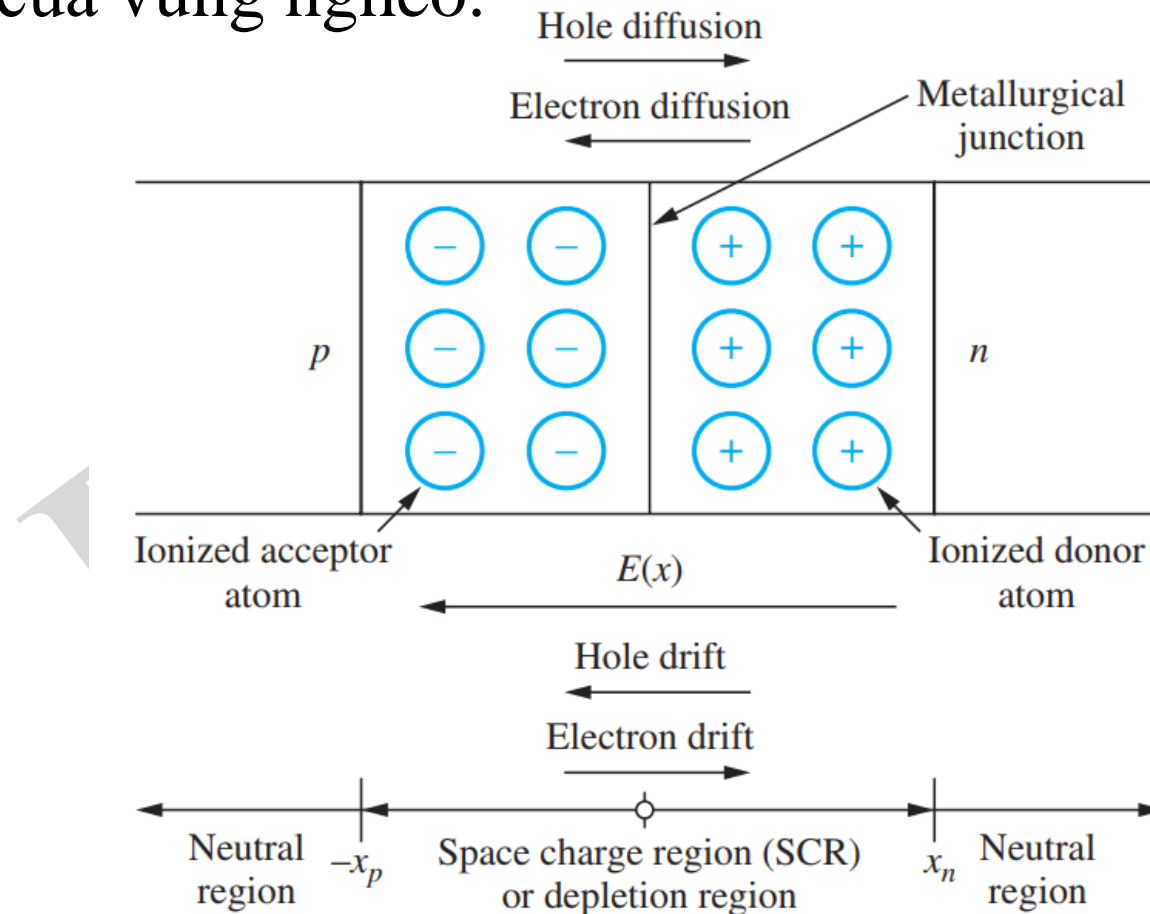


- Dòng khuếch tán càng mạnh thì điện trường tiếp xúc càng lớn, càng cản trở dòng khuếch tán.
 - Tiếp giáp đạt trạng thái cân bằng khi điện trường tiếp xúc đủ lớn để chặn đứng dòng khuếch tán.
- Khi không phân cực, diode đạt trạng thái cân bằng → không có dòng điện chạy qua diode.



CÁC TÍNH CHẤT TĨNH ĐIỆN CỦA VÙNG NGHÈO Ở TRẠNG THÁI CÂN BẰNG

- Ngoài vùng nghèo là các vùng trung hòa về điện.
- Do đó, các tính chất tĩnh điện của diode tiếp giáp pn được quy định bởi tính chất của vùng nghèo.



- Giả sử mật độ pha tạp là đồng đều ở hai bên của tiếp giáp.

- Diode trung hòa về điện nên:

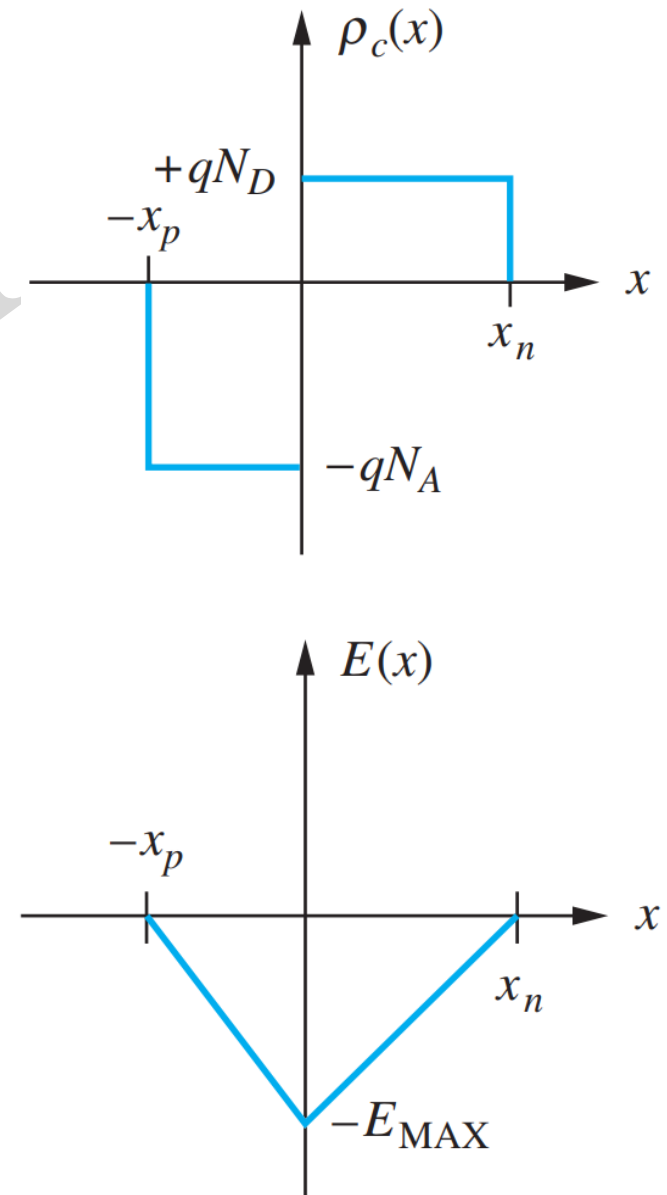
$$qN_A x_p = qN_D x_n$$

- Điện trường \vec{E} được xác định theo định luật Gauss:

$$E(x) = \frac{1}{\varepsilon} \int \rho_c(x) dx \quad \left(\frac{V}{cm} \right),$$

với ρ_c - mật độ điện tích trong vùng nghèo; ε - hằng số điện môi.

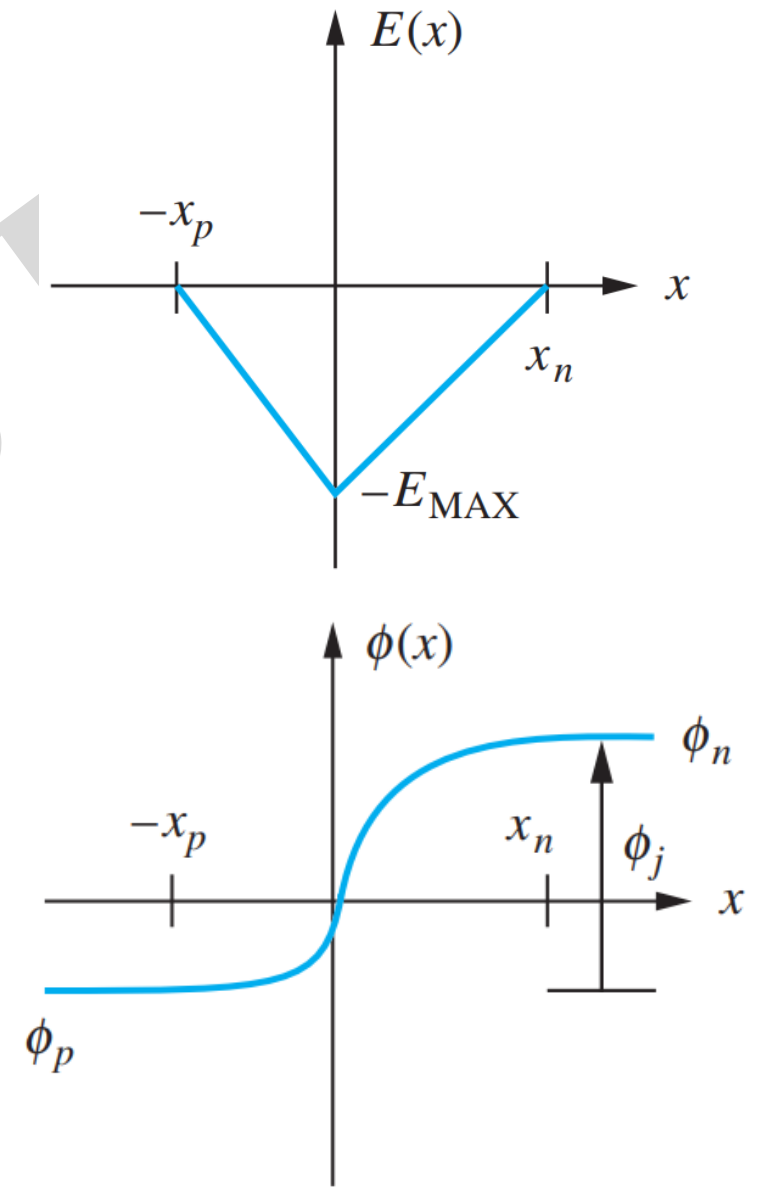
- Điện trường chỉ tồn tại trong vùng nghèo, đạt giá trị lớn nhất tại tiếp giáp.
- Điện trường bằng 0 ở các vùng nằm ngoài vùng nghèo.



- Thế năng tiếp xúc ϕ_j là chênh lệch thế năng giữa hai vùng n và p và đóng vai trò của rào thế - cản trở dòng khuếch tán.
- Thế năng tiếp xúc liên hệ trực tiếp với điện trường tiếp xúc và được xác định bởi công thức:

$$\begin{aligned}\phi_j &= -\int E(x) dx \\ &= V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \quad (V).\end{aligned}$$

với $V_T = kT/q$ – điện áp nhiệt.



- Độ rộng vùng nghèo khi không phân cực:

$$w_{do} = (x_n + x_p) = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_j}$$

- Nồng độ pha tạp càng lớn thì độ rộng vùng nghèo càng nhỏ.
- Độ rộng vùng nghèo đóng vai trò quan trọng trong cấu tạo của diode, và ảnh hưởng đến nhiều tính chất của diode như điện dung, tần số hoạt động,...

VÍ DỤ:

Cho diode bán dẫn silicon với mật độ pha tạp $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ bên vùng bán dẫn loại p và $N_D = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ bên vùng bán dẫn loại n.

Biết rằng, $V_T = 0,025 \text{ V}$; $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; $\epsilon_s = 11,7\epsilon_0$ với $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$.

(a) Hãy tính thế năng tiếp giáp và độ rộng vùng nghèo.

(b) Hãy tính x_n , x_p và E_{max} .

GIẢI:

ETE-DUT

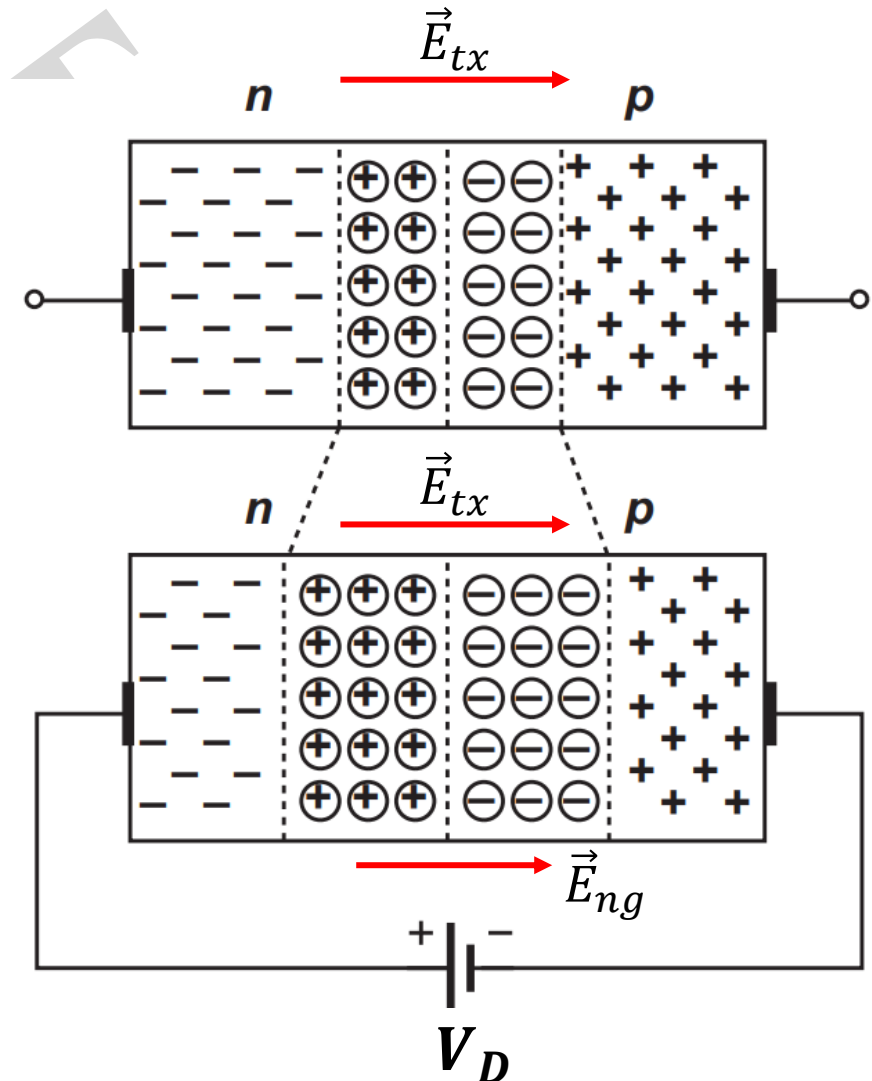
BÀI TẬP:

Cho diode bán dẫn silicon với mật độ pha tạp $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bên vùng bán dẫn loại p và $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ bên vùng bán dẫn loại n. Các giá trị V_T, n_i, ϵ_s giống như Ví dụ 2.1.

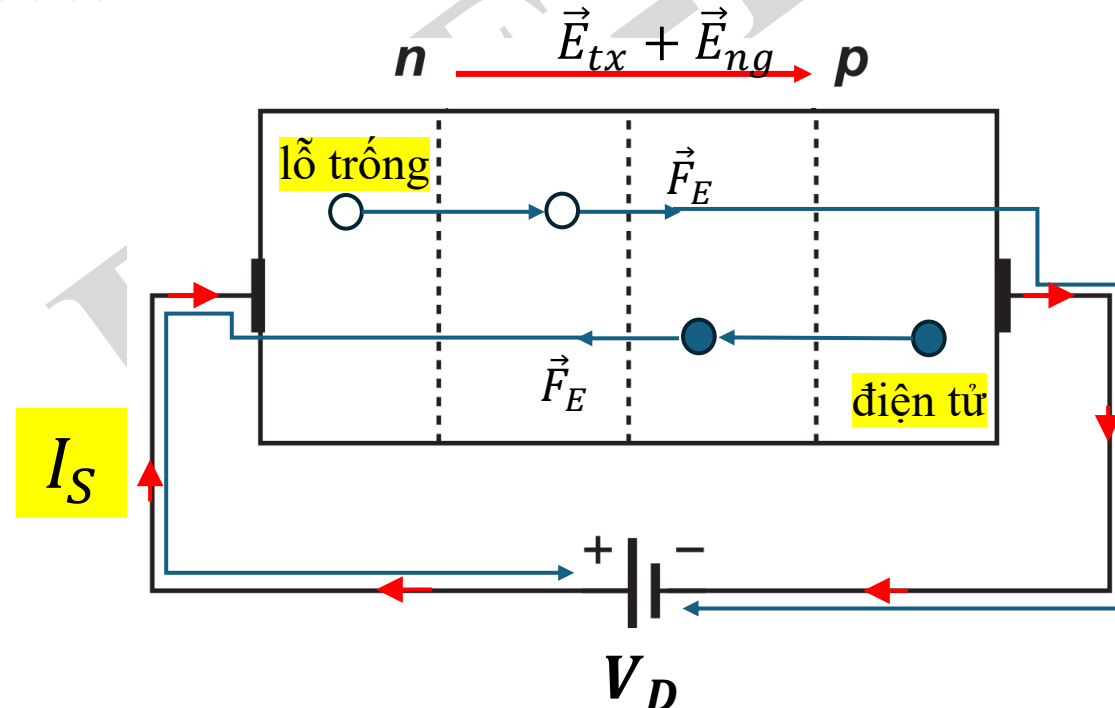
- (a) Hãy tính giá trị của p_p, p_n, n_p, n_n .
- (b) Hãy tính độ rộng vùng nghèo và thế năng tiếp giáp.

2.3.2 Diode ở trạng thái phân cực ngược

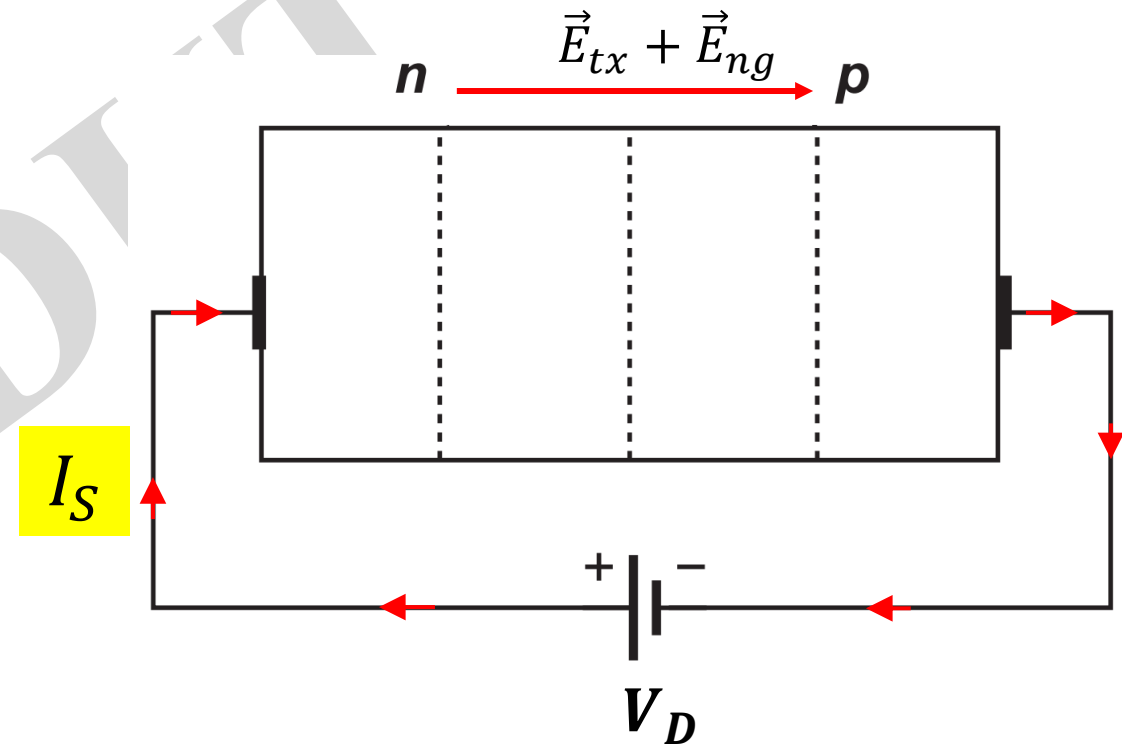
- Phân cực ngược: Cực dương của nguồn nối với cathode (bán dẫn n), còn cực âm – anode (bán dẫn p) $\rightarrow V_K > V_A$.
- Nguồn V_D tạo ra điện trường \vec{E}_{ng} cùng chiều với điện trường tiếp xúc \vec{E}_{tx} .
- \rightarrow tăng điện trường trong vùng nghèo.
- \rightarrow tăng rào thế đối với dòng khuếch tán so với trường hợp không phân cực.
- \rightarrow không có dòng khuếch tán.



- Tuy nhiên, tồn tại một dòng rất nhỏ chạy qua diode khi phân cực ngược.
- Nguyên nhân sinh ra dòng này là do các hạt tải điện thiểu số (điện tử trong vùng p và lỗ trống trong vùng n).
- Khi lọt vào vùng nghèo, chúng sẽ được điện trường ($\vec{E}_{tx} + \vec{E}_{ng}$) kéo đi qua vùng nghèo; sau đó, chúng được hút về nguồn \rightarrow sinh ra dòng qua diode.

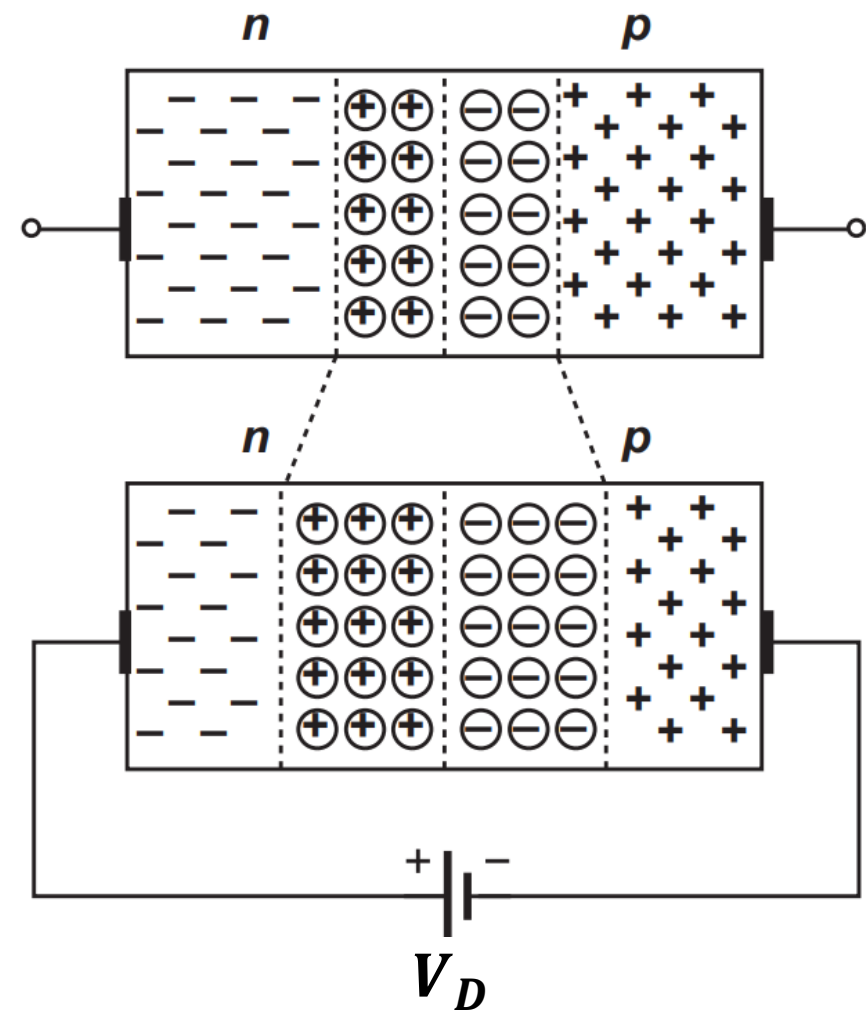


- Dòng này được gọi là dòng bão hòa ngược và ký hiệu là I_S .
 - Dòng I_S có chiều từ K sang A.
 - Do mật độ hạt tải điện thiểu số rất nhỏ nên dòng I_S có giá trị rất nhỏ:
 $10^{-18} \text{ A} \leq I_S \leq 10^{-9} \text{ A}$.
 - Dòng I_S thường được bỏ qua.
 - Tuy nhiên, dòng I_S phụ thuộc vào
 mạnh vào nhiệt độ.
- khi diode hoạt động trong dải nhiệt rộng thì dòng I_S sẽ thay đổi lớn và cần được xét đến.



