

§1. CHẤT BÁN DẪN NGUYÊN CHẤT VÀ CHẤT BÁN DẪN TẠP CHẤT

1. Chất bán dẫn nguyên chất (chất bán dẫn thuần)

Hai chất bán dẫn thuần điển hình là Si (14) và Ge (32), chúng có đặc điểm chung là ở lớp ngoài cùng đều có bốn điện tử hoá trị. Ta xét nguyên tử Si trong mạng tinh thể.

Khi vật liệu Si được chế tạo thành tinh thể thì từ trạng thái xấp xỉ lộn xộn chúng trở thành trạng thái hoàn toàn trật tự. Khi đó khoảng cách giữa các nguyên tử cách đều nhau.

- Bốn điện tử lớp ngoài cùng của một nguyên tử không những chịu sự ràng buộc với hạt nhân của chính nguyên tử đó mà còn liên kết với bốn nguyên tử đứng cạnh nó, hai nguyên tử đứng cạnh nhau có một cặp điện tử góp chung.

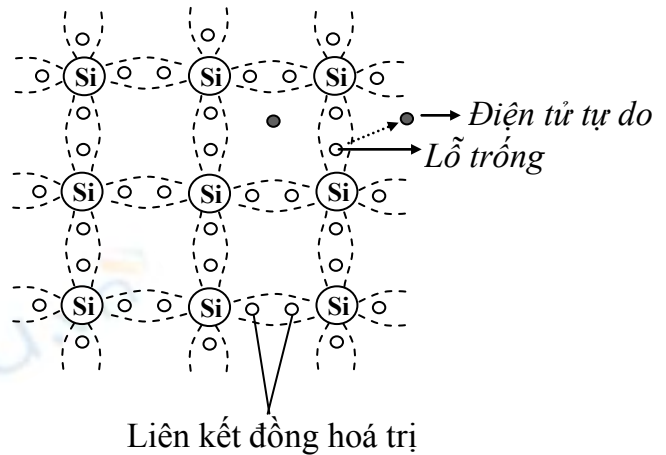
- Mỗi một điện tử trong đôi góp chung vừa chuyển động xung quanh hạt nhân của nó vừa chuyển động trên quỹ đạo của điện tử góp chung. Sự liên kết này được gọi là liên kết đồng hoá trị.

Ở nhiệt độ xác định, do chuyển động nhiệt, một số điện tử góp chung dễ dàng tách khỏi mỗi liên kết với hạt nhân để trở thành các *điện tử tự do*, đó là hạt dẫn điện tử.

- Khi một điện tử tách ra trở thành điện tử tự do thì để lại một liên kết bị khuyết (lỗ trống). Khi đó các điện tử góp chung ở đôi kề cạnh dễ dàng bị rơi vào lỗ trống đó tạo thành sự di chuyển của các điện tử góp chung. Sự di chuyển này giống như sự di chuyển của các điện tích dương, đó là sự di chuyển của *lỗ trống*.

Như vậy, *lỗ trống* cũng là loại hạt mang điện. Khi đặt một điện trường lên vật liệu bán dẫn thì xuất hiện hai thành phần dòng điện chạy qua nó: thành phần dòng điện do các *điện tử tự do* chuyển động có hướng và thành phần dòng điện *lỗ trống* do điện tử góp chung dịch lấp lỗ trống. *Điện tử tự do mang điện âm, lỗ trống mang điện dương*.

Các điện tử chuyển động ngược chiều với véc tơ cường độ điện trường còn các lỗ trống thì chuyển động cùng chiều tạo nên dòng điện trong chất bán dẫn.



* Như vậy: Bán dẫn mà dẫn xuất được thực hiện bằng cả hai loại hạt mang điện (*điện tử tự do và lỗ trống*) có số lượng bằng nhau được gọi là chất bán dẫn thuần (bán dẫn nguyên chất).

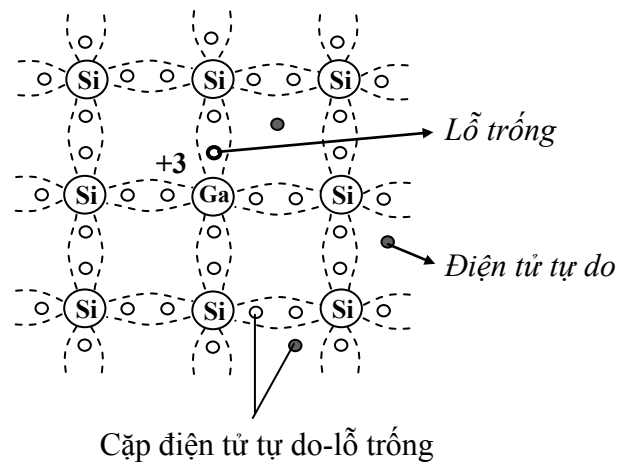
2. Chất bán dẫn tạp chất

Để nâng cao tính dẫn điện trong vật liệu bán dẫn, ta thực hiện pha thêm tạp chất vào chất bán dẫn nguyên chất, gọi là chất bán dẫn tạp.

2.1. Chất bán dẫn tạp loại P

Ta pha thêm tạp chất là những nguyên tố thuộc nhóm III trong bảng tuần hoàn (Ga, In...) vào trong mạng tinh thể của nguyên tử Si. Khi đó trong mạng tinh thể, một số nguyên tử Ga sẽ thay thế vị trí một số nguyên tử Si, ba điện tử hoá trị của Ga sẽ tham gia vào ba mối liên kết với ba nguyên tử Si bên cạnh, còn mối liên kết với nguyên tử Si thứ tư bị thiếu một điện tử được coi như một lỗ trống. Các mối liên kết bị thiếu một điện tử này dễ dàng được lấp đầy bởi một điện tử được bắn ra từ các mối liên kết bên cạnh bị phá vỡ, như vậy *lỗ trống* có thể di chuyển được, tạo thành dòng điện.

- Khi nhiệt độ tăng lên số mối liên kết bị phá vỡ càng nhiều làm cho số lượng điện tử tự do và lỗ trống tăng. Nhưng ở bán dẫn có pha thêm các tạp chất thuộc nhóm III thì số lượng các *lỗ trống* bao giờ cũng lớn hơn số lượng các *điện tử tự do*.



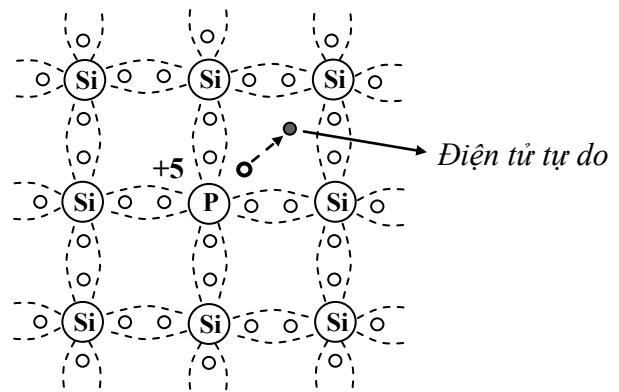
* Như vậy:

Vật liệu bán dẫn mà dẫn xuất được thực hiện chủ yếu bằng các *lỗ trống* gọi là chất bán dẫn tạp loại P. Lỗ trống gọi là hạt dẫn điện đa số. Điện tử tự do là hạt dẫn điện thiểu số.

2.2. Chất bán dẫn tạp loại N

Ta pha thêm các nguyên tố thuộc nhóm V trong bảng tuần hoàn (As, P...) vào trong cấu trúc mạng tinh thể của nguyên tử Si. Khi đó một số nguyên tử P sẽ thay thế một số vị trí nguyên tử Si trong mạng tinh thể.

Nguyên tử P có năm điện tử hoá trị, bốn trong năm điện tử hoá trị sẽ tham gia vào bốn môi liên kết với bốn nguyên tử Si đứng xung quanh nó, còn điện tử hoá trị thứ năm không tham gia vào môi liên kết nào mà chịu sự ràng buộc rất yếu với hạt nhân, chúng dễ dàng tách khỏi môi liên kết với hạt nhân để trở thành các điện tử tự do và sẽ tham gia vào việc vận chuyển dòng điện.



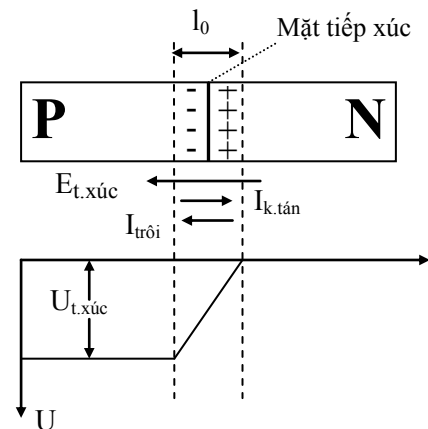
Khi nhiệt độ tăng lên, số môi liên kết bị phá vỡ càng tăng sinh ra nhiều cặp điện tử tự do - lỗ trống. Nhưng ở chất bán dẫn pha thêm tạp chất thuộc nhóm V thì số lượng các điện tử tự do bao giờ cũng lớn hơn số lượng các lỗ trống.

