



ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT

Faculty of Computer Science and Engineering
Department of Computer Engineering

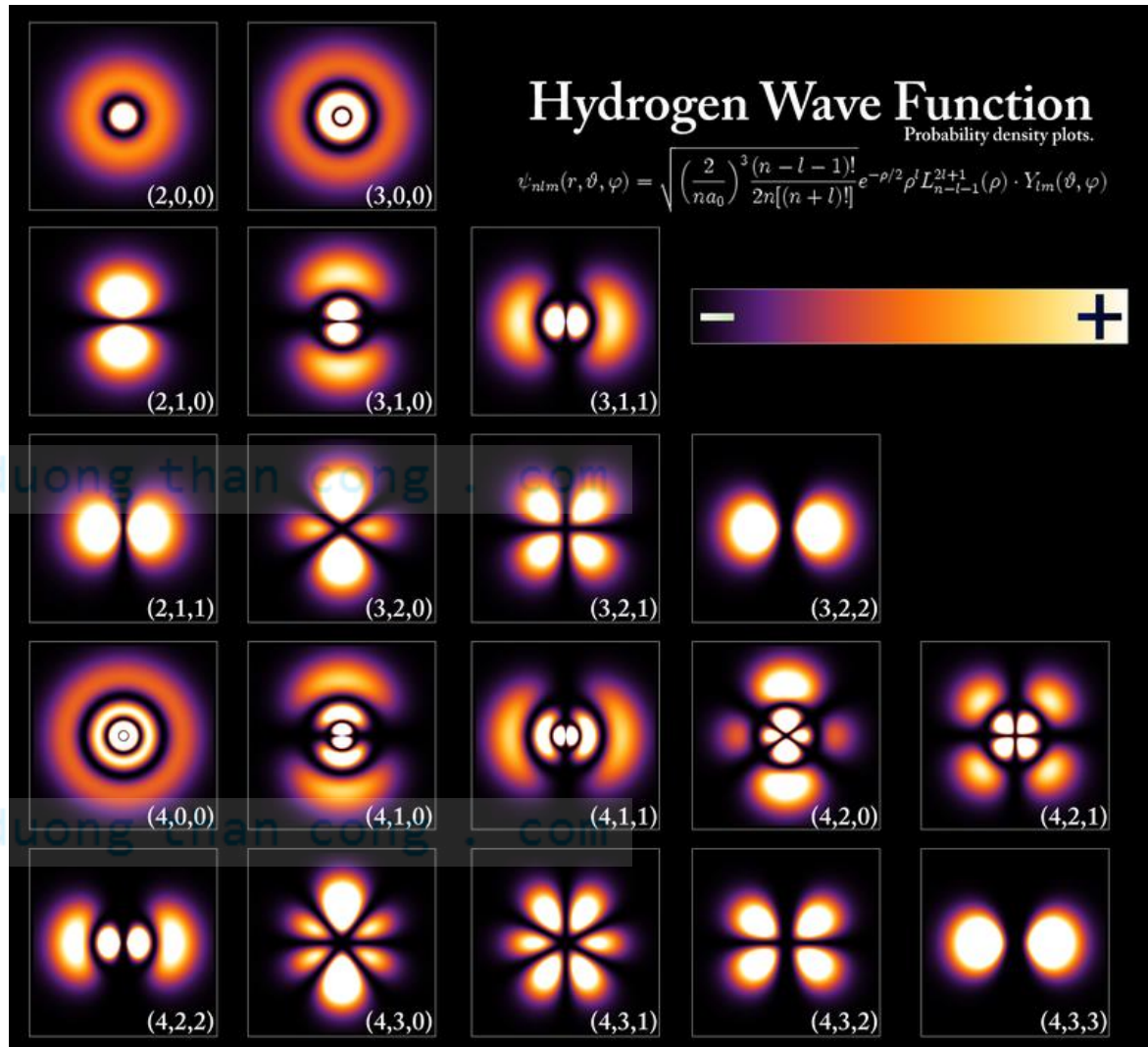


Vo Tan Phuong

<http://www.cse.hcmut.edu.vn/vtphuong>

Chapter 1

Diode



Nội dung trình bày

- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”
- Chất bán dẫn
- Mối nối PN
- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode

Welcome to EDAC

- Instructor: Võ Tấn Phương
 - Email: vtphuong@cse.hcmut.edu.vn
- Course Web Page:
 - <http://www.cse.hcmut.edu.vn/vtphuong/EDAC>

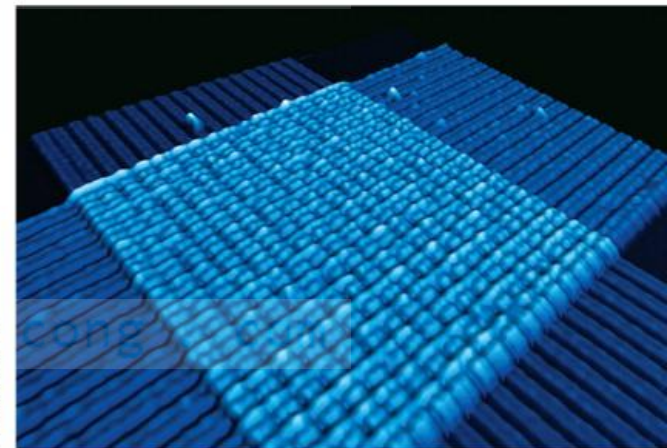


Tài liệu tham khảo?

- Electronic devices and circuit theory
 - 11th Edition,
 - Robert L. Boylestad
 - Louis Nashelsky

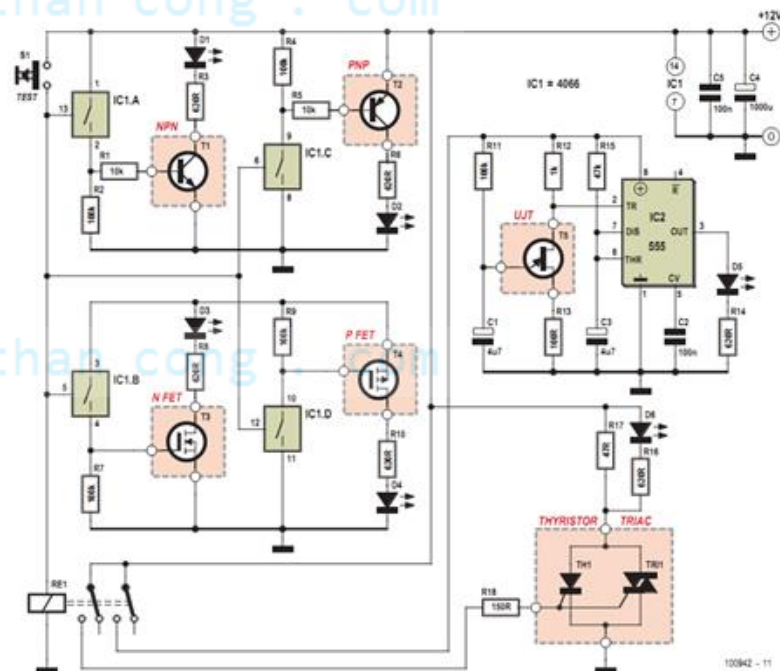
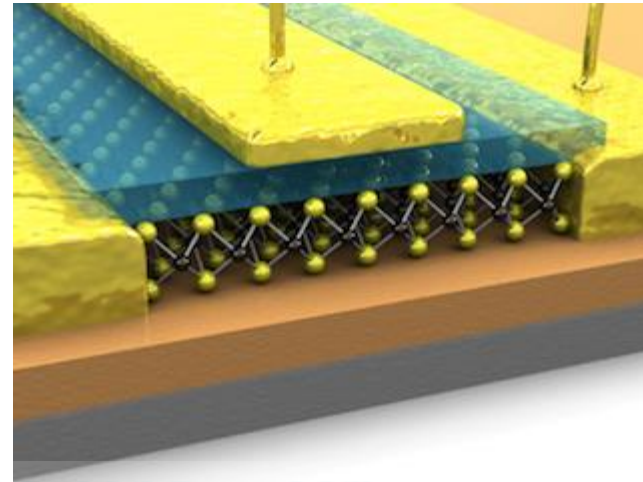
electronic devices
and circuit theory

ROBERT L. BOYLESTAD | LOUIS NASHELSKY



Nội dung học dự kiến

- Giới thiệu, Diode (2 tuần)
- BJT Transistor (2 tuần)
- FET Transistor (1 tuần)
- Mạch ứng dụng transistor (1 tuần)
- Mạch khếch đại thuật toán OPAMP (3 tuần)
- Điều khiển công suất (1 tuần)



Mục tiêu sinh viên đạt được

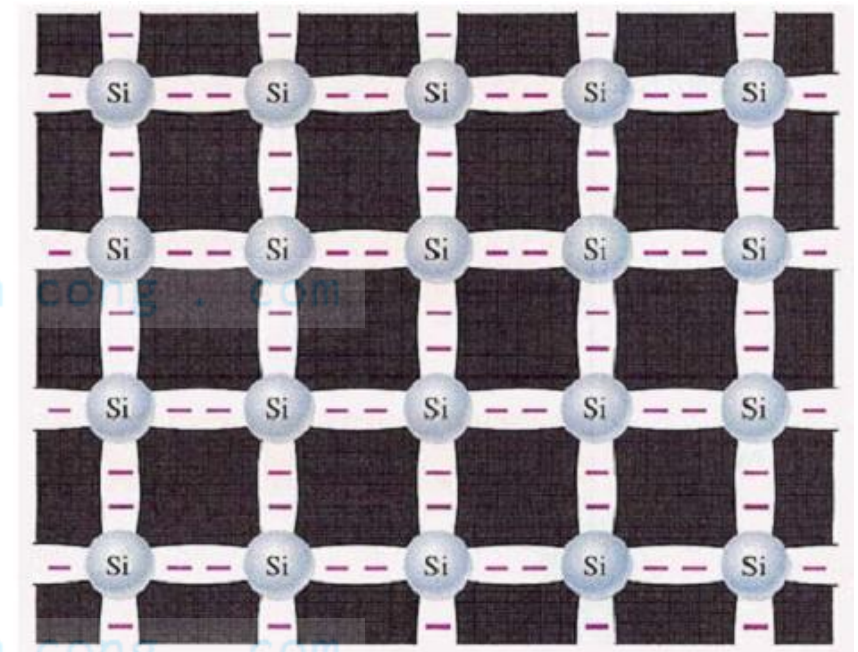
- Hiểu cấu tạo, nguyên lý hoạt động, mô hình của các linh kiện điện tử chủ yếu như Diode, BJT và FET transistor
- Xác định được các thông số thực và liên kết đến hoạt động vật lý của thiết bị
- Phân tích hoạt động ở trạng thái ổn định của các mạch điện tử ứng dụng cơ bản như mạch khuếch đại, mạch khuếch đại thuật toán
- Phân tích đáp ứng tần số của một số mạch đơn giản
- Biết cơ bản về một số mạch công suất
- Sử dụng công cụ mô phỏng SPICE để mô hình các linh kiện mới, để vẽ mạch, để mô phỏng và để phân tích hoạt động của các mạch điện tử

Phân chia điểm

- Bài tập, thực hành 30%
 - Mô phỏng mạch bằng SPICE
 - Thiết kế sản phẩm
- Kiểm tra giữa kỳ 20%
 - Trắc nghiệm
- Thi 50%
 - Trắc nghiệm
- Điểm cộng khác (tối đa cộng 2 điểm vào mỗi thành phần tương ứng)

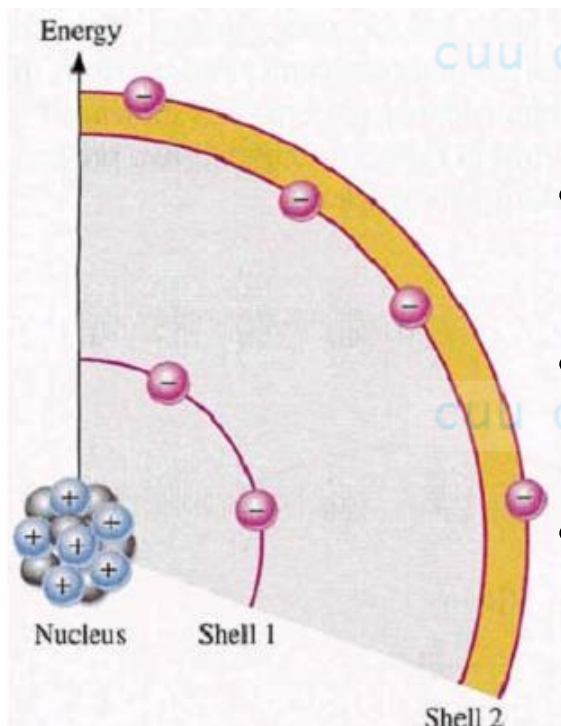
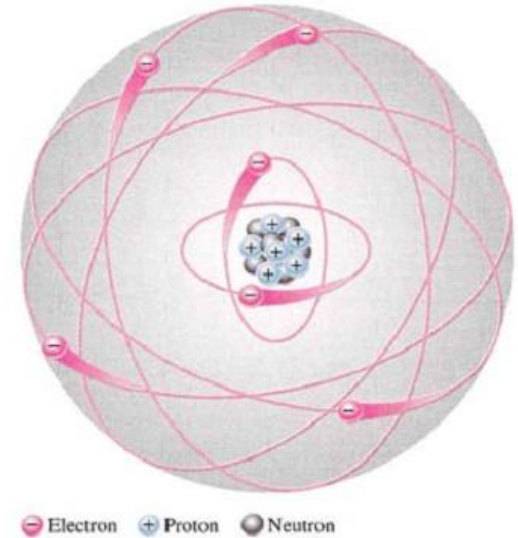
Nội dung trình bày

- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”
- **Chất bán dẫn**
- Mối nối PN
- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode



Tổng quan về cấu trúc “nguyên tử”

