UBND THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG

TRƯỜNG CAO ĐẲNG CÔNG NGHIỆP HẢI PHÒNG



GIÁO TRÌNH

Môn học/Mô đun: Điện tử cơ bản

NGHỀ:ĐIỆN CÔNG NGHIỆP
TRÌNH ĐỘ CAO ĐẲNG

Hải Phòng, 2019

TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nê cá nguồn thông tin cóthể đơợc phé dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho cá mục đích về đào tạo vàtham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

LỜI GIỚI THIỆU

"Điện tử cơ bản" làmôn học bắt buộc trong các trọờng nghề. Tuỳ thuộc vào đối tượng ngọời học vàcấp bậc học màtrang bị cho học sinh, sinh viên những kiến thức cơ bản nhất.

Để thống nhất chọương trình và nội dung giảng dạy trong các nhà trọờng chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình: Điện tử cơ bản. Giáo trình được biên soạn phùhợp với cá nghề trong các trọờng đào tạo nghề phục vụ theo yêu cầu của thực tế xãhội hiện nay.

Tài liệu tham khảo để biên soạn gồm:

[1] Nguyễn Viết Nguyên, *Giáo trình linh kiện, mạch điện tử*, NXB Giáo dục 2008.

[2] Nguyễn Văn Tuân, *Sổ tay tra cứu linh kiện điện tử*,NXB Khoa học vàkỹ thuật 2004.

[3] Đỗ Xuân Thụ, *Kĩ thuật điện tử*, NXB Giáo dục 2005.

[4] Nguyễn Đình Bảo, *Điện tử căn bản 1*, NXB Khoa học vàkỹ thuật 2004.

[5] Nguyễn Đình Bảo, *Điện tử căn bản 2*, NXB Khoa học vàkỹ thuật 2004.

Tổ bộ môn

MỤC LỤC

LỜI GIỚI THIỆU 2
BÀI 1: KHÁI QUÁT CHUNG VỀ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ VÀ CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN 8
1. Khái quát chung về linh kiện điện tử 8
2. Phân loại linh kiện điện tử 9
3. Vật dẫn điện và cách điện 10
4. Các hạt mang điện và dòng điện trong các môi trọờng 11
4.1. Khái niệm hạt mang điện 11
4.2 Dòng điện trong các môi trọờng 11
BÀI 2: LINH KIỆN THỤ ĐỘNG 16
1. Điện trở 16
1.1. Định nghĩa 16
1.2. Phân loại 16
1.3. Cách mắc điện trở 18
1.4.Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng. 19
2.Tụ điện 21
2.1.Cấu tạo, phân loại 21
2.2. Cách mắc tụ điện: 22
2.3. Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng 23
3. Cuộn cảm. 24
3.1. Cấu tạo, phân loại 24
3.2.Phân loại : 25
3.3. Các tham số kỹ thuật đặc trọng của cuộn cảm 26
3.4. Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng. 27
BÀI 3: LINH KIỆN BÁN DẪN 29
1. Khái niệm chất bán dẫn 29
2. Tiếp giáp P-N 30
3. Diode bán dẫn 33
3.1. Cấu tạo, kíhiệu. 33
3.2. Đặc tuyến V-A. 33

3.3. Các tham số cơ bản của điốt: chia ra 2 nhóm 34
3.4. Phân loại..... 35
3.5. Một số loại diode điển hình vàứng dụng thực tế của chúng. 36
4. Transistor BJT 43
4.1. Cấu tạo, kíhiệu 43
4.2. Nguyên lýhoạt động 44
4.3. Các tính chất cơ bản 45
4.4. Các loại tranzito 46
5. Các cấu kiện bán dẫn khác 49
5.1. JFET 49
5.2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET) 52
5.3. SCR – Triac- Diac 58
BÀI 4: ỨNG DỤNG CỦA BJT 67
1. Phân cực BJT 67
2. Các cách mắc cơ bản của transitor 73
3. Đặc tuyến của BJT 75
4. Một số mạch ứng dụng của BJT..... 77
BÀI 5: KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN 84
1. Giới thiệu chung 84
1.1. Các khái niệm cơ bản 84
1.2. Đặc tuyến truyền đạt 85
2. Một số mạch ứng dụng của op-amp 90
2.1. Mạch khuếch đại đảo 90
2.2. Mạch khuếch đại không đảo 93
2.3. Mạch khuếch đại cộng đảo 96
2.4. Mạch khuếch đại trừ 98

ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

Vị trí, tính chất của môn học:

- Vị trí: Mô đun Điện tử cơ bản học trợớc cá môn học, mô đun nhợ: PLC cơ bản, kỹ thuật cảm biến; cóthể học song song với môn học Mạch điện.