* Như vậy, loại bán dẫn mà dẫn xuất được thực hiện chủ yếu bằng các điện tử tự do gọi là chất bán dẫn tạp loại N. Điện tử tự do là hạt dẫn đa số, lỗ trống là hạt dẫn thiểu số.

§2. TIẾP GIÁP P - N. TÍNH CHẤT CHỈNH LƯU CỦA ĐIÓT BÁN DẪN

1. Tiếp giáp P-N khi chưa có điện trường ngoài

Khi cho hai khối bán dẫn P và N tiếp xúc công nghệ với nhau, giữa hai khối bán dẫn hình thành một mặt tiếp xúc P-N, do sự chênh lệch về nồng độ hạt dẫn giữa hai khối sẽ xảy ra sự khuếch tán. Các lỗ trống ở khối P sẽ khuếch tán sang khối N và các điện tử từ khối N sẽ khuếch tán sang khối P.



Kết quả làm cho bề mặt gần lớp tiếp giáp của khối P nghèo đi về điện tích dương và giàu lên về điện tích âm. Bề mặt gần lớp tiếp giáp của khối N mất điện tích âm và nhận thêm lỗ trống nên tích điện dương. Nếu sự chênh lệch về nồng độ các loại hạt mang điện ở hai khối này càng lớn thì sự khuếch tán diễn ra càng mạnh.

Kết quả: Hai bên mặt tiếp giáp hình thành nên điện trường vùng tiếp xúc E_{tx} có chiều hướng từ khối N sang khối P. Điện trường tiếp xúc này cản trở sự khuếch tán của các hạt mang điện đa số từ khối này sang khối kia. Khi E_{tx} cân bằng với lực khuếch tán thì trạng thái cân bằng động xảy ra. Khi đó vùng điện tích không gian không tăng nữa, vùng này gọi là vùng nghèo kiệt (vùng thiếu vắng hạt dẫn điện) đó là chuyển tiếp P-N bao gồm các ion không di chuyển được. Khi cân bằng động, có bao nhiêu hạt dẫn điện khuếch tán từ khối này sang khối kia thì cũng bấy nhiêu hạt dẫn được chuyển trở lại qua mặt tiếp xúc, chúng bằng nhau về trị số nhưng ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu nhau, kết quả dòng điện qua tiếp xúc P-N bằng 0.

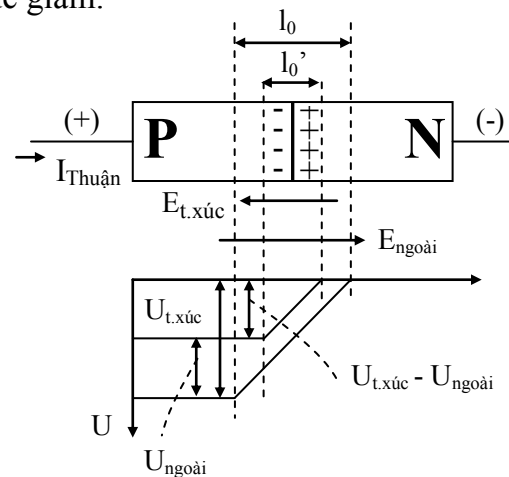
Kết luận: Không có dòng điện chạy qua lớp tiếp giáp P – N khi chưa có điện trường ngoài.

2. Tiếp giáp P- N khi có điện trường ngoài

2.1. Trường hợp phân cực thuận

Đặt điện áp một chiều vào tiếp giáp P-N sao cho cực dương nối vào khối P, cực âm nối vào khối N. Điện áp này tạo ra một điện trường ngoài E_{ng} có chiều hướng từ khối P sang khối N. Khi đó điện trường ngoài E_{ng} có chiều ngược với điện trường vùng tiếp xúc E_{tx} nên điện trường tổng ở vùng tiếp xúc giảm.

$E_{\Sigma} = E_{tx} - E_{ng}$ giảm. Khi đó bề rộng vùng nghèo giảm làm cho sự khuếch tán diễn ra dễ dàng. Các hạt mang điện đa số dễ dàng khuếch tán từ khối này sang khối kia. Do mật độ hạt mang điện đa số lớn nên dòng khuếch tán I_{kt} lớn, dòng điện này gọi là dòng điện thuận I_{th} . Ta nói tiếp giáp P-N thông.



Trong đó:

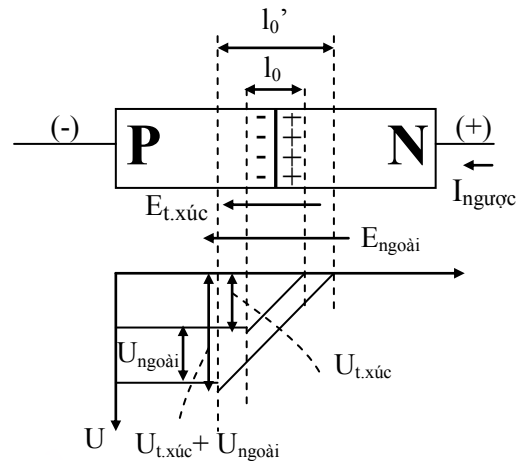
l_0 : Bề rộng vùng nghèo khi chưa có điện trường ngoài

l'_0 : Bề rộng vùng nghèo khi phân cực thuận

Do số lượng hạt dẫn thiếu số ít, nên dòng điện trôi đạt rất nhỏ, $I_{tr} \approx 0$. Điện trở tiếp giáp P- N trong trường hợp này gọi là điện trở thuận, có giá trị nhỏ $R_{th} \approx 0$.

2.2. Trường hợp phân cực ngược

Đặt cực dương vào khối N, cực âm vào khối P. Khi đó E_{ng} cùng chiều với E_{tx} nên điện trường tổng ở vùng tiếp xúc tăng, do đó bề rộng vùng nghèo tăng, nó ngăn cản các hạt dẫn đa số khuếch tán từ khối này sang khối kia, do vậy dòng khuếch tán coi $I_{kt} = 0$. Dòng điện trôi có giá trị nhỏ do số hạt dẫn thiểu số rất ít, $I_{tr} = 0$, nên dòng điện qua tiếp giáp P-N khi phân cực ngược có giá trị bằng 0.

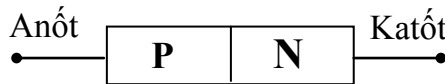


Ta nói tiếp giáp P-N bị khoá, trong trường hợp này tiếp giáp P-N coi như một điện trở có giá trị vô cùng lớn gọi là điện trở ngược, $R_{ng} \approx \infty$.

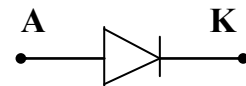
* Như vậy: Tiếp giáp P-N chỉ có tác dụng dẫn điện theo một chiều (từ khối P sang khối N) khi được phân cực thuận. Tính chất này gọi là tính chất van hay tính chất chỉnh lưu, đó là tính chất chỉnh lưu của điốt bán dẫn.

3. Điốt bán dẫn.

3.1. Cấu tạo, kí hiệu.



Hình a: Cấu tạo



Hình b: Kí hiệu

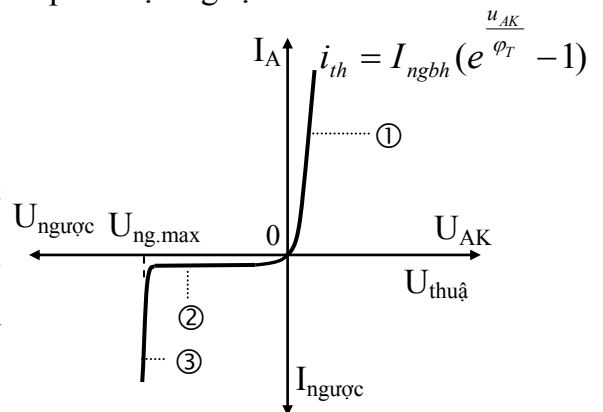
Điốt thực chất là một tiếp giáp P-N. Điện cực nối với khối P được gọi là Anốt (ký hiệu là A), điện cực nối với khối N gọi là Katốt (ký hiệu là K), toàn bộ cấu trúc trên được bọc trong một lớp vỏ bằng kim loại hay bằng nhựa.

* Nguyên lý làm việc: Chính là các hiện tượng vật lý xảy ra ở tiếp giáp P-N trong các trường hợp: chưa phân cực, phân cực thuận và phân cực ngược đã xét ở trên.

3.2. Đặc tuyến V-A.

Đặc tuyến V-A được chia làm 3 vùng:

+ Vùng ①: Ứng với trường hợp phân cực thuận. Khi tăng U_{AK} , lúc đầu dòng tăng từ từ, sau khi $U_{AK} > U_0$ (thường $U_0 = (0,6 \div 0,7)V$ nếu điốt được chế tạo từ vật liệu Silic,



$U_0 = (0,2 \div 0,3)V$ nếu điốt được chế tạo từ vật liệu Gecmani) thì dòng điện tăng theo điện áp với quy luật của hàm số mũ.