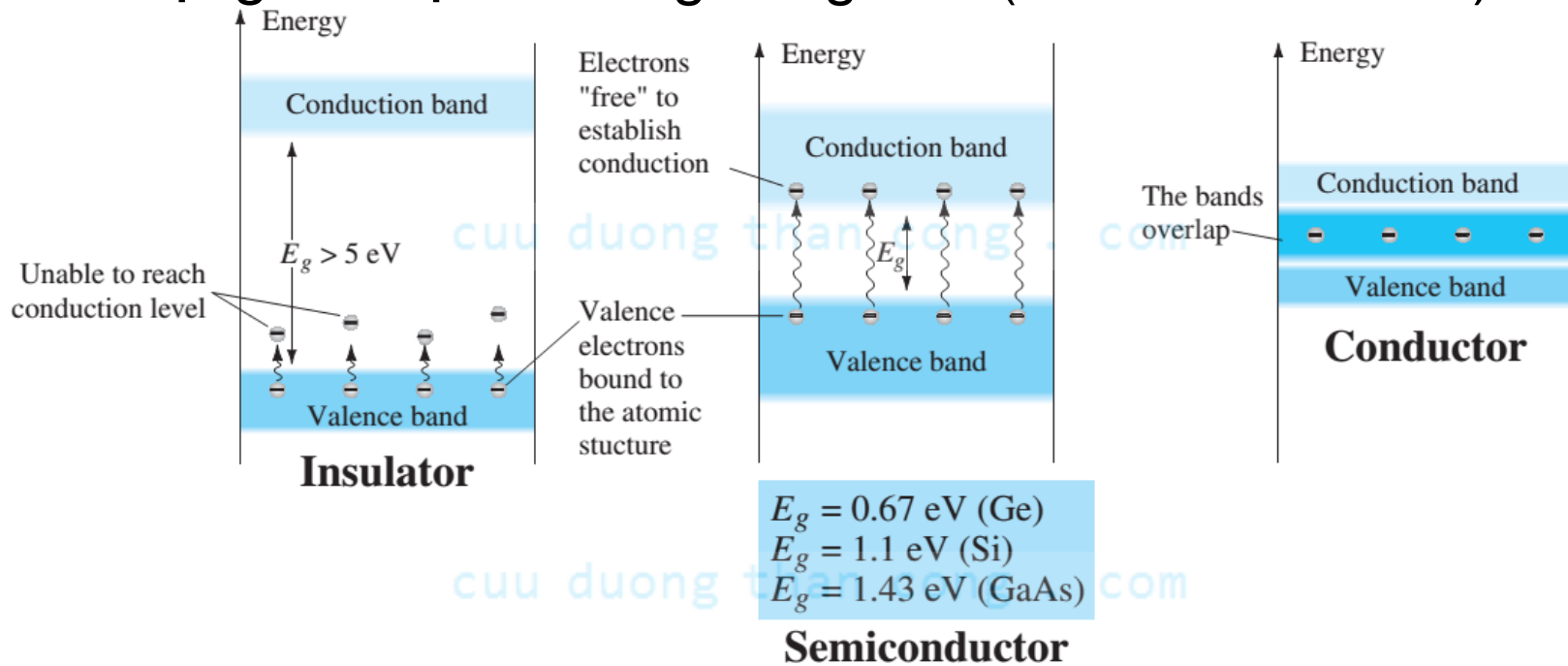
- Gồm có: hạt nhân (proton, neutron) và electron
- Bình thường nguyên tử **trung hòa về điện**, số lượng **proton (+)** = số lượng **electron (-)**



- Các electron chuyển động trên những **tầng quỹ đạo (shell)** khác nhau
- Tầng càng xa hạt nhân có mức năng lượng càng cao
- Tầng **ngoài cùng** gọi là tầng hóa trị (valence), các electron trên tầng này là các **electron hóa trị**

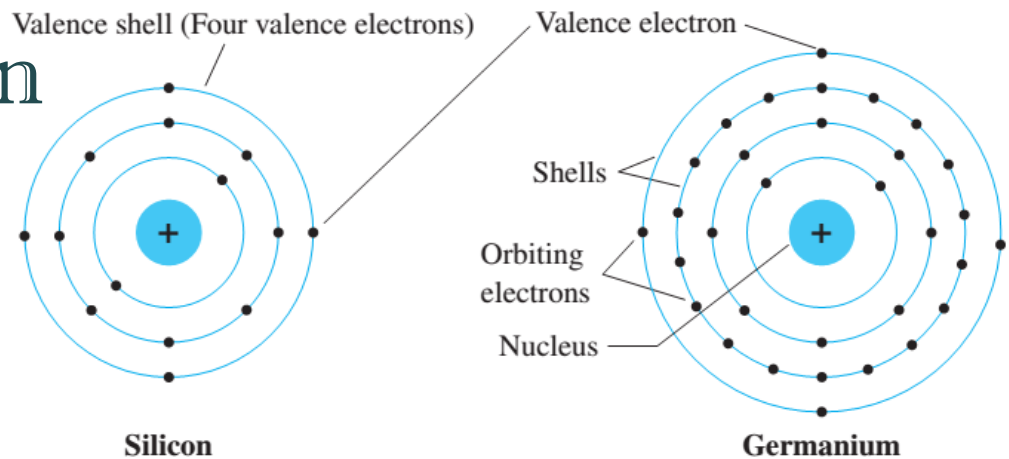
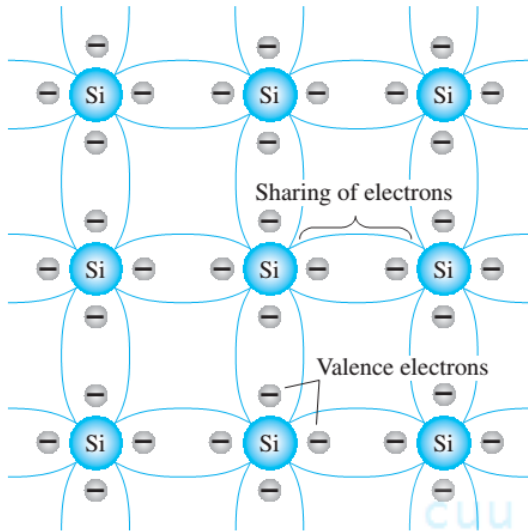
Chất bán dẫn, dẫn điện và cách điện

- Dòng điện là dòng chuyển động của các hạt mang điện
- Để chuyển động theo dòng, các hạt mang điện phải ở trạng thái tự do trong vùng dẫn (conduction band)

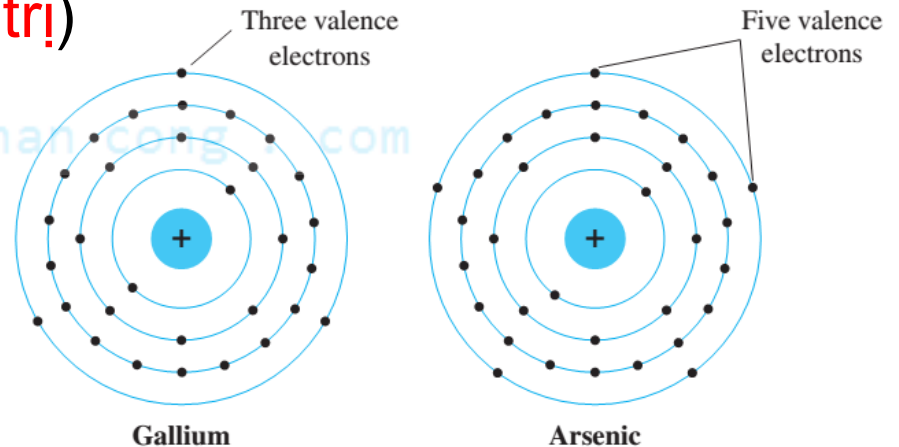
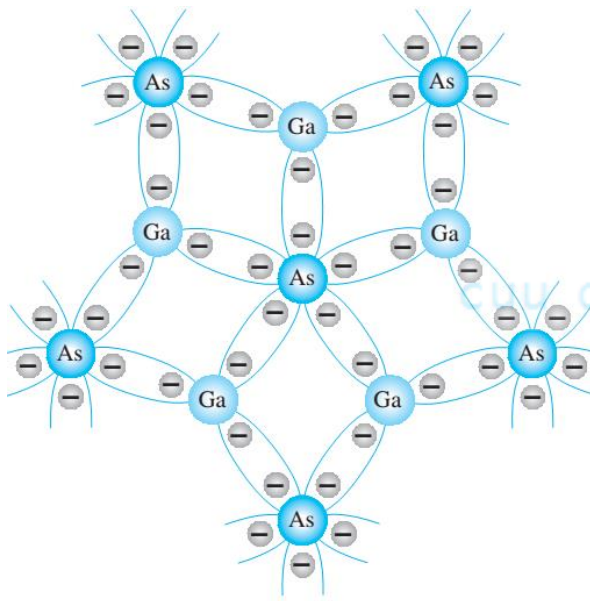


- Khoảng cách mức năng lượng giữa vùng hóa trị và vùng dẫn E_g quyết định tính chất dẫn điện của vật liệu

Chất bán dẫn nền

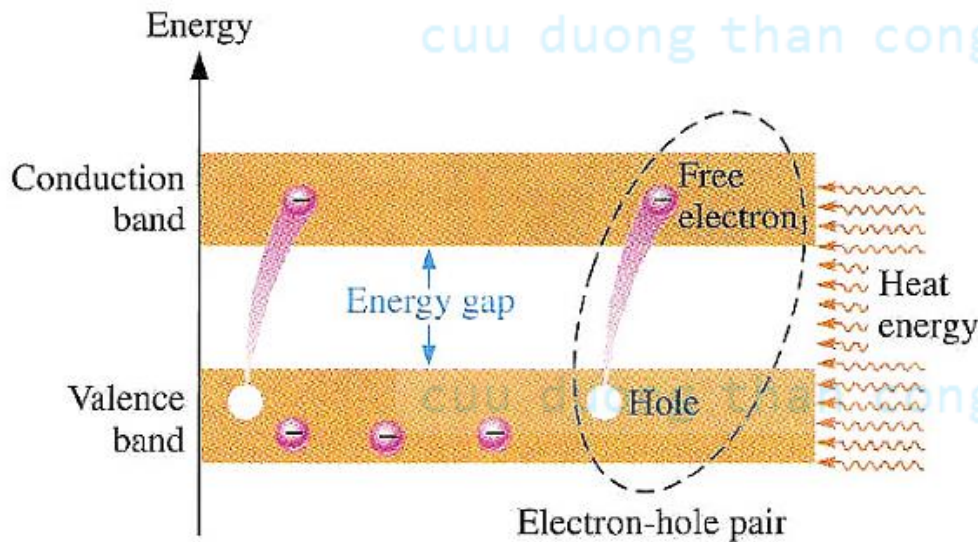


- Có 3 loại chất bán dẫn nền (tinh khiết) phổ biến hiện nay: Si, Ge (đơn tinh thể) và GaAs (đa tinh thể)
- Mạng tinh thể liên kết cộng hóa trị bền vững (1 liên kết đủ 2 electron hóa trị)

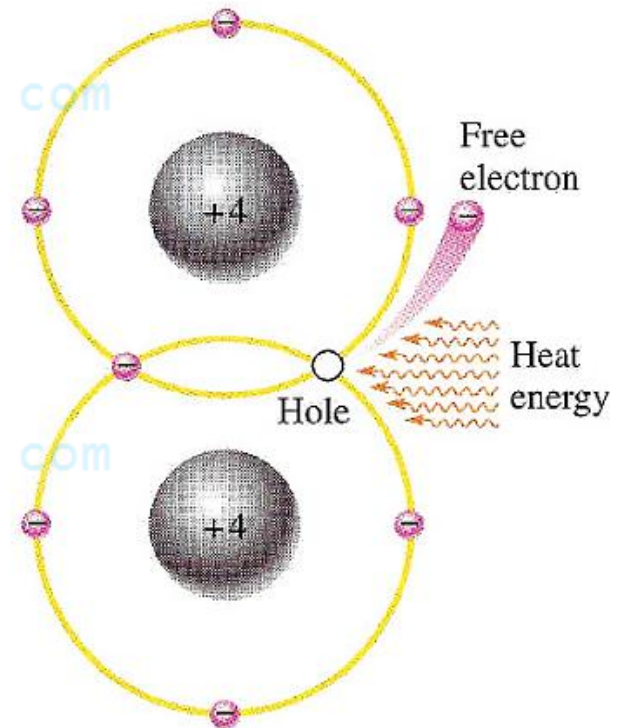


Tính dẫn điện của “chất bán dẫn nền”

- Tại nhiệt độ phòng (27°C), **vài electron** hóa trị nhận đủ năng lượng để nhảy lên vùng dẫn trở **thành electron tự do**
- Đồng thời **liên kết cộng hóa trị** thiếu electron được tạo ra gọi là **lỗ trống**

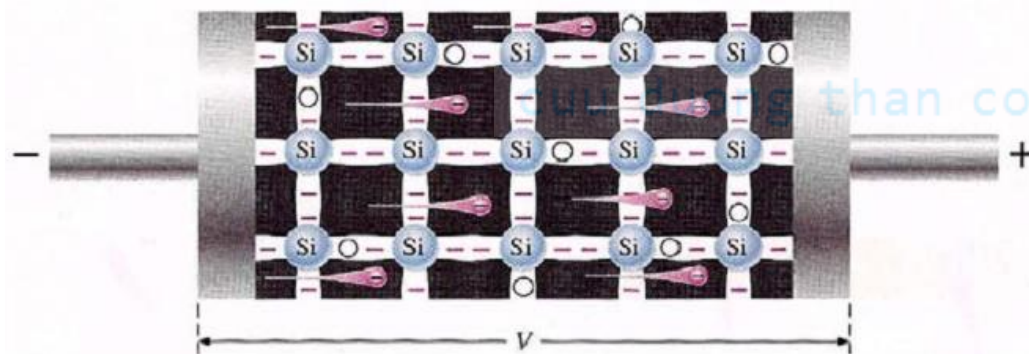
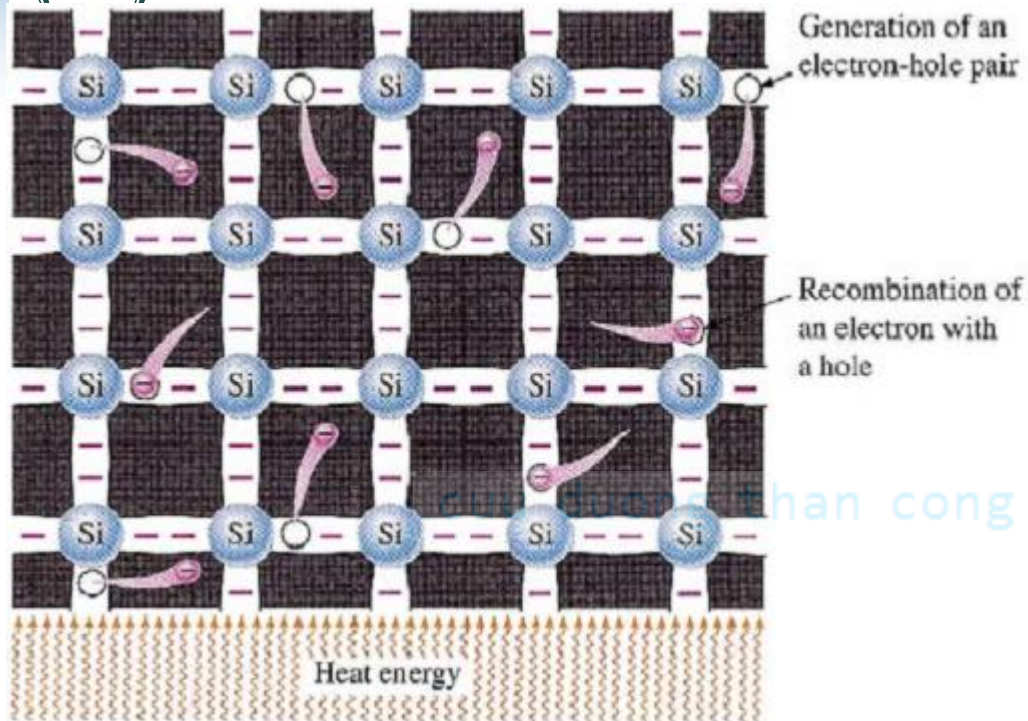