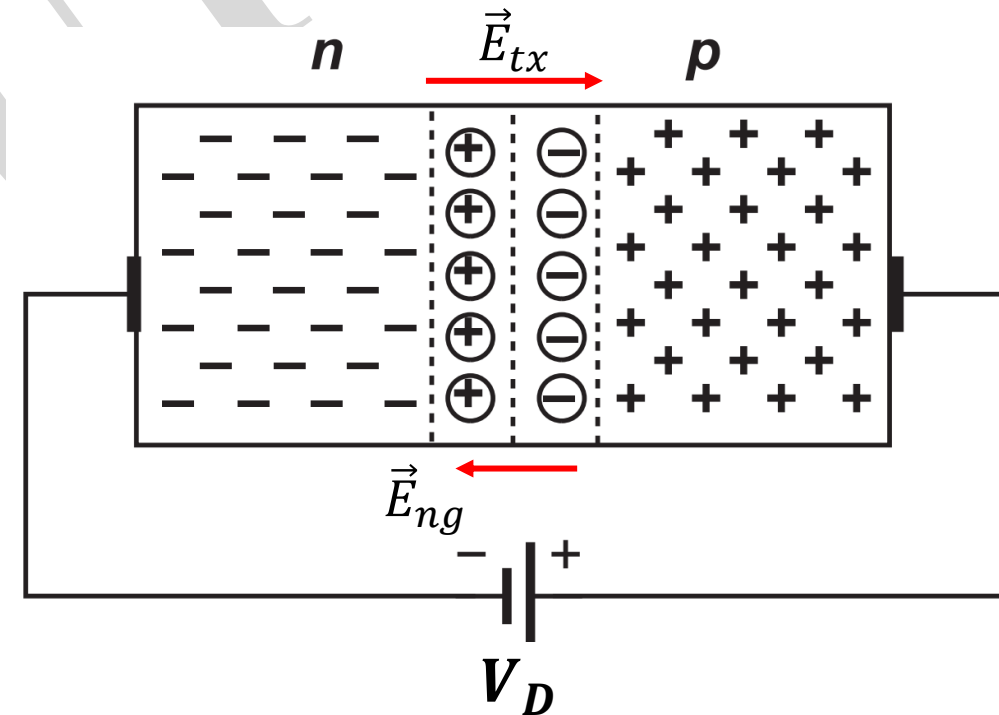
- Khi phân cực ngược, điện trường trong vùng nghèo tăng lên so với trường hợp không phân cực.
- Điều này đồng nghĩa với số lượng ion trong vùng này tăng lên, tức là vùng nghèo mở rộng ra.
- Khi điện áp phân cực ngược tăng, độ rộng vùng nghèo sẽ tăng, và được xác định bởi:

$$w_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (\phi_j + V_D)}$$

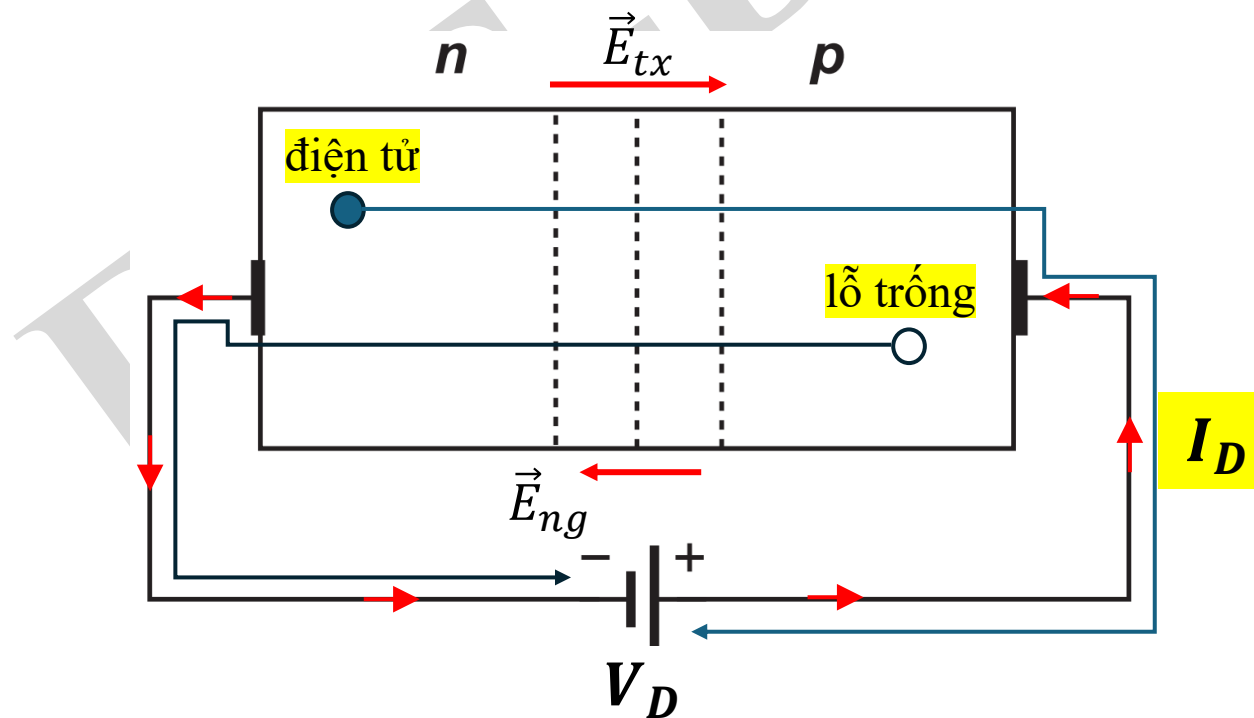


2.3.3 Diode ở trạng thái phân cực thuận

- Phân cực thuận: Cực dương của nguồn nối với anode (bán dẫn p), còn cực âm – cathode (bán dẫn n) $\rightarrow V_A > V_K$.
- Nguồn V_D tạo ra điện trường \vec{E}_{ng} ngược chiều với điện trường tiếp xúc \vec{E}_{tx} .
 - \rightarrow giảm điện trường trong vùng nghèo
 - \rightarrow giảm rào thế đối với dòng khuếch tán so với trường hợp không phân cực.
 - \rightarrow tăng dòng khuếch tán.
- Khi phân cực thuận, có dòng điện qua diode.

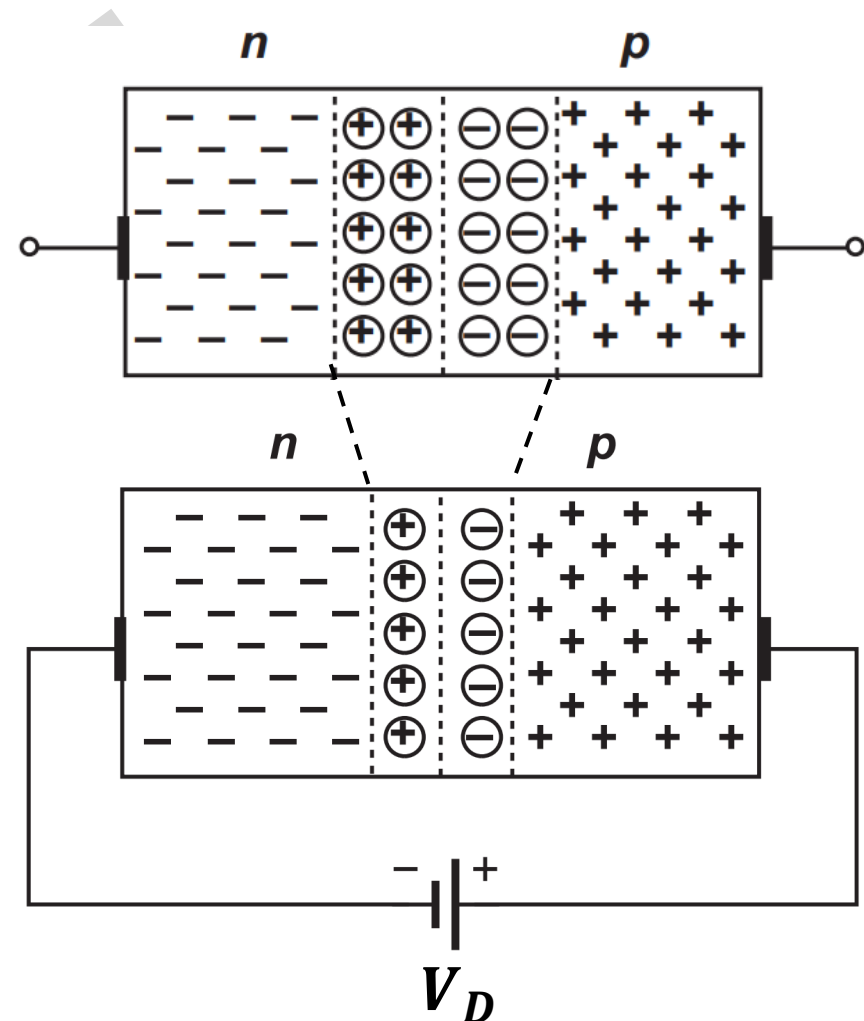


- Dòng điện có chiều từ A sang K.
- V_D tăng $\rightarrow E_{ng}$ tăng \rightarrow điện trường trong vùng nghèo giảm \rightarrow dòng khuếch tán tăng.
- Khi V_D nhỏ, dòng qua diode nhỏ.
- Khi V_D đủ lớn, dòng qua diode lớn.



- Khi phân cực thuận, điện trường trong vùng nghèo giảm đi so với trường hợp không phân cực.
- Điều này đồng nghĩa với số lượng ion trong vùng này giảm đi, tức là vùng nghèo thu hẹp lại.
- Khi điện áp phân cực thuận tăng, độ rộng vùng nghèo sẽ giảm, và được xác định bởi:

$$w_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (\phi_j - V_D)}$$

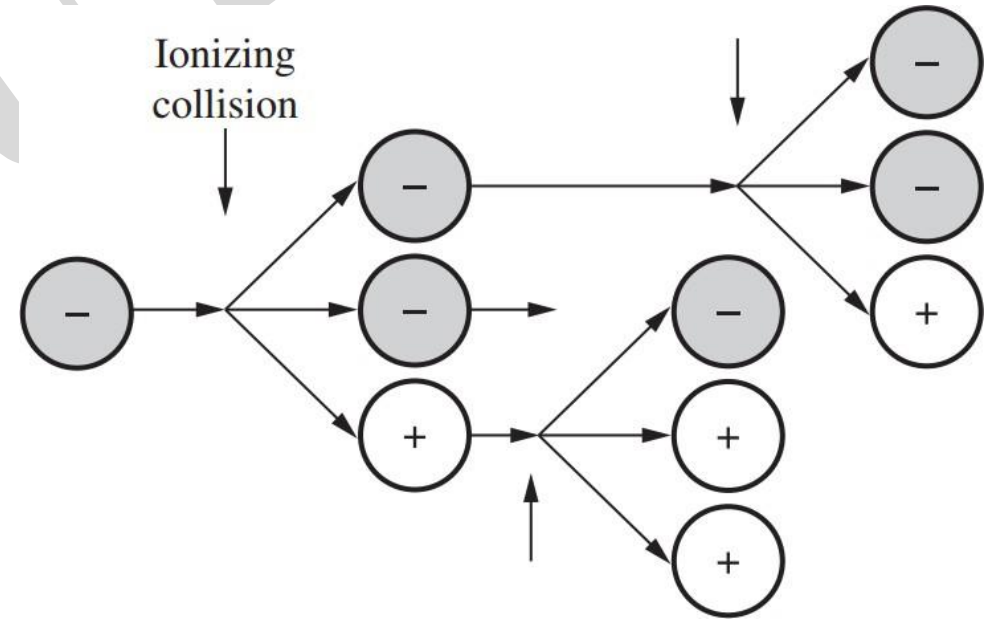


2.3.4 Đánh thủng

- Khi điện áp phân cực ngược vượt qua một ngưỡng nào đó, dòng ngược qua diode sẽ tăng đột biến, trong khi điện áp trên diode gần như không phụ thuộc vào dòng qua diode.
- Ngưỡng điện áp tại đó xảy ra hiện tượng đánh thủng được gọi là điện áp đánh thủng V_{BR} .
- Hiện tượng đánh thủng không làm hỏng diode nếu như dòng qua diode vẫn nằm trong giới hạn hoạt động của diode.
- Có hai cơ chế đánh thủng:
 - đánh thủng thác lũ;
 - đánh thủng Zener.

Đánh thủng thác lũ

- Điện áp phân cực ngược tăng làm cho vận tốc của các hạt tải điện thiểu số tăng.
- Do có động năng lớn nên khi các hạt tải điện thiểu số va chạm với các nguyên tử, chúng phá vỡ liên kết và tạo nên các hạt tải điện mới.
- Các hạt tải điện mới hình thành được điện trường gia tốc mạnh và tiếp tục va chạm với các nguyên tử khác, tạo thêm các hạt tải điện.
- Cơ chế va chạm – ion hóa liên tục làm cho số lượng hạt tải điện tăng đột biến, tạo nên dòng ngược lớn qua diode.

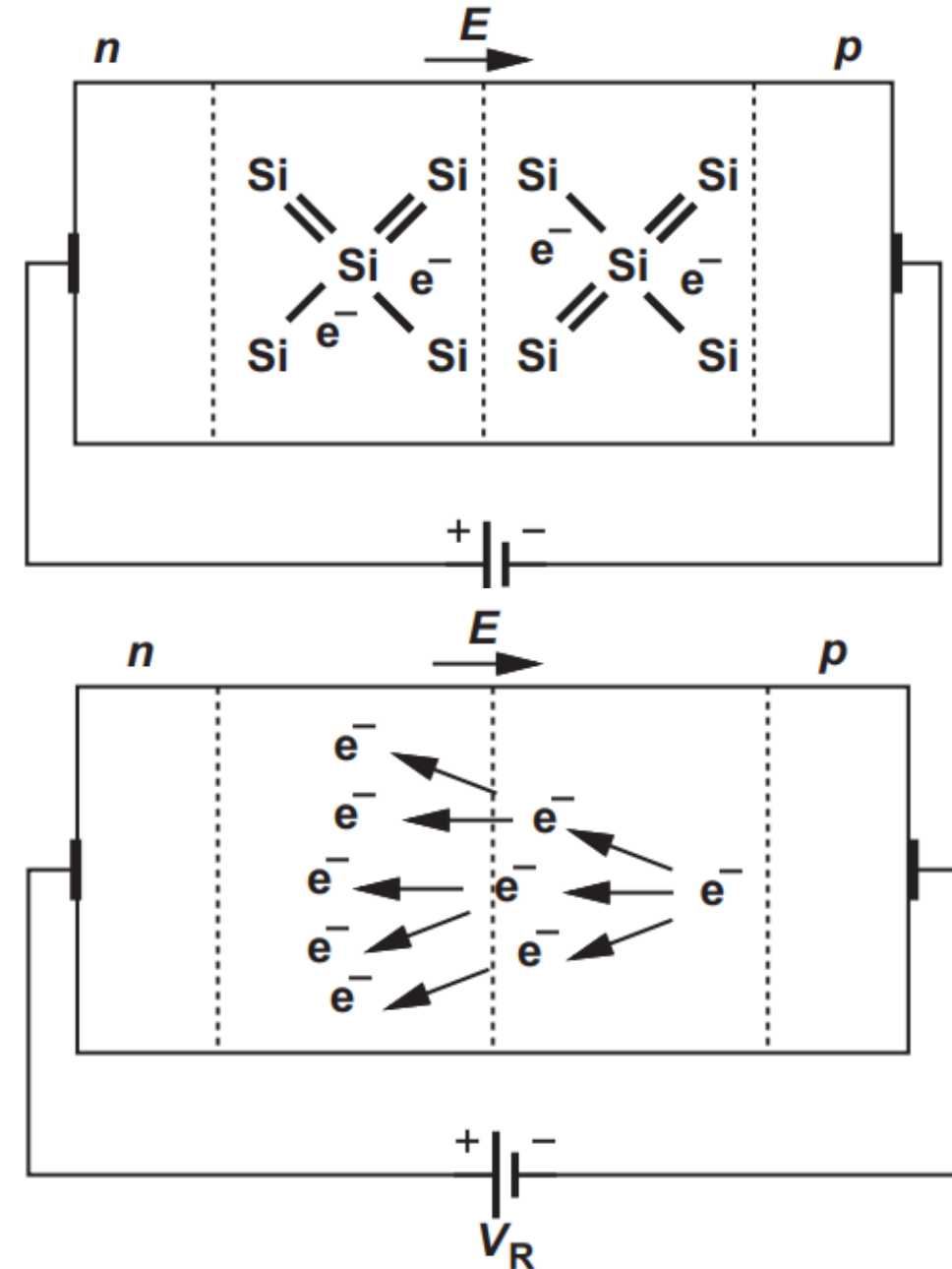


BÀI TẬP:

Cơ chế đánh thủng thác lũ thường xảy ra đối với diode có mật độ pha tạp trung bình hoặc thấp. Hãy cho biết lý do.

Đánh thủng Zener

- Cơ chế đánh thủng Zener xảy ra đối với các diode có mật độ pha tạp cao.
- Mật độ pha tạp cao làm cho vùng nghèo hẹp \rightarrow điện trường trong vùng nghèo lớn \rightarrow bứt các điện tử ra khỏi liên kết.
- Các hạt tải điện được gia tốc bởi điện trường và tạo nên dòng điện lớn qua diode.
- Cơ chế đánh thủng Zener xảy ra với điện áp đánh thủng nhỏ hơn 5,6 V.



TÓM TẮT:

- **Không phân cực ($V_{AK} = 0$):** Diode không dẫn.
 - E_{tx} cân bằng với dòng khuếch tán.
- **Phân cực thuận ($V_A > V_K$):** Diode dẫn dòng từ A sang K.
 - V_D tăng, I_D tăng.
- **Phân cực ngược ($V_A < V_K$):** Dòng ngược I_S rất nhỏ từ K sang A.
 - Dòng này thường được bỏ qua \rightarrow diode không dẫn.
- **Đánh thủng ($V_{AK} < V_{BR} < 0$):** Dòng ngược tăng mạnh.

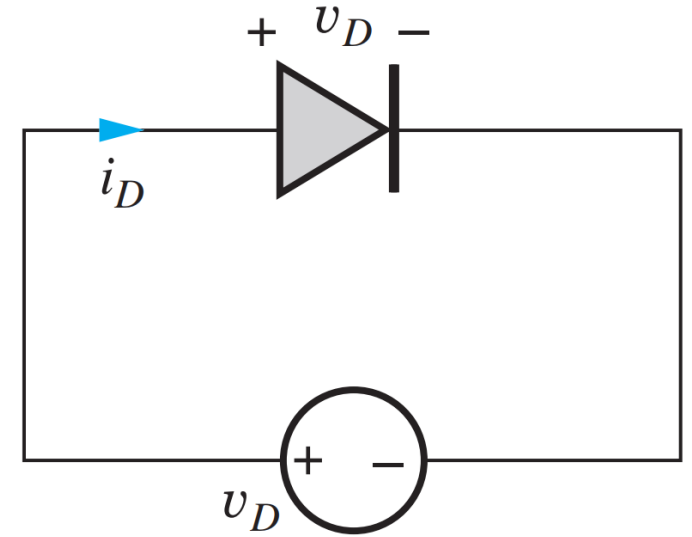
2.4 Mô hình toán học

- Quy ước chiều dương của dòng điện và điện áp qua diode có chiều từ anode sang cathode.
- Mỗi quan hệ giữa dòng điện I_D và điện áp V_D qua diode được mô tả bởi phương trình Shockley:

$$I_D = I_S \left[\exp \left(\frac{V_D}{nV_T} \right) - 1 \right],$$

trong đó, I_S - dòng bão hòa ngược (A); V_T - điện áp nhiệt (V); n - hệ số hiệu chỉnh (1÷2).

- $V_T = kT/q$ với $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.
- Phương trình Shockley được áp dụng cho vùng phân cực thuận và ngược, không áp dụng cho vùng đánh thủng.



- Khi phân cực thuận ($V_D > 0$), V_D thường lớn hơn V_T vài lần nên $\exp(V_D/nV_T) \gg 1$ và công thức được xấp xỉ bởi:

$$I_D \approx I_S \exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right)$$

- Khi phân cực ngược ($V_D < 0$), V_D thường nhỏ hơn $-V_T$ vài lần nên $\exp(V_D/nV_T) \ll 1$ và công thức được xấp xỉ bởi:

$$I_D \approx -I_S$$

→ Khi phân cực ngược, dòng I_D có giá trị gần như không đổi, xấp xỉ bằng I_S , có chiều từ cathode sang anode.

→ Chính vì lý do này nên dòng I_S được gọi là dòng bão hòa ngược.

- Theo chức năng mong muốn của diode, dòng ngược chạy qua diode khi phân cực ngược được xem như là "dòng rò".

VÍ DỤ:

- (a) Tính điện áp của diode với $I_S = 0,1 \text{ fA}$ và dòng qua diode bằng $300 \text{ }\mu\text{A}$. Tính điện áp của diode nếu $I_S = 10 \text{ fA}$.
- (b) Diode silicon hoạt động ở 500°C và điện áp của diode bằng $0,736 \text{ V}$ với dòng điện bằng $2,5 \text{ mA}$. Hãy tính dòng bão hòa ngược của diode.

GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Diode hoạt động ở vùng phân cực thuận với dòng điện đáng kể (tức là $I_D \approx I_S \exp(V_D/V_T)$). Hãy cho biết V_D thay đổi bao nhiêu để dòng tăng lên 10 lần.

GIẢI:

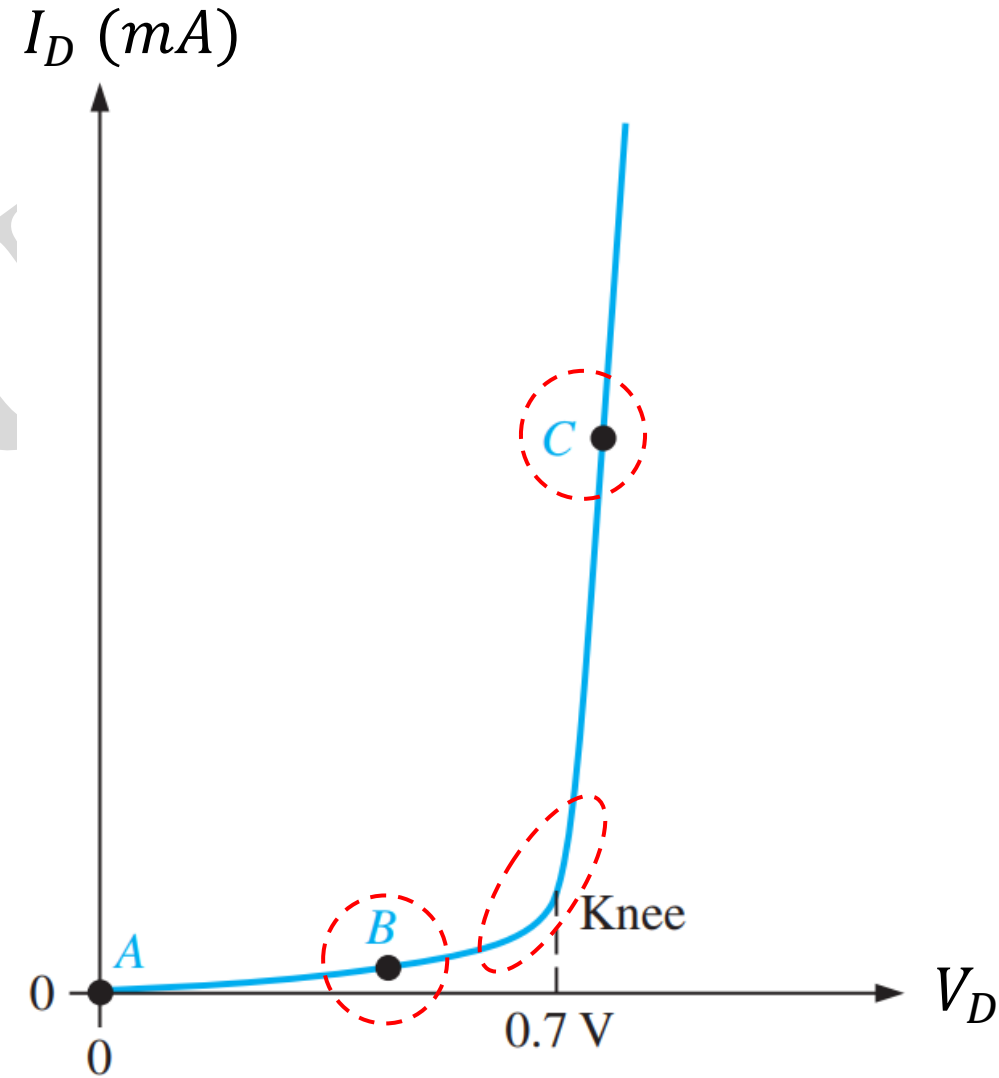
ETE-DUT

2.5 Đặc tuyến i-v

- Đặc tuyến i-v thể hiện mối quan hệ giữa dòng và điện áp qua diode.
- Đặc tuyến i-v của diode được phân thành các vùng:
 - Không phân cực: $V_D = 0$
 - Phân cực thuận: $V_D > 0$
 - Phân cực ngược: $V_D < 0$
 - Đánh thủng: $V_D < V_{BR}$

Phân cực thuận:

- i_D phụ thuộc v_D theo hàm mũ e : đồ thị tăng rất nhanh và gần như thẳng đứng.
- Khi V_D nhỏ ($< 0.7\text{ V}$), I_D rất nhỏ \rightarrow diode dẫn yếu.
- Khi V_D đủ lớn ($\geq 0.7\text{ V}$), I_D tăng rất nhanh trong khi V_D thay đổi không đáng kể và xấp xỉ bằng $0.7\text{ V} \rightarrow$ diode dẫn mạnh.
- Điện áp 0.7 V , tại đó dòng qua diode bắt đầu tăng mạnh, được gọi là điện áp khuỷu (V_K) hay điện áp mở (V_{on}).
- Silicon: $V_{on} = 0.7\text{ V}$; Germanium: $V_{on} = 0.3\text{ V}$.