+ Vùng ②: Tương ứng với trường hợp phân cực ngược với giá trị dòng điện ngược i_{ng} có giá trị nhỏ ($i_{ng} \approx I_{bh\grave{o}a}$).

+ Vùng ③: Gọi là vùng đánh thủng, tương ứng $U_{ng} > U_{ng,max}$ ($U_{\text{đánh thủng}}$).

Dòng điện ngược tăng lên đột ngột, dòng điện này sẽ phá hỏng điốt (vì vậy để bảo vệ điốt thì chỉ cho chúng làm việc dưới điện áp: $U = (0,7 \div 0,8).U_z$, U_z là điện áp đánh thủng) trong khi đó điện áp giữa Anốt và Katốt không đổi \rightarrow tính chất van của điốt bị phá hỏng. Tồn tại hai dạng đánh thủng: do nhiệt độ cao và điện trường mạnh làm cho các hạt dẫn chuyển động nhanh, gây va đập và gây nên hiện tượng ion hoá do va chạm làm cho quá trình tạo thành hạt dẫn ồ ạt, dẫn đến dòng điện tăng nhanh.

3.3. Các tham số cơ bản của điốt: chia ra 2 nhóm

* Các tham số giới hạn:

- $U_{ng,max}$ là giá trị điện áp ngược lớn nhất đặt lên điốt mà tính chất van của nó chưa bị phá hỏng.

- $I_{max,cp}$ là dòng điện thuận lớn nhất đi qua khi điốt mở.

- Công suất tiêu hao cực đại cho phép: P_{cp} .

- Tần số làm việc cho phép: f_{max}

* Các tham số làm việc:

- Điện trở một chiều của điốt R_d

- Điện trở xoay chiều của điốt r_d

3.4. Phân loại

- Theo vật liệu chế tạo: điốt Ge, điốt Si...

- Theo cấu tạo: điốt tiếp xúc điểm, tiếp xúc mặt...

- Theo dải tần số làm việc: điốt tần số thấp, điốt tần số cao, siêu cao...

- Theo công suất: điốt công suất lớn, trung bình, nhỏ.

- Theo công dụng: điốt chỉnh lưu, điốt tách sóng, điốt ổn áp, điốt quang...

4. Một số ứng dụng của điốt bán dẫn

Ta xét một số ứng dụng của điốt trong các mạch chỉnh lưu, các mạch hạn chế biên độ điện áp

4.1. Các mạch chỉnh lưu

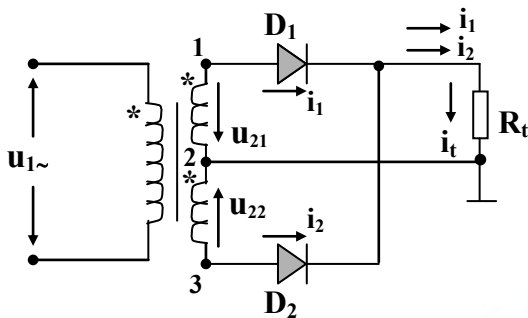
Định nghĩa: Chỉnh lưu là quá trình biến đổi năng lượng điện xoay chiều thành năng lượng điện một chiều cung cấp cho các phụ tải điện một chiều.

Sau đây ta xét các bộ chỉnh lưu công suất nhỏ

Để đơn giản cho quá trình phân tích, ta giả thiết các van điốt là lý tưởng, điện áp vào là hình sin 110/220 V xoay chiều, tần số 50 Hz, tải là thuần trở.

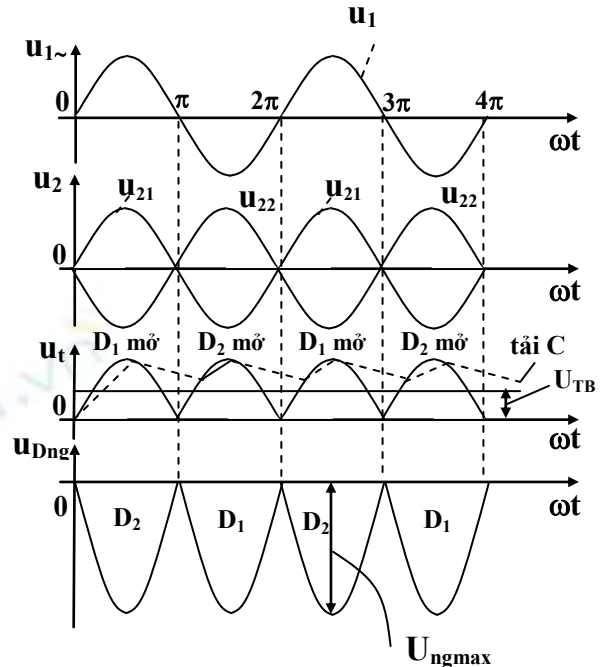
a. Mạch chỉnh lưu một pha hai nửa chu kỳ có điểm trung tính

* Sơ đồ nguyên lý



Hình a: Sơ đồ nguyên lý

Hình b: Giảm đồ điện áp



Trong sơ đồ, cuộn thứ cấp của biến áp được chia làm hai nửa có số vòng dây bằng nhau, chiều quấn dây ngược nhau, với cách cuốn đó tạo ra hai điện áp u_{21} , u_{22} có cùng biên độ nhưng lệch pha nhau 180° .

* Nguyên lý hoạt động:

- Khi $\omega t = 0 \div \pi$: $u_{21} > 0$, $u_{22} < 0$, điện thế điểm 1 dương hơn điểm 2, điểm 2 dương hơn điểm 3, điốt D_1 phân cực thuận nên mở, D_2 phân cực ngược nên bị khoá, cho dòng i_1 chạy qua D_1 và phụ tải R_t về điểm 2.

$$\text{Khi đó: } u_{ra} = u_t = u_{21} - u_{D1} = u_{21} = U_{21m} \cdot \sin \omega t.$$

- Khi $\omega t = \pi \div 2\pi$: $u_{21} < 0$, $u_{22} > 0$, điện thế điểm 3 dương hơn điểm 2, điểm 2 dương hơn điểm 1, D_1 khoá, D_2 mở, cho dòng i_2 chạy qua: D_2 , R_t về điểm 2.

$$\text{Khi đó: } u_{ra} = u_t = u_{22} - u_{D2} = u_{22} = U_{22m} \cdot \sin \omega t..$$

Kết quả: Dòng điện (điện áp) nhận được trên tải có dạng là các nửa hình sin liên tiếp nhau, trong 1 chu kỳ của điện áp lưới các điốt thay phiên nhau làm việc.

+ Giá trị trung bình của điện áp trên tải:

$$U_0 = 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_{2m} \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t \approx 0,9 \cdot U_2$$

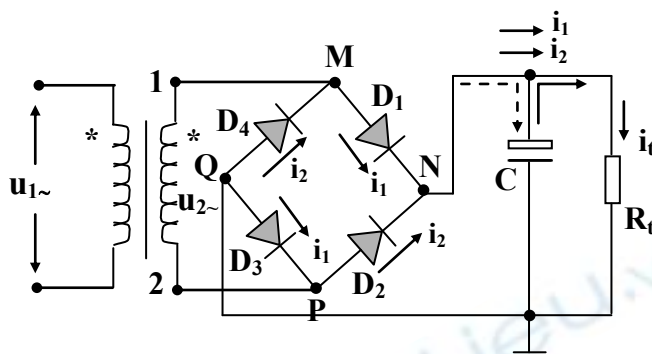
với: U_2 là giá trị hiệu dụng của điện áp trên 1 cuộn dây thứ cấp MBA.

+ Giá trị trung bình của dòng điện trên tải: $I_0 = \frac{U_0}{R_t}$

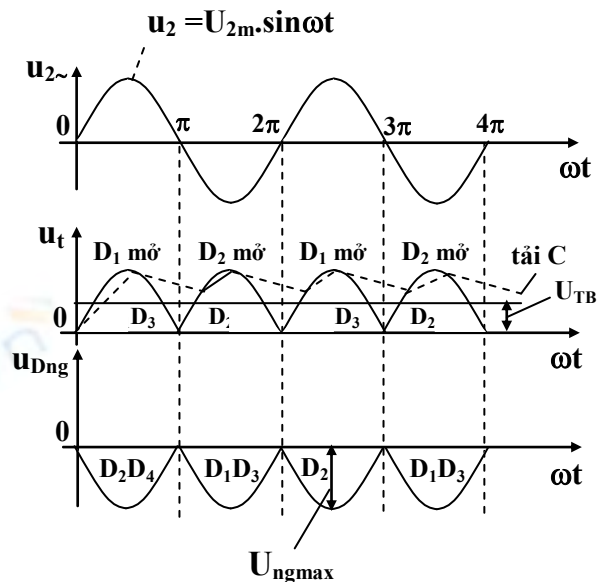
+ Dòng trung qua các điốt: $I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_0}{2}$

+ Điện áp ngược cực đại đặt vào mỗi điốt khi khoá bằng tổng điện áp cực đại trên hai cuộn dây thứ cấp biến áp. $U_{ng,max} = 2.U_{2m}$

b. Mạch chỉnh lưu cầu



Hình a: Sơ đồ nguyên lý



Hình b: Giản đồ điện áp

Cầu gồm có bốn nhánh với bốn điốt được nối theo nguyên tắc: hai cạnh đối diện các điốt nối cùng chiều, tạo hai nhóm điốt: một nhóm có Katốt chung, một nhóm có Anốt chung.