- Tính chất: Là mô đun kỹ thuật cơ sở.

Mục tiêu môn học:

- Về kiến thức:

+ Giải thích và phân tích đợợc cấu tạo nguyê lýcá linh kiện kiện điện tử thông dụng.

+ Phân tích đợợc nguyê lýmột số mạch ứng dụng cơ bản của tranzito nhợ: mạch khuếch đại, dao động, mạch xén, mạch chỉnh lợu, mạch nguồn,...

- Về kỹ năng:

+ Nhận dạng đợợc chính xác kýhiệu của từng linh kiện, đọc chính xác trị số của chúng.

+ Xác định đợợc chính xác sơ đồ chân linh kiện, lắp ráp, cân chỉnh một số mạch ứng dụng đạt yêu cầu kỹ thuật vàan toàn.

- Về năng lực tự chủ vàtrách nhiệm :

+ Hình thành tợ duy khoa học phát triển năng lực làm việc theo nhóm.

+ Rèn luyện tính chính xác khoa học vàtác phong công nghiệp.

Nội dung môn học:

I	**Bài 1: Khái quát chung về linh kiện điện tử vàcác khái niệm cơ bản**
	1.Khái niệm chung về linh kiện điện tử
	2. Các ứng dụng cơ bản của linh kiện điện tử
	3. Vật dẫn điện vàvật cách điện
	4. Các hạt mang điện và dòng điện trong các môi trợờng
IIBài 2 : Linh kiện thụ động	
	1.Điện trở.
	1.1.Kýhiệu, phân loại, cấu tạo.
	1.2.Cách đọc, đo và cách mắc điện trở.
	1.3.Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng.
	2.Tụ điện.
	2.1.Kýhiệu, phân loại, cấu tạo.

	2.2.Cách đọc, đo và cách mắc tụ điện.
	2.3.Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng.
	3.Cuộn cảm.
	3.1.Kýhiệu, phân loại, cấu tạo.
	3.2.Cách đọc, đo và cách mắc cuộn cảm.
	3.3.Các linh kiện khác cùng nhóm vàứng dụng.
III	**Bài 3: Linh kiện bán dẫn**
	1.Khái niệm chất bán dẫn
	1.1.Chất bán dẫn thuần.
	1.2.Chất bán dẫn loại N.
	1.3.Chất bán dẫn loại P.
	2.Tiếp giáp P-N; điôt
	2.1.Tiếp giáp P-N.
	2.2.Điôt
	3.Cấu tạo, phân loại vàcá ứng dụng cơ bản của điôt.
	3.1.Điôt nắn điện.
	3.2.Điôt tách sóng.
	3.3.Điôt zener.
	3.4.Điôt phát quang.
	4.Tranzito BJT.
	4.1.Cấu tạo, kýhiệu.
	4.2.Các tính chất cơ bản.
	5.Tranzito trọờng.
	5.1.Phân loại, cấu tạo, kýhiệu.
	5.2.Các cách mắc, ứng dụng.
	6.Diac - SCR - Triac.
	6.1.Diac.
	6.2.SCR.
	6.3.Triac
IV	**Bài 4 : Ứng dụng của BJT**
	1.Phân cực cho BJT
	1.1. Dùng 2 nguồn riêng
	1.2. Dùng 1 nguồn duy nhất

	2. Các cách mắc BJT
	2.1.Mắc kiểu C-C
	2.2.Mắc kiểu C-B
	2.3.Mắc kiểu C-E
	3. Một số mạch khuếch đại ứng dụng của BJT
	3.1.Mạch khuếch đại đơn.
	3.2.Mạch ghép phức hợp
V	**Bài 5 : Khuếch đại thuật toán**
	1.Giới thiệu chung
	1.1. Các khái niệm cơ bản
	1.2. Đặc tuyến truyền đạt
	2. Một số mạch ứng dụng của op-am
	2.1.Mạch khuếch đại đảo
	2.2. Mạch khuếch đại không đảo
	2.3. Mạch khuếch đại cộng đảo
	2.4. Mạch khuếch đại trừ