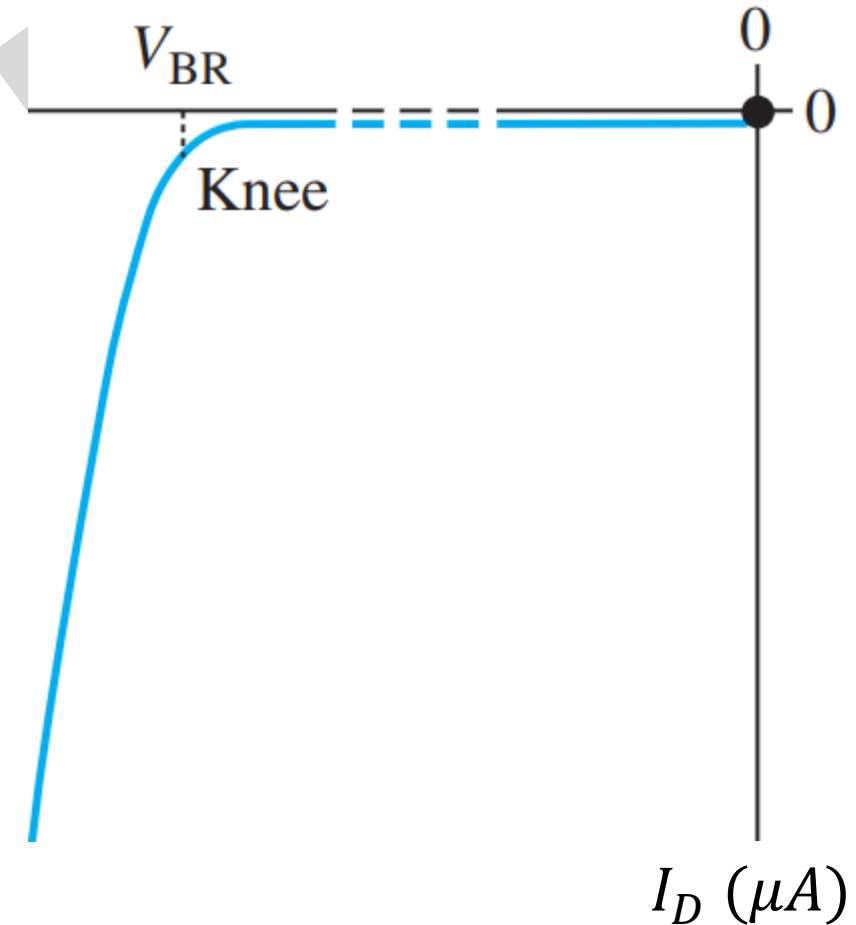


Phân cực ngược:

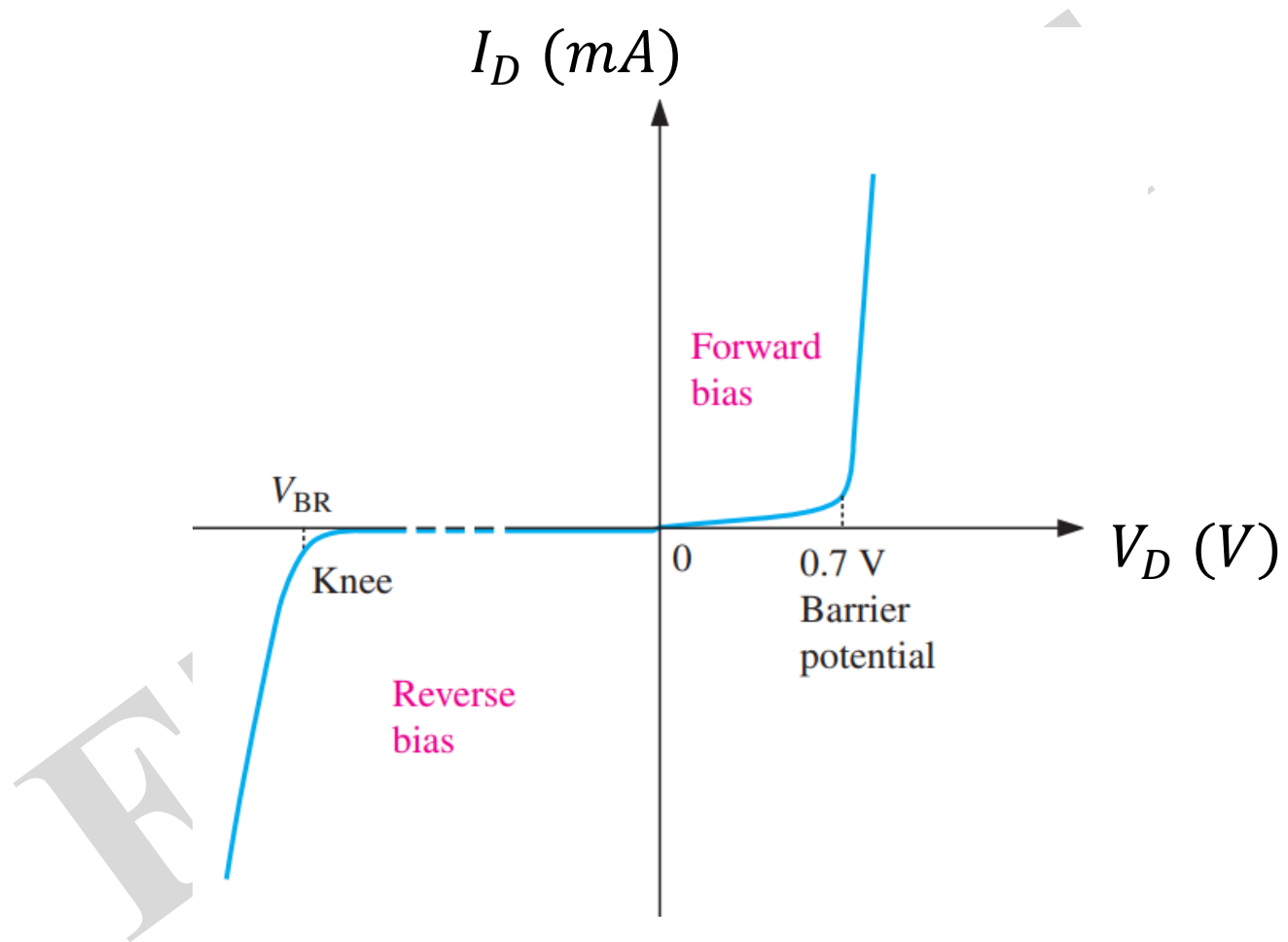
- Khi điện áp ngược trên diode nhỏ hơn ngưỡng điện áp đánh thủng V_{BR} , dòng ngược qua diode **rất nhỏ** và gần như không đổi.

Đánh thủng:

- Khi điện áp ngược trên diode vượt qua ngưỡng điện áp đánh thủng V_{BR} , **dòng ngược qua diode tăng mạnh** trong khi điện áp trên diode thay đổi không đáng kể và xấp xỉ bằng V_{BR} .



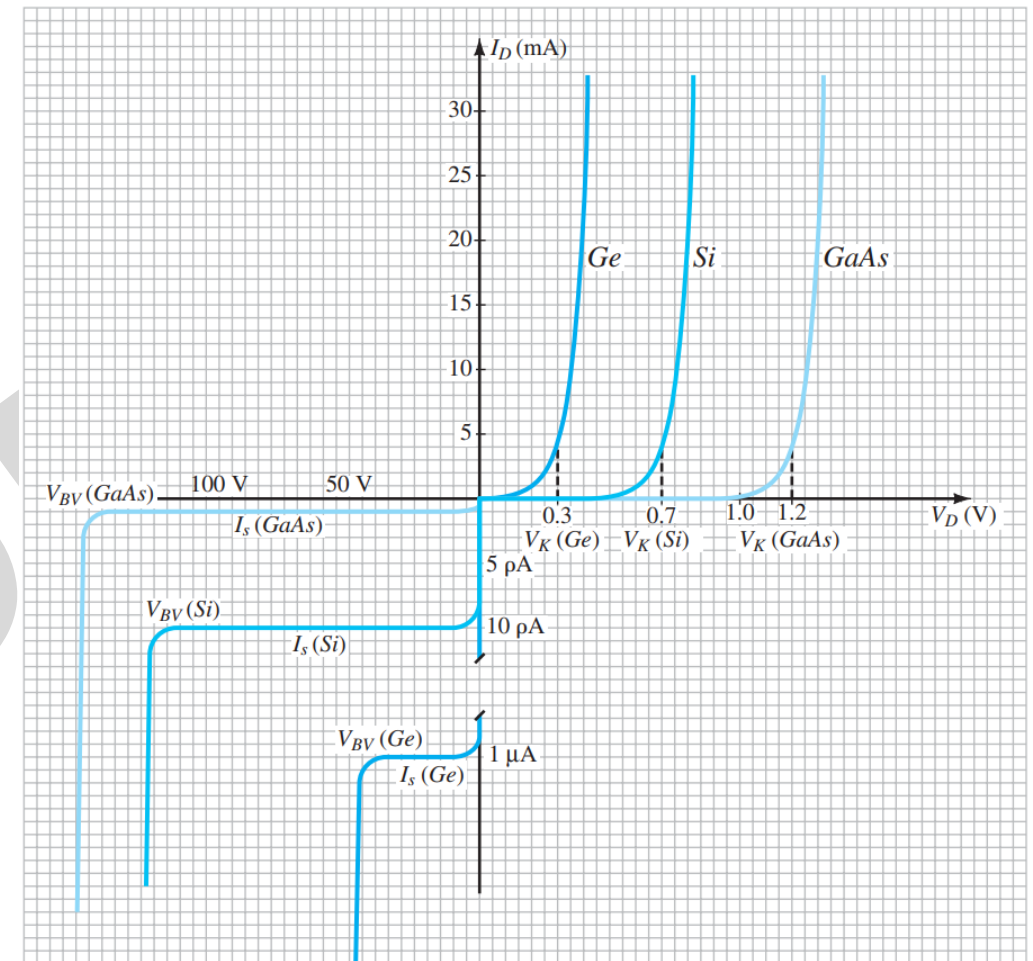
Đặc tuyến hoàn chỉnh



- Đặc tuyến của diode silicon, germanium, gallium arsenide.
- Độ linh động của silicon, germanium, gallium arsenide:
 - GaAs và Ge thường được sử dụng cho các ứng dụng tốc độ cao.
 - Nhờ vào thiết kế và chế tạo hợp lý, silicon vẫn được ứng dụng trong các hệ thống hoạt động với tần số gigahertz.

Electron Mobility μ_n

Semiconductor	$\mu_n(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$
Ge	3900
Si	1500
GaAs	8500



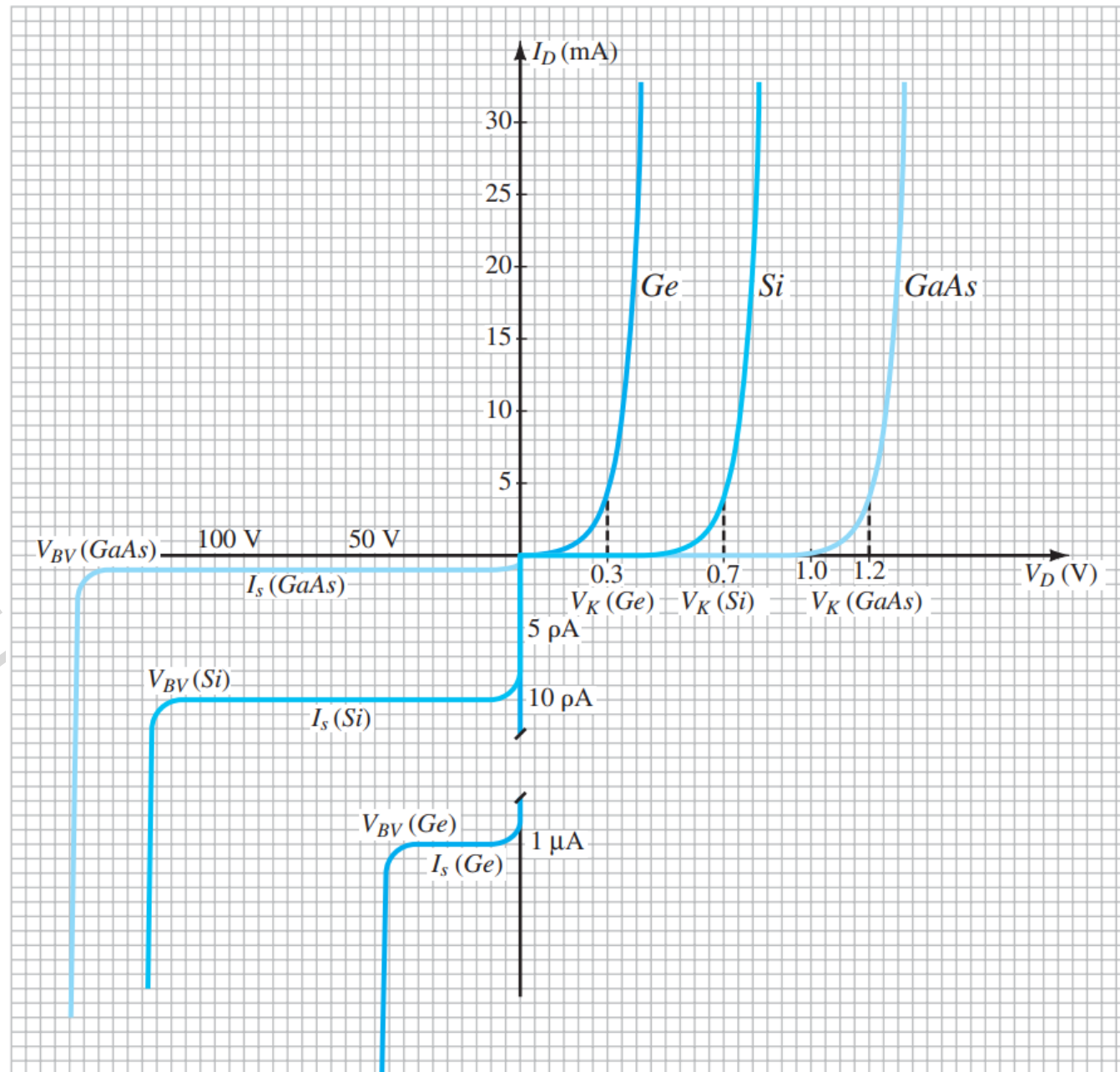
Knee Voltages V_K

Semiconductor	$V_K(\text{V})$
Ge	0.3
Si	0.7
GaAs	1.2

VÍ DỤ:

Cho đặc tuyến i-v của diode.

- (a) Hãy xác định điện áp của diode với dòng bằng 1 mA .
- (b) Lặp lại với dòng bằng 4 mA .
- (c) Lặp lại với dòng bằng 30 mA .
- (d) Hãy tính giá trị trung bình của điện áp trên diode đối với các giá trị dòng điện ở trên.
- (e) Hãy so sánh với điện áp khuỷu.



GIẢI:

ETE-DUT

2.6 Các thông số

- Do tính chất phi tuyến của diode nên các thông số của diode thay đổi phụ thuộc dòng và điện áp trên diode.
- Các tính chất và thông số về điện của diode:
 - Điện trở: điện trở tĩnh và điện trở động.
 - Điện dung: điện dung chuyển tiếp và điện dung khuếch tán.
 - Hệ số nhiệt
 - Thời gian hồi phục ngược

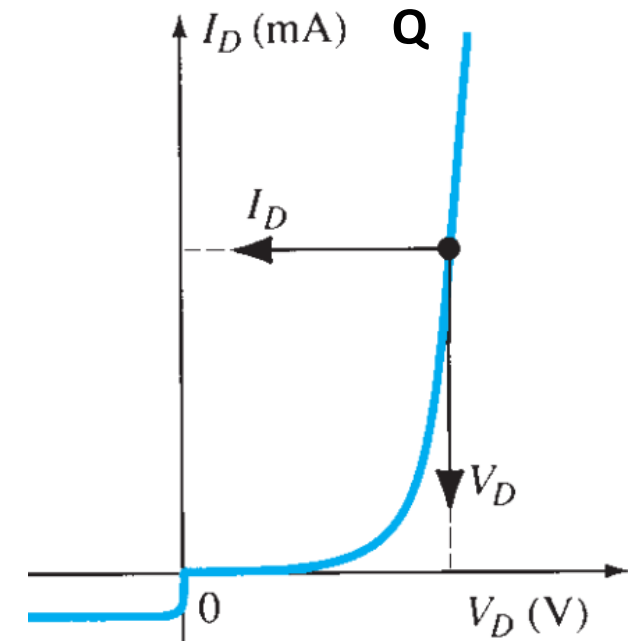
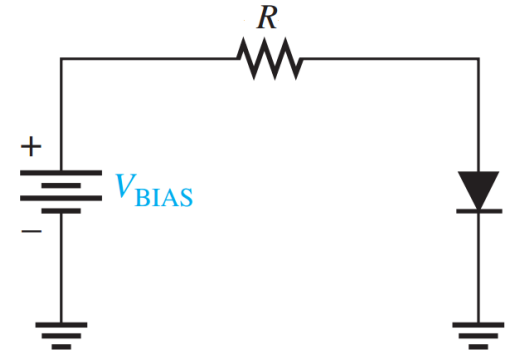
2.6.1 Điện trở

Điện trở tĩnh

- Khi phân cực cho diode (bằng dòng một chiều), ta xác định được cặp giá trị của dòng và điện áp qua diode, được gọi là điểm làm việc tĩnh hay điểm Q.
- Điện trở của diode tại điểm làm việc tĩnh được gọi là điện trở tĩnh:

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

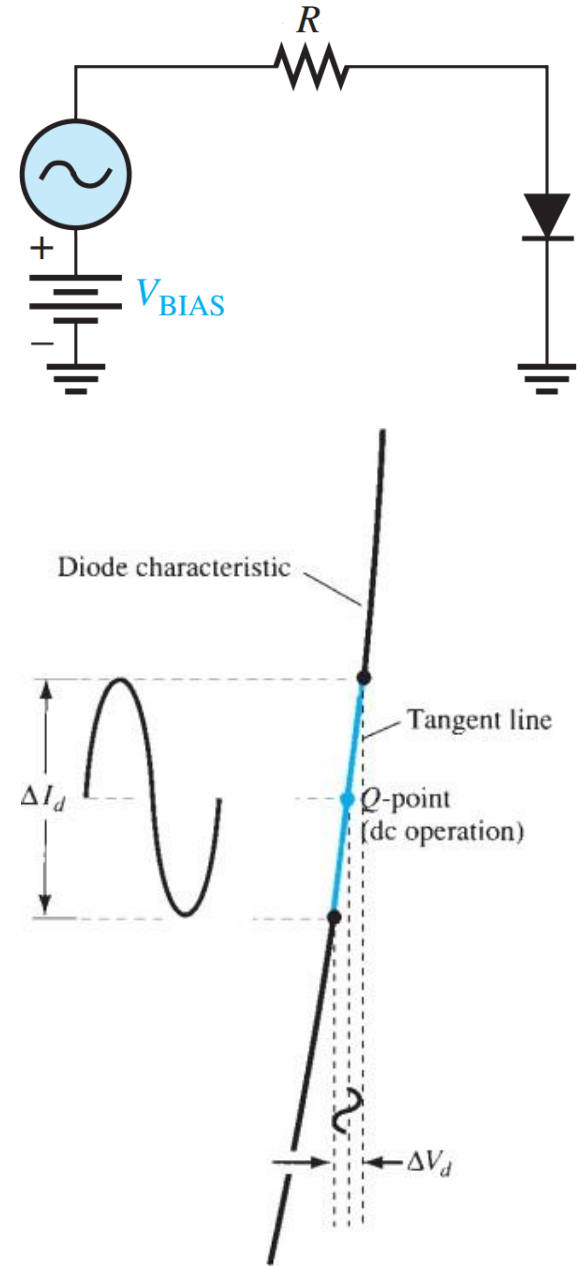
- Điện trở tĩnh của diode thay đổi theo vị trí của điểm làm việc tĩnh trên đặc tuyến, hay là cặp giá trị (I_D, V_D) do tính chất phi tuyến của đặc tuyến.



Điện trở động

- Nếu nối thêm một nguồn điện áp AC vào nguồn điện áp DC thì điểm làm việc sẽ dao động quanh điểm làm việc tĩnh được xác định bởi nguồn điện áp DC.
- Đường tiếp tuyến với đặc tuyến tại điểm làm việc tĩnh Q xác định sự biến thiên của điện áp và dòng điện, và được dùng để xác định điện trở động đối với vùng làm việc này của đặc tuyến.

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$



- Khi độ biến thiên của điện áp và dòng qua diode nhỏ, ta có:

$$\frac{1}{r_d} = \frac{di_D}{dv_D} = \frac{d \left[I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) \right]}{dv_D} = \frac{i_D + I_S}{V_T}$$
$$\Rightarrow r_d = \frac{V_T}{i_D + I_S}$$

- Do $i_D \gg I_S$ trong vùng đặc tuyến tăng đột biến của phân cực thuận. Do đó, tại nhiệt độ phòng, điện trở động của diode được xác định như sau:

$$r_d = \frac{25mV}{i_D}$$

2.6.2 Điện dung

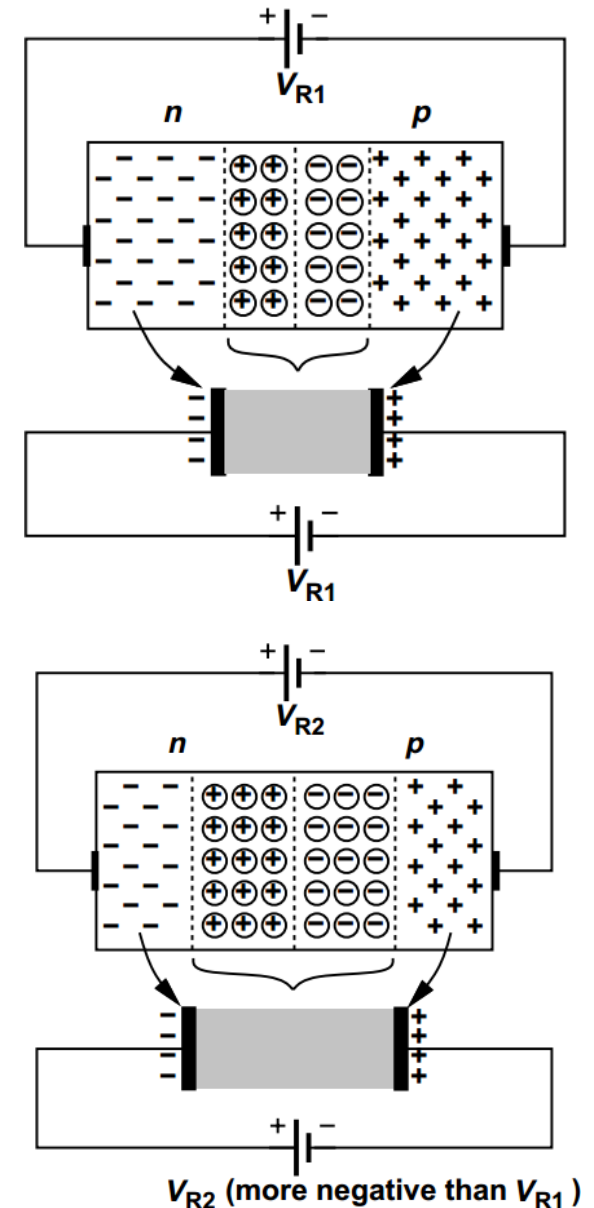
- Diode khi được phân cực ngược hoặc thuận đều có điện dung liên quan đến vùng nghèo.
- Điện dung trong diode có tầm ảnh hưởng quan trọng khi làm việc với tín hiệu biến thiên do nó chống lại sự thay đổi tức thời của điện áp trên diode → ảnh hưởng đến tần số hoạt động của diode.
- Tính chất điện dung được thể hiện khi có sự thay đổi của điện tích theo điện áp:

$$Q = C \cdot V$$

- Trong diode tiếp giáp pn có hai loại điện dung:
 - điện dung tiếp giáp
 - điện dung khuếch tán

Điện dung tiếp giáp

- Điện dung tiếp giáp xuất hiện chủ yếu khi diode phân cực ngược.
- Điện áp phân cực ngược tăng $\rightarrow w_d$ tăng \rightarrow số lượng điện tích trong vùng nghèo tăng \rightarrow hình thành điện dung tiếp giáp.
- Diode có cấu trúc tụ bên trong:
 - Vùng nghèo tương tự như chất điện môi.
 - Các vùng n và p như hai bản tụ. Điện tích trong vùng nghèo xem như nằm trong các bản tụ.