* Nguyên lý hoạt động:

- $\omega t = 0 \div \pi$: điện thế điểm 1 dương hơn điểm 2, D_2, D_4 phân cực ngược \rightarrow khoá. D_1, D_3 phân cực thuận \rightarrow mở cho dòng điện i_1 chạy qua D_1, R_t, D_3 về điểm 2.

- $\omega t = \pi \div 2\pi$: điện thế điểm 2 dương hơn điểm 3, D_1, D_3 phân cực ngược, khoá. D_2, D_4 phân cực thuận \rightarrow mở cho dòng điện i_2 chạy qua D_2, R_t, D_4 về điểm 1.

Kết quả:

Điện áp (dòng điện) ra trên tải là các nửa hình sin liên tiếp nhau trong một chu kỳ giống như sơ đồ chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ có điểm trung tính. Các biểu thức tính dòng và áp hoàn toàn giống như sơ đồ có điểm trung tính. Chỉ khác, nếu cùng 1 giá trị của điện áp trên tải thì trong sơ đồ này điện áp ngược đặt lên mỗi điốt khi khoá giảm đi một nửa: $U_{ng,max} = U_{2m}$ đây chính là ưu điểm cơ bản của sơ đồ cầu. Do đó sơ đồ này là sơ đồ cơ bản được sử dụng chủ yếu trong các mạch chỉnh lưu trong thực tế.

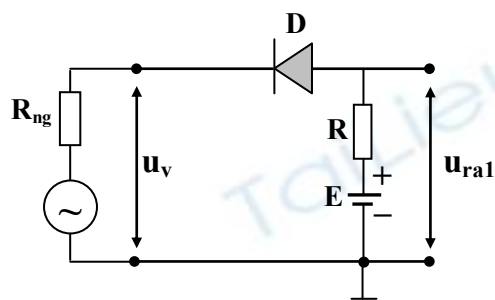
4.2. Các mạch hạn chế biên độ

- Các mạch hạn chế biên độ được sử dụng để hạn chế biên độ của điện áp ra lớn hơn, nhỏ hơn hoặc nằm giữa hai giá trị nào đó gọi là các mức ngưỡng.

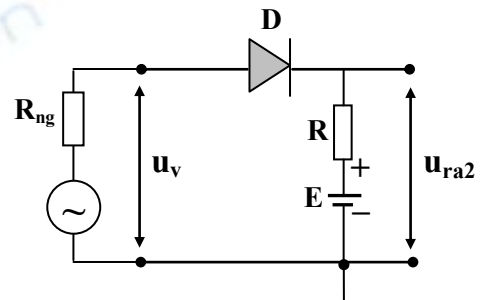
- Thông thường, giá trị của các mức ngưỡng không vượt quá biên độ lớn nhất của điện áp đưa vào hạn chế.

- Tùy theo cách mắc của phần tử hạn chế so với tải và cách lấy điện áp ra mà ta có các mạch hạn chế nối tiếp, song song, mạch hạn chế trên, dưới và mạch hạn chế 2 phía.

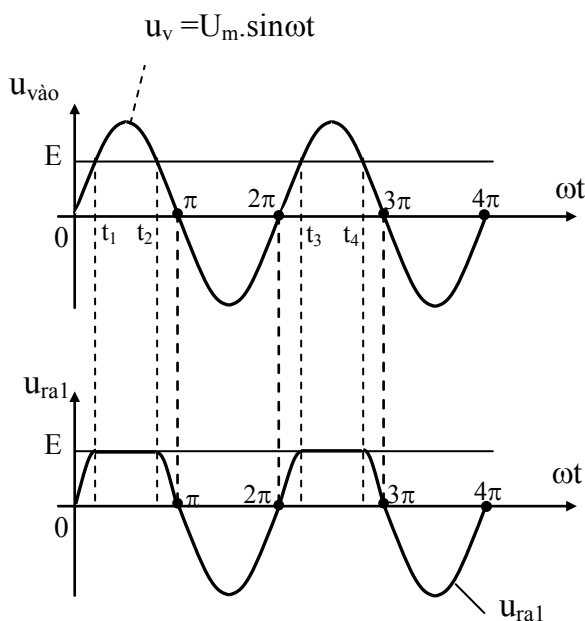
a. Các mạch hạn chế nối tiếp: là mạch mà điốt hạn chế mắc nối tiếp với mạch tải.



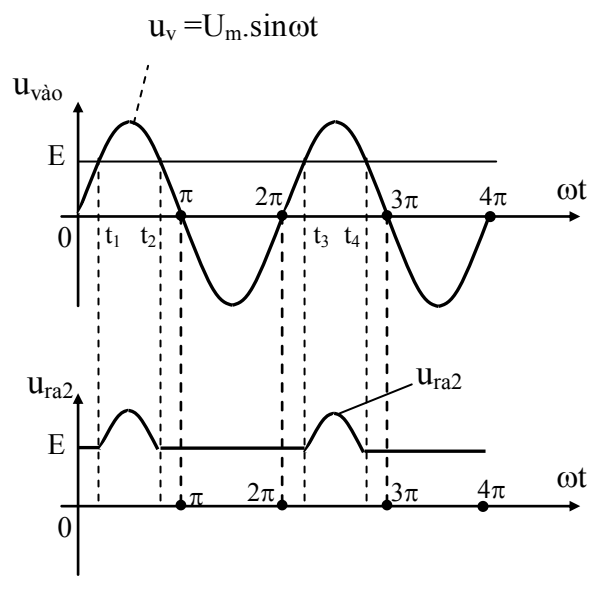
Hình a: Mạch hạn chế trên mức E



Hình b: Mạch hạn chế dưới mức E



Hình c: Giảm đồ điện áp



Hình d: Giảm đồ điện áp

Để đơn giản khi phân tích, ta giả thiết tín hiệu vào là hình sin, điốt là lý tưởng.

Trong đó:

R_{Dth} và R_{Dng} là giá trị trung bình của điện trở thuận và điện trở ngược của điốt.

Nếu thoả mãn điều kiện: $R_{Dth} + R_{ng} \ll R \ll R_{Dng} + R_{ng}$

Do đó với mạch hạn chế trên, khi $U_D \geq 0$ thì $u_{ra1} = u_v$; $U_D < 0$ thì $u_{ra2} = E$

Với mạch hình a:

Khi $u_v \geq E \rightarrow U_D < 0 \rightarrow D$ khoá $\rightarrow u_{ra1} = E$

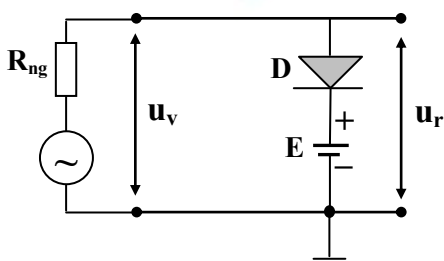
Khi $u_v < E \rightarrow U_D > 0 \rightarrow D$ mở $\rightarrow u_{ra1} = u_v$

Với mạch hình b:

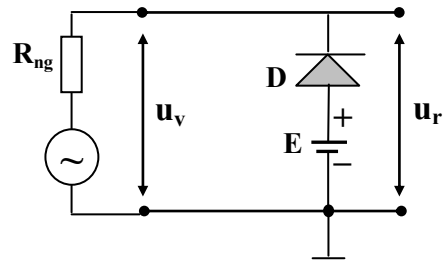
Khi $u_v \geq E \rightarrow U_D > 0 \rightarrow D$ mở $\rightarrow u_{ra2} = u_v$

Khi $u_v < E \rightarrow U_D < 0 \rightarrow D$ khoá $\rightarrow u_{ra2} = E$

b. Các mạch hạn chế song song: là các mạch mà điốt hạn chế mắc song song với mạch tải.