(a) Energy diagram



(b) Bonding diagram

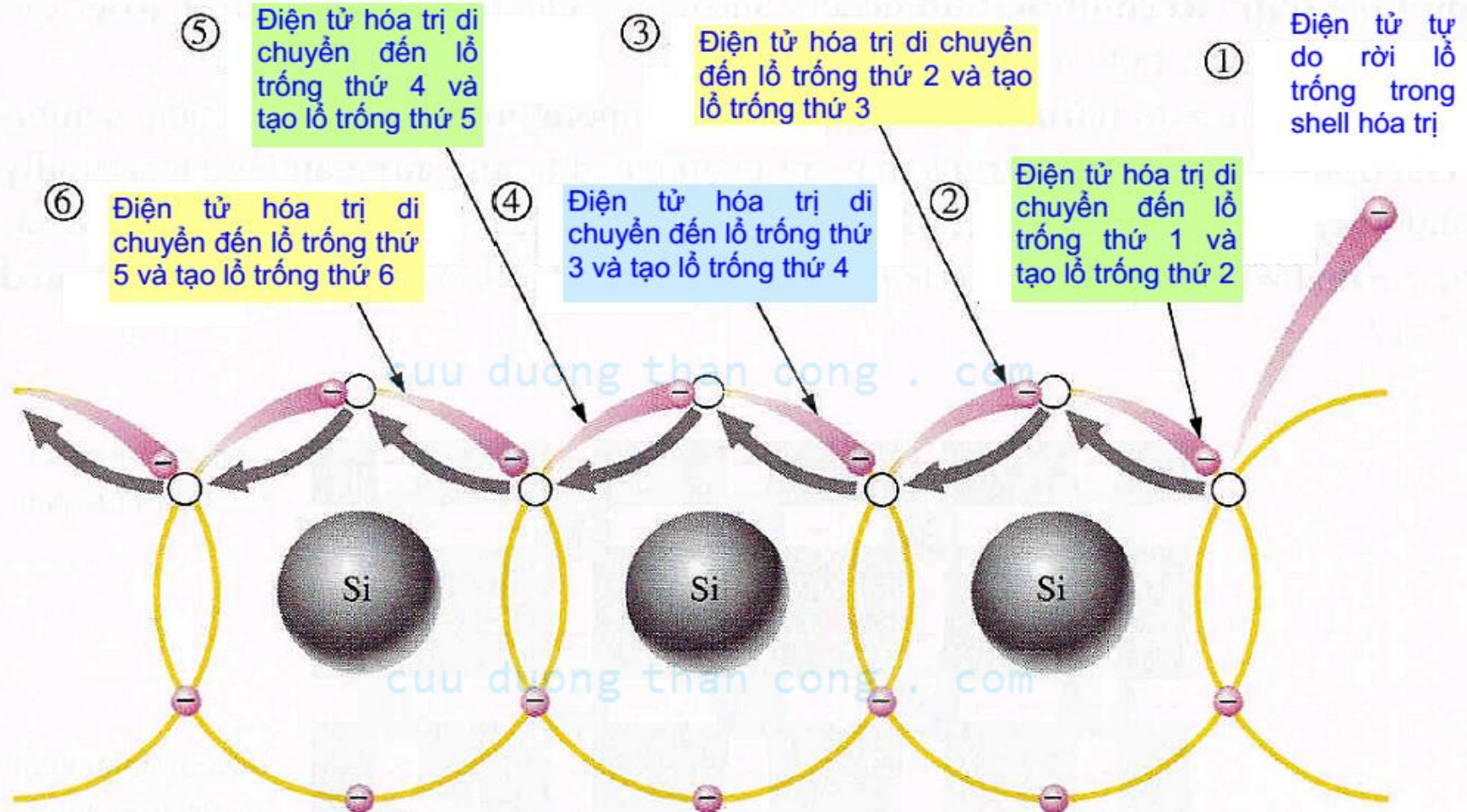
Tính dẫn điện của “chất bán dẫn nền” (tt)



- Khi không phân cực, sự hình thành cặp electron-hole và sự kết hợp trở lại xảy ra một cách tự nhiên
- Khi phân cực (đặt điện thế hai đầu tạo ra điện trường), các electron tự do di chuyển đến cực + và lỗ trống di chuyển đến cực - (\Rightarrow có dòng điện I chạy qua)

I nhỏ hay lớn?

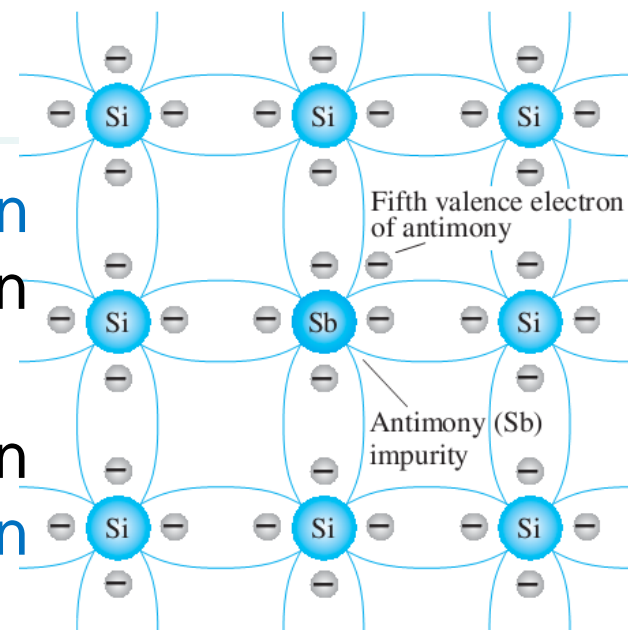
Dòng dịch chuyển “lỗ trống”



Khi điện tử hóa trị di chuyển từ trái sang phải lấp đầy lỗ trống và tạo ra lỗ trống khác, thì lỗ trống xem như di chuyển ngược lại từ phải sang trái. Mũi tên màu xám chỉ hướng chuyển động thực sự của các lỗ trống.

Chất bán dẫn loại N

- Đưa các nguyên tử có **5 electron hóa trị** vào mạng tinh thể chất bán dẫn nền
- Electron thứ 5 **thừa** tại vị trí nguyên tử mới (Donor) và trở thành **electron tự do**



cuu duong than cong . com

- Số lượng electron tự do tăng lên đáng kể, **electron là hạt mang điện chính**
- Vẫn tồn tại cặp electron tự do – lỗ trống (sinh ra bởi nhiệt, ánh sáng ...), **lỗ trống là hạt mang điện phụ**
- Về tổng thể, chất bán dẫn N trung hòa về điện

Donor ions

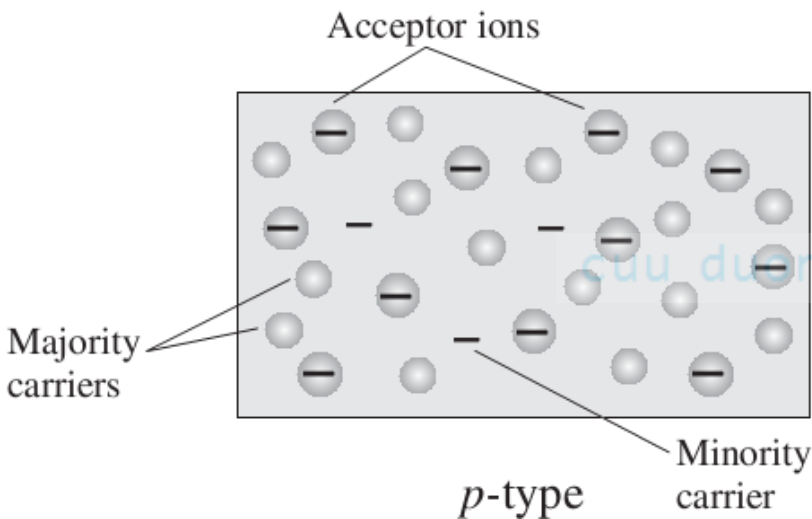
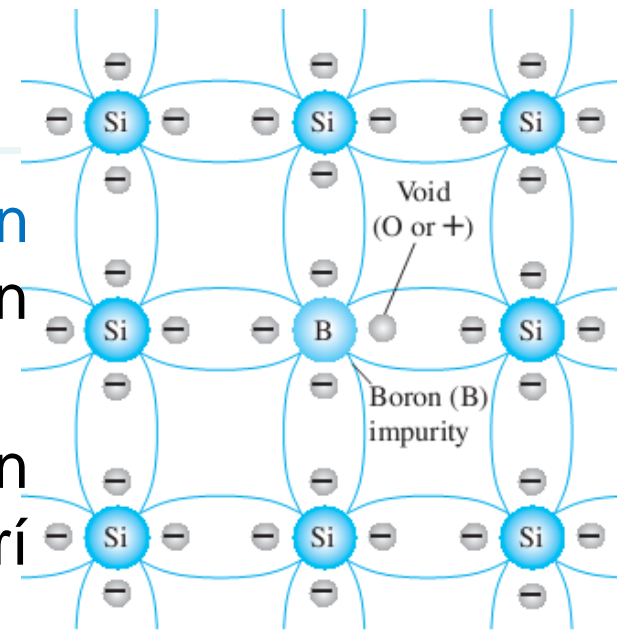
Majority carriers

Minority carrier

cuu duong than cong . com

Chất bán dẫn loại P

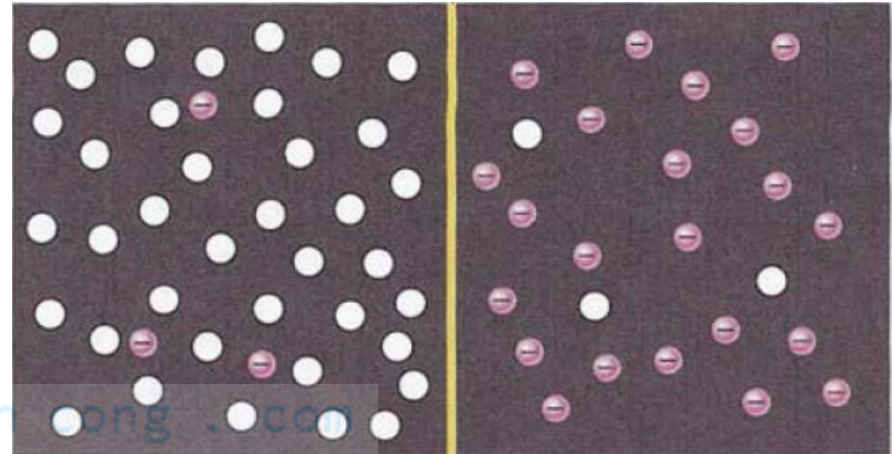
- Đưa các nguyên tử có **3 electron hóa trị** vào mạng tinh thể chất bán dẫn nền
- Liên kết cộng hóa trị thiếu electron (**lỗ trống**) được sinh ra tại vị trí nguyên tử mới thêm vào (acceptor)



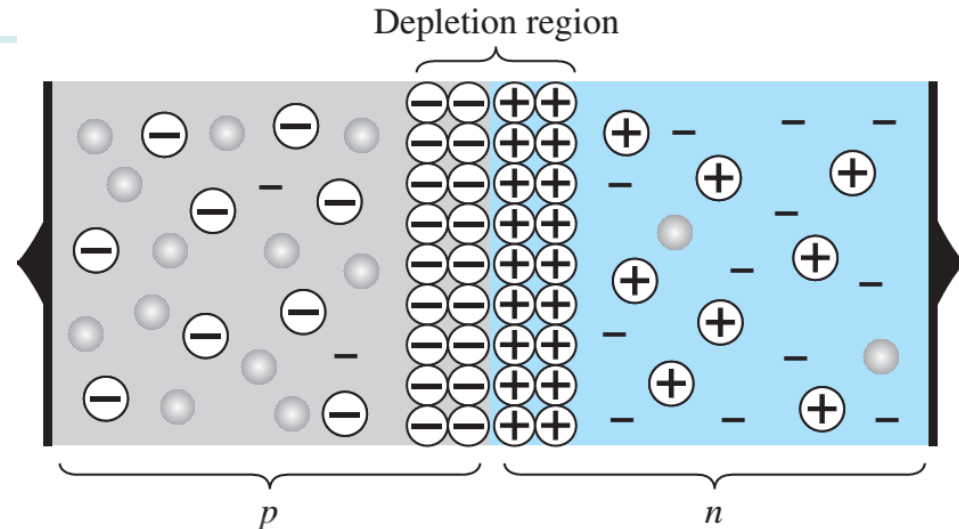
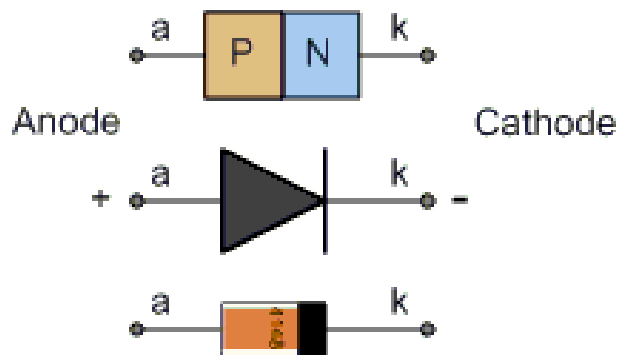
- Số lượng lỗ trống tăng lên đáng kể, **lỗ trống là hạt mang điện chính**
- Vẫn tồn tại cặp electron tự do – lỗ trống (sinh ra bởi nhiệt, ánh sáng ...), **electron tự do là hạt mang điện phụ**
- Về tổng thể, chất bán dẫn P trung hòa về điện