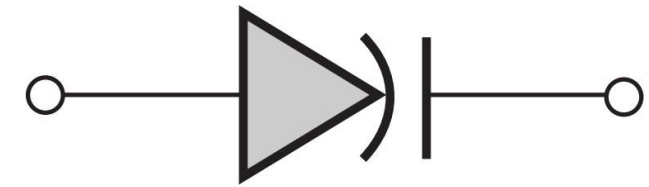
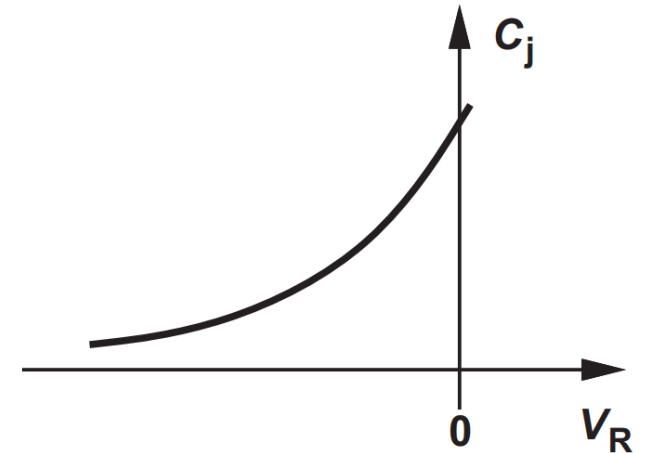


- Điện dung tiếp giáp:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_R}{\Phi_j}}},$$

với $C_{j0} = \epsilon_s / w_{do}$ là điện dung tiếp giáp khi không phân cực.

- Tính chất điện dung chuyển tiếp phụ thuộc vào điện áp phân cực ngược được ứng dụng rộng rãi trong điện tử, như chế tạo diode biến dung.



Ký hiệu của diode biến dung

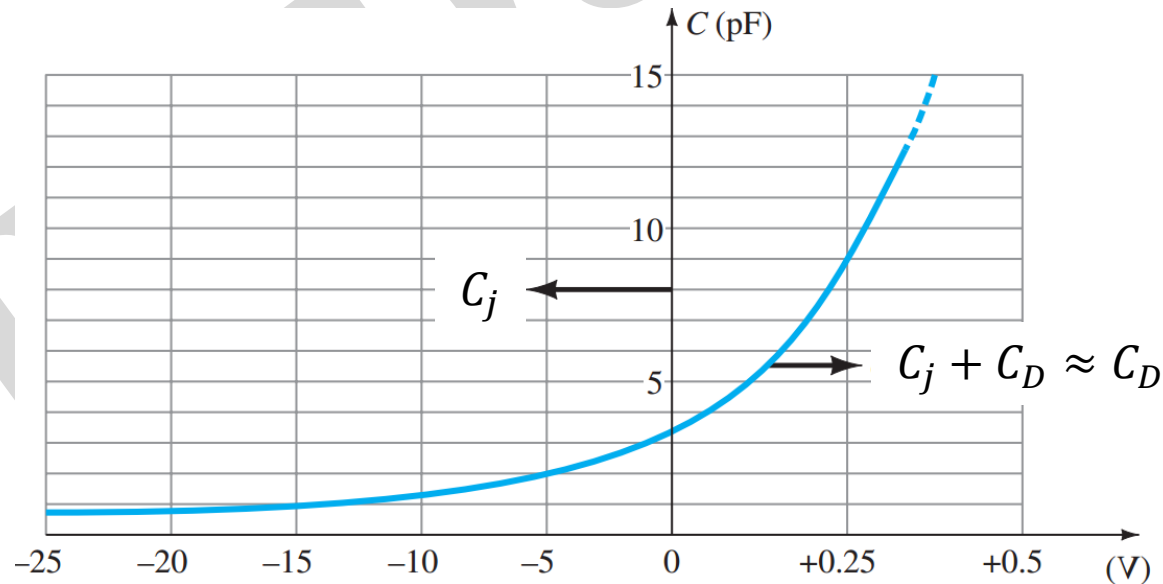
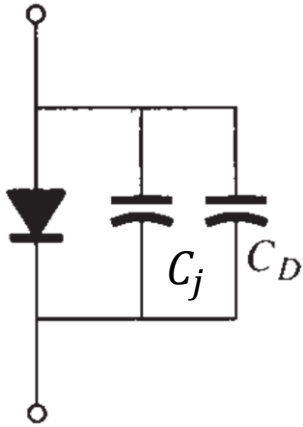
Điện dung khuếch tán

- Điện dung khuếch tán xuất hiện chủ yếu khi diode phân cực thuận.
- Khi phân cực thuận, tồn tại một dòng điện lớn chạy qua tiếp giáp, tương ứng với một số lượng lớn hạt tải điện có mặt trong vùng trung hòa, gần với biên của vùng nghèo.
- Sự gia tăng số hạt tải điện tự do tương ứng với điện áp hình thành nên điện dung khuếch tán của diode.
- Điện dung khuếch tán:

$$C_D = \frac{dQ_D}{dv_D} = \frac{(i_D + I_S)\tau_T}{V_T} \approx \frac{i_D \tau_T}{V_T},$$

với τ_T là *thời gian chuyển tiếp* và có giá trị nằm trong khoảng $10^{-15}s \div 10^{-6}s$, phụ thuộc vào kích thước và loại diode.

- Cả hai loại điện dung đều có ở cả hai trạng thái phân cực ngược và thuận, tuy nhiên đối với mỗi trạng thái chỉ có một loại điện dung có ảnh hưởng nhiều hơn loại còn lại.
- Điện dung tiếp giáp có ảnh hưởng nhiều hơn khi diode phân cực ngược, còn điện dung khuếch tán - khi diode phân cực thuận.



2.6.3 Hệ số nhiệt

- Hệ số nhiệt xác định độ thay đổi của điện áp trên diode khi nhiệt độ tăng lên 1°C .
- Hệ số nhiệt được xác định bởi :

$$\frac{dv_D}{dT} = \frac{v_D - V_{GO} - 3V_T}{T},$$

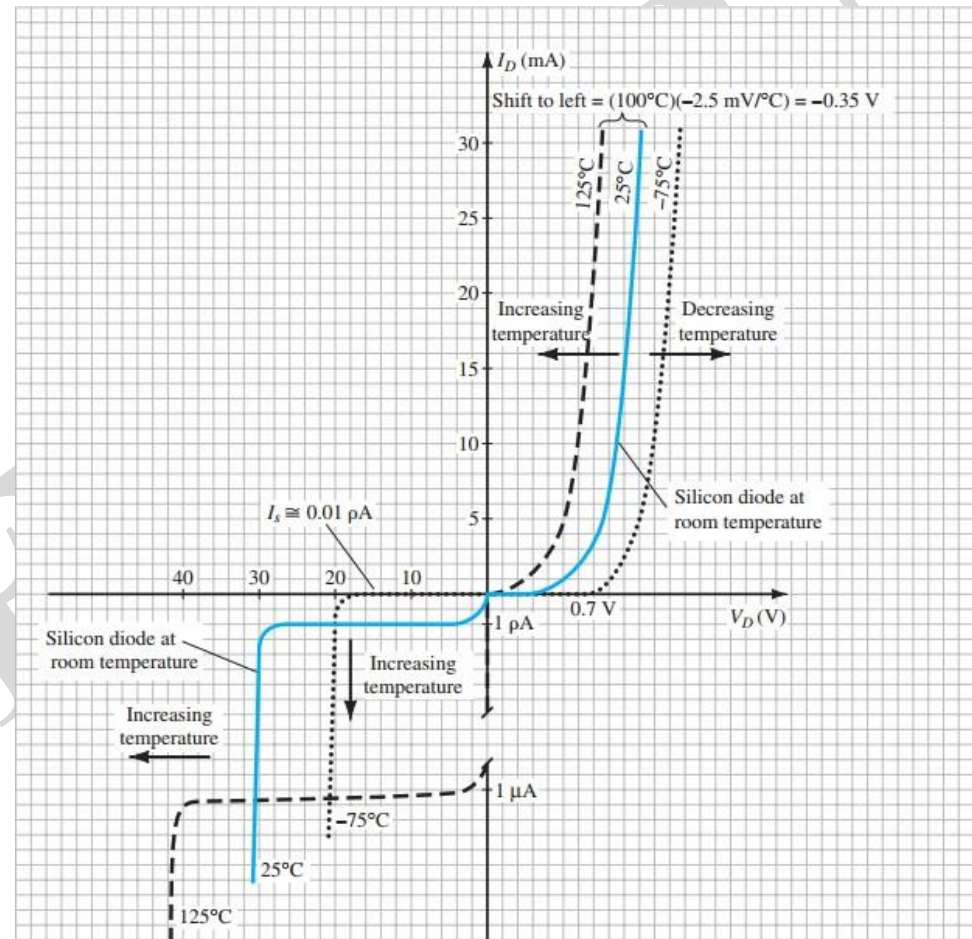
với V_{GO} - điện áp tương ứng với mức năng lượng vùng cấm $V_{GO} = E_G/q$.

- Đối với diode silicon, với $v_D = 0.65\text{ V}$, $E_G = 1.12\text{ eV}$, và $V_T = 0.025\text{ V}$, ta có:

$$\frac{dv_D}{dT} = -1.82\text{ mV/K}$$

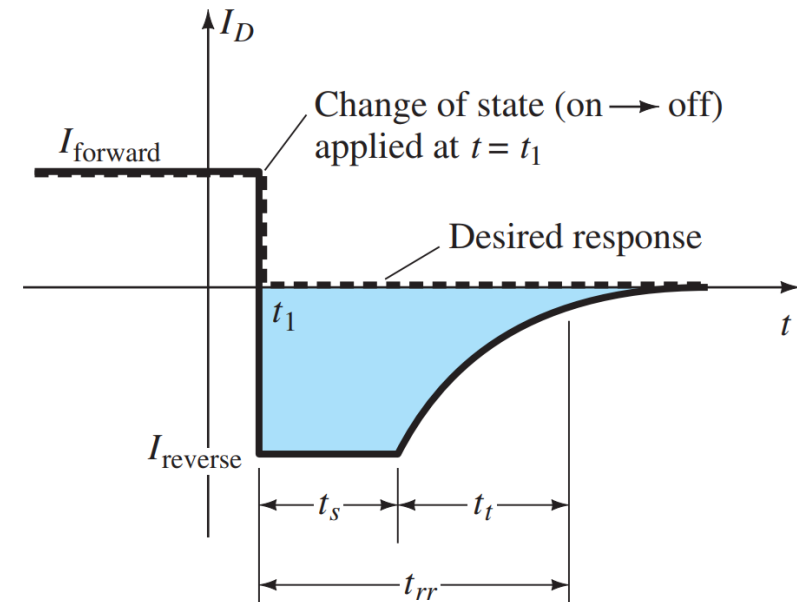
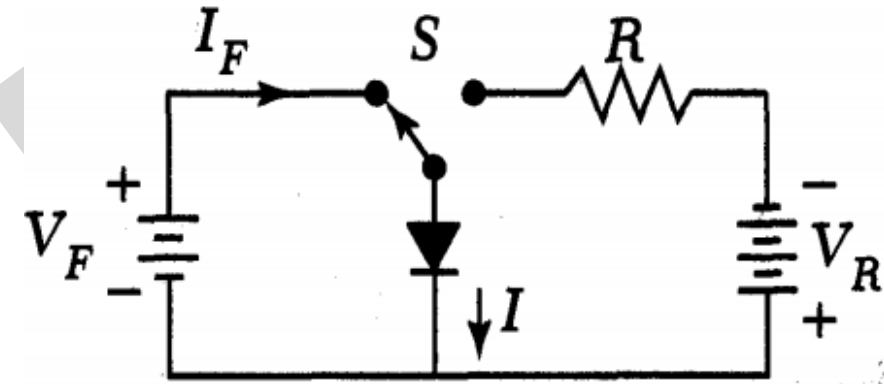
- Giá trị này cho thấy, điện áp sụt trên diode giảm 1.82 mV khi nhiệt độ tăng lên 1 đơn vị.

- Trong vùng phân cực thuận, đặc tuyến của diode bán dẫn Si dịch sang trái khoảng 2 mV khi nhiệt độ tăng thêm 1°C .
- Trong vùng phân cực ngược, dòng ngược qua diode bán dẫn Si tăng lên gấp đôi khi nhiệt độ tăng lên 10°C .



2.6.4 Thời gian hồi phục ngược

- Xét mạch như hình vẽ bên sau:
- Ban đầu khóa S ở vị trí bên trái, tương ứng với diode dẫn.
- Tại thời điểm $t = t_1$, khóa S đột ngột chuyển sang vị trí bên phải, tương ứng với diode ngắt.
- Xét một cách lý tưởng, diode phải chuyển tức thời từ trạng thái dẫn sang ngắt.
- Tuy nhiên, sau khi chuyển khóa S , tồn tại dòng ngược qua diode.
- Sau một khoảng thời gian, dòng này mới giảm đến dòng bão hòa ngược.

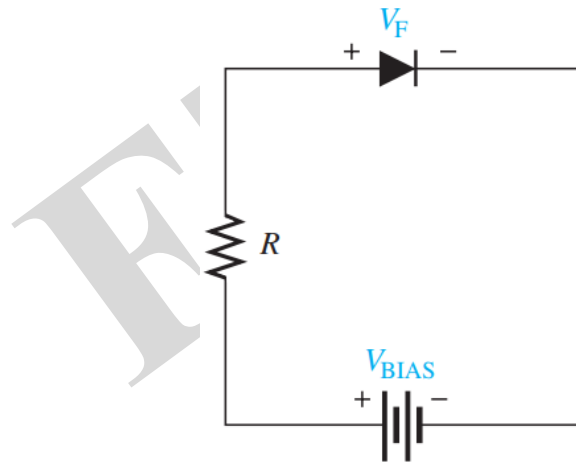


- Hiện tượng này được giải thích như sau.
- Khi phân cực thuận, một số lượng lớn các hạt tải điện đa số khuếch tán qua tiếp giáp và trở thành hạt tải điện thiểu số.
- Vì vậy, khi chuyển khóa S , cần một khoảng thời gian t_s , được gọi là thời gian lưu trữ, để các hạt tải điện thiểu số này dịch chuyển ngược lại các vùng bán dẫn ban đầu để khôi phục trở lại trạng thái hạt tải điện đa số \rightarrow tạo nên dòng ngược lớn.
- Khi giai đoạn lưu trữ kết thúc, thì dòng ngược sẽ giảm đến trạng thái ngắt sau một khoảng thời gian t_t , được gọi là thời gian chuyển tiếp.
- Thời gian khôi phục ngược là tổng của hai khoảng thời gian trên:

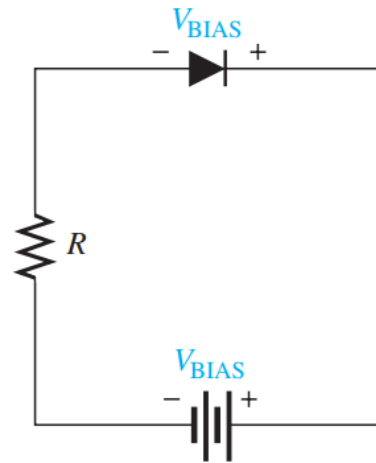
$$t_{rr} = t_s + t_t$$

2.7 Mô hình mạch tương đương

- Xét các mạch đơn giản để phân cực thuận và phân cực ngược cho diode.
- Phân cực thuận: dương nguồn \rightarrow anode; âm nguồn \rightarrow cathode.
- Phân cực ngược: dương nguồn \rightarrow cathode; âm nguồn \rightarrow anode.
- Điện trở dùng để hạn chế dòng qua diode.



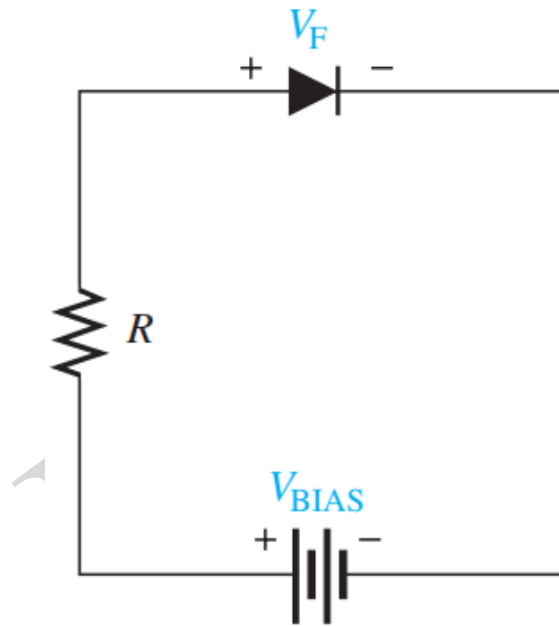
(a) Forward bias



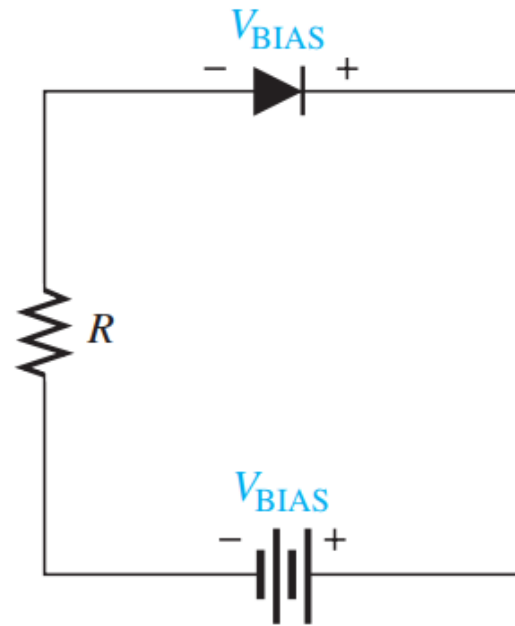
(b) Reverse bias

VÍ DỤ:

Hãy sử dụng phương trình Shockley để tính dòng và điện áp của diode khi phân cực thuận và phân cực ngược. Cho $V_{BIAS} = 10V$, $R = 1\text{ k}\Omega$; $n = 1$, $I_S = 10^{-13}\text{ A}$, $V_T = 0,025\text{ V}$.



(a) Forward bias



(b) Reverse bias

GIẢI:

Phân cực thuận:

Áp dụng KVL:

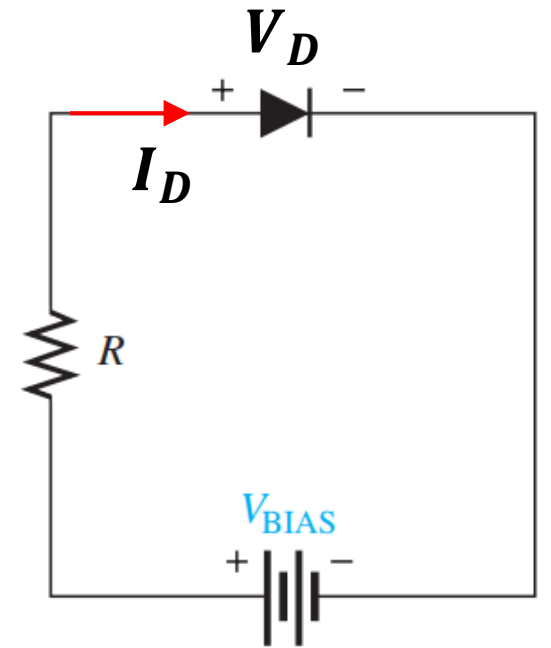
$$\begin{aligned} -V_{BIAS} + I_D R + V_D &= 0 \\ \Rightarrow -10 \text{ V} + (10^3 \Omega) I_D + V_D &= 0 \end{aligned}$$

Phương trình Shockley:

$$I_D = I_S \exp\left(\frac{V_D}{V_T} - 1\right) = 10^{-13} \exp(40V_D - 1)$$

Kết hợp hai phương trình, ta có:

$$\begin{aligned} -10 + (10^3)(10^{-13}) \exp(40V_D - 1) + V_D &= 0 \\ \Rightarrow V_D = 0,656 \text{ V} \quad \text{và} \quad I_D = 9,344 \text{ mA} \end{aligned}$$



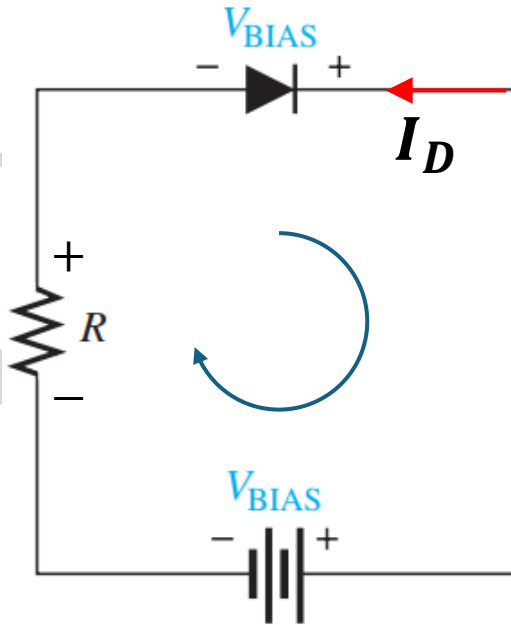
Phân cực ngược:

Do $V_{BIAS} \gg V_T$ nên ta có thể áp dụng công thức xấp xỉ:

$$I_D \approx I_S = 10^{-13} \text{ A}$$

Áp dụng KVL:

$$-V_{BIAS} + I_D R + V_D = 0 \Rightarrow V_D = 10 \text{ V} - (10^{-13} \text{ A})(1 \text{ k}\Omega) \approx 10 \text{ V}$$

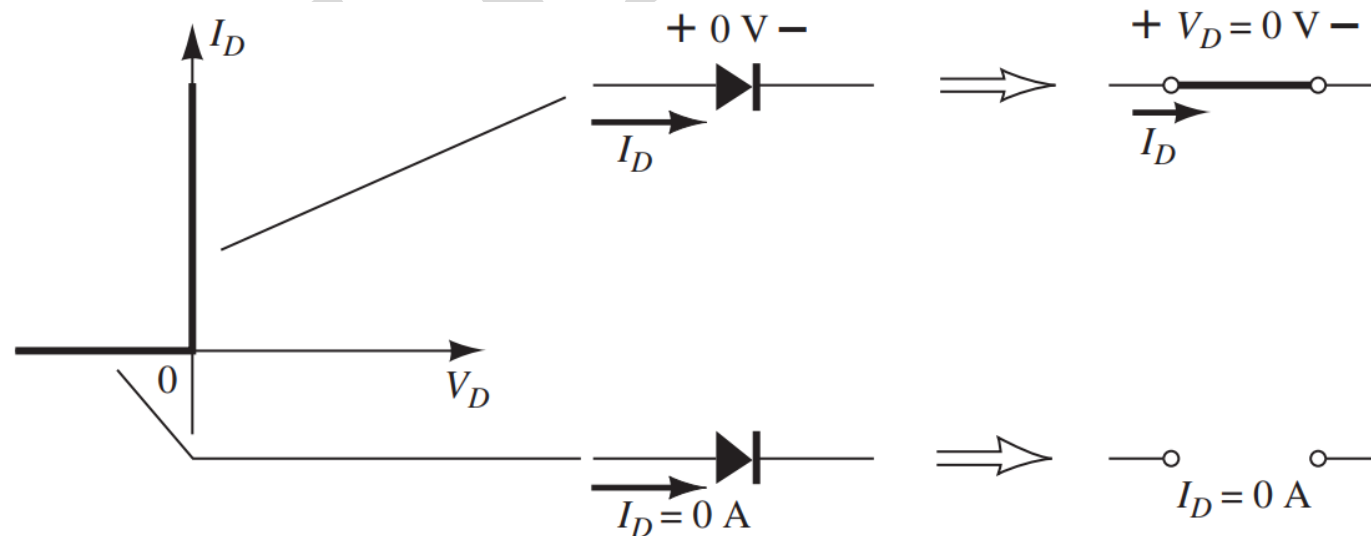


- Việc phân tích mạch sử dụng diode dựa trên phương trình Shockley phức tạp, không thuận tiện cho tính toán thủ công.
- Mô hình mạch tương đương là giải pháp thuận tiện hơn.
- Mô hình mạch tương đương là một mạch gồm các thành phần được lựa chọn hợp lý để biểu diễn đặc tuyến thực tế của một linh kiện trong một vùng hoạt động cụ thể.
- Khi phân tích mạch, linh kiện được thay thế bởi mạch tương đương mà không gây ảnh hưởng lớn đến hoạt động của toàn mạch.
- Mô hình mạch tương đương thường cấu tạo từ các thành phần mạch đơn giản để thuận tiện áp dụng các kỹ thuật phân tích của lý thuyết mạch.