Hình a: Mạch hạn chế trên mức E



Hình b: Mạch hạn chế dưới mức E

Với mạch hình a:

Khi $u_v \geq E \rightarrow U_D > 0 \rightarrow D$ mở $\rightarrow u_{ra} = E$

Khi $u_v < E \rightarrow U_D < 0 \rightarrow D$ khoá $\rightarrow u_{ra} = u_v$

Với mạch hình b:

Khi $u_v \geq E \rightarrow U_D < 0 \rightarrow D$ khoá $\rightarrow u_{ra} = u_v$

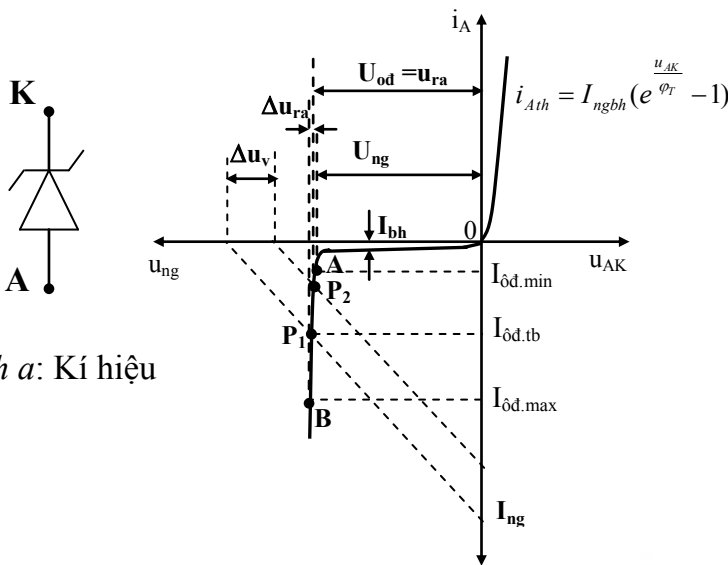
Khi $u_v < E \rightarrow U_D > 0 \rightarrow D$ mở $\rightarrow u_{ra} = E$.

4.3. Ổn định điện áp bằng điốt Zener (Điốt ổn áp)

- Điốt ổn áp làm việc dựa trên hiệu ứng đánh thủng Zener và đánh thủng thác lũ của tiếp giáp P-N khi phân cực ngược, bị đánh thủng nhưng không hỏng.

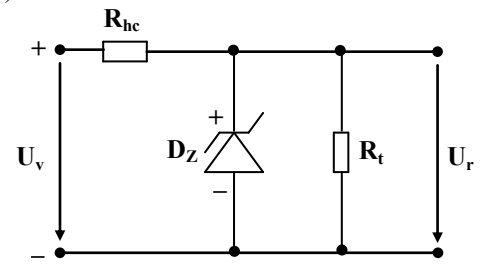
- Điốt ổn áp dùng để ổn định điện áp đặt vào phụ tải.

- Kí hiệu, đặc tuyến V-A, sơ đồ ổn áp đơn giản dùng điốt Zener như hình vẽ.



Hình a: Kí hiệu

Hình b: Đặc tuyến V-A của diốt ổn áp



Hình c: Sơ đồ ổn áp đơn giản

- Nhánh thuận đặc tuyến V-A của diốt này giống như diốt chỉnh lưu thông thường nhưng nhánh ngược có phần khác: Lúc đầu khi điện áp ngược còn nhỏ thì $I_{ngược}$ có trị số nhỏ giống như các diốt thông thường.

+ Khi điện áp ngược đạt tới giá trị điện áp ngược đánh thủng thì dòng điện ngược qua diốt tăng lên đột ngột còn điện áp ngược trên diốt được giữ hầu như không đổi. Đoạn đặc tuyến gần như song song với trục dòng điện (đoạn A-B). Đoạn (A-B) được giới hạn bởi ($I_{ohd.min}$, $I_{ohd.max}$) là đoạn làm việc của diốt ổn áp.

+ Để đảm bảo cho hiện tượng đánh thủng về điện không kéo theo đánh thủng về nhiệt làm cho diốt bị hỏng, khi chế tạo người ta đã tính toán để tiếp giáp P-N chịu được dòng điện ngược. Mặt khác, trong mạch điện còn đặt điện trở hạn chế để hạn chế không cho dòng điện ngược qua diốt vượt quá dòng điện ngược cho phép.

+ Khi dòng điện qua diốt nhỏ hơn giá trị $I_{ohd.min}$ thì diốt làm việc ở đoạn OA nên không có tác dụng ổn định điện áp.

+ Khi dòng điện qua diốt lớn hơn giá trị $I_{ohd.max}$ thì công suất tỏa ra trên diốt vượt quá công suất cho phép có thể làm cho diốt bị phá hỏng vì nhiệt.

- Trong mạch ổn áp diốt ổn áp mắc song song với phụ tải.

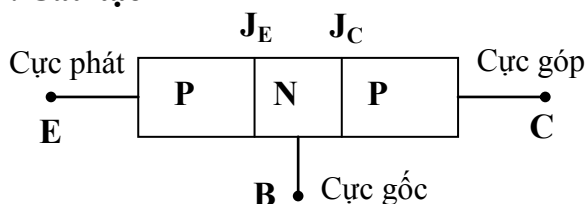
- Nếu u_v thay đổi, R_t không đổi, trên đặc tuyến V-A khi u_v thay đổi 1 lượng Δu_v khá lớn nhưng u_{ra} thay đổi một lượng Δu_{ra} rất nhỏ, dường như mọi sự thay đổi của u_v đều hạ trên R_{hc} , đảm bảo điện áp ra tải không thay đổi.

- Nếu u_v không đổi, R_t thay đổi. Lúc đó nội trở của diốt thay đổi dẫn tới sự phân bố lại dòng điện qua diốt và qua tải đảm bảo cho điện áp ra tải là không đổi.

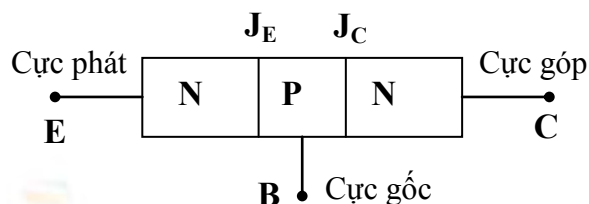
§3. TRANZITO LƯỠNG CỰC (Transistor Bipolar)

Nếu trên cùng một đế bán dẫn người ta tạo ra hai tiếp giáp P-N ở gần nhau, dựa trên đặc tính dẫn điện của mỗi tiếp giáp và tác dụng tương hỗ giữa chúng sẽ làm cho dụng cụ này có khả năng khuếch đại được những tín hiệu điện và khi đó người ta gọi là đèn bán dẫn 3 cực hay Tranzito.

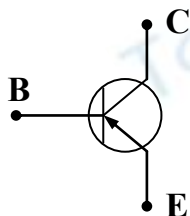
1. Cấu tạo



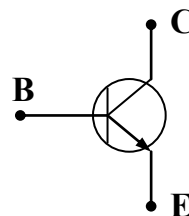
Hình a: Cấu tạo tranzito PNP



Hình b: Cấu tạo tranzito NPN



Hình d: Kí hiệu tranzito PNP



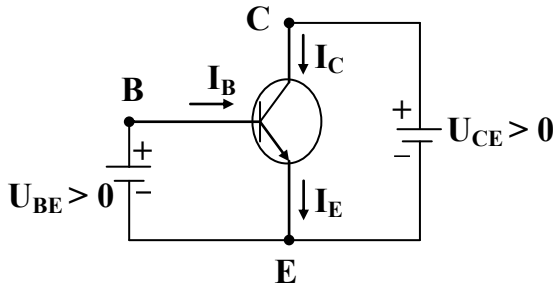
Hình d: Kí hiệu tranzito NPN

Gồm 3 lớp bán dẫn ghép liên tiếp nhau, hai lớp ngoài cùng có tính dẫn điện cùng loại, lớp ở giữa có tính dẫn điện khác với hai lớp ngoài. Tùy theo cách sắp xếp các khối bán dẫn mà ta có Tranzito thuận p-n-p (hình a) và Tranzito ngược n-p-n (hình b) được chỉ ra trên hình vẽ.

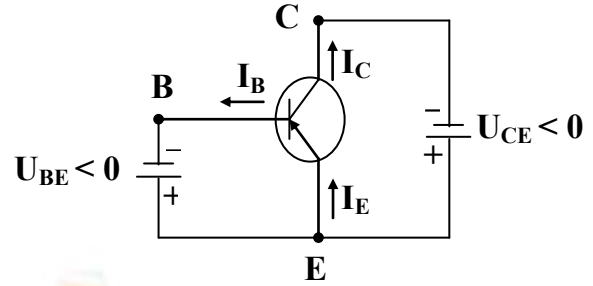
- Lớp (miền) bán dẫn thứ nhất gọi là lớp phát (Emitơ), có đặc điểm là nồng độ tạp chất lớn nhất, điện cực nối với nó gọi là cực phát E.
- Lớp thứ hai gọi là lớp gốc (Bazơ), có kích thước rất mỏng cỡ μm và nồng độ tạp chất ít nhất, điện cực nối với nó gọi là cực gốc B.
- Lớp thứ ba có nồng độ tạp chất trung bình gọi là lớp góp (Côlectơ), điện cực nối với nó gọi là cực góp C.
- Tiếp giáp giữa lớp phát với lớp gốc gọi là tiếp giáp phát J_E
- Tiếp giáp giữa lớp gốc với lớp góp gọi là tiếp giáp góp J_C
- Chiều mũi tên trong ký hiệu của Tranzito bao giờ cũng là chiều của điện áp phân cực thuận cho tiếp giáp phát J_E (có chiều từ bán dẫn P sang bán dẫn N).