Nội dung trình bày

- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”
- Chất bán dẫn
- **Mối nối PN**
- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode

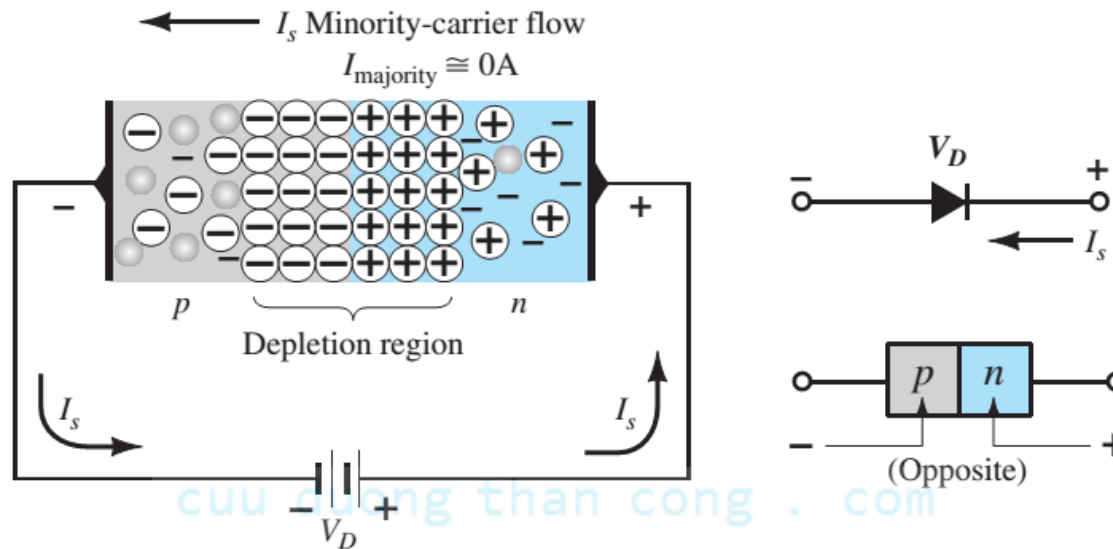


Mỗi nối PN = Diode



- Diode có cấu tạo từ hai khối bán dẫn P và N tiếp xúc với nhau (mỗi nối PN)
- Khi hai khối bán dẫn P-N tiếp xúc:
 - Electron tự do bên N khuếch tán sang P lấp đầy lỗ trống → tạo nên vùng nghèo (không có nhiều hạt mang điện tự do)
 - Nguyên tử “donor” bên N mất electron → thành ion dương
 - Nguyên tử “acceptor” bên P nhận electron → thành ion âm
- Điện thế rào cản sinh ra → cản trở sự khuếch tán

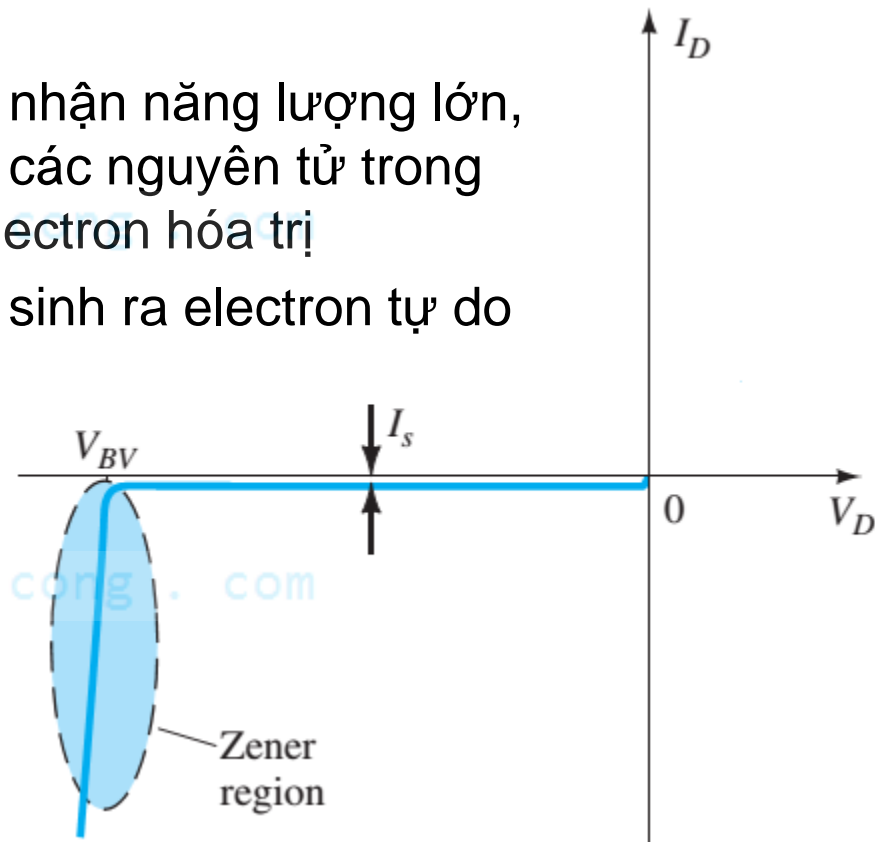
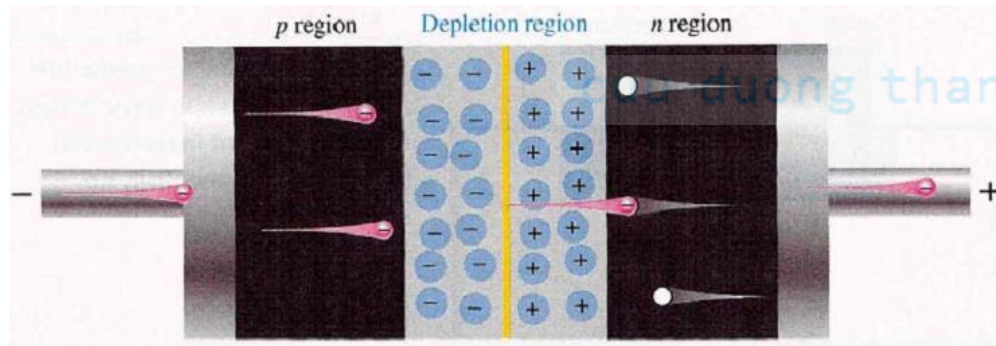
Diode - Phân cực ngược



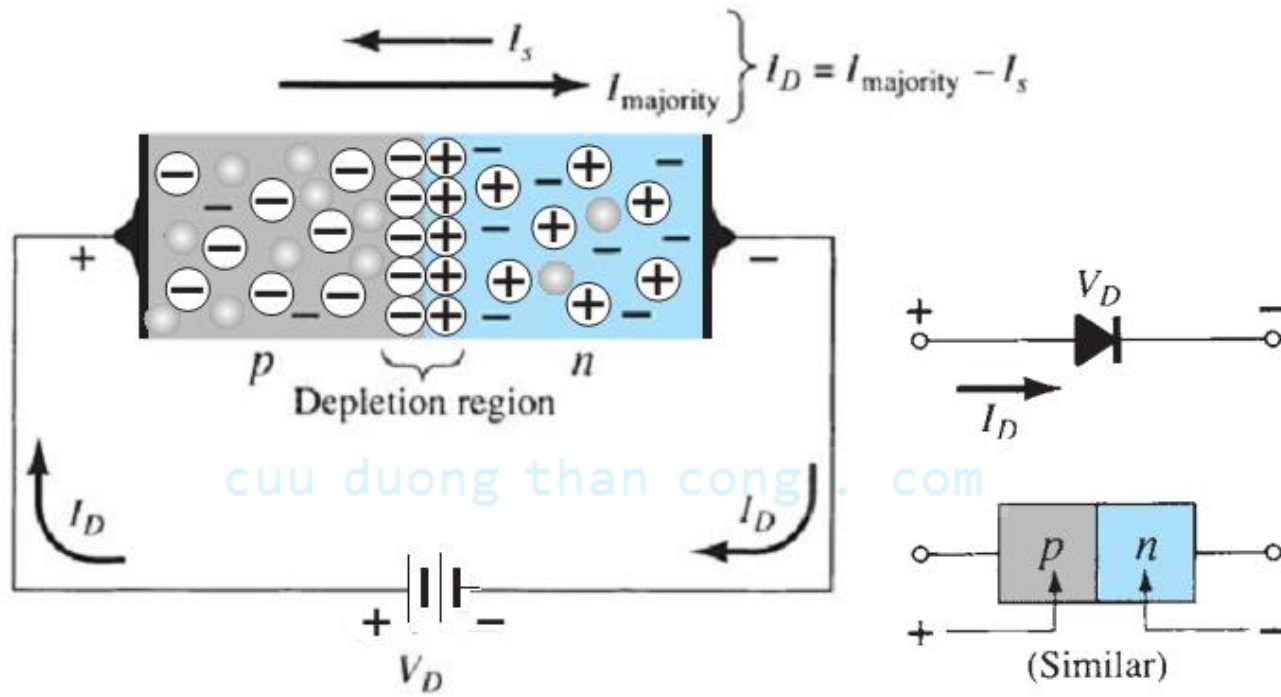
- P nối vào cực âm, N nối vào cực dương:
 - Electron tự do bên N sẽ di chuyển về cực dương, lỗ trống bên P sẽ di chuyển về cực âm → vùng nghèo được nới rộng; dòng điện tạo bởi các hạt mang điện chính ≈ 0
 - Các hạt mang điện phụ (electron tự do bên P, lỗ trống bên N) sẽ di chuyển qua vùng nghèo tạo thành dòng điện bão hòa ngược (I_s) → I rất bé (tầm vài microampere đến vài chục picoampere)

Đánh thủng khi phân cực ngược

- Khi điện áp phân cực ngược tăng đến giá trị “điện áp đánh thủng” V_{BV} :
 - Dòng điện ngược tăng mãnh liệt (thác đổ)
- Nguyên nhân:
 - Electron tự do thiểu số bên P nhận năng lượng lớn, tăng tốc qua vùng P và chạm các nguyên tử trong mạng tinh thể đánh bật các electron hóa trị
 - Các electron mới lại va chạm sinh ra electron tự do mới



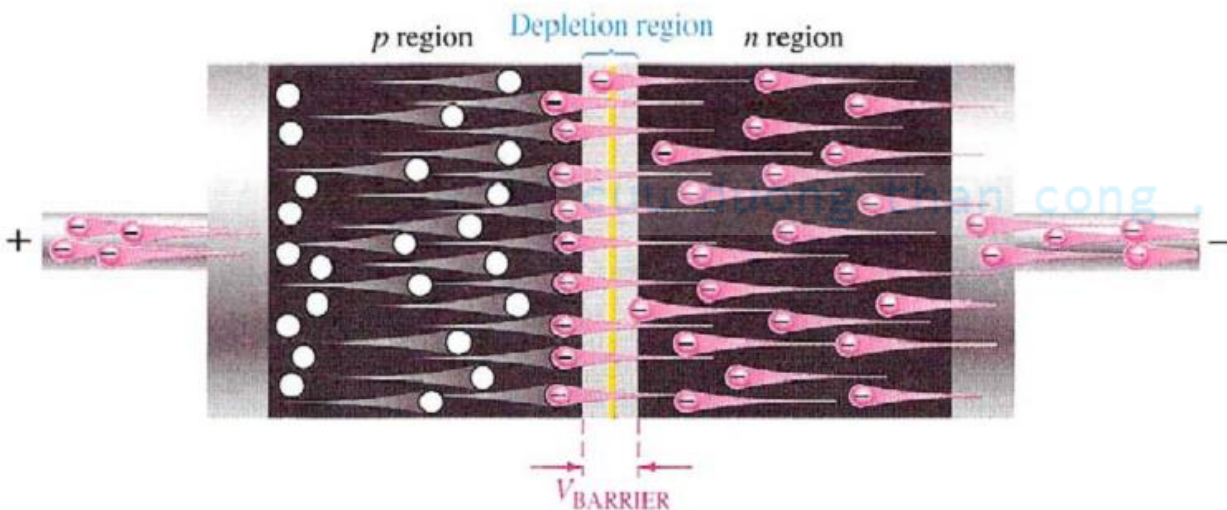
Diode - Phân cực thuận



- **P nối vào cực dương, N nối vào cực âm:**
 - Dòng điện bão hòa ngược (I_s) của các hạt mang điện phụ nhỏ giống như trong trường hợp phân cực ngược
 - Electron tự do bên N và lỗ trống bên P (**hạt mang điện chính**) có xu hướng **bị đẩy về mỗi nối** → **vùng nghèo bị thu hẹp**

Diode – Phân cực thuận (tt)

- Khi điện áp phân cực (V_D) tăng đến một ngưỡng V_K , các electron tự do bên N dễ dàng qua mỗi nới đến cực dương \rightarrow dòng điện I_D tăng đột biến theo hàm mũ