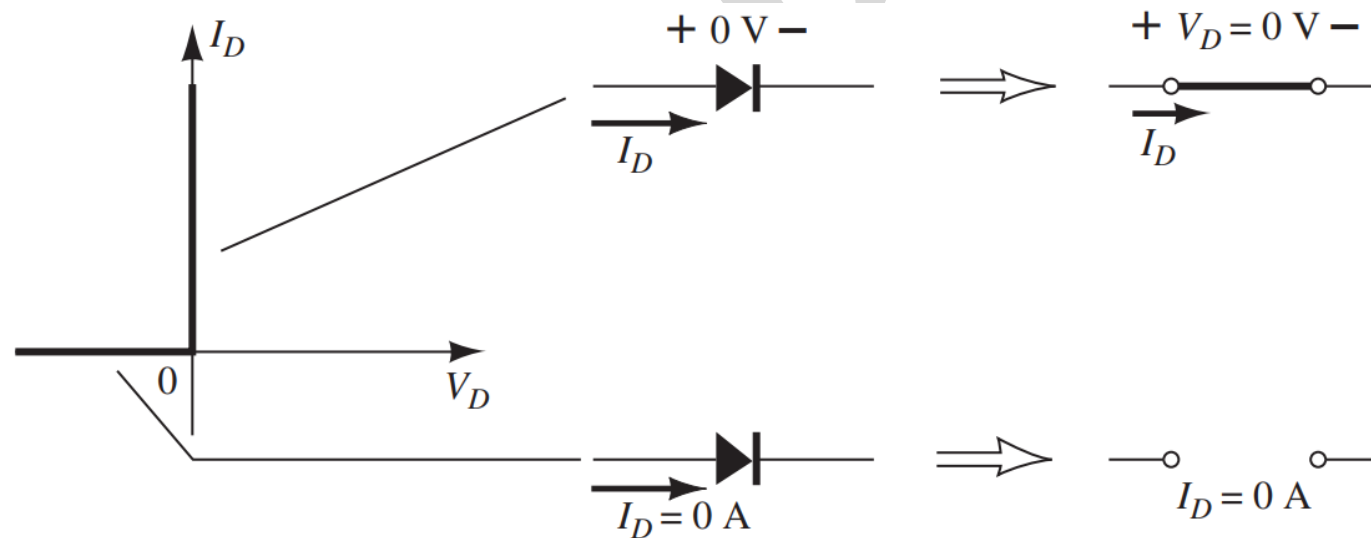
- Ta xem xét các mô hình mạch tương đương của diode sau:
 - Mô hình lý tưởng;
 - Mô hình sụt áp.
- Mô hình sụt áp có độ phức tạp và độ chính xác cao hơn mô hình lý tưởng.
- Mô hình sụt áp thường được sử dụng trong phân tích và thiết kế mạch sử dụng diode.
- Mô hình lý tưởng thường được sử dụng để phân tích tổng quan hoạt động của mạch mà không quan trọng đến giá trị chính xác của các thông số mạch.

2.7.1 Mô hình lý tưởng

- Điều kiện để:
 - diode dẫn: phân cực thuận;
 - diode ngắt: phân cực ngược.
- Khi diode dẫn, diode được thay bằng ngắn mạch.
- Khi diode ngắt, diode được thay bằng hở mạch.

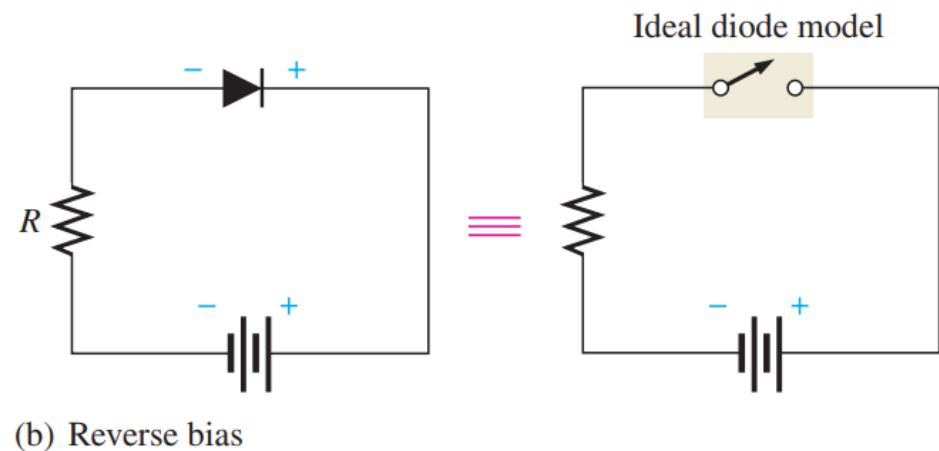
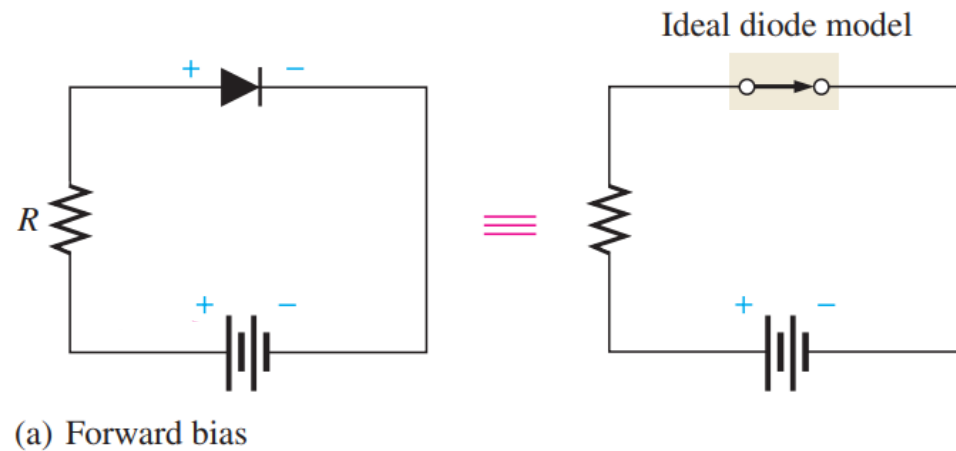


- Mô hình lý tưởng bỏ qua rào thế, điện trở, và dòng ngược:
 - điện áp trên diode bằng 0 khi phân cực thuận.
 - dòng qua diode bằng 0 khi phân cực ngược.
- Mô hình lý tưởng thích hợp để phân tích hoạt động của mạch mà không cần tính toán giá trị chính xác của các dòng và điện áp.



VÍ DỤ:

Hãy áp dụng mô hình lý tưởng để tính dòng và điện áp của diode khi diode dẫn và diode ngắt. Cho $V_{BIAS} = 10V$ và $R = 1\text{ k}\Omega$.



GIẢI:

- **Diode dẫn (phân cực thuận):**

Do diode được thay bằng khóa đóng nên điện áp của diode $V_D = 0$.

Dòng qua diode:

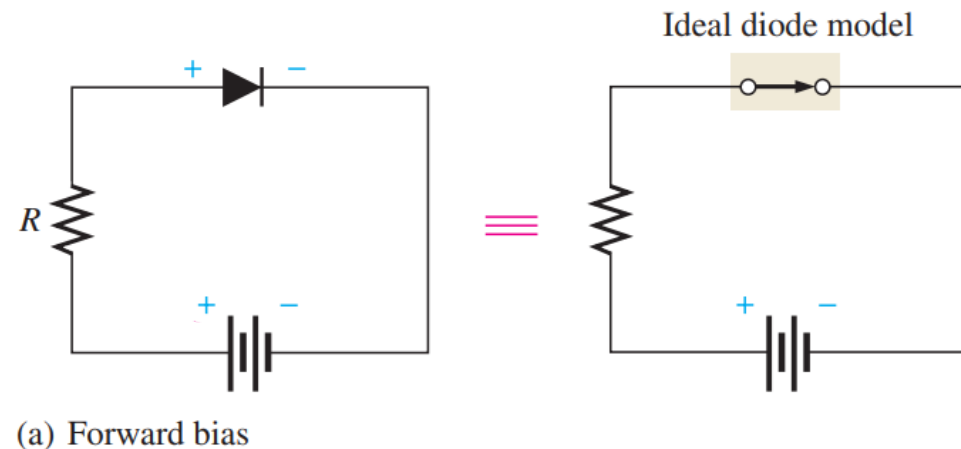
$$I_D = \frac{V_{BIAS}}{R} = \frac{10\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 10\text{ mA}$$

- **Diode ngắt (phân cực ngược):**

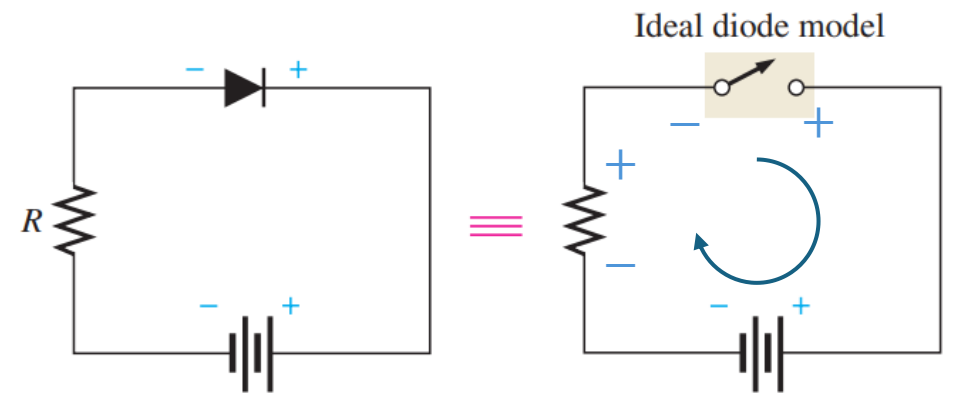
Do diode xem như khóa mở nên không có dòng chạy qua mạch, tức là $I_D = 0$.

Áp dụng KVL:

$$\begin{aligned} V_{BIAS} - V_R - V_D &= 0 \\ \Rightarrow V_D &= V_{BIAS} = 10\text{ V} \end{aligned}$$



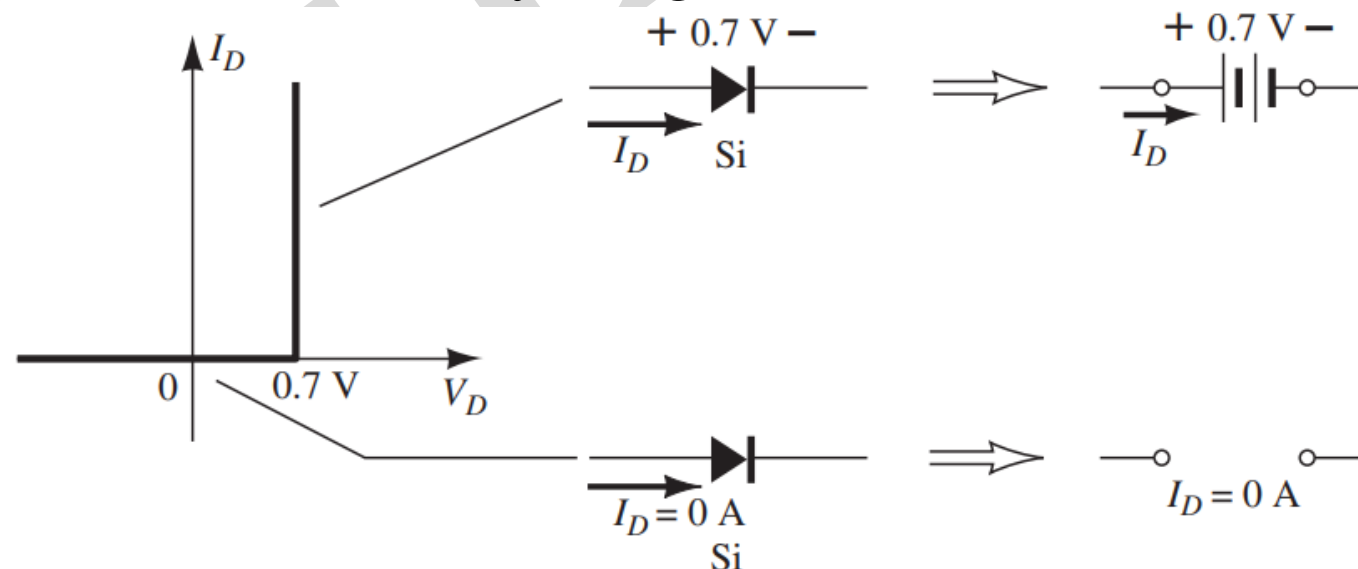
(a) Forward bias



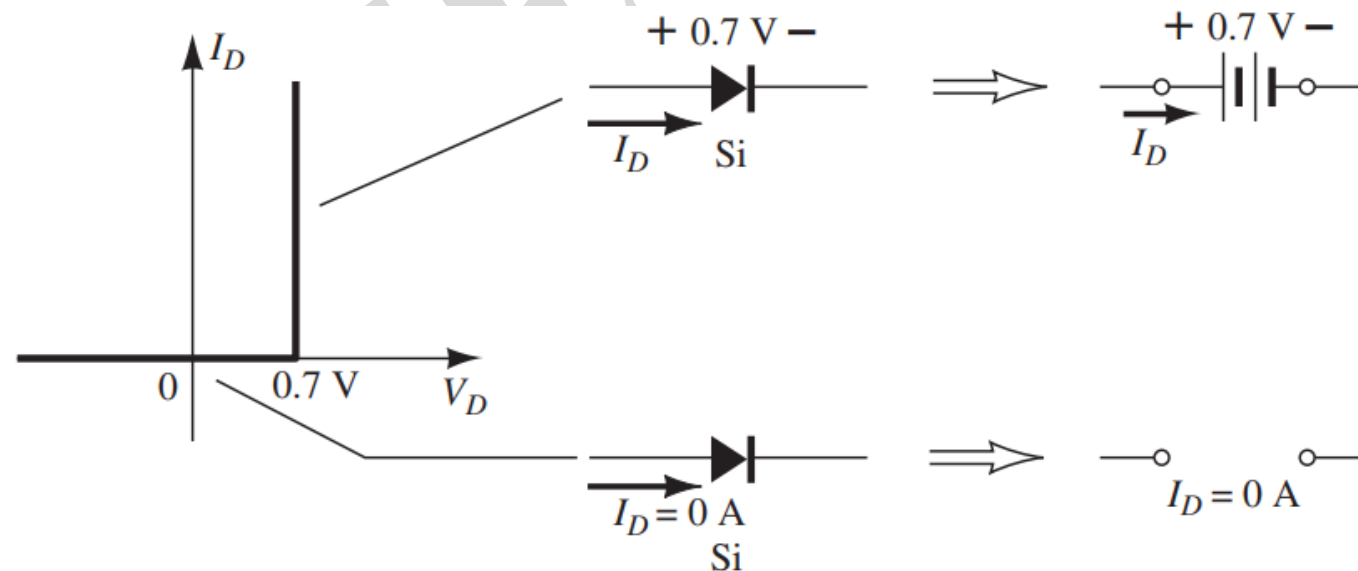
(b) Reverse bias

2.7.2 Mô hình sụt áp

- Điều kiện để:
 - diode dẫn: phân cực thuận và $V_D \geq V_{on}$;
 - diode ngắt: phân cực ngược.
- Khi diode dẫn, diode được thay bằng nguồn điện áp có độ lớn bằng điện áp mở. Cực dương của nguồn hướng về chân anode của diode.
- Khi diode ngắt, diode được thay bằng hở mạch.



- Lưu ý rằng, nếu $0 < V_D < V_{on}$, diode ngắt.
- Khi diode dẫn, sụt áp trên diode bằng điện áp của nguồn thay thế, tức bằng điện áp mở.
- Mô hình sụt áp được sử dụng để tính toán và thiết kế các mạch diode cơ bản với điện áp hoạt động thấp. Đối với các loại mạch này, điện áp mở có giá trị đáng kể và cần được tính đến khi xem xét mạch.
- Điện áp mở đối với các chất bán dẫn: Si – 0,7 V; Ge – 0,3 V; GaAs – 1,2 V.



2.8 Phân tích mạch sử dụng diode

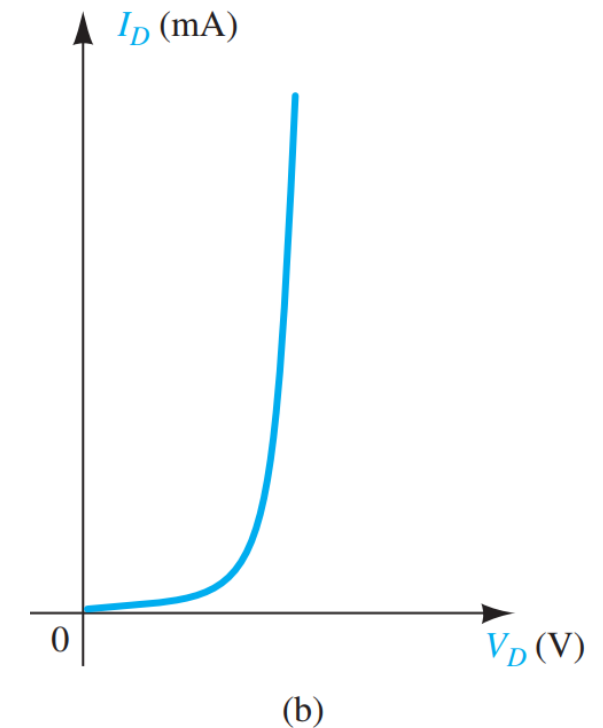
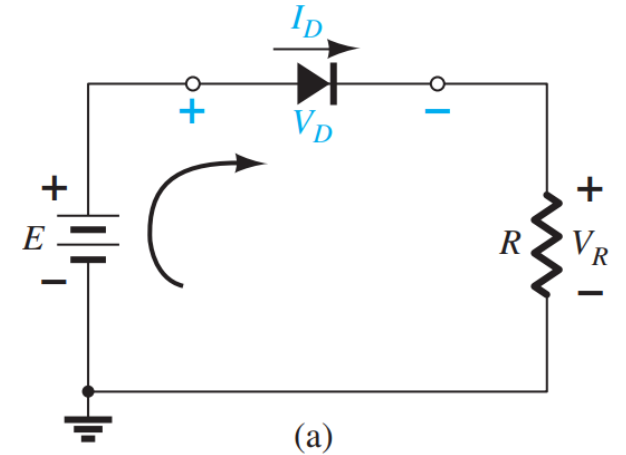
- Ta xem xét hai phương pháp:
 - Phân tích đường tải;
 - Phân tích sử dụng mô hình mạch tương đương.

2.8.1 Phân tích đường tải

- Cho mạch và đặc tuyến của diode như hình bên.
- Dòng và điện áp của diode có thể được tìm bằng cách sử dụng phương trình Shockley kết hợp với KVL:

$$\begin{cases} I_D = I_S \exp\left(\frac{V_D}{V_T} - 1\right) & (1) \\ -E + I_D R + V_D = 0 & (2) \end{cases}$$

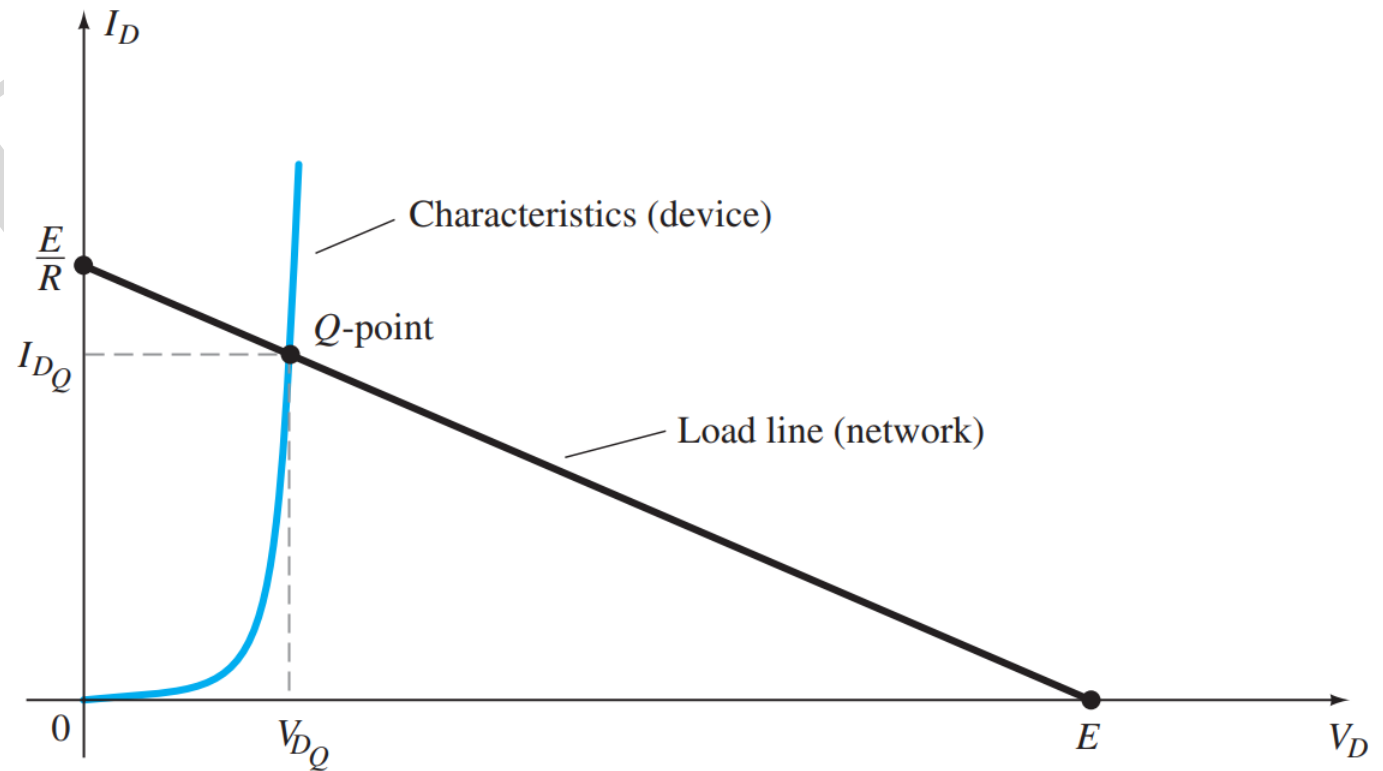
- Phương pháp phân tích đường tải biểu diễn các phương trình (1) và (2) dưới dạng đồ thị trên cùng một hệ trục tọa độ.
- Giao điểm của hai đồ thị cho nghiệm của hệ phương trình (1) và (2), chính là I_D và V_D .