2. Nguyên lý làm việc

Để cho Tranzito có thể làm việc ở chế độ khuếch đại tín hiệu điện, người ta phải đưa điện áp một chiều tới các điện cực của nó gọi là phân cực cho tranzito, sao cho tiếp giáp J_E phân cực thuận và tiếp giáp J_C phân cực ngược như hình vẽ.



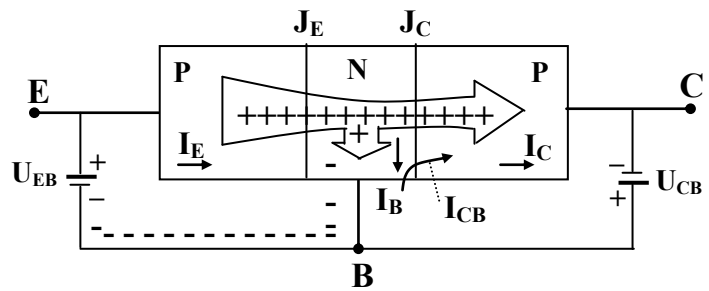
Hình a: Phân cực cho tranzito NPN



Hình b: Phân cực cho tranzito PNP

Giả sử ta xét tranzito pnp như hình vẽ

Do tiếp giáp J_E được phân cực thuận bằng nguồn U_{EB} , điện trường E_{EB} này có tác dụng gia tốc các hạt dẫn điện đa số (lỗ trống) từ vùng phát qua J_E đến vùng góc tạo thành dòng điện cực phát I_E . Do nồng độ các lỗ trống ở vùng phát lớn nên dòng điện cực phát I_E có giá trị lớn.



Khi đến vùng góc, một phần nhỏ lỗ trống sẽ tái hợp với các điện tử đến từ cực âm của nguồn U_{EB} tạo thành dòng điện cực gốc I_B . Do vùng góc có bề dày mỏng và nồng độ các hạt dẫn điện tử rất ít nên dòng điện cực gốc I_B rất nhỏ. Phần lớn các lỗ trống còn lại khuếch tán qua vùng góc và di chuyển đến tiếp giáp J_C . Tại tiếp giáp J_C , điện trường U_{CB} thuận chiều với các hạt này nên sẽ cuốn chúng qua tiếp giáp J_C sang lớp góp để tạo thành dòng điện cực góp I_C .

Thực tế, vì tiếp giáp J_C phân cực ngược nên trên nó vẫn tồn tại một dòng điện ngược có trị số nhỏ (giống như dòng điện ngược của điốt) I_{CB0} , do mật độ các hạt dẫn thiếu số nhỏ nên dòng I_{CB0} có trị số nhỏ, ta có thể bỏ qua.

Khi đó, ta có biểu thức dòng điện trong tranzito là:

$$I_E = I_B + I_C. \text{ Do } I_B \ll I_E, I_B \ll I_C \text{ nên } I_E \approx I_C$$

Để đánh giá mức độ hao hụt của dòng điện cực phát tại vùng cực gốc, người ta đưa ra khái niệm gọi là hệ số truyền đạt dòng điện α :

$$\alpha = I_C / I_E, \quad \alpha \rightarrow 1 \text{ càng tốt.} \quad (1)$$

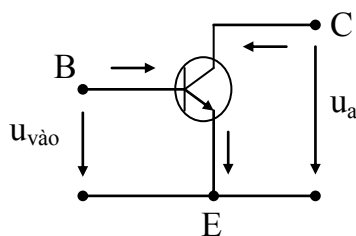
Để đánh giá tác dụng điều khiển của dòng điện cực gốc tới dòng điện cực góp người ta đưa ra hệ số khuếch đại dòng điện β : $\beta = I_C / I_B$. (2)

Thường $\beta =$ vài chục ÷ vài trăm lần, từ (1) và (2) ta có quan hệ: $\alpha = \beta / 1 + \beta$

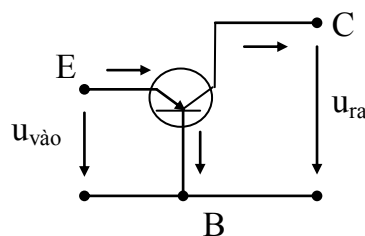
Đối với Tranzito ngược P-N-P, nguyên lý làm việc cũng tương tự như tranzito thuận, chỉ khác là ở tranzito ngược phần tử mang điện đa số ở cực phát là điện tử, đồng thời để cho sơ đồ hoạt động ta phải đổi lại cực tính của các nguồn điện cũng như đổi lại chiều của các dòng điện I_E, I_B, I_C .

3. Các cách mắc Tranzito ở chế độ khuếch đại

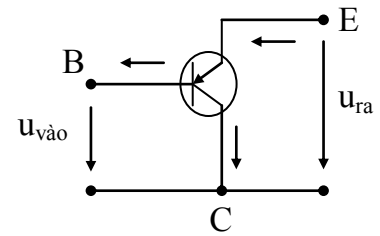
Khi sử dụng về nguyên tắc có lấy hai trong số ba cực của tranzito làm đầu vào, cực thứ ba còn lại cùng với một cực đầu vào làm đầu ra. Như vậy có tất cả sáu cách mắc mạch khác nhau. Nhưng dù mắc như thế nào cũng cần có một cực chung cho cả đầu vào và đầu ra. Trong số sáu cách mắc đó thì chỉ có ba cách mắc là tranzito có thể khuếch đại được công suất, đó là cách mắc chung Emitơ (EC), chung Bazơ (BC) và chung Colectơ (CC). Ba cách mắc còn lại không có ứng dụng trong thực tế.



Hình a: Mắc EC



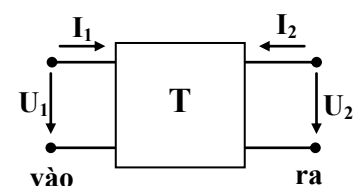
Hình b: Mắc BC



Hình c: Mắc CC

Từ cách mắc được dùng trong thực tế của tranzito, về mặt sơ đồ có thể coi tranzito là một mạng 4 cực gần tuyến tính có hai đầu vào và hai đầu ra.

Có thể viết ra 6 cặp phương trình mô tả quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của mạng 4 cực trong đó dòng điện và điện áp là những biến số độc lập. Nhưng trong thực tế tính toán thường dùng nhất là 3 cặp phương trình tuyến tính sau:



Cặp phương trình trở kháng có được khi coi các điện áp là hàm, các dòng điện là biến có dạng sau:

$$\begin{cases} U_1 = f(I_1, I_2) = r_{11} \cdot I_1 + r_{12} \cdot I_2 \\ U_2 = f(I_1, I_2) = r_{21} \cdot I_1 + r_{22} \cdot I_2 \end{cases} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Cặp phương trình dẫn nạp có được khi coi các dòng điện là hàm của các biến điện áp :

$$\begin{cases} I_1 = f(U_1, U_2) = g_{11} \cdot U_1 + g_{12} \cdot U_2 \\ I_2 = f(U_1, U_2) = g_{21} \cdot U_1 + g_{22} \cdot U_2 \end{cases} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}$$

Cặp phương trình hỗn hợp :

$$\begin{cases} U_1 = f(I_1, U_2) = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot U_2 \\ U_2 = f(I_1, U_2) = h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot U_2 \end{cases} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ U_2 \end{pmatrix}$$

Trong đó: r_{ij} , g_{ij} , h_{ij} tương ứng là các tham số trở kháng, dẫn nạp và hỗn hợp của tranzito.

Bằng cách lấy vi phân toàn phần các hệ phương trình trên, ta sẽ xác định được các tham số vi phân tương ứng của tranzito. Ví dụ:

$$r_{22} = \left. \frac{\partial U_2}{\partial I_2} \right|_{I_1 = \text{const}} = \frac{1}{h_{22}} \quad \text{là điện trở ra vi phân;}$$

$$g_{21} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial U_1} \right|_{U_2 = \text{const}} = \frac{1}{r_{12}} = S \quad \text{là hõ dẫn truyền đạt;}$$

$$r_{11} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial I_1} \right|_{I_2 = \text{const}} = h_{11} \quad \text{là điện trở vào vi phân;}$$

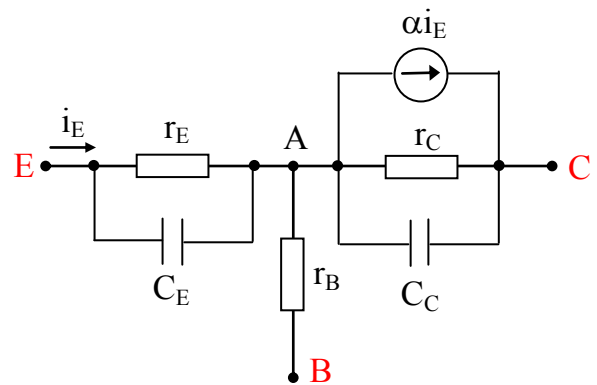
$$h_{21} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \right|_{U_2 = \text{const}} = \beta \quad \text{là hệ số khuếch đại dòng điện vi phân.}$$

* **Sơ đồ tương đương của tranzito:** có 2 loại cơ bản là sơ đồ tương đương tự nhiên và sơ đồ tương đương thay thế.