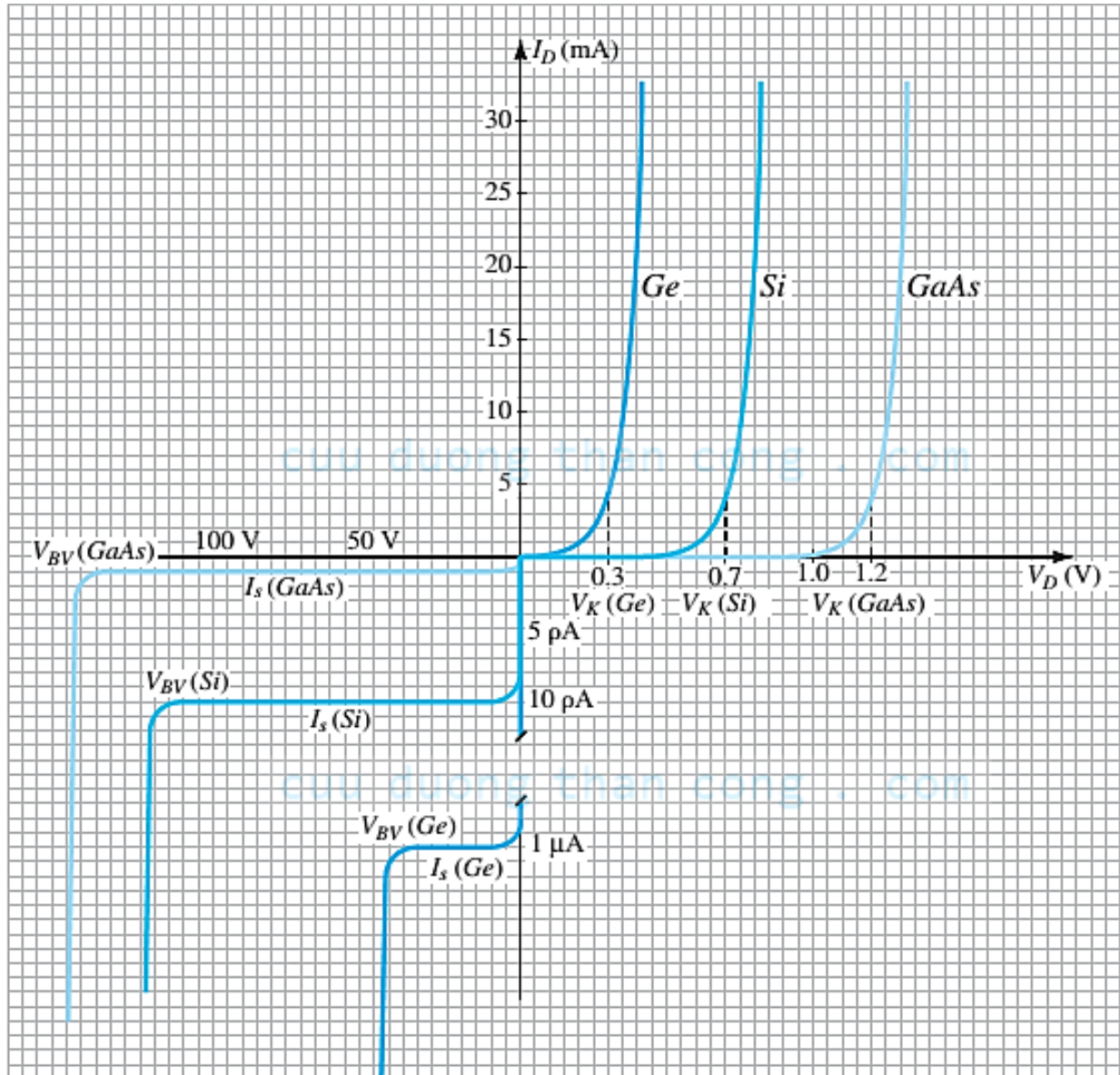


$$I_D = I_s(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

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

- I_s là dòng điện ngược bão hòa
- n là hằng số tới hạn
- V_T là điện thế nhiệt, k là hằng số Boltzmann, q là điện tích của electron, T_K là nhiệt độ tuyệt đối

Diode – Đường đặc tuyến

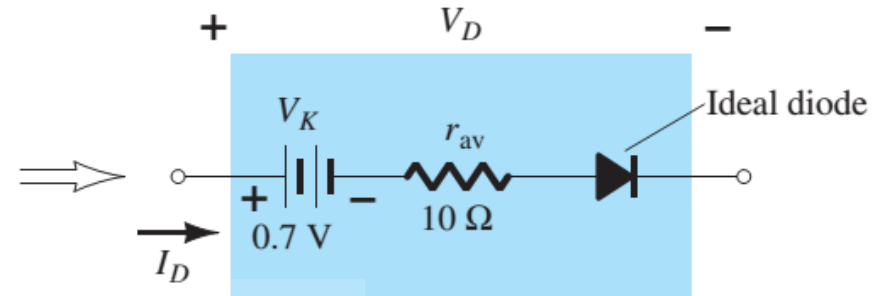
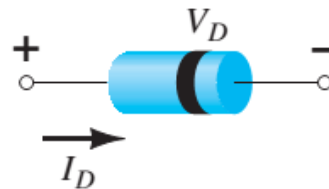


Nội dung trình bày

- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”

- Chất bán dẫn

- Mối nối PN



- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode

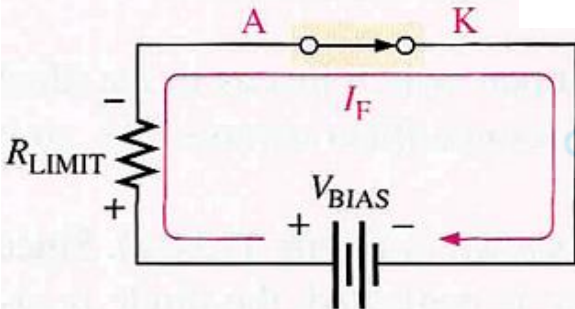
Diode lý tưởng

- Diode lý tưởng được xem như một công tắc:
 - Khi phân cực thuận, công tắc đóng
 - Khi phân cực ngược, công tắc hở
- Điện thế rào cản, điện trở nội, dòng điện ngược được bỏ qua

R_{LIMIT} : Điện trở giới hạn dòng trong mạch diode

Diode lý tưởng

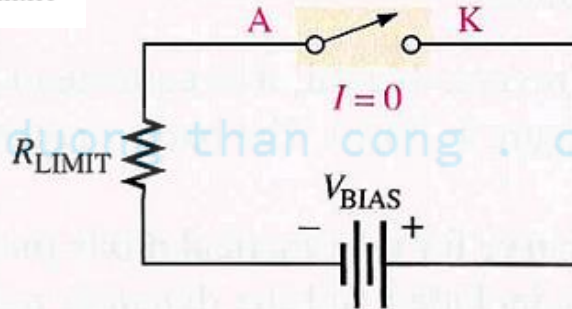
$$I_F = \frac{V_{BIAS}}{R_{LIMIT}}$$



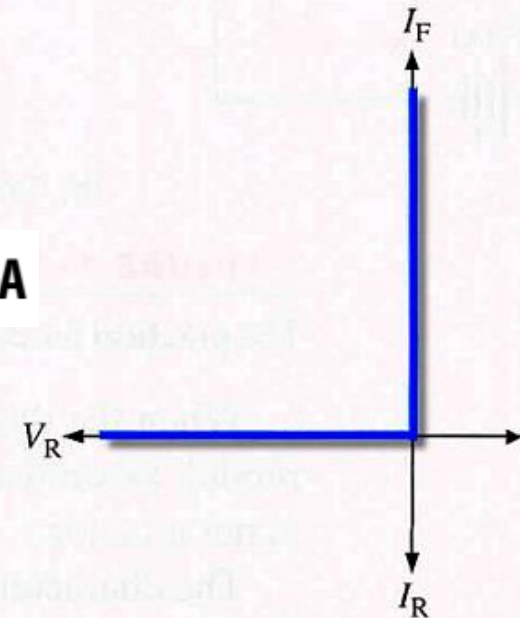
a./ Phân cực thuận diode

Diode lý tưởng

$$I_R = 0 A$$



b./ Phân cực nghịch diode



c./ Đặc tuyến Volt Ampere của diode lý tưởng

Diode theo mô hình thực nghiệm

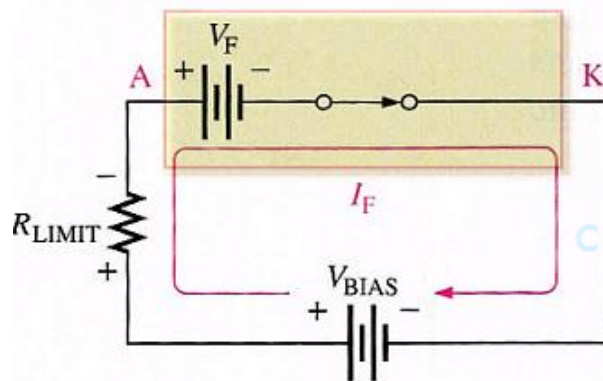
- Mô hình thực nghiệm của diode được xem như một diode lý tưởng thêm vào điện thế rào cản:
 - Khi phân cực thuận, điện thế rào cản V_F được thêm vào
 - Khi phân cực ngược, công tắc hở

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

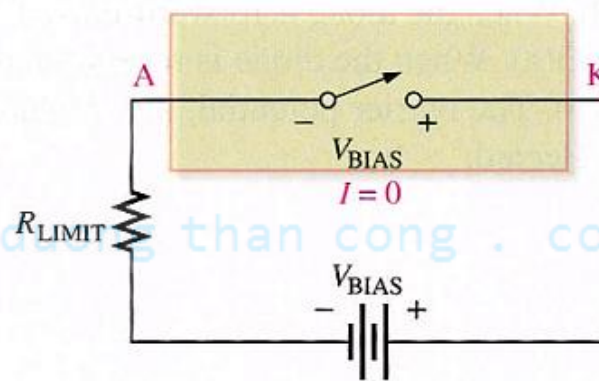
Diode thực nghiệm

$$I_R = 0 A$$

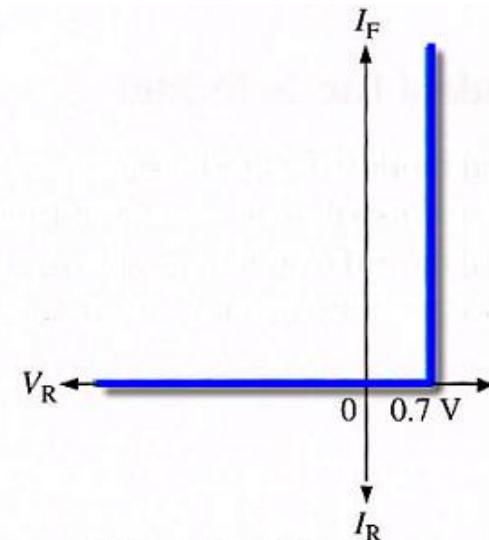
Diode thực nghiệm



a./ Phân cực thuận diode



b./ Phân cực nghịch diode



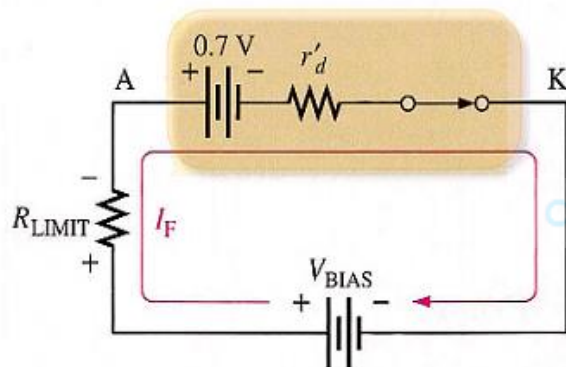
c./ Đặc tuyến Volt Ampere của diode thực nghiệm

Diode theo mô hình hoàn chỉnh

- Mô hình hoàn chỉnh của diode được xem như một diode lý tưởng thêm vào điện thế rào cản và điện trở nội:
 - Khi phân cực thuận, điện thế rào cản V_F và điện trở r'_d được thêm vào
 - Khi phân cực ngược, công tắc hở nối song song với điện trở r'_R

$$I_F = \frac{V_{BIAS} - 0,7V}{R_{LIMIT} + r'_d}$$

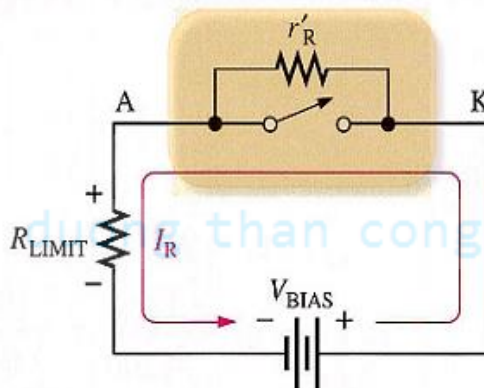
Diode hoàn chỉnh



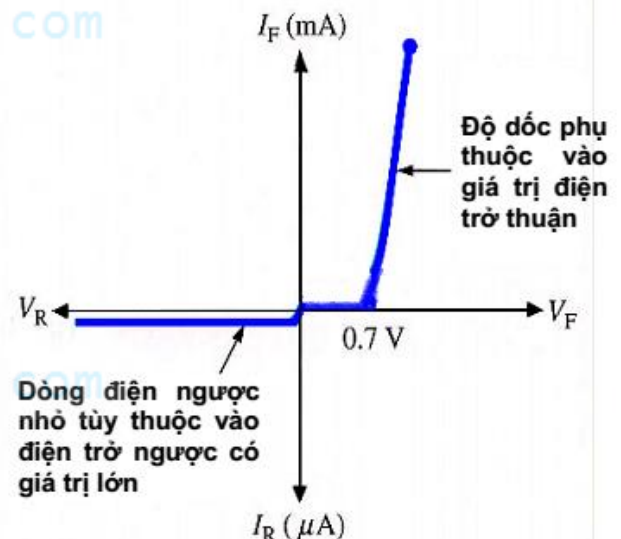
a./ Phân cực thuận diode

$$I_R = \frac{V_{BIAS}}{R_{LIMIT} + r'_R}$$

Diode hoàn chỉnh



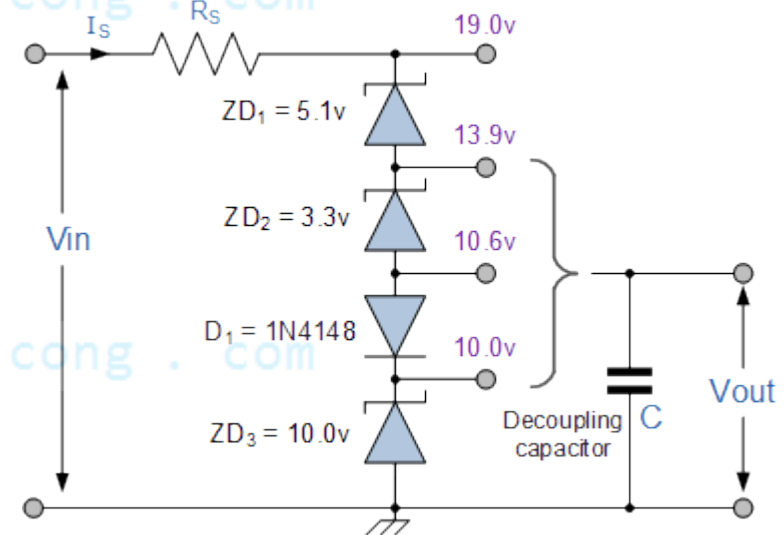
b./ Phân cực nghịch diode



c./ Đặc tuyến Volt Ampere của diode hoàn chỉnh

Nội dung trình bày

- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”
- Chất bán dẫn
- Mối nối PN
- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode