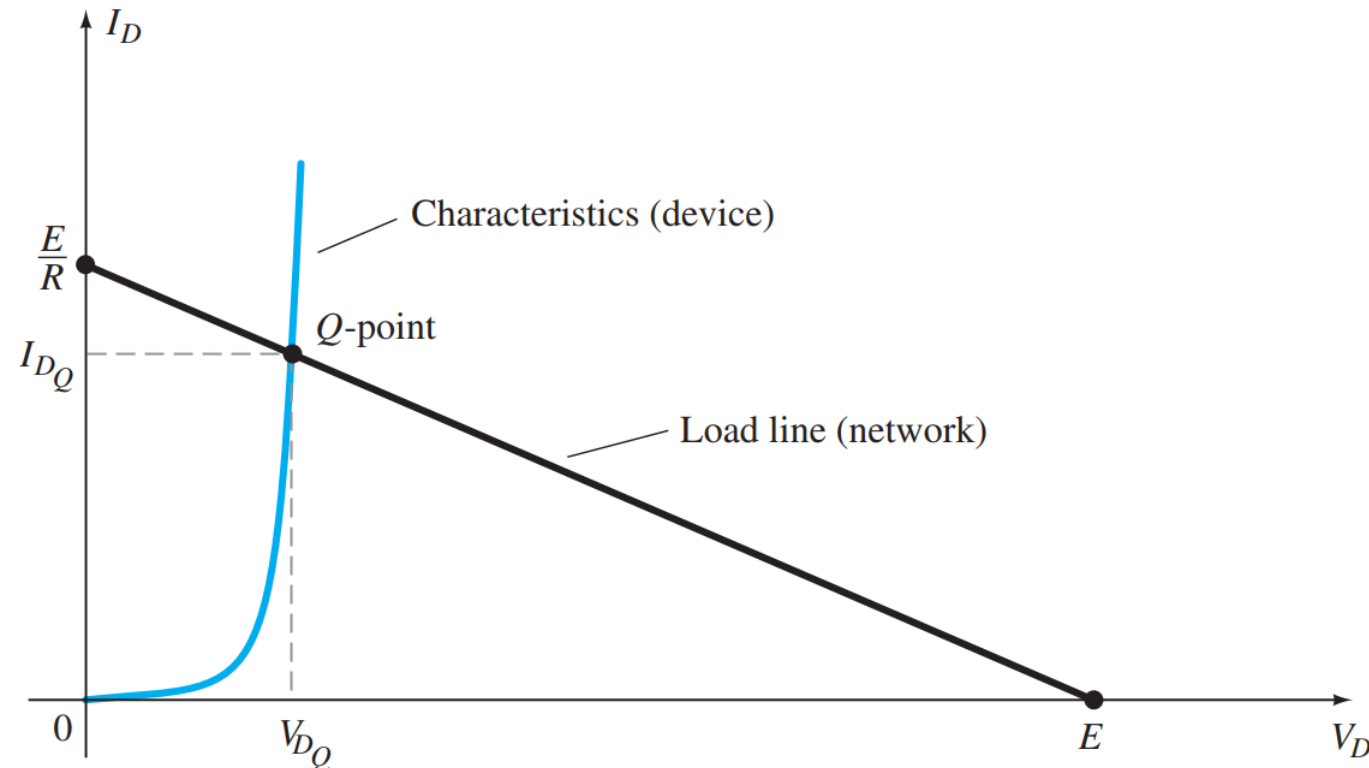
- Phương trình (1) là đặc tuyến i-v của diode.
- Phương trình (2) được biến đổi để biểu diễn I_D theo V_D :

$$I_D = \left(-\frac{1}{R} \right) V_D + \frac{E}{R}$$

- Đồ thị của phương trình (2) có dạng đường thẳng và đi qua hai điểm:
 - $V_D = 0 \rightarrow I_D = E/R$
 - $I_D = 0 \rightarrow V_D = E$



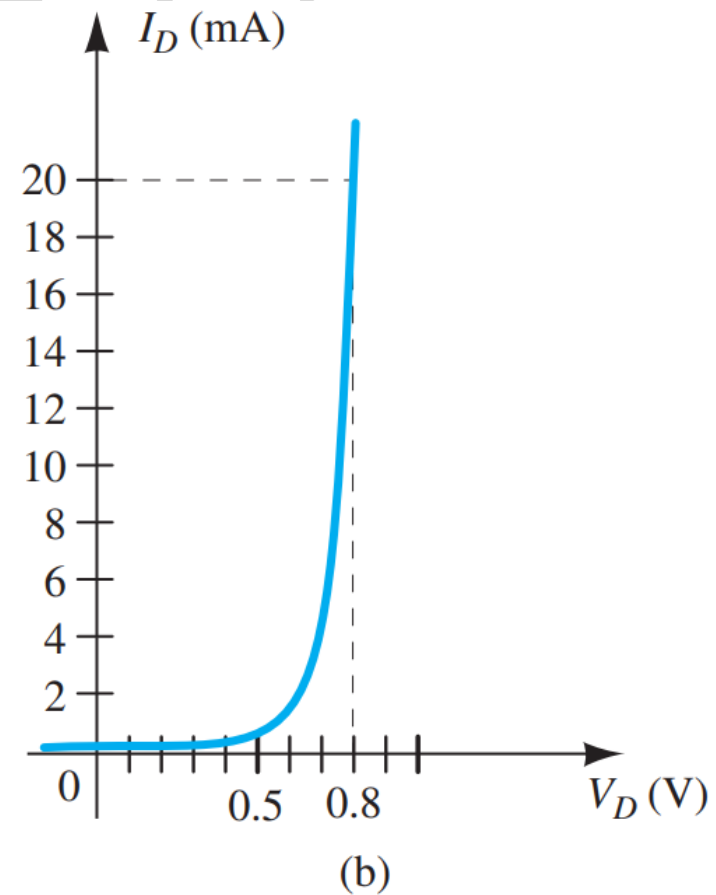
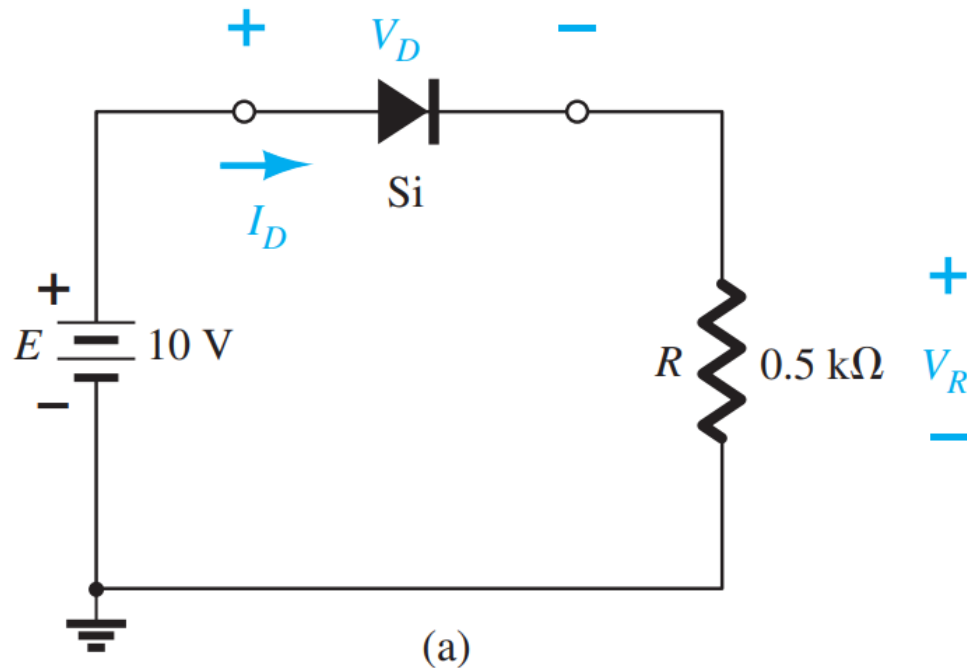
- Đồ thị của phương trình (2) được gọi là đường tải.
- Giao điểm Q giữa đặc tuyến và đường tải chính là nghiệm của hệ phương trình (1) và (2), tương ứng với dòng và điện áp trên diode.
- Điểm Q còn được gọi là điểm làm việc tĩnh, tương ứng với cặp giá trị dòng và điện áp một chiều qua diode (I_D, V_D).



VÍ DỤ:

Cho mạch và đặc tuyến của diode như hình vẽ. Cho $E = 10\text{ V}$ và $R = 0.5\text{ k}\Omega$.

- (a) Tìm điểm làm việc tĩnh Q.
- (b) Tính điện trở tĩnh của diode.



GIẢI:

ETE-DUT

- Phương pháp phân tích đường tải có những ưu và nhược điểm sau:
 - **Ưu điểm:** trực quan; thuận tiện cho phân tích mối quan hệ giữa các đại lượng.
 - **Nhược điểm:** dễ gây sai số; cần có đặc tuyến.

2.8.2 Phân tích sử dụng mô hình mạch tương đương

- Trong phần này, mô hình sụt áp được sử dụng.
- Các bước phân tích sử dụng mô hình mạch tương đương:

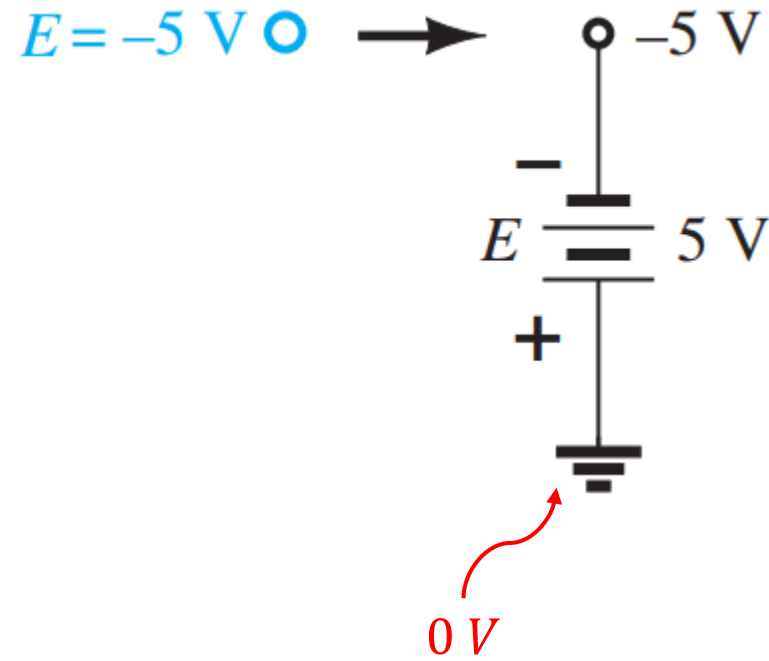
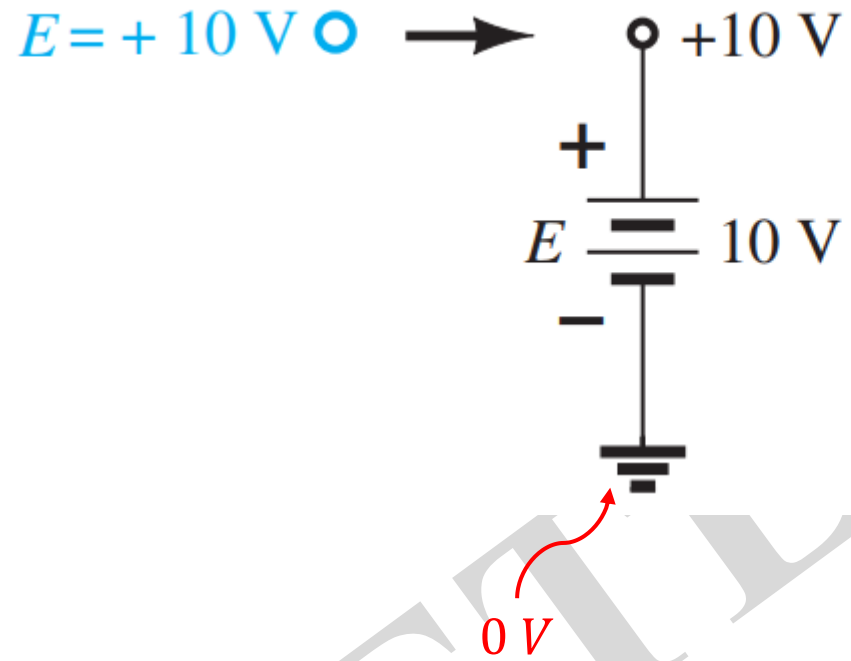
B1. Xác định trạng thái của diode – dẫn hay ngắt:

- **Giả sử** thay thế diode bằng điện trở;
- Xác định chiều dòng điện tạo ra bởi nguồn.
- Nếu cùng chiều với chiều dẫn của diode và $V_D \geq V_{on}$ thì diode dẫn; nếu ngược chiều – diode ngắt.

B2. Thay thế diode bằng mô hình sụt áp.

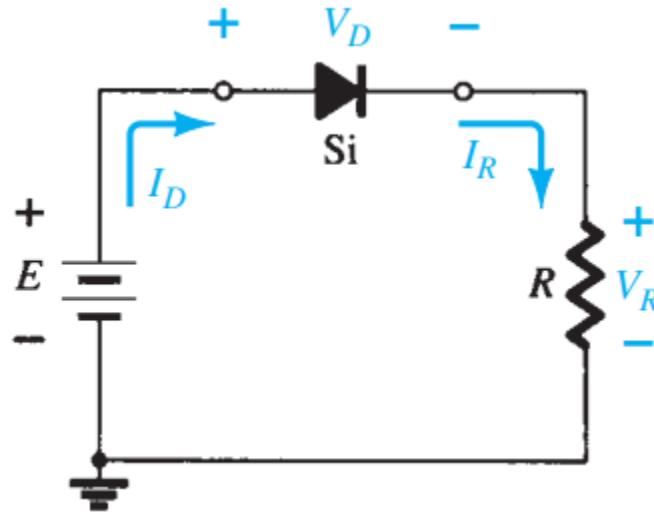
B3. Áp dụng các phương pháp của lý thuyết mạch để phân tích mạch.

- Ký hiệu của nguồn điện áp:



VÍ DỤ:

Hãy áp dụng mô hình sụt áp để tính dòng và điện áp của diode trong mạch sau. Cho $E = 10V$, $V_{on} = 0,7 V$ và $R = 1 k\Omega$.

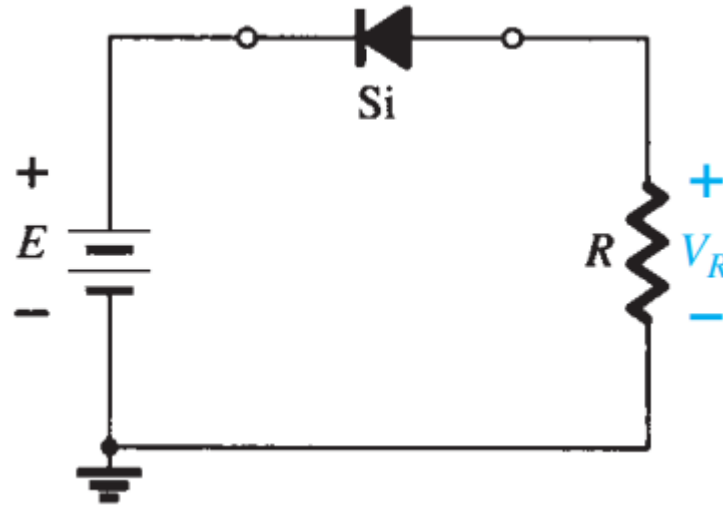


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Hãy áp dụng mô hình sụt áp để tính dòng và điện áp của diode trong mạch sau. Cho $E = 10V$, $V_{on} = 0,7 V$ và $R = 1 k\Omega$.

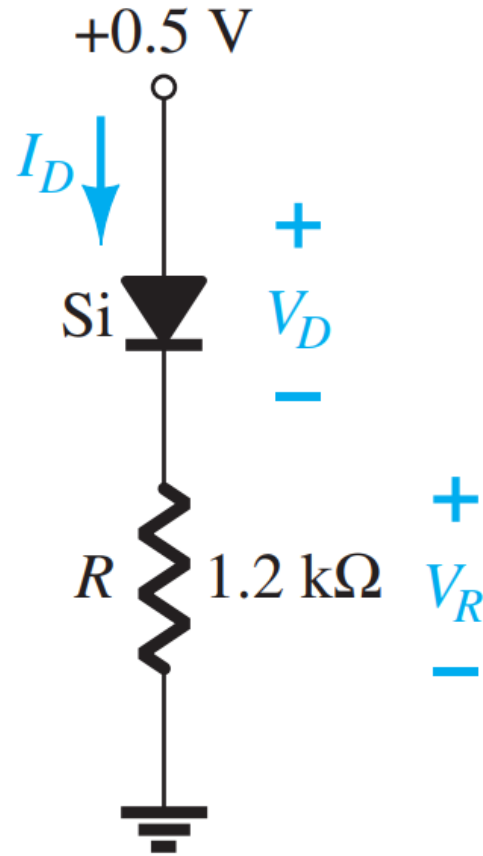


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Cho mạch sử dụng diode Si như hình vẽ. Tính dòng và điện áp của diode.

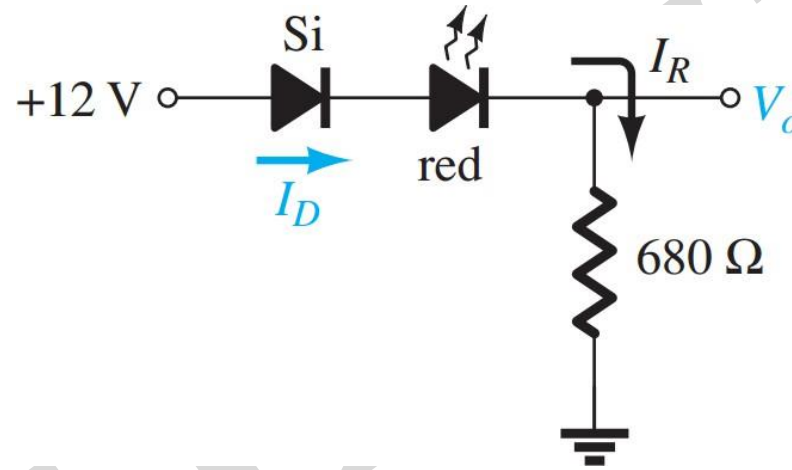


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Cho mạch như hình vẽ. Tính V_o và I_D . Biết rằng, điện áp mở của LED màu đỏ bằng $1,8\text{ V}$.

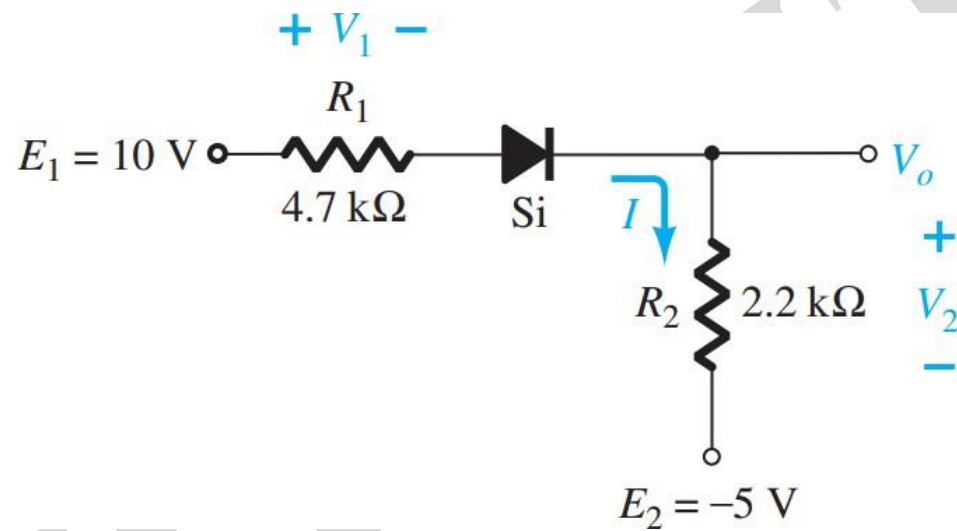


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Cho mạch như hình vẽ. Tính I , V_o .

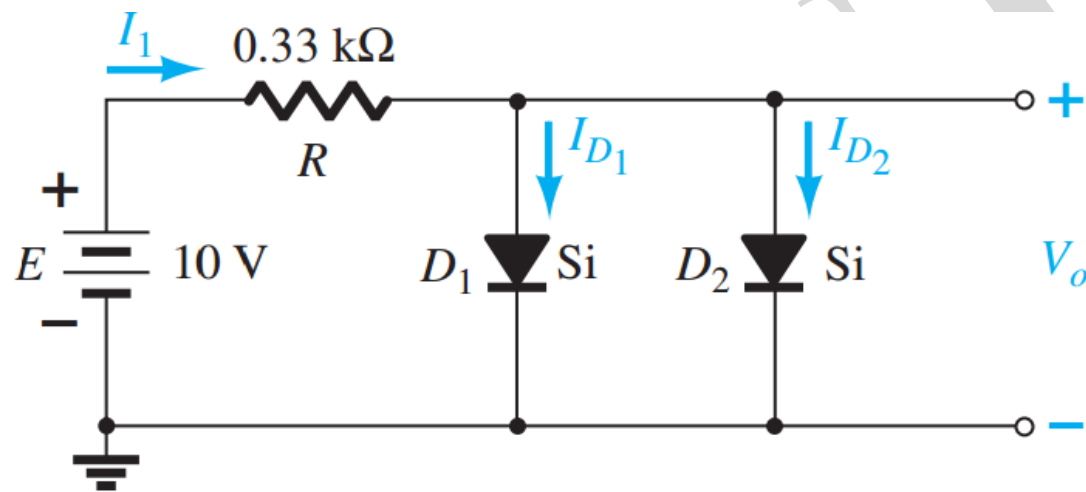


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Cho mạch như hình vẽ. Tính V_o , I_1 , I_{D_1} , I_{D_2} .

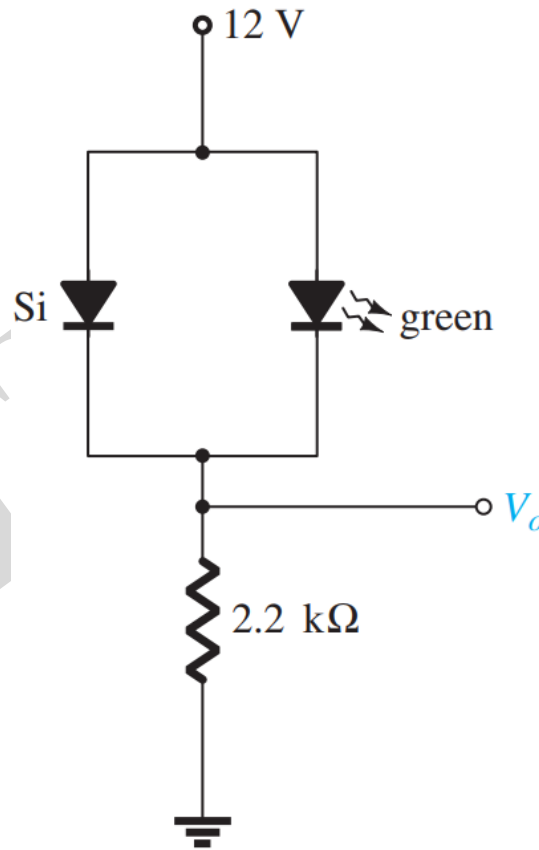


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Hãy xác định V_o trong mạch sau. Cho điện áp mở của diode silicon và LED xanh lần lượt bằng $0,7\text{ V}$ và $2,2\text{ V}$.

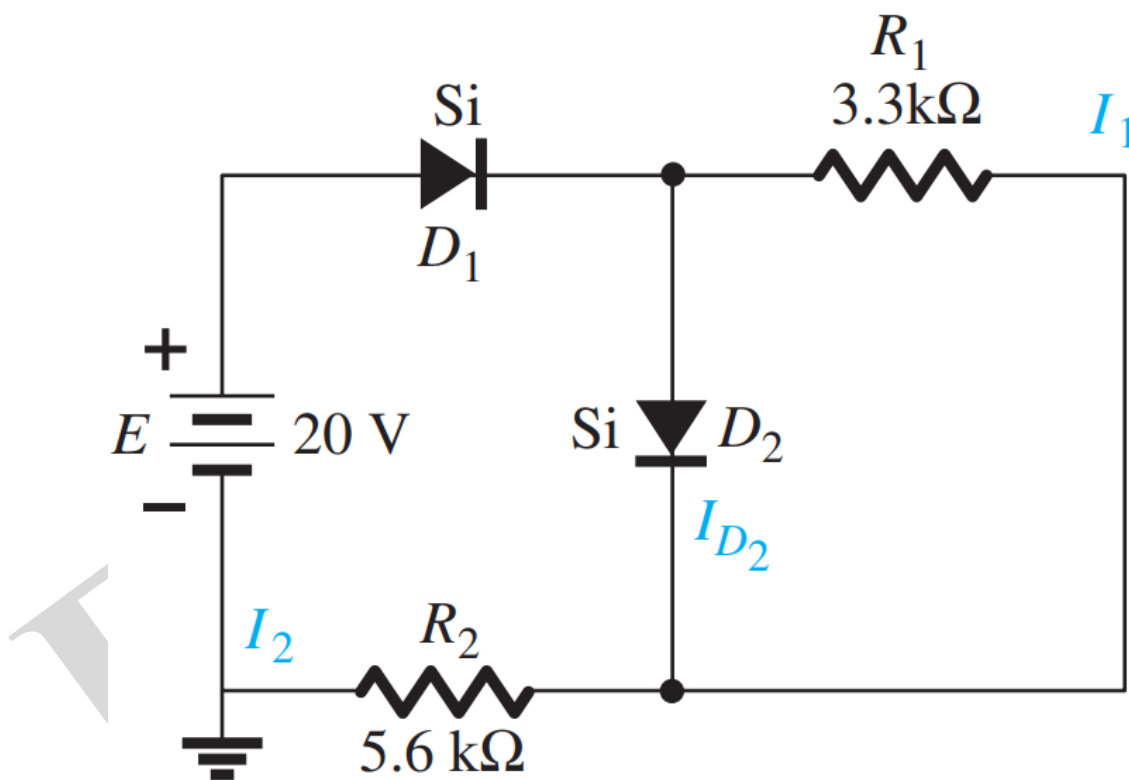


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Xác định các dòng I_1 , I_2 , I_{D_2} đối với mạch sau.