- Sơ đồ tương đương tự nhiên: dạng của sơ đồ phụ thuộc vào dạng mắc mạch của tranzito và các tham số của sơ đồ trực tiếp biểu thị những tính chất vật lý của tranzito, vì thế các tham số của nó còn gọi là các tham số bản thân hay các tham số vật lý.

- Sơ đồ tương đương thay thế: dạng của sơ đồ không phụ thuộc vào dạng mắc mạch của tranzito và được thành lập dựa trên cơ sở các hệ phương trình cơ bản của các tham số.

Sơ đồ tương đương tự nhiên hình T của tranzito mắc theo sơ đồ gốc chung (BC)



Các tham số cơ bản:

r_E - điện trở vi phân của tiếp giáp emitor và phần chất bán dẫn làm cực emitor.

r_B - điện trở khối của vùng bazơ

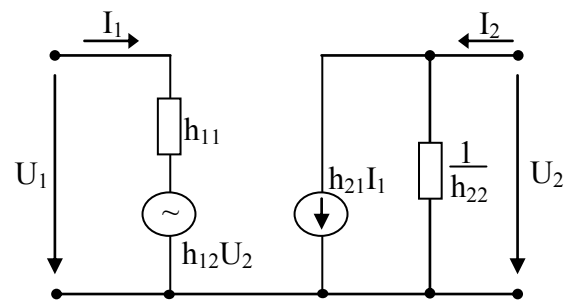
r_C - điện trở vi phân của tiếp giáp góp

C_E - điện dung của tiếp giáp phát

C_C - điện dung của tiếp giáp góp

αI_E - nguồn dòng tương đương của cực emitor đưa tới colector.

Sơ đồ tương đương thay thế của tranzito dựa theo tham số h.



U_1, I_1, U_2, I_2 lần lượt tương ứng là điện áp và dòng điện đầu vào và đầu ra của mạch.

h_{11} - Điện trở đầu vào của tranzito khi đầu ra ngắn mạch đối với tín hiệu:

$$h_{11} = \frac{\partial U_1}{\partial I_1} \Big|_{I_2 = const}$$

h_{12} - Hệ số phản hồi điện áp khi đầu vào hở mạch đối với tín hiệu: $h_{12} = \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \Big|_{I_1 = const}$

h_{21} - Hệ số khuếch đại dòng điện khi đầu ra ngắn mạch đối với tín hiệu: $h_{21} = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \Big|_{U_2 = const}$

h_{22} - Điện dẫn đầu ra khi đầu vào hở mạch đối với tín hiệu: $h_{22} = \frac{\partial I_2}{\partial U_2} \Big|_{I_1 = const}$

Nếu tranzito được mắc theo mạch phát chung thì các tham số h còn phải có thêm chữ E bên cạnh các chữ số, ví dụ như: h_{21E} để nói lên rằng các tham số được xác định cho tranzito mắc theo mạch phát chung, tương tự khi tranzito được mắc theo mạch gốc

chung ta phải thêm chữ B và khi tranzito được mắc theo mạch góp chung ta phải thêm chữ C

Mối quan hệ giữa những tham số h của tranzito trong sơ đồ tương đương thay thế và những tham số vật lý của nó trong sơ đồ tương đương tự nhiên, khi nó được mắc theo mạch gốc chung có thể thiết lập được nếu các phương trình liên hệ giữa dòng điện và điện áp trong sơ đồ tương đương tự nhiên cũng được viết dưới dạng tương tự với các phương trình:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}.I_1 + h_{12}.U_2 \\ U_2 = h_{21}.I_1 + h_{22}.U_2 \end{cases}$$

Ta có thể đưa ra các quan hệ giữa các tham số của hai sơ đồ trên như sau:

Khi $U_2 = 0$ với mạch đầu vào ta có: $U_1 = I_1.[r_E + (1 - \alpha)r_B]$

hay $h_{11B} = r_E + (1 - \alpha)r_B$

Với mạch đầu ra: $I_2 = \alpha.I_1$ do đó $\alpha = h_{21B}$ khi $I_1 = 0$

Dòng mạch ra: $I_2 = \frac{U_2}{r_{C(B)} + r_B} \approx \frac{U_2}{r_{C(B)}}$ do đó $h_{22} = \frac{1}{r_{C(B)}}$

và $\begin{cases} U_1 = I_2.r_B \\ U_2 = I_2.r_{C(B)} \end{cases}$ nên ta có: $h_{12} = \frac{r_B}{r_{C(B)}}$

4. Các họ đặc tuyến tĩnh của Tranzito

Trường hợp tổng quát, có 4 họ đặc tuyến tĩnh:

- 4.1. Đặc tuyến vào : $u_v = f(i_v)$ khi $u_{ra} =$ hằng số
- 4.2. Đặc tuyến ra: $i_{ra} = f(u_{ra})$ khi $i_v =$ hằng số
- 4.3. Đặc tuyến truyền đạt: $i_{ra} = f(i_v)$ khi $u_{ra} =$ hằng số
- 4.4. Đặc tuyến phản hồi: $u_v = f(u_{ra})$ khi $i_v =$ hằng số

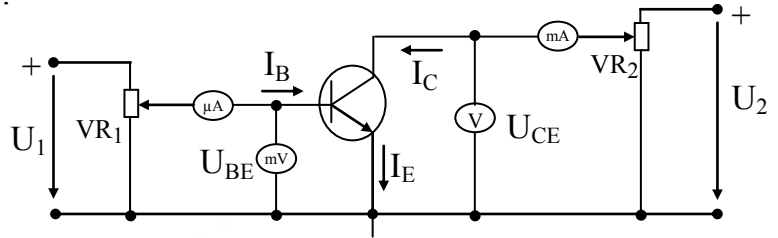
§4. CÁC DẠNG MẮC MẠCH CƠ BẢN VÀ CÁC HỌ ĐẶC TUYẾN CỦA TRANZITO

1. Sơ đồ Emitter chung (EC)

Trong cách mắc EC, điện áp vào được lấy giữa cực B và cực E, điện áp ra lấy từ cực C và cực E. Dòng điện vào, điện áp vào, dòng điện ra và điện áp ra được đo bằng miliampe kế và vôn kế như hình vẽ:

1.1. Họ đặc tuyến vào:

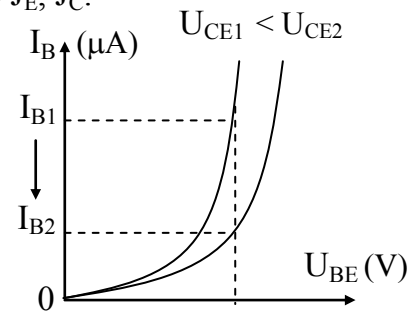
$$I_B = f(U_{BE}) \quad \left| \quad U_{CE} = \text{const}$$



Hình a: Sơ đồ lấy đặc tuyến

Ta dùng các nguồn U_1, U_2 để phân cực cho các tiếp giáp J_E, J_C .

Để xác định đặc tuyến vào, cần giữ $U_{CE} = \text{const}$, thay đổi trị số điện áp U_{BE} bằng cách điều chỉnh biến trở VR_1 và ghi lại các giá trị tương ứng I_B , thay đổi U_{CE} đến một giá trị khác và làm tương tự ta sẽ nhận được họ đặc tuyến vào như hình vẽ bên.



Ta thấy, đặc tuyến vào giống như đặc tuyến thuận của tiếp giáp P-N.

Khi $U_{BE} > U_0$ thì dòng I_B tăng nhanh theo U_{BE} .

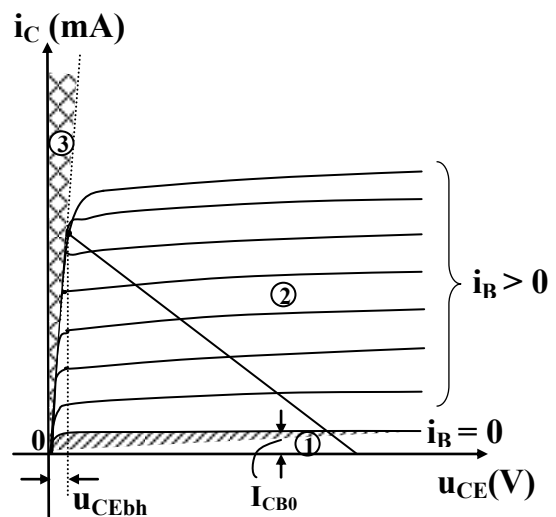
- Ứng với một giá trị của U_{BE} khi tăng U_{CE} thì đặc tuyến dịch sang phải, dòng I_B giảm, vì: khi tăng U_{CE} tức là $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$, coi $U_{BE} = \text{const}$, tức là tăng U_{CB} , điện áp ngược của tiếp giáp J_C tăng vùng nghèo mở rộng chủ yếu về miền bazơ pha tạp ít, do đó khả năng tái hợp của điện tử và lỗ trống trong miền góc giảm \rightarrow do đó dòng I_B giảm.