Các thông số chính trong Diode Datasheet

• BV ... 125 V (MIN) @ 100 μ A (BAY73)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Temperatures

Storage Temperature Range	-65°C to +200°C
Maximum Junction Operating Temperature	+175°C
Lead Temperature	+260°C

Power Dissipation (Note 2)

Maximum Total Power Dissipation at 25°C Ambient	500 mW
Linear Power Derating Factor (from 25°C)	3.33 mW/°C

Maximum Voltage and Currents

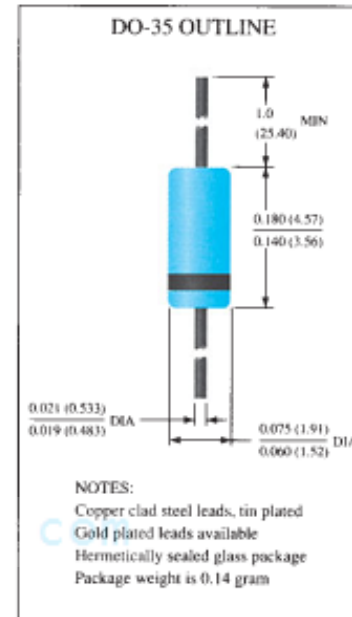
WIV	Working Inverse Voltage	BAY73	100 V
-----	-------------------------	-------	-------

I_O	Average Rectified Current	200 mA
-------	---------------------------	--------

I_F	Continuous Forward Current	500 mA
-------	----------------------------	--------

i_f	Peak Repetitive Forward Current	600 mA
-------	---------------------------------	--------

$i_{f(surge)}$	Peak Forward Surge Current	
	Pulse Width = 1 s	1.0 A
	Pulse Width = 1 μ s	4.0 A



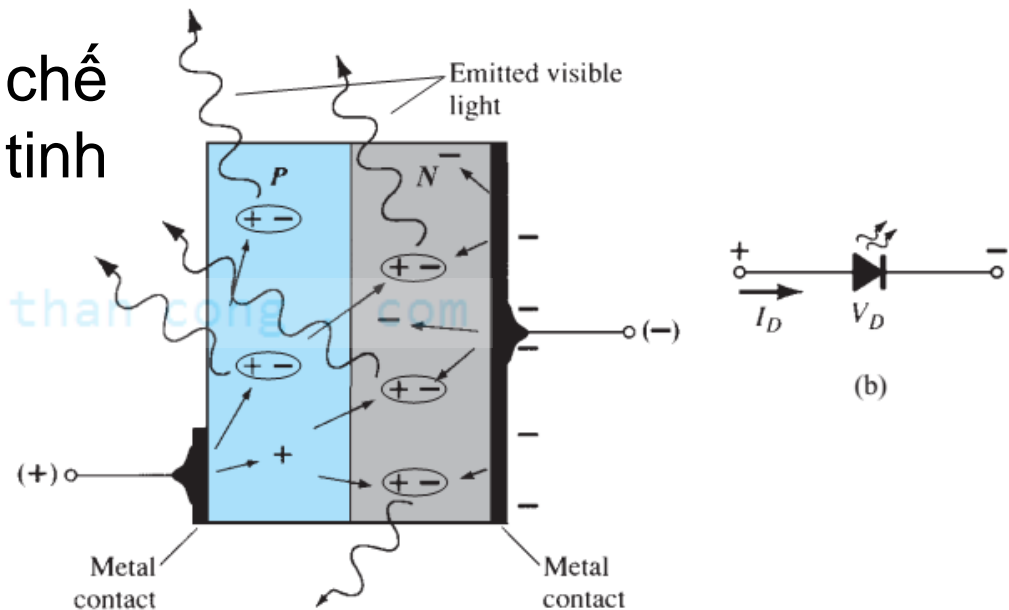
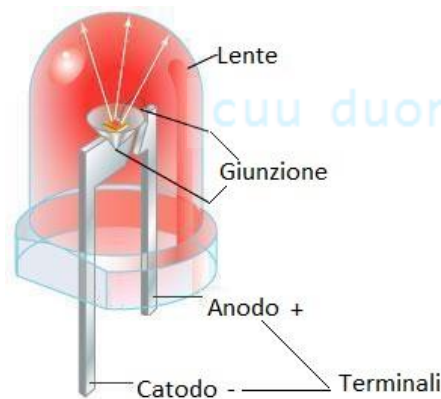
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (25°C Ambient Temperature unless otherwise noted)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	BAY73		UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	MAX		
V_F	Forward Voltage	0.85	1.00	V	$I_F = 200$ mA
		0.81	0.94	V	$I_F = 100$ mA
		0.78	0.88	V	$I_F = 50$ mA
		0.69	0.80	V	$I_F = 10$ mA
		0.67	0.75	V	$I_F = 5.0$ mA
		0.60	0.68	V	$I_F = 1.0$ mA
I_R	Reverse Current		500	nA	$V_R = 20$ V, $T_A = 125^\circ$ C
			1.0	μ A	$V_R = 100$ V, $T_A = 125^\circ$ C
			0.2	nA	$V_R = 20$ V, $T_A = 25^\circ$ C
			0.5	nA	$V_R = 100$ V, $T_A = 25^\circ$ C
BV	Breakdown Voltage	125		V	$I_R = 100$ μ A
C	Capacitance		5.0	pF	$V_R = 0$, $f = 1.0$ MHz
t_{rr}	Reverse Recovery Time		3.0	μ s	$I_F = 10$ mA, $V_R = 35$ V $R_L = 1.0$ to 100 k Ω $C_L = 10$ pF, JAN 256

LED – Light Emitting Diode

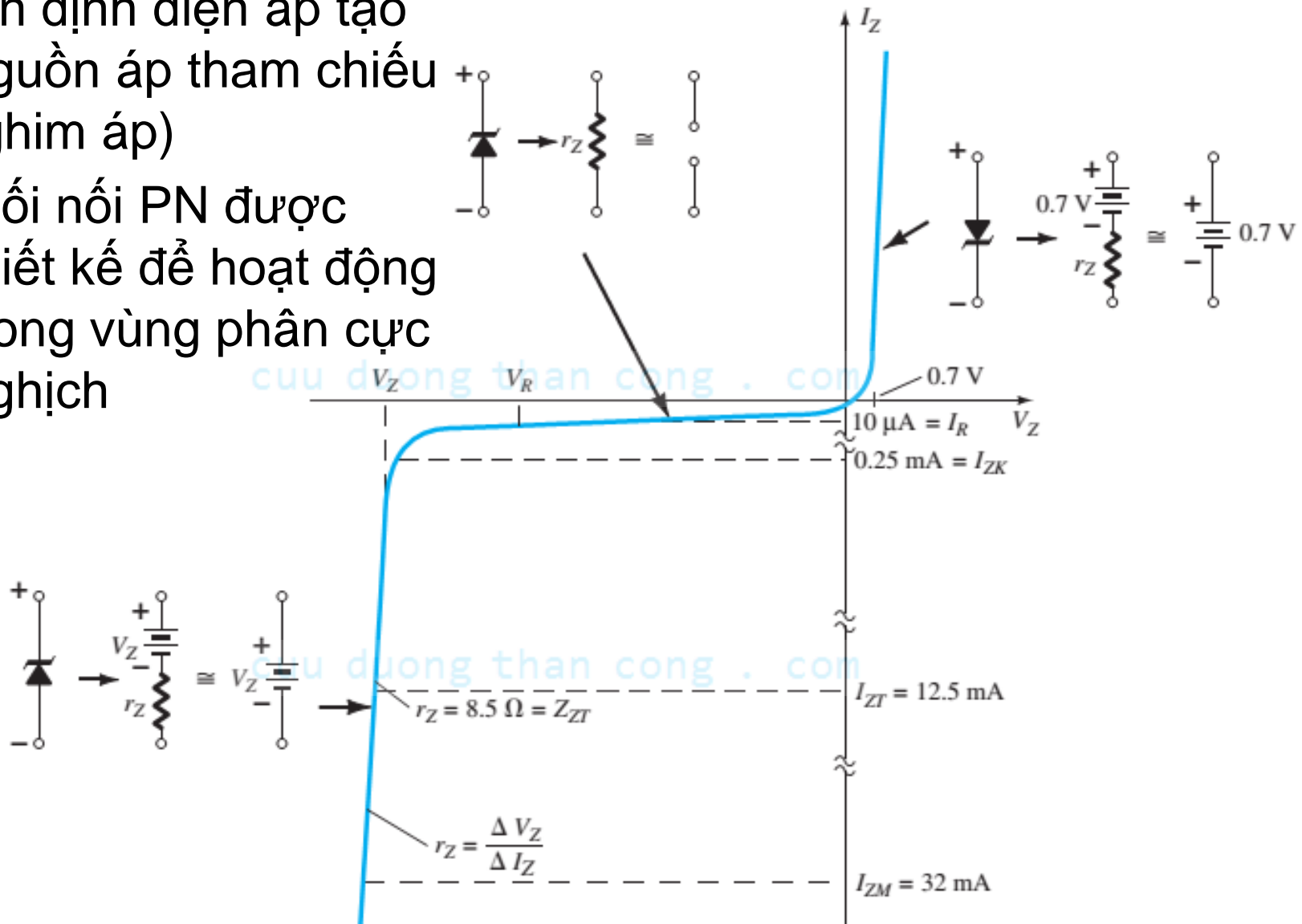
- Là diode phát ra ánh sáng khi có dòng điện chạy qua (phân cực thuận)
- Ánh sáng (photon) phát ra do electron tự do tái hợp với lỗ trống
- Chất bán dẫn nền để chế tạo LED là mạng đa tinh thể

Color	Construction	Typical Forward Voltage (V)
Amber	AlInGaP	2.1
Blue	GaN	5.0
Green	GaP	2.2
Orange	GaAsP	2.0
Red	GaAsP	1.8
White	GaN	4.1
Yellow	AlInGaP	2.1



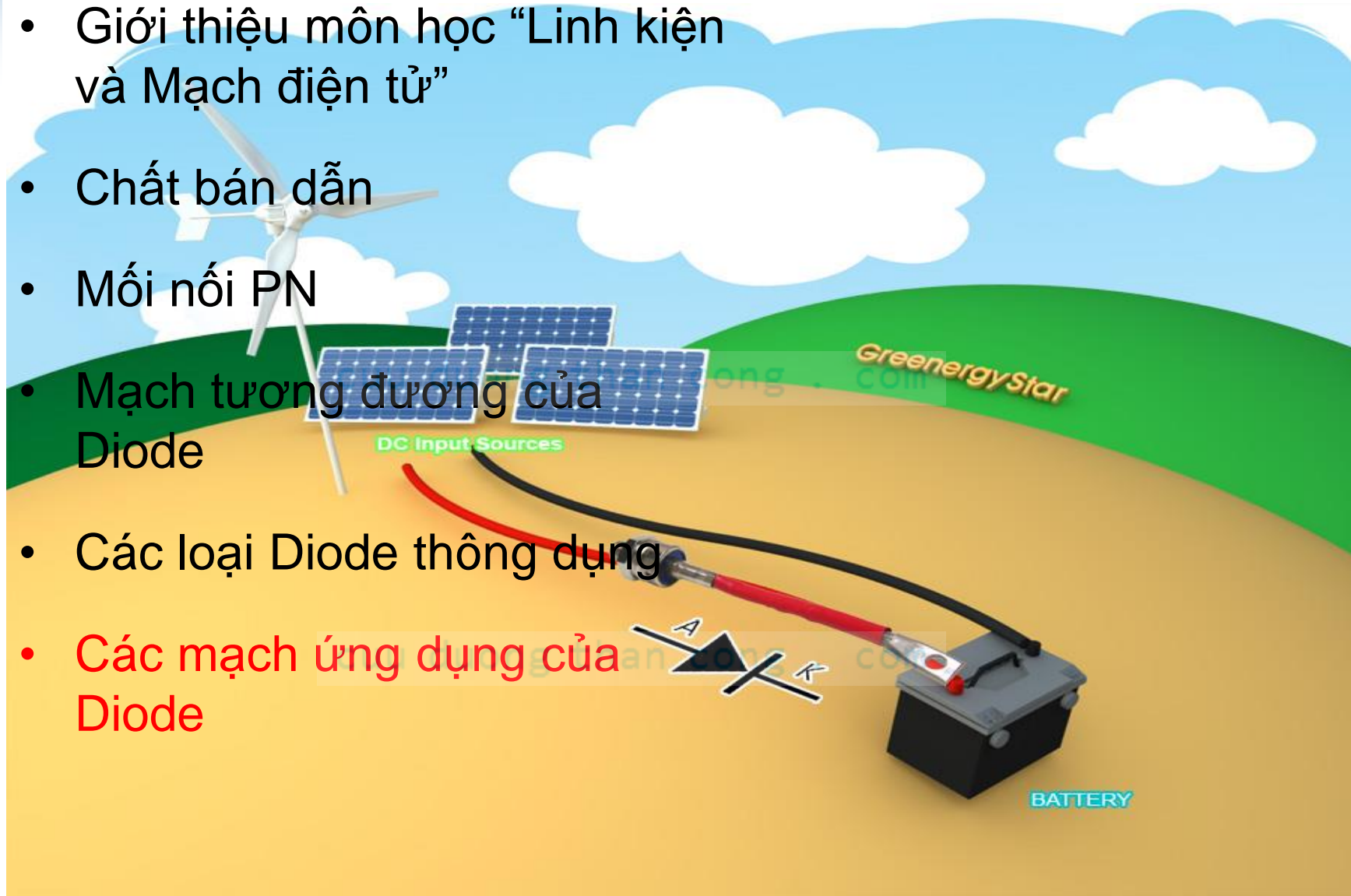
Diode Zener

- Ổn định điện áp tạo nguồn áp tham chiếu (ghim áp)
- Mỗi nối PN được thiết kế để hoạt động trong vùng phân cực nghịch