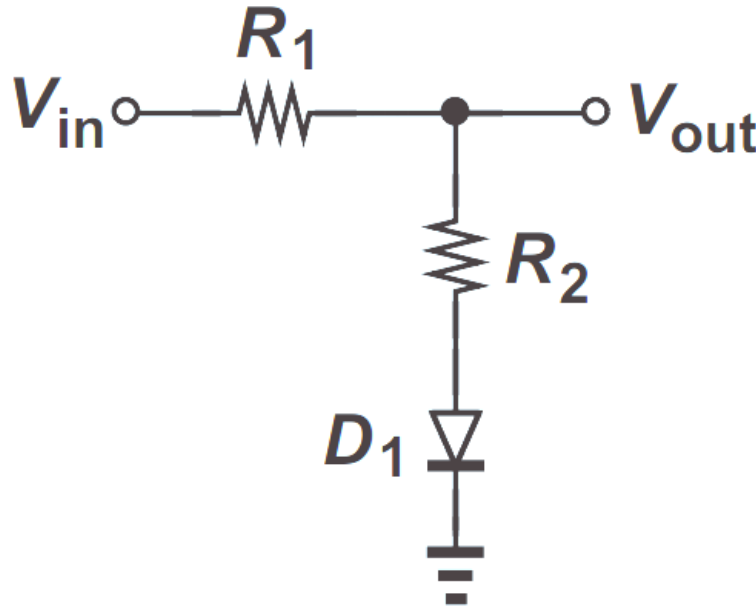


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Hãy vẽ đặc tuyến thể hiện mối sự phụ thuộc của điện áp ra V_{out} vào điện áp vào V_{in}

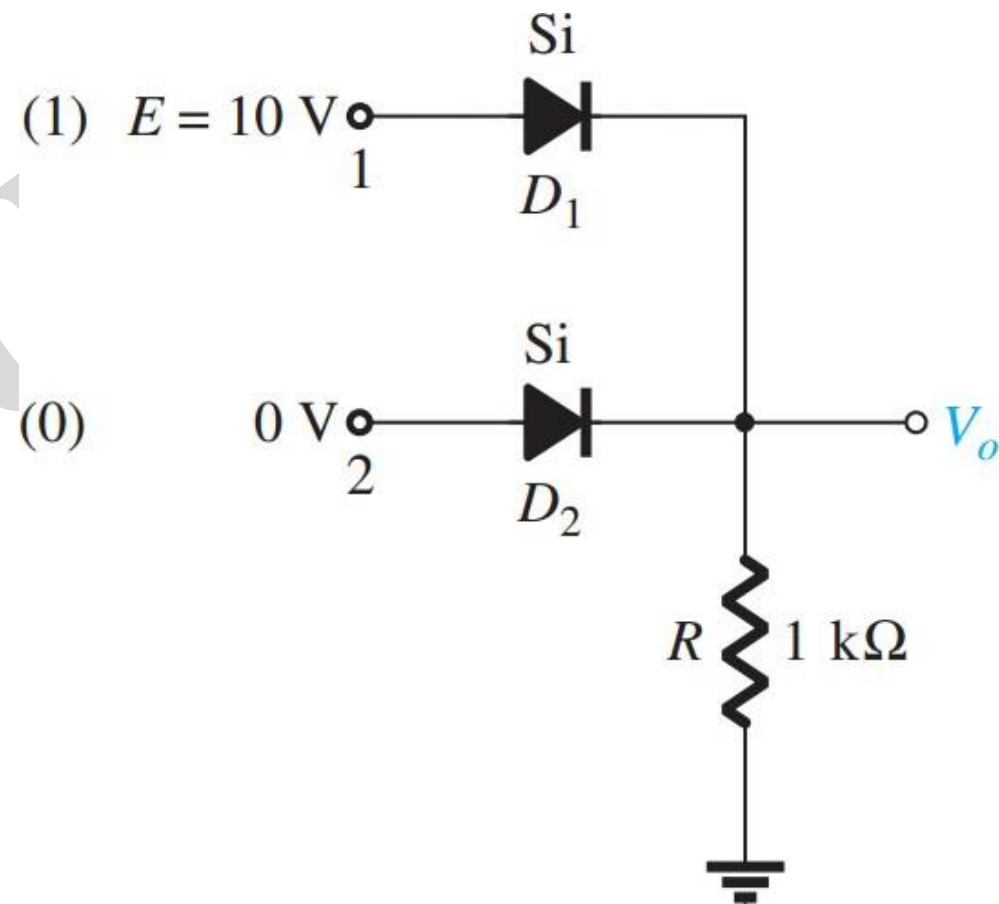


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

- Trong kỹ thuật số, cổng logic là một mạch điện tử thực hiện một hàm Boole.
- Đối với cổng logic, có 2 mức logic “1” và “0” tương ứng với điện áp cao và thấp.
- Xem xét cổng logic OR như hình vẽ:
 - Mức điện áp 10 V tương ứng với mức logic “1”; mức điện áp 0 V – mức logic “0”.
 - Cổng OR cho ngõ ra ở mức “1” nếu một trong hai hoặc cả hai ngõ vào ở mức “1”.
- Hãy xác định điện áp V_o đối với các điện áp đầu vào của cổng OR như ở hình bên.

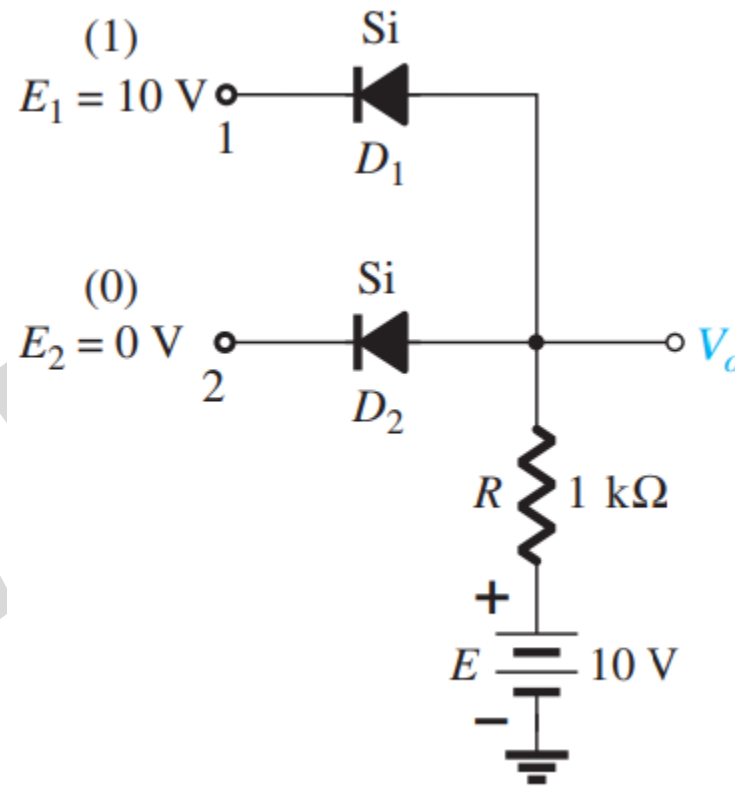


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Hãy xác định điện áp V_o đối với các điện áp đầu vào của cổng AND như ở hình bên.

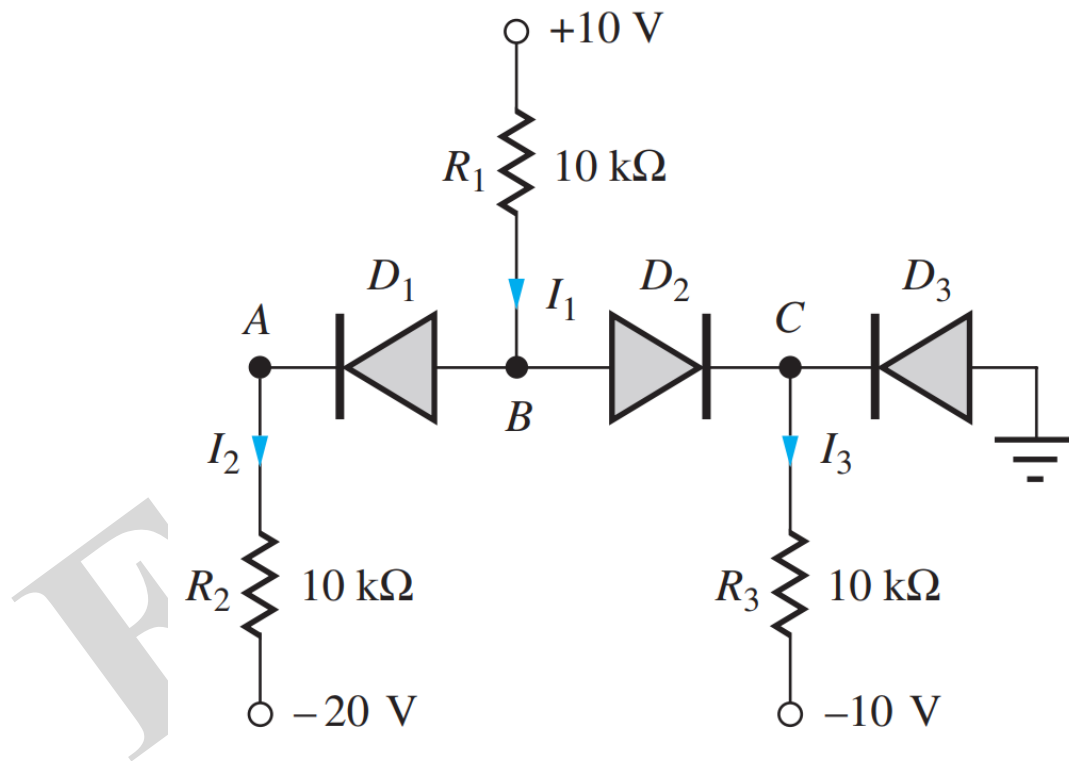


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Tính dòng và điện áp của các diode.



GIẢI:

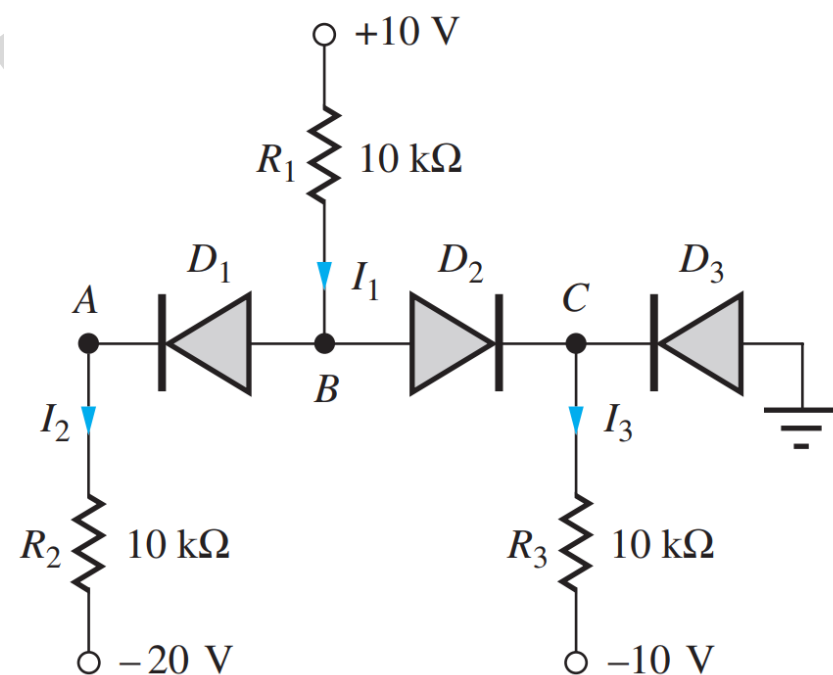
- Đối với mạch này, ta chưa thể xác định trạng thái của diode.
- Phương pháp:

B1. Đưa ra giả thuyết về trạng thái của diode.

B2. Phân tích mạch dựa trên giả thuyết.

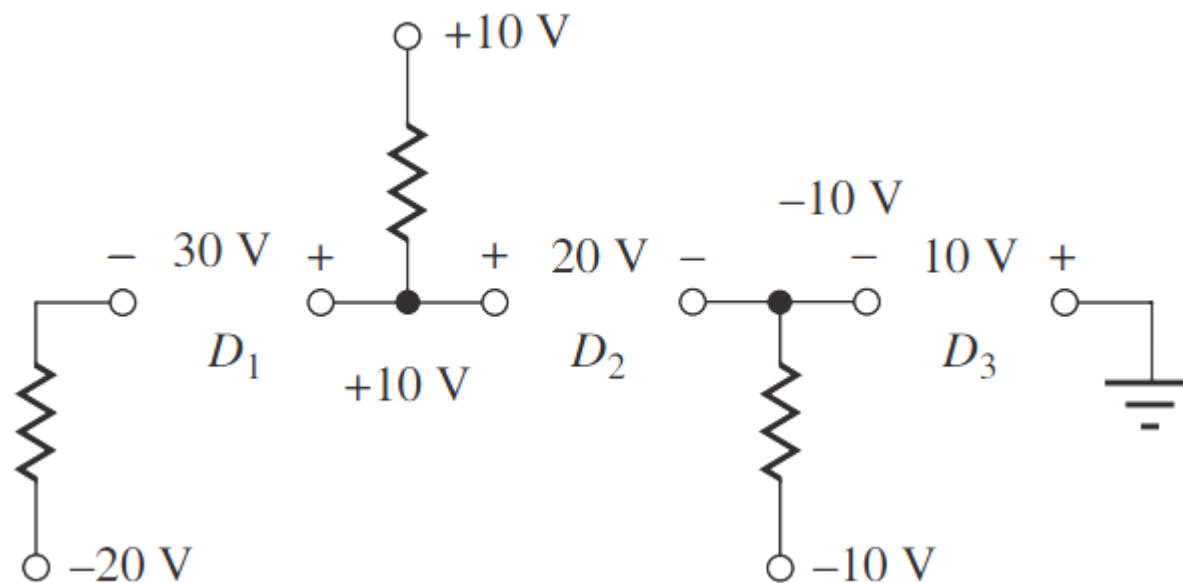
B3. Kiểm tra sự phù hợp của kết quả đối với giả thuyết. Nếu không phù hợp, ta thực hiện giả thuyết lại cho tới khi có kết quả phù hợp.

* Giả thuyết tiếp theo dựa trên kết quả của giả thuyết trước đó.



- 3 diode \rightarrow 8 trường hợp.
- Ta thường bắt đầu bằng giả thuyết là tất cả diode đều ngắt.
- D_1 , D_2 và D_3 có xu hướng phân cực thuận với điện áp lớn \rightarrow giả thuyết tiếp theo: cả ba diode đều dẫn.

D_1	D_2	D_3
Off	Off	Off
Off	Off	On
Off	On	Off
Off	On	On
On	Off	Off
On	Off	On
On	On	Off
On	On	On



- Giả thuyết lần hai: cả ba diode đều dẫn.

$$V_C = -0.6 \text{ V} \quad V_B = -0.6 + 0.6 = 0 \text{ V} \quad V_A = 0 - 0.6 = -0.6 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{10 - 0}{10} \frac{\text{V}}{\text{k}\Omega} = 1 \text{ mA} \quad I_2 = \frac{-0.6 - (-20)}{10} \frac{\text{V}}{\text{k}\Omega} = 1.94 \text{ mA}$$

$$I_3 = \frac{-0.6 - (-10)}{10} \frac{\text{V}}{\text{k}\Omega} = 0.94 \text{ mA}$$

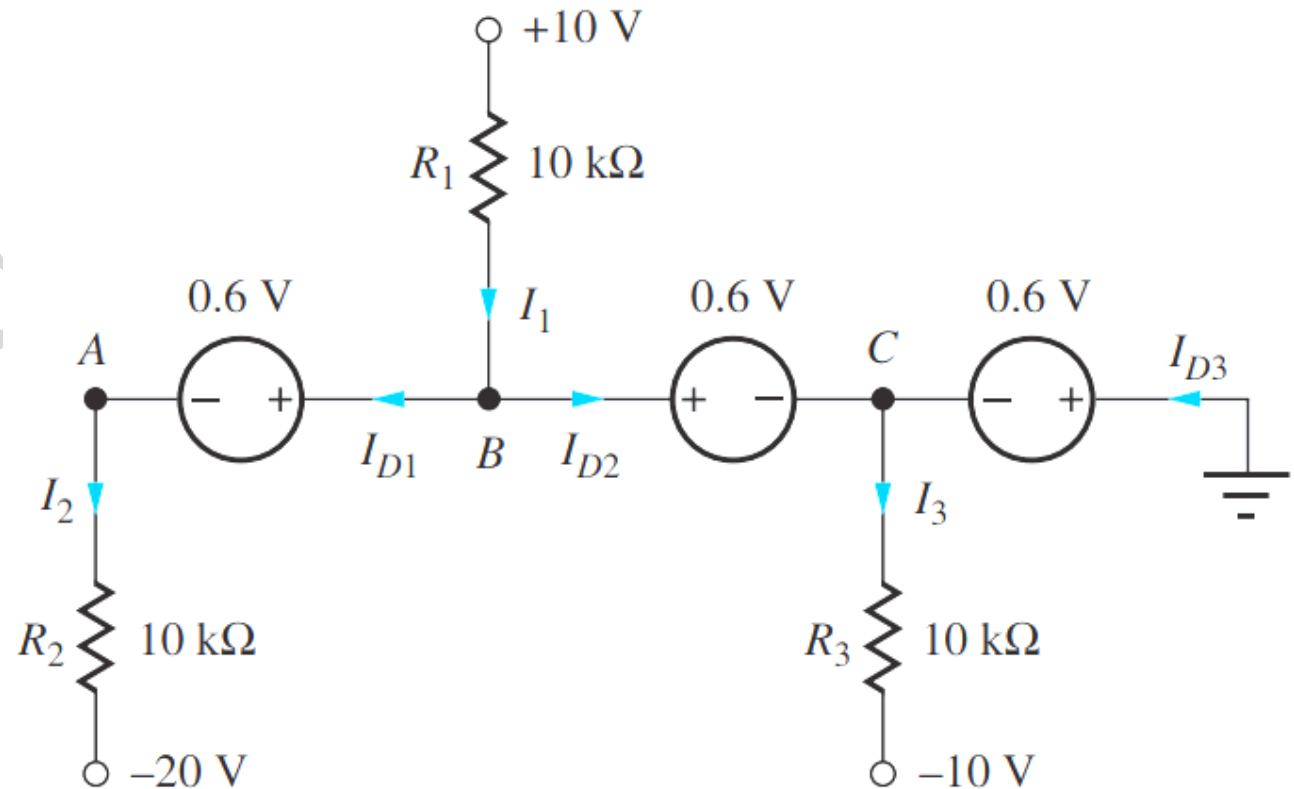
$$I_2 = I_{D1} \quad I_1 = I_{D1} + I_{D2}$$

$$I_3 = I_{D2} + I_{D3}$$

$$I_{D1} = 1.94 \text{ mA} > 0 \quad \checkmark$$

$$I_{D2} = -0.94 \text{ mA} < 0 \quad \times$$

$$I_{D3} = 1.86 \text{ mA} > 0 \quad \checkmark$$



- Giả thuyết lần ba: D_1 và D_3 dẫn, D_2 ngắt.

$$+10 - 10,000I_1 - 0.6 - 10,000I_2 + 20 = 0$$

$$I_1 = I_{D1} = I_2$$

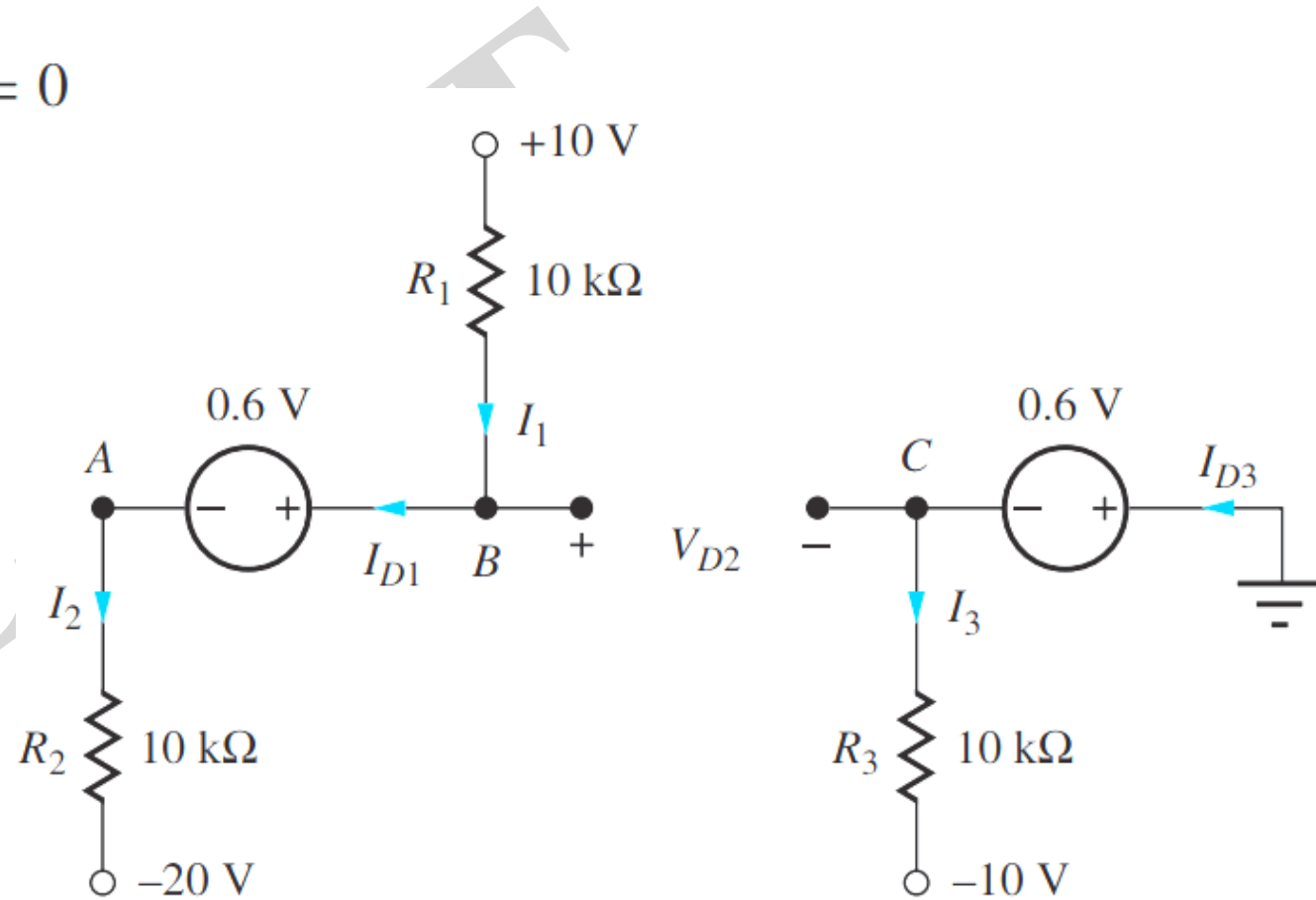
$$I_{D1} = \frac{29.4 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} = 1.47 \text{ mA} > 0 \checkmark$$

$$I_{D3} = I_3 = \frac{-0.6 - (-10) \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$= 0.940 \text{ mA} > 0 \checkmark$$

$$V_{D2} = 10 - 10,000I_1 - (-0.6)$$

$$= 10 - 14.7 + 0.6 = -4.10 \text{ V} < 0 \checkmark$$



2.9 Một số loại diode khác

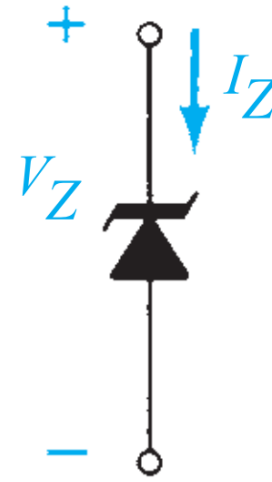
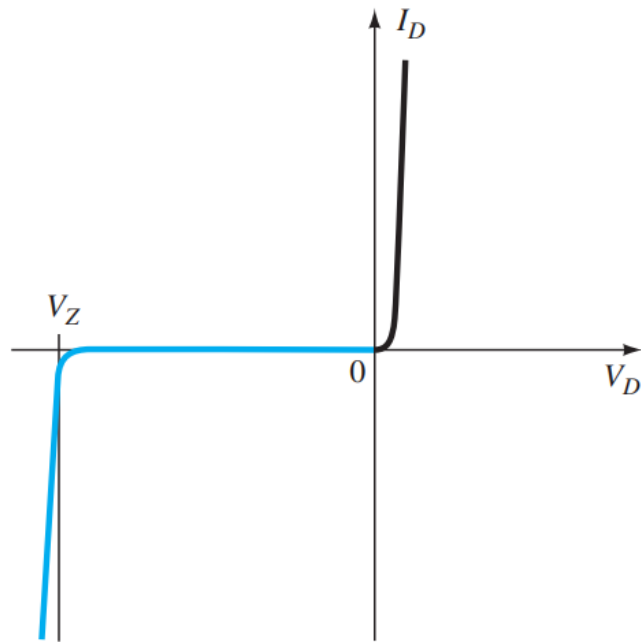
- Ta xem xét một số loại diode khác, bao gồm:

- Diode Zener
- Diode biến dung
- Diode Schottky
- Diode hiệu ứng hầm
- Diode phát quang (LED)

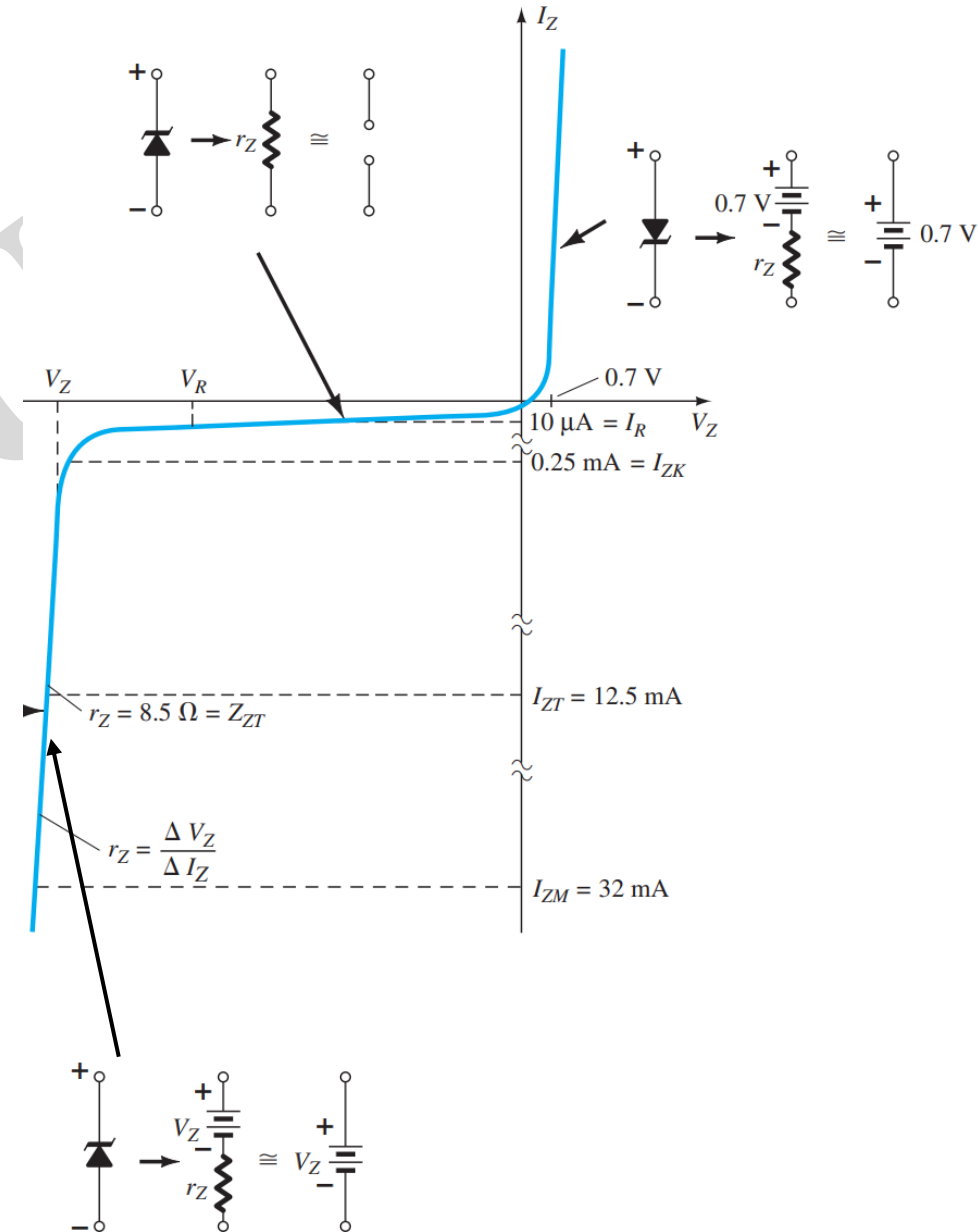
* *Sinh viên đọc thêm bài viết về các loại diode khác.*