BÀI 1: KHÁI QUÁT CHUNG VỀ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ VÀ CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Khái quát chung về linh kiện điện tử

* Lịch sử phát triển về linh kiện điện tử

Các cấu kiện bán dẫn nhoị diodes, transistors và mạch tích hợp (ICs) cóthể tìm thấy khắp nơi trong cuộc sống (Walkman, TV, ôtô, máy giặt, máy điều hoà, máy tính,…). Những thiết bị này có chất loịợng ngày càng cao với giáthành rẻ hơn.

Nhân tố chính đem lại sự phát triển thành công của nền công nghiệp máy tính làviệc thông qua cá kỹ thuật vàkỹ năng công nghiệp tiên tiến ngoịời ta chế tạo đoịợc cá transistor với kích thoịớc ngày càng nhỏ→ giảm giáthành vàcông suất.

Lịch sử phát triển :

- 1883 Thomas Alva Edison (“Edison Effect”)
- 1904 John Ambrose Fleming (“Fleming Diode”)
- 1906 Lee de Forest (“Triode”)Vacuum tube devices continued to evolve
- 1940 Russel Ohl (PN junction)
- 1947 Bardeen and Brattain (Transistor)
- 1952 Geoffrey W. A. Dummer (IC concept)
- 1954 First commercial silicon transistor
- 1955 First field effect transistor – FET
- 1958 Jack Kilby (Integrated circuit)
- 1959 Planar technology invented
- 1960 First MOSFET fabricated At Bell Labs by Kahng
- 1961 First commercial ICs Fairchild and Texas Instruments
- 1962 TTL invented
- 1963 First PMOS IC produced by RCA
- 1963 CMOS invented Frank Wanlass at Fairchild Semiconductor -

U. S. patent # 3,356,858

2. Phân loại linh kiện điện tử

+ Phân loại dựa trên đặc tính vật lý

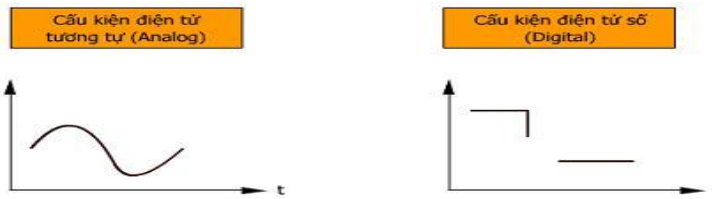
Linh kiện hoạt động trên nguyên lý điện từ vàhiệu ứng bề mặt: điện trở bán dẫn, DIOT, BJT, JFET, MOSFET, điện dung MOS… IC từ mật độ thấp đến mật độ siêu cỡ lớn UVLSI.

Linh kiện hoạt động trên nguyên lý quang điện: quang trở, Photođiot, PIN, APD, CCD, họ linh kiện phát quang LED, LASER, họ linh kiện chuyển hoá năng lợng quang điện nhợ pin mặt trời, họ linh kiện hiển thị, IC quang điện tử

Linh kiện hoạt động dựa trên nguyên lýcảm biến: họ sensor nhiệt, điện, từ, hoáhọc; họ sensor cơ, áp suất, quang bức xạ, sinh học vàcá chủng loại IC thông minh dựa trên cơ sở tổ hợp công nghệ IC truyền thống vàcông nghệ chế tạo sensor.

Linh kiện hoạt động dựa trên hiệu ứng lợng tử vàhiệu ứng mới: cá linh kiện đợc chế tạo bằng công nghệ nano cócấu trúc siêu nhỏ: Bộ nhớ một điện tử, Transistor một điện tử, giếng vàdây lợng tử, linh kiện xuyên hầm một điện tử, …

+ Phân loại dựa trên chức năng xử lýtín hiệu (hình 1)



Hình 1 : Phân loại linh kiện dựa trên chức năng xử lítín hiệu

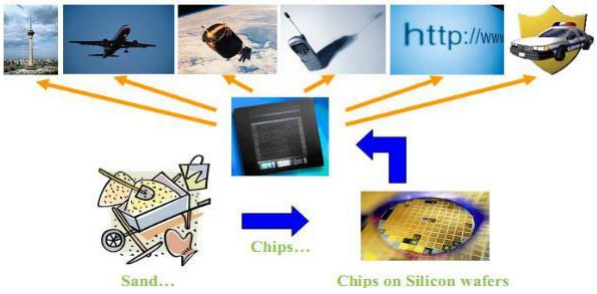
+ Phân loại theo ứng dụng

Vi mạch vàứng dụng: (hình 2;hình 3)