Nội dung trình bày

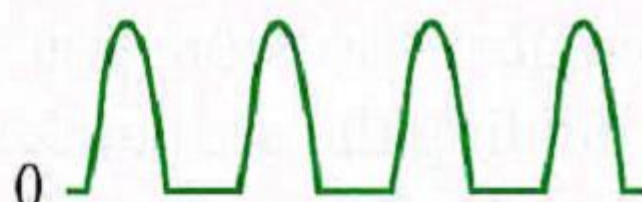
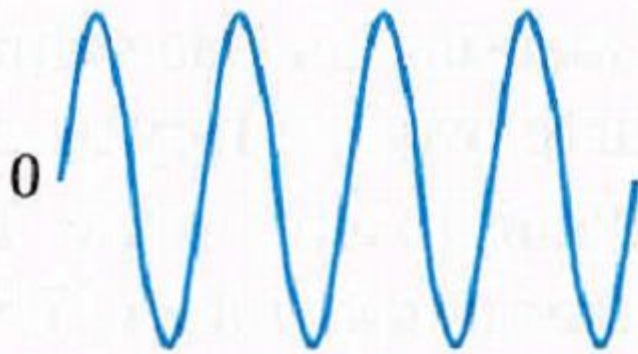
- Giới thiệu môn học “Linh kiện và Mạch điện tử”
- Chất bán dẫn
- Mối nối PN
- Mạch tương đương của Diode
- Các loại Diode thông dụng
- Các mạch ứng dụng của Diode



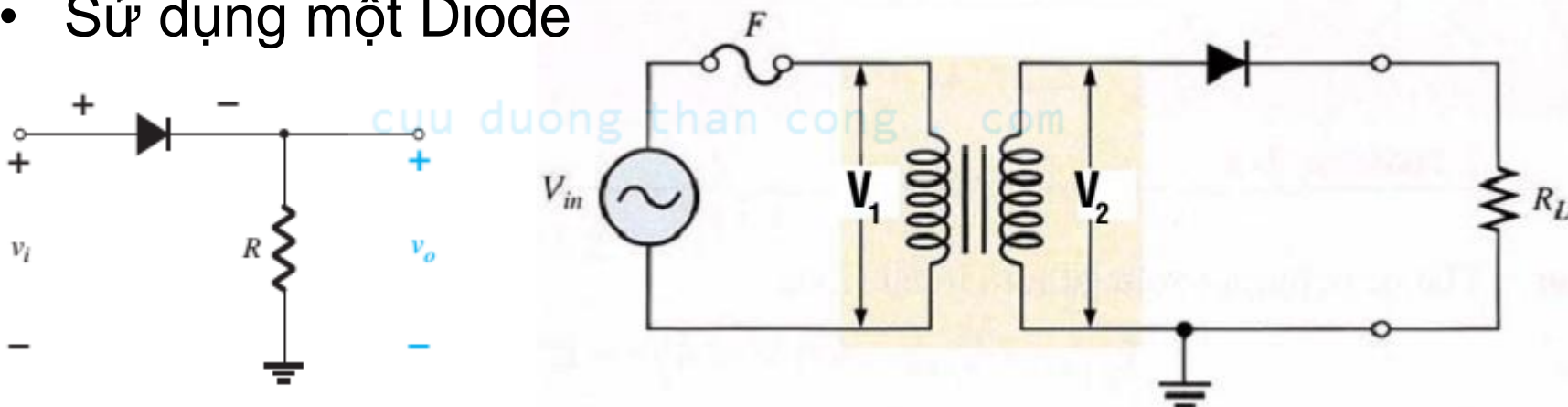
Mạch chỉnh lưu bán chu kỳ

Nguồn áp 1 pha 220V - 50Hz

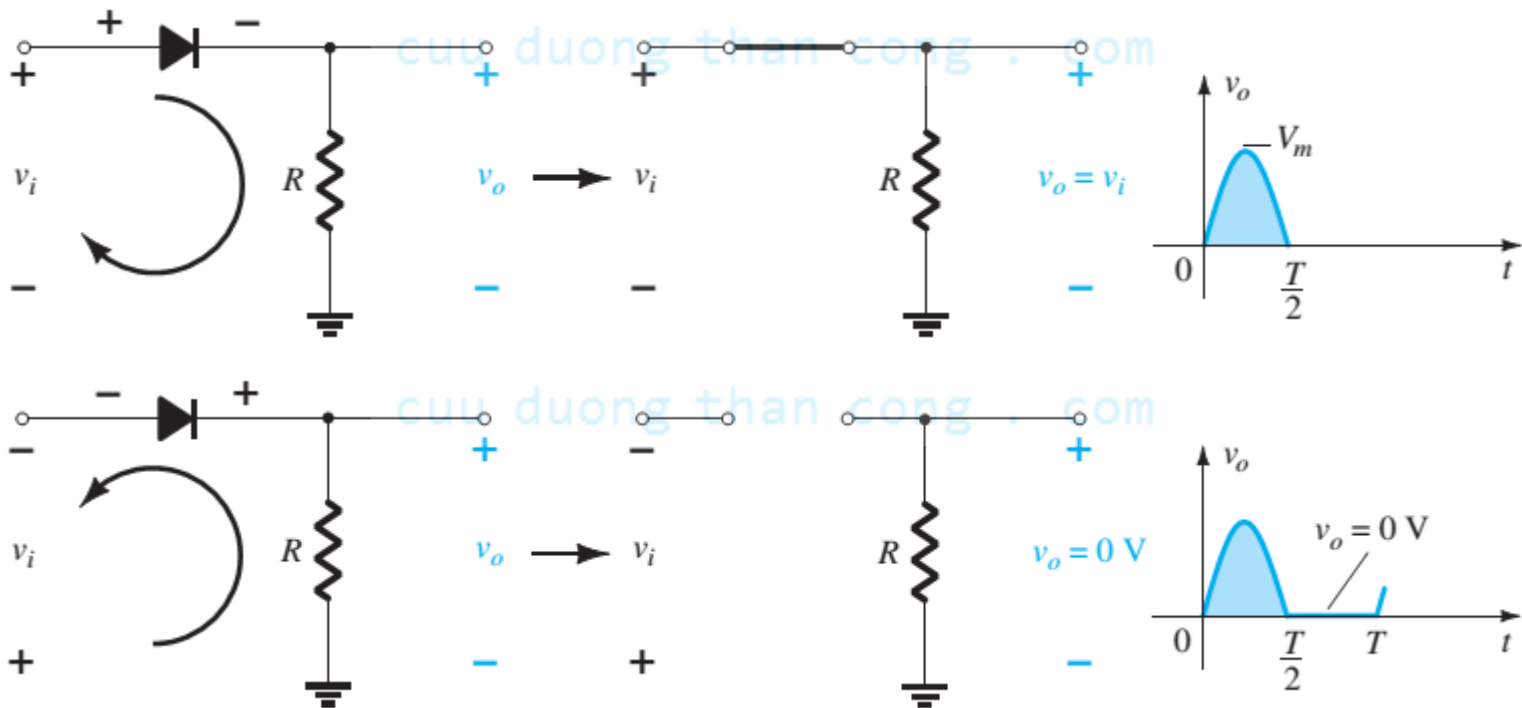
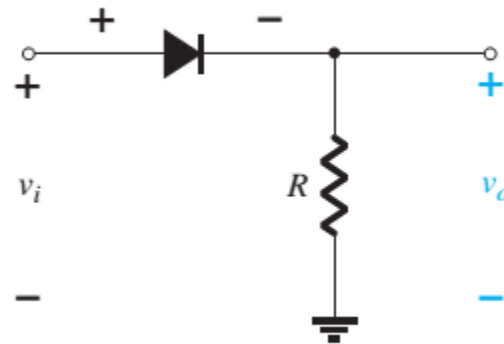
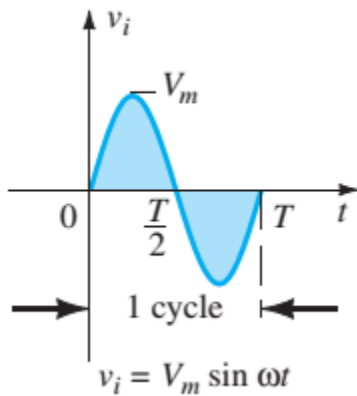
Điện áp của chỉnh lưu bán kỳ



- Biến đổi điện xoay chiều thành điện một chiều
- Sử dụng một Diode



Mạch chỉnh lưu bán chu kỳ (tt)

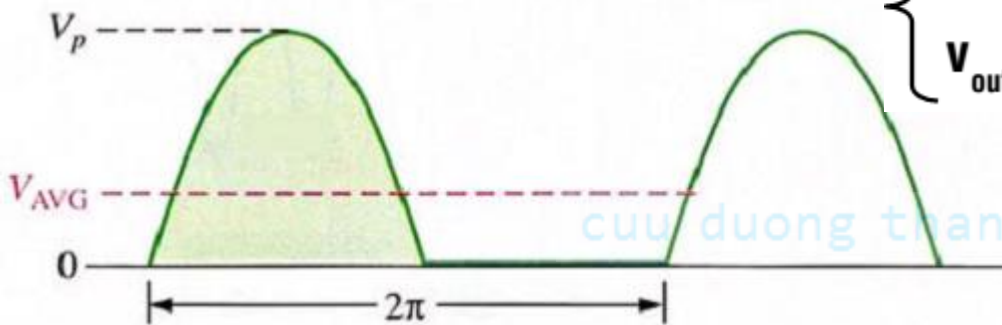


Mạch chỉnh lưu bán chu kỳ (tt)

- Giá trị trung bình của áp chỉnh lưu bán chu kỳ (giá trị trên đồng hồ đo Volt DC):

– Điện thế ngõ ra:

$$\begin{cases} v_{\text{out}}(t) = V_{\text{max}} \cdot \sin(\omega t) & \text{khi } (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ v_{\text{out}}(t) = 0 & \text{khi } (\pi \leq \omega t \leq 2\pi) \end{cases}$$



– Điện thế trung bình:

$$V_{\text{AVG}} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot dt$$

$$V_{\text{AVG}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} [\cos(\omega t)]_\pi^0$$

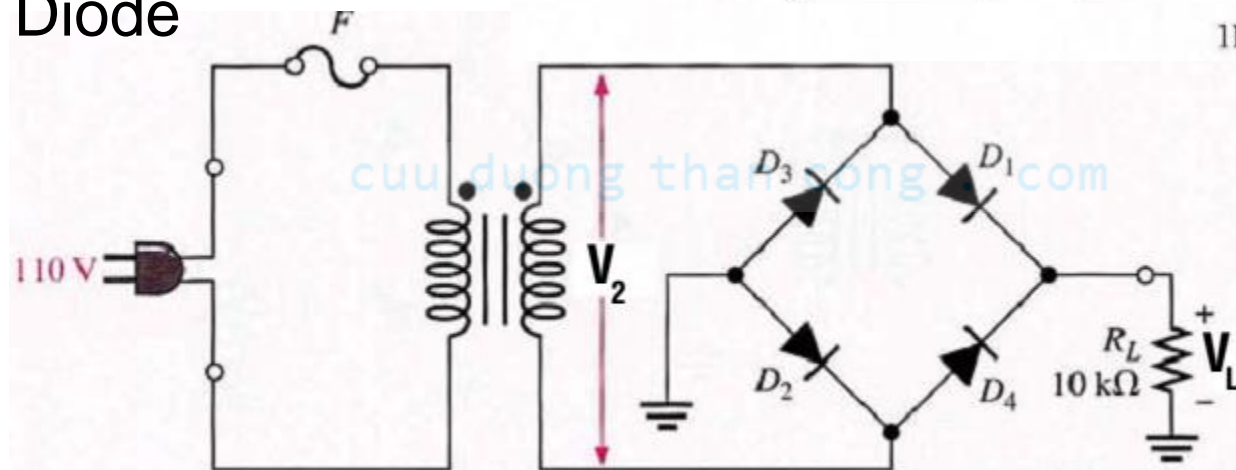
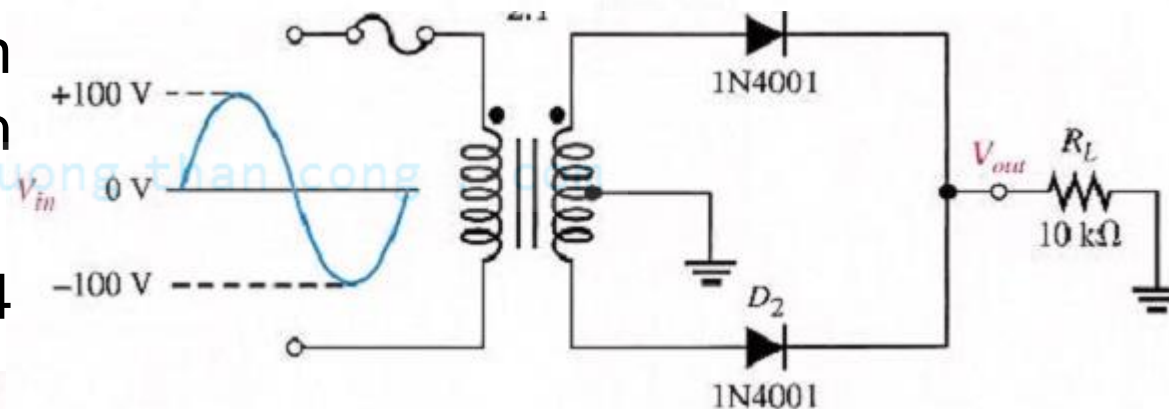
$$V_{\text{AVG}} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{V_p}{\pi}$$

$$V_{\text{AVG}} = \frac{V_{\text{RMS}} \sqrt{2}}{\pi} = 0,45 \cdot V_{\text{RMS}}$$

Mạch chỉnh lưu bán toàn chu kỳ



- Biến đổi điện xoay chiều thành một chiều
- Dùng 2 hoặc 4 Diode



Mạch chỉnh lưu bán toàn chu kỳ (tt)

- Giá trị trung bình của áp chỉnh lưu bán chu kỳ (giá trị trên đồng hồ đo Volt DC):

– Điện thế ngõ ra: $v_{out}(t) = V_{max} \sin(\omega t) [V] \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$