2.9.1 Diode Zener

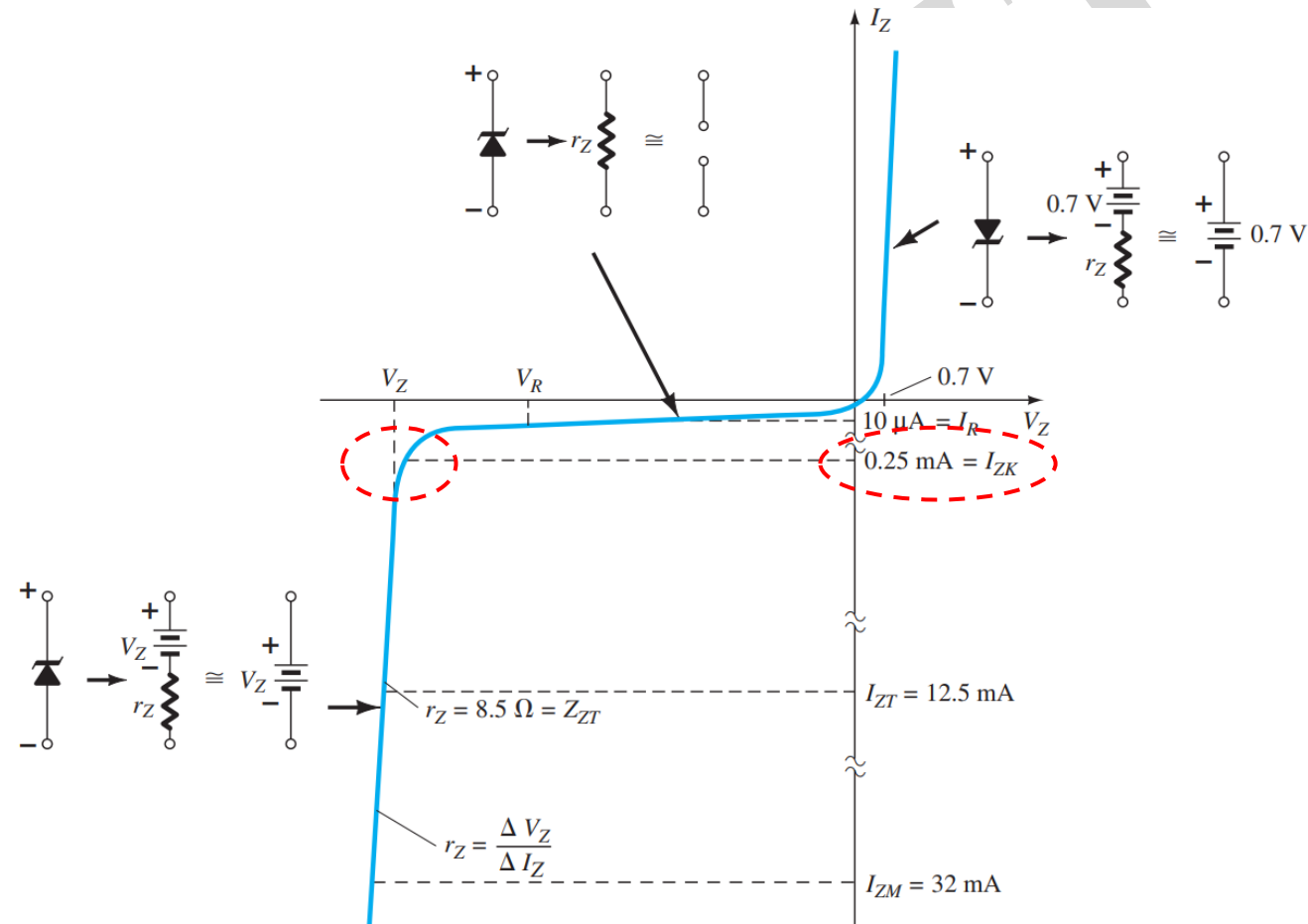
- Diode Zener là một linh kiện dựa trên tiếp giáp pn, và được thiết kế để hoạt động trong vùng đánh thủng.
- Mức điện áp đánh thủng của diode Zener được xác định bằng cách điều chỉnh mức pha tạp trong quá trình sản xuất.



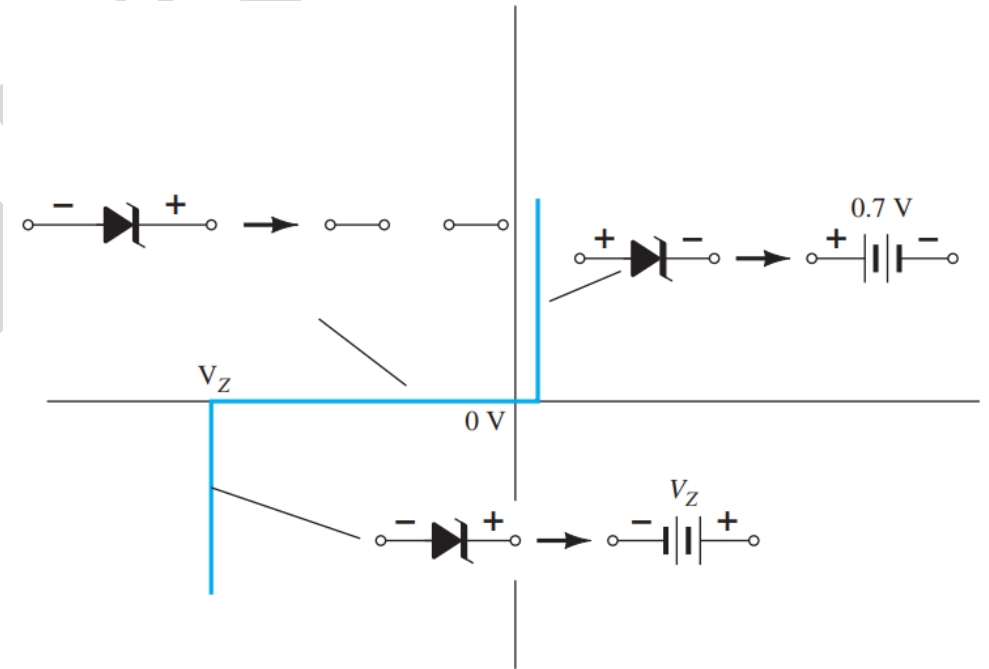
- Khi phân cực ngược:
 - dòng ngược qua diode rất nhỏ.
 - mô hình mạch tương đương của diode là hở mạch.
- Khi đánh thủng, tức là điện áp phân cực ngược vượt qua điện áp đánh thủng (V_Z):
 - dòng ngược qua diode tăng mạnh.
 - điện áp của diode thay đổi không đáng kể và xấp xỉ bằng điện áp đánh thủng V_Z .
 - mô hình mạch tương đương của diode là nguồn điện áp với độ lớn bằng V_Z .
Dương nguồn ở phía cathode.



- Để đảm bảo diode hoạt động trong vùng đánh thủng, dòng ngược qua diode cần phải vượt qua mức tối thiểu I_{ZK} , tương ứng với giá trị dòng nằm ở vị trí khuỷu.



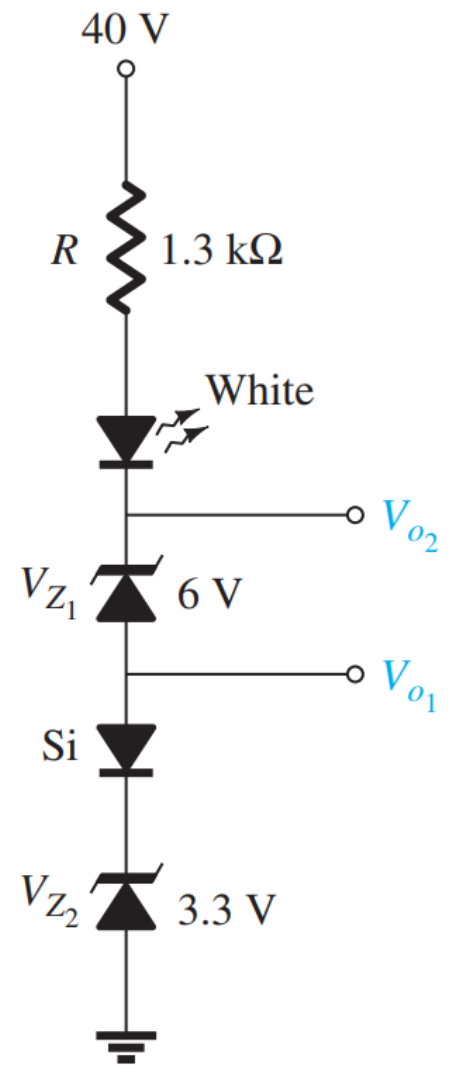
- Mô hình mạch tương đương của diode Zener trong vùng đánh thủng:
 - Điều kiện để diode Zener hoạt động trong vùng đánh thủng: $V_D \geq V_Z$.
 - Trong vùng đánh thủng, diode Zener được thay bằng nguồn điện áp với độ lớn bằng V_Z và dương nguồn ở phía cathode.
- trong vùng đánh thủng, điện áp của diode Zener không đổi và bằng điện áp đánh thủng V_Z .



VÍ DỤ:

Cho mạch như hình bên. Cho biết điện áp mở của LED trắng là 4 V .

- (a) Hãy tính điện áp V_{o_1} và V_{o_2} .
- (b) Hãy tính dòng qua LED và công suất phát của nguồn.
- (c) Hãy tính công suất hấp thụ bởi LED và diode Zener 6 V .

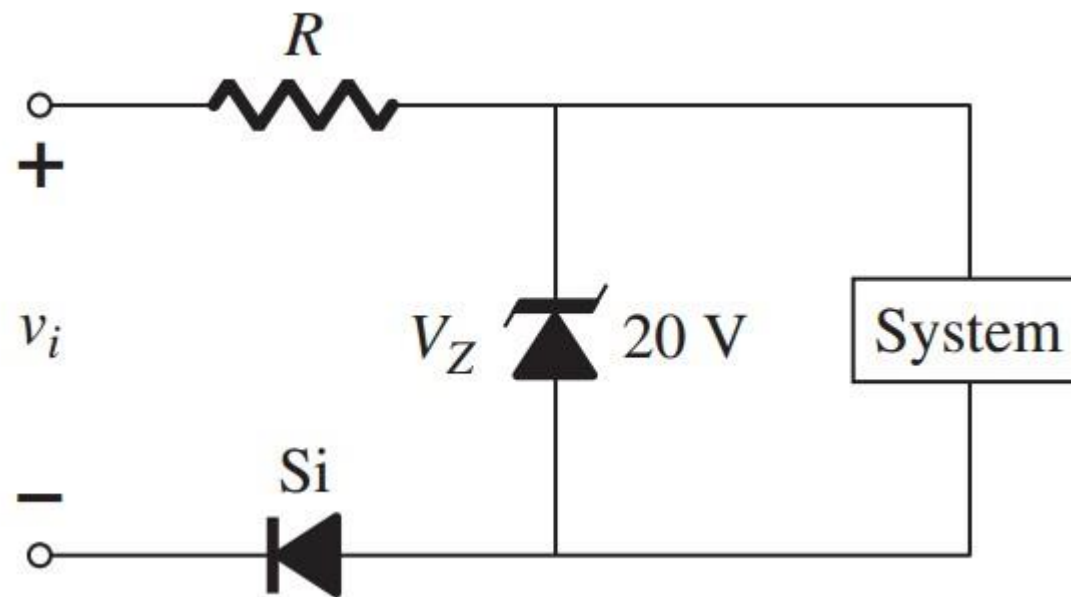
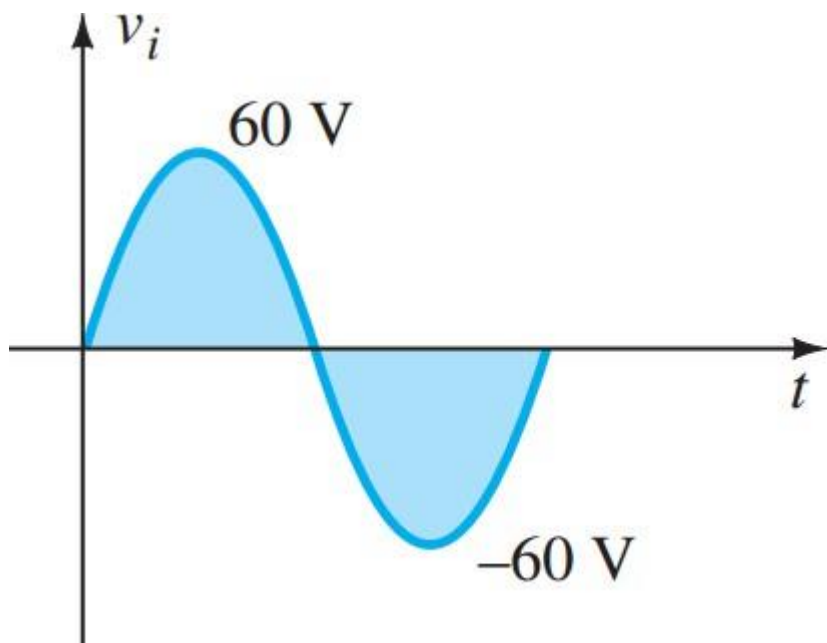


GIẢI:

ETE-DUT

VÍ DỤ:

Cho mạch ổn áp sử dụng diode Zener như hình vẽ. Trở kháng của tải (system) rất lớn nên không ảnh hưởng đến hoạt động của mạch. Cho điện áp vào v_i có dạng sóng sin với biên độ 60 V. Hãy vẽ dạng sóng của điện áp ra trên tải. Cho điện áp đánh thủng của diode Zener bằng 20 V.

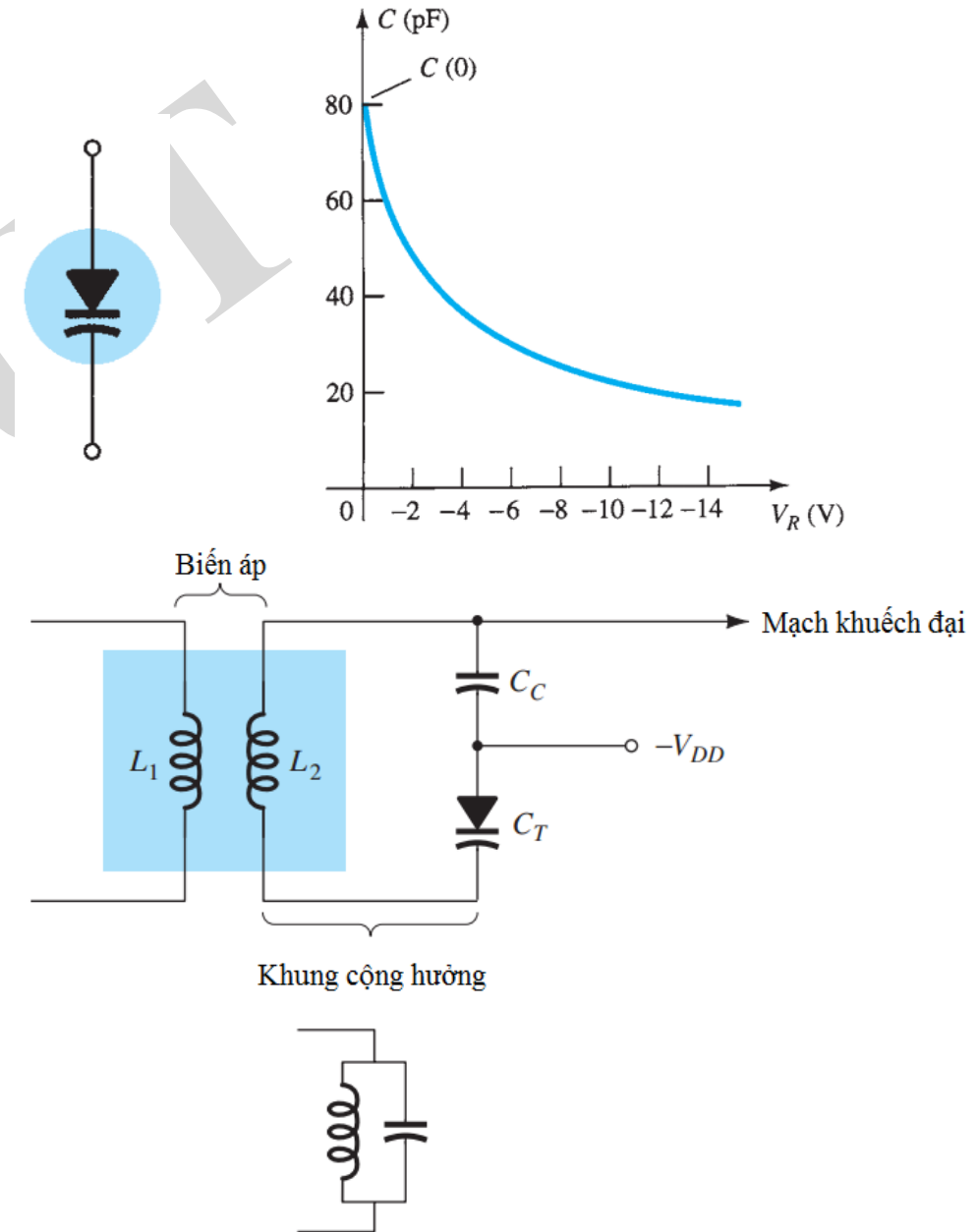


GIẢI:

ETE-DUT

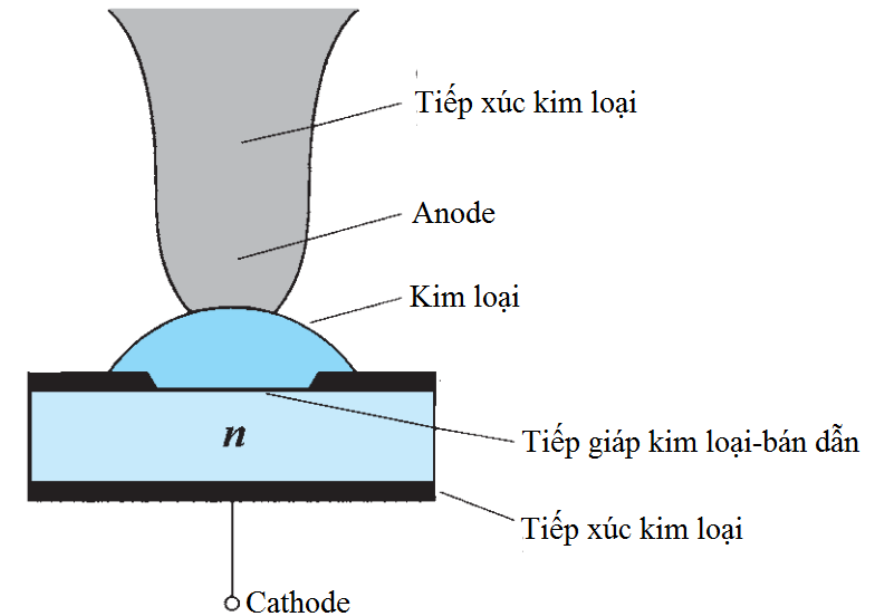
2.9.2 Diode biến dung

- Diode biến dung được xem một tụ điện bán dẫn có điện dung thay đổi theo điện áp.
- Hoạt động của diode biến dung phụ thuộc vào điện áp phân cực ngược.
- Diode biến dung thường được sử dụng trong khung cộng hưởng LC.



2.9.3 Diode Schottky

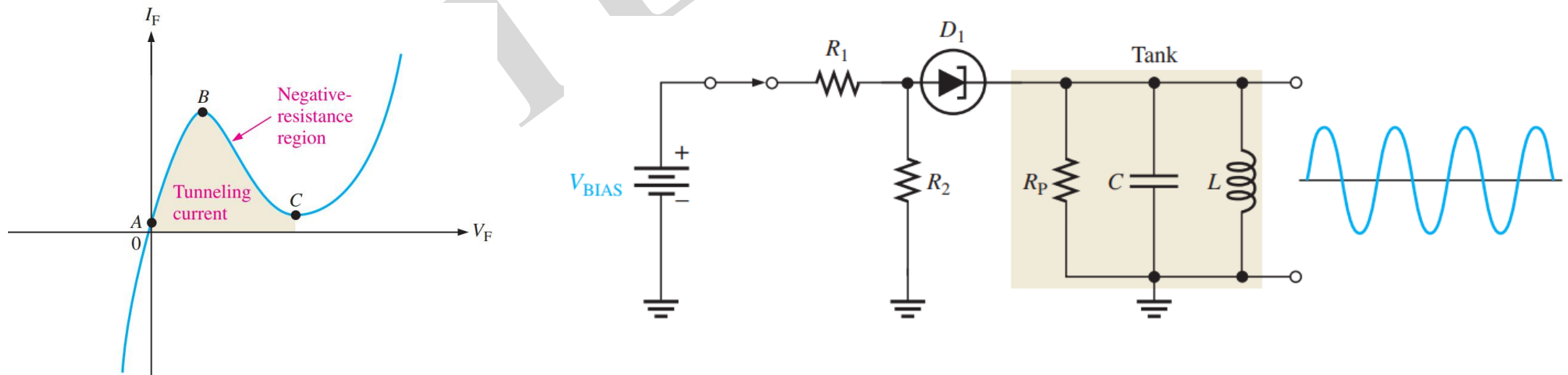
- Diode Schottky có lớp tiếp giáp kim loại – bán dẫn, khác với diode tiếp giáp pn.
- Lớp bán dẫn thường là loại n, nhưng cũng có thể là loại p.
- Hạt tải điện đa số trong diode Schottky là điện tử, không phải lỗ trống.
- Khi tiếp xúc với kim loại, điện tử từ bán dẫn dịch chuyển sang kim loại, tạo dòng tải lớn.
- Sự dịch chuyển này hình thành vùng nghèo và rào cản điện tích âm gần tiếp giáp.
- Khi phân cực thuận, rào cản điện tích âm giảm, cho phép dòng điện tăng lên.



- Điện áp mở của diode Schottky thấp hơn so với diode tiếp giáp pn.
- Điện áp đánh thủng của diode Schottky cũng nhỏ hơn diode tiếp giáp pn.
- Với cùng mức điện áp, dòng điện qua diode Schottky lớn hơn diode tiếp giáp pn.
- Do đó, diode Schottky thường được dùng trong mạch tốc độ cao và chỉnh lưu hiệu suất cao.

2.9.4 Diode hiệu ứng hầm

- Diode hiệu ứng hầm có nồng độ pha tạp rất cao, làm vùng nghèo rất hẹp \rightarrow hạt tải điện dễ dàng dịch chuyển “xuyên hầm” qua tiếp giáp, ngay cả với điện áp phân cực thuận nhỏ.
- Diode này có vùng trở kháng âm, tức là khi điện áp tăng, dòng giảm.
- Nhờ đặc tính này, diode hiệu ứng hầm được dùng trong mạch dao động, chuyển mạch, tạo xung và khuếch đại.



2.9.5 Diode phát quang

- Khi diode phát quang (LED) phân cực thuận, điện tử từ lớp n tái hợp với lỗ trống trong lớp p, giải phóng năng lượng dưới dạng photon.
- Ánh sáng phát ra có màu sắc phụ thuộc vào năng lượng vùng cấm của vật liệu bán dẫn.
- LED có điện áp mở từ 1,2 V đến 3,2 V và điện áp đánh thủng thấp hơn diode silicon (3 V – 10 V).
- Tiếp xúc kim loại với lớp p được thiết kế nhỏ để tăng lượng photon phát ra, giảm hấp thụ ánh sáng.