- Processors : CPU, DSP, Controllers
- Memory chips : RAM, ROM, EEPROM
- Analog : Thông tin di động ,xử lýaudio/video
- Programmable : PLA, FPGA



Hình 2: Ứng dụng của vi mạch



Hình 3 : Ứng dụng của linh kiện điện tử

Linh kiện thụ động: R,L,C…

Linh kiện tích cực: DIOT, BJT, JFET, MOSFET…

Vi mạch tích hợp IC: IC tợong tự, IC số, Vi xử lý…

Linh kiện chỉnh lợu có điều khiển

Linh kiện quang điện tử: Linh kiện thu quang, phát quang

3. Vật dẫn điện và cách điện

- *Chất cách điện*: Làchất dẫn điện kém, làcá vật chất có điện trở suất cao ($10^{7} \div 10^{17}\Omega$.m) ở nhiệt độ bình thợờng.

- *Chất dẫn điện*: Làvật liệu có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất của nó(khoảng 10-8 ÷10-5 Ωm) nhỏ hơn so với cá loạivật liệu khác.

- *Vật dẫn điện*: Làvật cho dòng điện đi qua

- *Vật cách điện*: Làvật không cho dòng điện đi qua

4. Các hạt mang điện và dòng điện trong các môi trường

4.1. Khái niệm hạt mang điện

Hạt mang điện làphần tử cơ bản nhỏ nhất của vật chất mà có mang điện gọi là điện tích, nói cách khác đó là các hạt cơ sở của vật chất màcótác dụng với cá lực điện trường, từ trường.

Trong kỹ thuật tuỳ vào môi trường màtồn tại cá loại hạt mang điện khác nhau, Chúng bao gồm cá loại hạt mang điện chính sau:

- e^{--} (electron) : Là các điện tích nằm ở lớp vỏ của nguyên tử cấu tạo nê vật chất, khi nằm ở lớp vỏ ngoài cùng lực liên kết giữa vỏ vàhạt nhâ yếu dễ bứt ra khỏi nguyê tử để tạo thành cá hạt mang điện ở trạng thái tự do dễ dàng di chuyển trong môi trường.

- ion^{+} : Làcá nguyê tử cấu tạo nê vật chất khi mất điện tử ở lớp ngoài cùng chúng cóxu hướng lấy thêm điện tử để trở về trạng thái trung hoàvề điện nê dễ dàng chịu tác dụng của lực điện, nếu ở trạng thái tự do thìdễ dàng di chuyển trong môi trường.

- ion^{--} : Làcá nguyê tử cấu tạo nê vật chất khi thừa điện tử ở lớp ngoài cùng chúng cóxu hướng cho bớt điện tử để trở về trạng thái trung hoàvề điện nên dễ bị tác dụng của cá lực điện, nếu ở trạng thái tự do thìchúng dễ dàng chuyển động trong môi trường.

4.2 Dòng điện trong các môi trường

Dòng điện làdòng chuyển dời có hướng của cá hạt mang điện dưới tác dụng của điện trường ngoài.

a. Dòng điện trong kim loại: Do kim loại ở thể rắn cấu trúc mạng tinh thể bền vững nên cá nguyê tử kim loại liên kết bền vững, chỉ cócá e^{-} ở trạng thái tự do. Khi có điện trừơng ngoài tác động cá e^{-} sẽ chuyển động dưới tác tác dụng của lực điện trường để tạo thành dòng điện.

Vậy: Dòng điện trong kim loại làdòng chuyển động có hướng của các e^{-} dưới tác dụng của điện trường ngoài.