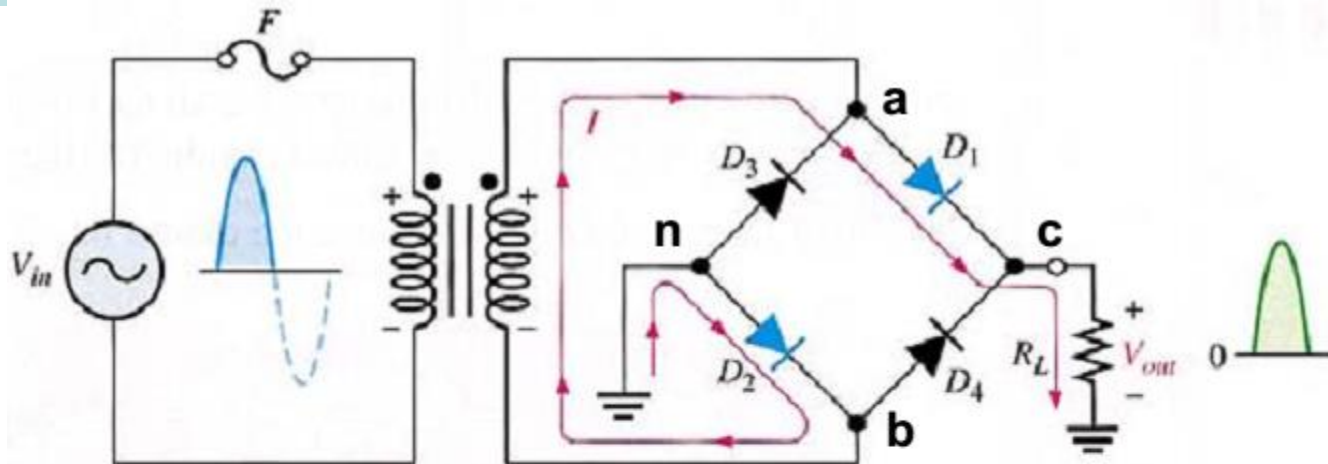
- Điện thế trung bình:

$$V_{AVG} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} [\cos(\omega t)]_{\pi}^0 = \frac{2V_m}{\pi}$$

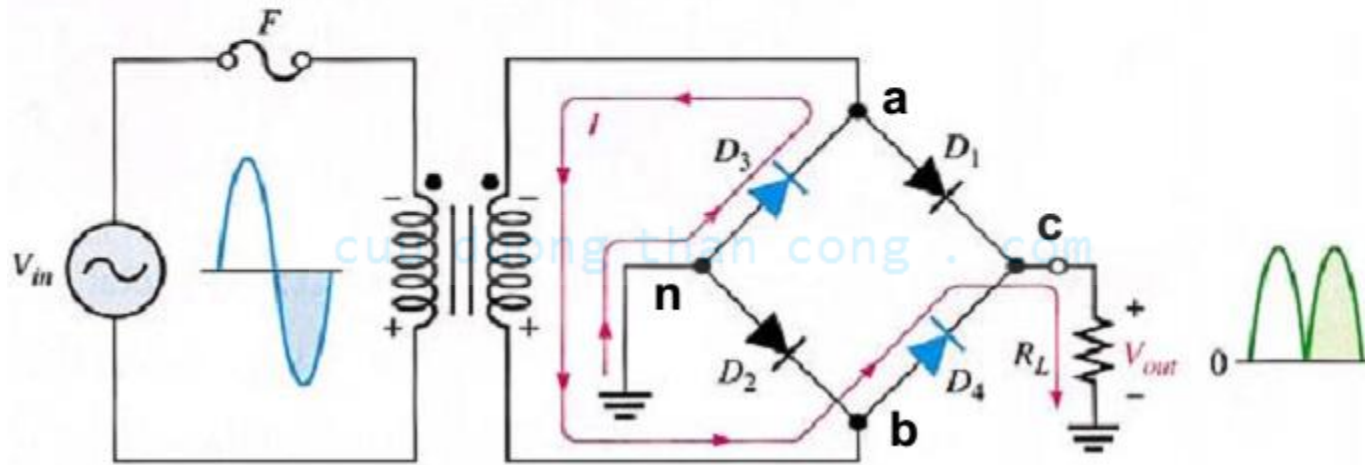
$$V_{AVG} = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$V_{AVG} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_{RMS}}{\pi} = 0,9 \cdot V_{RMS}$$

Chỉnh lưu toàn chu kỳ dùng mạch cầu



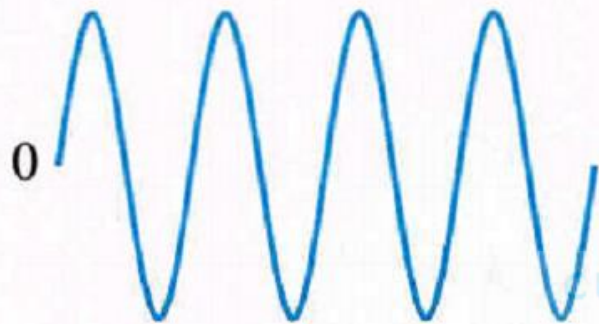
a./ Trong bán kỳ dương, diode D_1 và D_2 dẫn, diode D_3 và D_4 ngưng dẫn



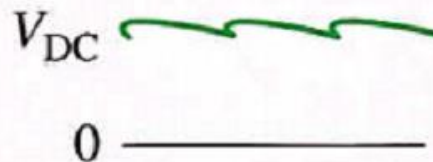
b./ Trong bán kỳ âm, diode D_1 và D_2 ngưng dẫn, diode D_3 và D_4 dẫn

Bộ nguồn DC hoàn chỉnh đơn giản

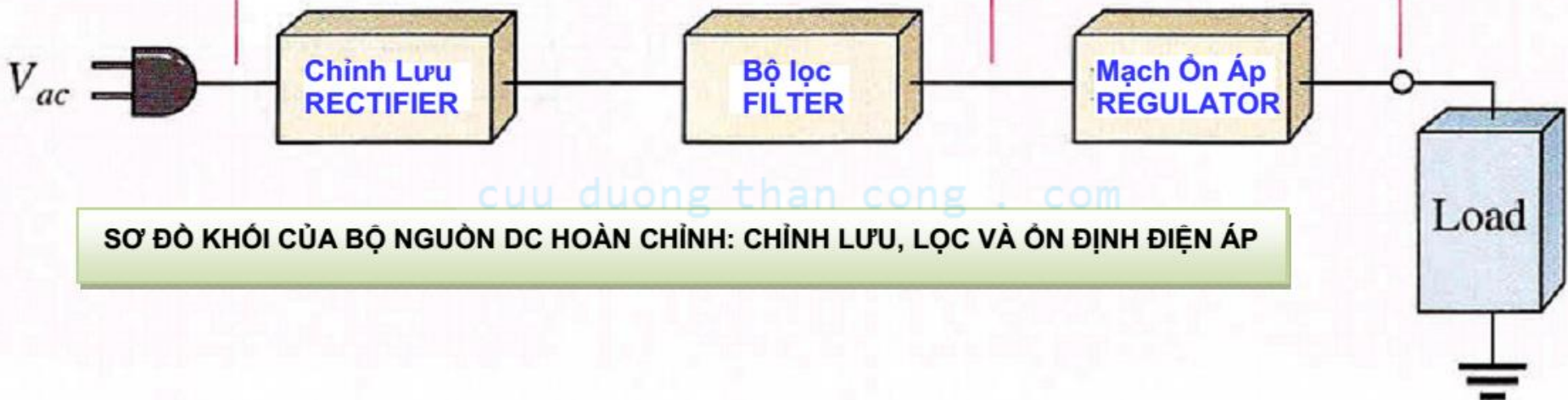
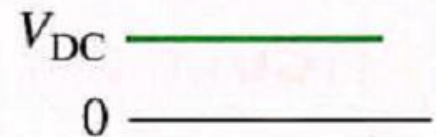
Nguồn áp 1 pha 220V - 50Hz



Điện áp chỉnh lưu được lọc phẳng

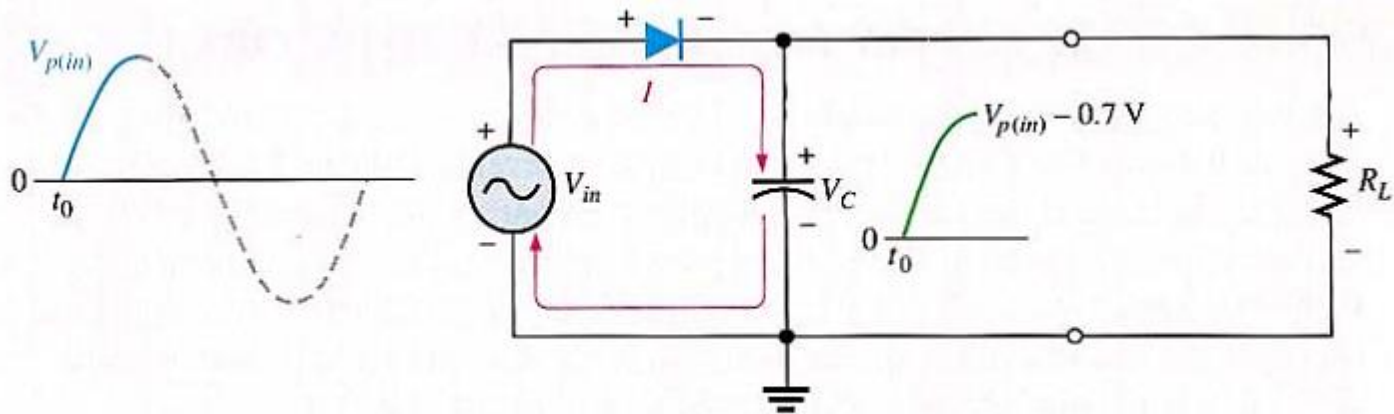


Điện áp được ổn áp

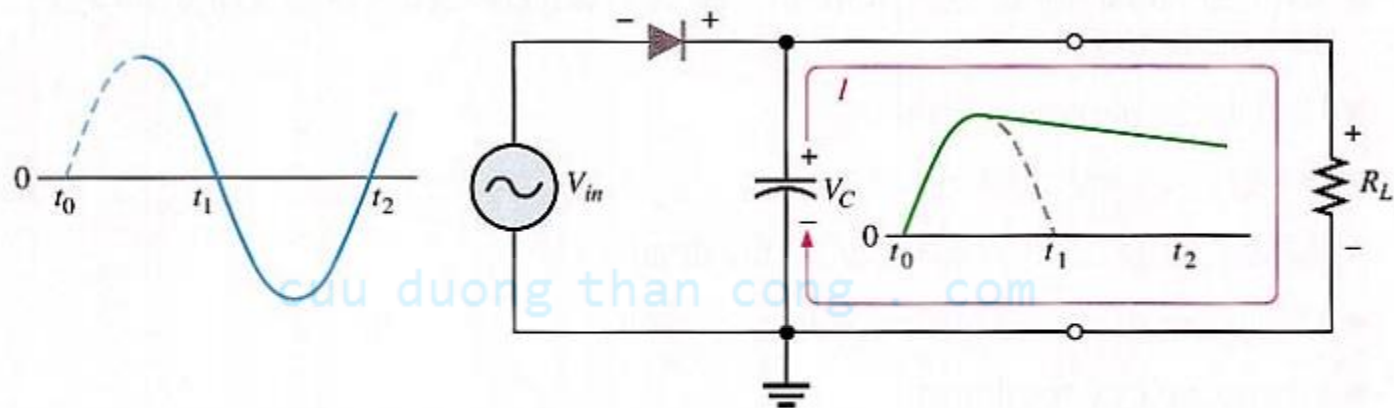


SƠ ĐỒ KHỐI CỦA BỘ NGUỒN DC HOÀN CHỈNH: CHỈNH LƯU, LỌC VÀ ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP

Giảm độ nhấp nhô của mạch chỉnh lưu



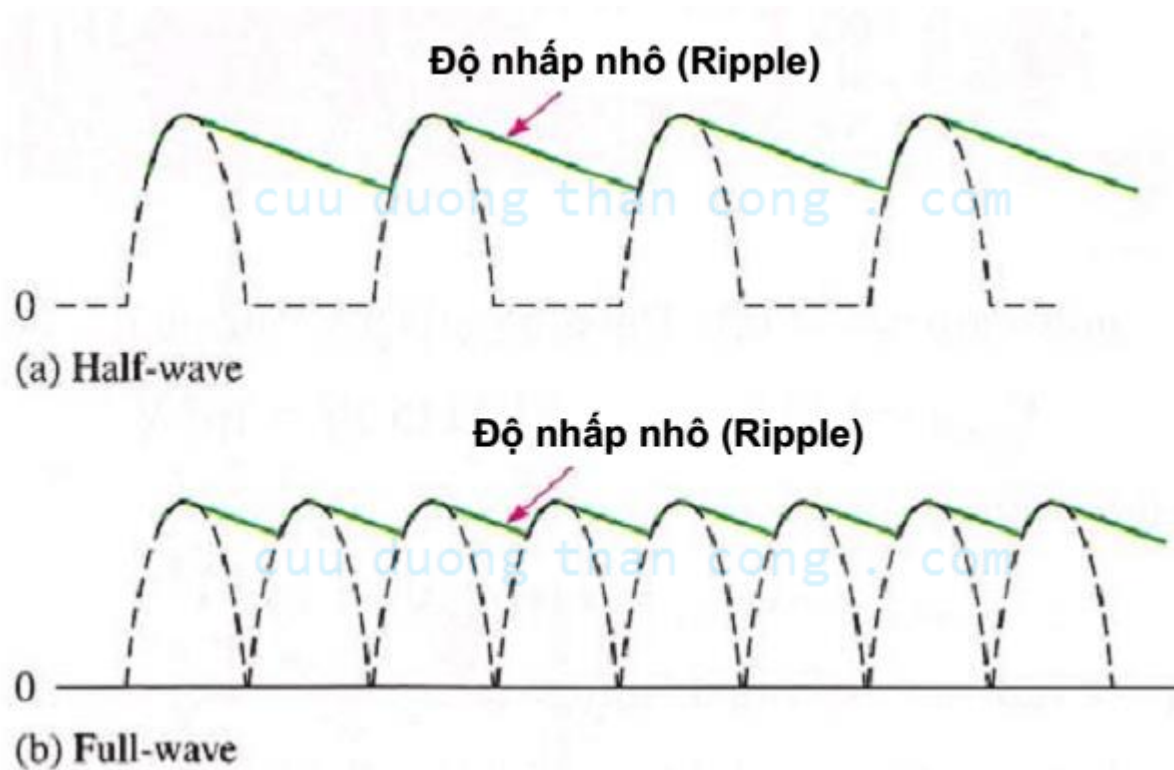
a./ Khi diode phân cực thuận, tụ bắt đầu nạp điện tích và tăng dần điện áp



b./ Khi áp vào đạt đến giá trị cực đại, diode bị phân cực nghịch ngưng dẫn.
Tụ phóng điện qua điện trở tải R_L

Giảm độ nhấp nhô của mạch chỉnh lưu

- So sánh độ nhấp nhô của mạch lọc dùng tụ cho mạch chỉnh lưu bán chu kỳ và toàn chu kỳ



Bộ nguồn DC hoàn chỉnh đơn giản