1.2. Họ đặc tuyến ra: $I_C = f(U_{CE})$ khi $I_B = \text{const}$

Để vẽ đặc tuyến ra, giữ $I_B = \text{const}$, thay đổi U_{CE} và ghi lại các giá trị tương ứng của dòng I_C . Thay đổi I_B đến giá trị cố định khác và làm tương tự như trên sẽ nhận được họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa U_{CE} với dòng I_C .

- Họ đặc tuyến ra chia làm 3 vùng: tuyến tính, bão hoà, cắt dòng:

+ Vùng ① (vùng cắt dòng): với tiếp giáp J_C phân cực ngược, tiếp giáp J_E



được phân cực không ($u_{BE}=0$) hoặc phân cực ngược. Dòng điện trên cực góp chỉ là dòng điện ngược của tiếp giáp J_C ($i_C=i_{CB0}\approx 0$).

+ Vùng ② (vùng khuếch đại): với tiếp giáp góp J_C phân cực ngược, tiếp giáp phát J_E phân cực thuận. Vùng này dòng điện cực gốc i_B gần như tỷ lệ thuận với u_{BE} (trong phạm vi tín hiệu bé) và được dùng làm vùng làm việc của các bộ khuếch đại vì:

$$i_B = \frac{u_{BE}}{R_{vào}} = \frac{u_{vào}}{R_{vào}}; \quad i_C = \beta i_B = \beta \frac{u_{vào}}{R_{vào}};$$

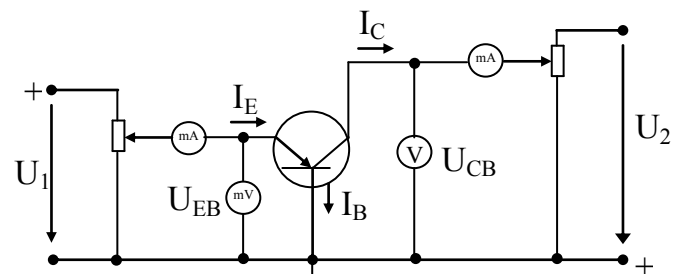
$$u_{ra} = E - i_C R_C = E - \frac{R_C}{R_{vào}} \cdot \beta \cdot u_{vào}$$

+ Vùng ③ (vùng bão hòa) : là vùng mà với mọi giá trị i_B khác nhau thì dòng i_C chỉ có một giá trị cố định (với các tham số xác định của mạch). Khi đó điện áp giữa các cực của tranzito rất nhỏ và tranzito có thể xem như quy tụ thành 1 điểm.

- Họ đặc tuyến truyền đạt biểu thị mối quan hệ $I_C = f(I_B)$ khi $U_{CE} = \text{const}$ được suy ra từ họ đặc tuyến ra.

2. Sơ đồ bazơ chung (BC)

Cực bazơ B dùng chung cho cả đầu vào và đầu ra. Tín hiệu vào đặt giữa cực E và cực B, tín hiệu ra đặt giữa cực C và cực B.



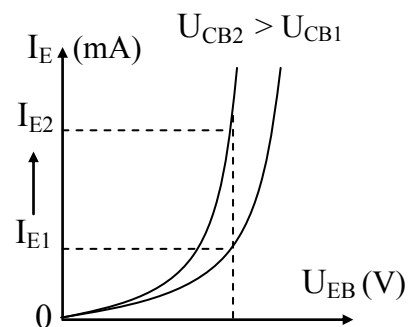
Hình a: Sơ đồ lấy đặc tuyến

2.1. Đặc tuyến vào: $I_E = f(U_{EB})$ khi $U_{CB} = \text{const}$

- Đặc tuyến vào cũng giống như đặc tuyến thuận của diốt, khi tăng U_{EB} thì dòng I_E tăng tương ứng.

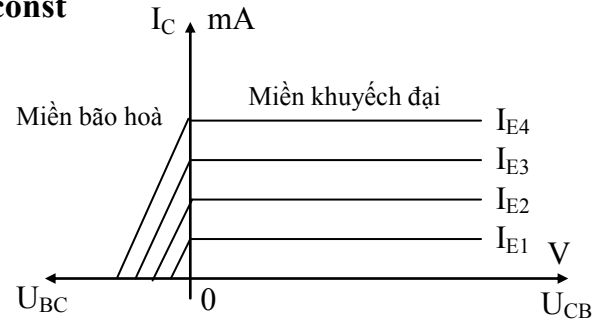
Ứng với cùng một giá trị của U_{EB} khi tăng U_{CB} thì dòng I_E tăng, vì: tăng U_{CB} làm điện áp phân cực ngược tại I_C tăng, điện trường ngược tại vùng này chính là điện trường thuận đối với

các hạt dẫn điện đa số ở miền phát làm cho các hạt dẫn điện từ miền gốc chuyển sang miền góp tăng, I_C tăng do đó I_E tăng.



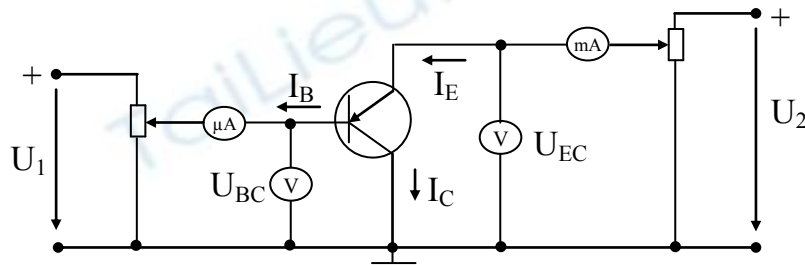
2.2. Đặc tuyến ra: $I_C = f(U_{CB})$ khi $I_E = \text{const}$

- Đặc tuyến ra là các đường thẳng gần như song song nhau. $I_C \approx I_E$ (thường $I_C \leq I_E$). Đặc tuyến ra không xuất phát từ gốc 0.

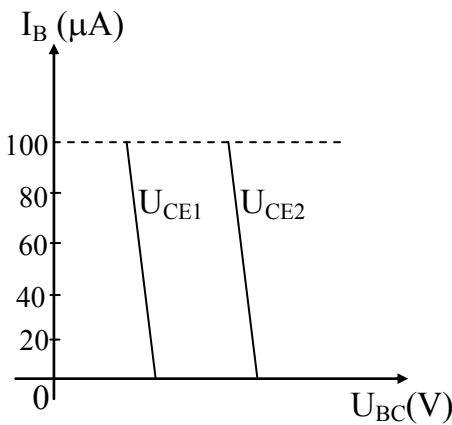


- Khi $U_{CB} = 0$ vẫn tồn tại dòng $I_C \neq 0$. Vì khi đó trên tiếp giáp J_C vẫn tồn tại một điện trường tiếp xúc hướng từ khối N sang khối P, nó đẩy các hạt dẫn điện từ miền gốc sang miền góp, do đó $I_C \neq 0$.

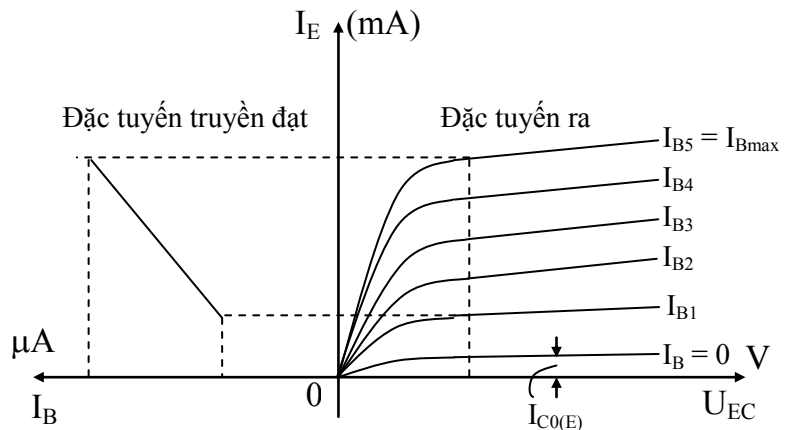
3. Sơ đồ Côlêctơ chung (CC): Cực Côlêctơ dùng chung cho cả đầu vào và đầu ra.



Hình a: Sơ đồ lấy đặc tuyến



Hình b: Đặc tuyến vào



Hình c: Đặc tuyến ra

- Họ đặc tuyến vào của sơ đồ CC có dạng khác hẳn, nó không xuất phát từ gốc 0, vì trong cách mắc này điện áp vào U_{BC} phụ thuộc rất nhiều vào điện áp ra U_{EC} . Khi U_{BC} tăng, $U_{EC} = \text{const}$, khi đó U_{EB} giảm làm giảm dòng I_B . Dòng I_B giảm về bằng 0 khi $U_{BC} = U_{EC}$, khi đó $U_{EB} = 0$.

- Họ đặc tuyến ra tương tự như họ đặc tuyến ra của sơ đồ mắc EC bởi vì coi $I_C \approx I_E$.