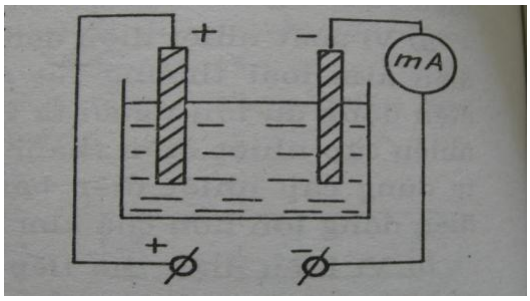
Trong kĩ thuật điện ngườời ta qui ước chiều của dòng điện làchiều chuyển động của cá hạt mang điện dương nên dòng điện trong kim loại thực tế ngược với chiều của dòng điện qui ước.

b. Dòng điện trong chất điện phân

Chất điện phân làchất ở dạng dung dịch có khả năng dẫn điện được gọi làchất điện phân. Trong thực tế chất điện phân thường làcá dung dịch muối, axit, bazơ.

Khi ở dạng dung dịch (hoàtan vào nơ|ớc) chúng dễ dàng tách ra thành cá ion trái dấu. Vi dụ: Phân tử NaCl khi hoà tan trong nơ|ớc chúng tách ra thành Na^+ vàCl^- riêng rẽ. Quátrình này gọi làsự phân li của phân tử hoàtan trong dung dịch.

Khi không có điện trơ|ờng ngoài cá ion chuyển động hỗn loạn trong dung dịch gọi làchuyển động nhiệt tự do. Khi có điện trơ|ờng một chiều ngoài bằng cách cho hai điện cực vào trong bình điện phân cá ion chịu tác dụng của lực điện chuyển động có hơ|ớng tạo thành dòng điện hình thành nê dòng điện trong chất điện phân. Sơ đồ môtả hoạt động đơ|ợc trình bày ở (hình 1-2)



Hình 1-2. Dòng điện trong chất điện phân

Các ion$^+$ chuyển động cùng chiều điện trơ|ờng để về cực âm, cá ion$^-$ chuyển động ngơ|ợc chiều điện trơ|òng về cực dơ|ơng và bám vào bản cực. Lợi dụng tính chất này của chất điện phân màtrong thực tế ngơ|ời ta dùng để mạ kim loại, đúc kim loại.

Vậy: Dòng điện trong chất điện phân làdòng chuyển dời có hướng của các ion dương và âm dưới tác dụng của điện trường ngoài.

c. Dòng điện trong chất khí

Chất khílàhỗn hợp nhiều loại nguyên tử hay phân tử khíkết hợp tồn tại trong môi trơ|ờng,ở trạng thái bình thơ|ờng cá nguyê tử, phân tử trung hoàvề điện. Vìvậy chất khí là điện môi.

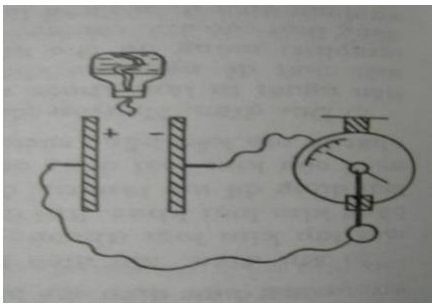
Để chất khítrở thành cá hạt mang điện ngơ|ời ta dùng nguồn năng lơ|ợng từ bên ngoài tác động lên chất khí nhơ| đốt nóng hoặc bức xạ bằng tia tử ngoại hoặc tia Rơn ghen . Một số nguyên tử hoặc phân tử khímất điện tử ở lớp ngoài trở thành điện tử tự do vàcá nguyê tử hoặc phân tử mất điện tử trở thành cá ion$^+$, đồng thời các điện tử tự do cóthể liên kết với cá nguyê tử hoặc phân tử trung hoà để trở thành cá ion$^-$. Nhơ| vậy lúc này trong môi trơ|ờng khísẽ tồn tại cá thành phần nguyê tử hoặc phân tử khítrung hoàvề điện, ion$^+$, ion$^-$. Lúc này chất khí đơ|ợc gọi đã bị ion hoá.

Khi không có điện trơ|ờng ngoài cá hạt mang điện chuyển động tự do hỗn loạn gọi làchuyển động nhiệt không xuất hiện dòng điện.

Khi có điện trợờng ngoài đủ lớn các ion và điện tử tự do chịu tác dụng của điện trợờng ngoài tạo thành dòng điện gọi làsự phóng điện trong chất khí.

(hình 1-3)

Vậy: Dòng điện trong chất khílàdòng chuyển dời có hướng của các ion dương, âm và các điện tử tự do, dưới tác dụng của điện trường ngoài.



Hình 1-3. Sơ đồ môtả thínghiệm dòng điện trong chất khí.

Ở áp suất thấp chất khídễ bị ion hoá để tạo thành dòng điện gọi là dòng điện trong khíkém. Trong kĩ thuật ứng dụng tính chất dẫn điện trong khí kém mà ngợời ta chế tạo nên đèn neon và một sóloại đèn khác, đặc biệt trong kĩ thuật điện tử ngợời ta chế tạo ra các đèn chống đại cao áp ở cá nơi có điện áp cao gọi là(spac).

d. Dòng điện trong chân không

Chân không là môi trợờng hoàn toàn không cónguyên tử khíhoặc phân tử khí có nghĩa áp suất không khí trong môi trợờng = 0 at (at : atmôt phe là đơn vị đo lợờng của áp suất). Trong thực tế không thể tạo ra đợợc môi trợờng chân không lí tợởng. Môi trợờng chân không thực tế cóáp suất khoảng 0,001 at, lúc này số lợợng nguyên tử, phân tử khí trong môi trợờng còn rất ít cóthể chuyển động tự do trong môi trợờng màkhông sảy ra sự va chạm lẫn nhau. Để tạo ra đợợc môI trợờng này trong thực tế ngợời ta hút chân không của một bình kín nào đó, bên trong đặt sẵn hai bản cực gọi là Anod vàkatot.

Khi đặt một điện áp bất kìvào hai cực thìkhông có dòng điện đi qua vì môi trợờng chân không là môi trợờng cách điện lí tợởng.

Khi sợởi nóng catô bằng một nguồn điện bên ngoài thìtrên bề mặt catô xuất hiện cá e¯ bức xạ từ catô.

Khi đặt một điện áp một chiều (DC) tơƖơng đối lớn khoảng vài trăm votl vào hai cực của bình chân không. Với điện áp âm đặt vào Anod và điện áp DơƖơng đặt vào catô thìkhông xuất hiện dòng điện.

Khi đổi chiều đặt điện áp; DơƖơng đặt vào Anod và Âm đặt vào catô thìxuất hiện dòn điện đi qua môi trơƖờng chân không trong bình. Ta nói đã có dòng điện trong môi trơƖờng chân không đó là cá e^- bức xạ từ catô di chuyển ngơƖợc chiều điện trơƖờng về Anod.

Vậy: Dòng điện trong môI trường chân không làdòng chuyển dời có hường của các e^- dưới tác dụng của điện trường ngoài.

Trong kĩ thuật, dòng điện trong chân không đơƖợc ứng dụng để chế tạo ra các đèn điện tử chân không, hiện nay với sự xuất hiện cả linh kiện bán dẫn đèn điện tử chân không trở nê lạc hậu do cồng kềnh dễ vỡ khi rung sóc va đập, tổn hao công suất lớn, điện áp làm việc cao. Tuy nhiê trong một số mạch điện cócông suất cực lớn, tổng trở làm việc cao,hay cần đơƖợc phát sáng trong qua trình làm việc thìvẫ phải dùng đèn điện tử chân không. NhơƖ đèn hinh, đèn công suất.

e. Dòng điện trong chất bán dẫn

Chất bán dẫn làchất nằm giữa chất cách điện vàchất dẫn điện, cấu trúc nguyên tử cóbốn điện tử ở lớp ngoài cùng nên dễ liên kết với nhau tạo thành cấu trúc bền vững. Đồng thời cũng dễ phávỡ dơƖới tác dụng nhiệt để tạo thành cá hạt mang điện.

Khi bị phávỡ cá mối liên kết, chúng trở thành cá hạt mang điện dơƖơng do thiếu điện tử ở lớp ngoài cùng gọi làlỗ trống. Các điện tử ở lớp vỏ dễ dàng bứt khỏi nguyên tử để trở thành các điện tử tự do.

Khi đặt điện trơƖờng ngoài lên chất bán dẫn cá e^- chuyển động ngơƖợc chiều điện trơƖờng, Các lỗ trống chuyển động cùng chiều điện trơƖờng để tạo thành dòng điện trong chất bán dẫn.

Vậy: Dòng điện trong chất bán dẫn làdòng chuyển dời có hường của các e^- vàcác lỗ trống dưới tác dụng của điện trường ngoài.

Chất bán dẫn đơƖợc trình bày ở trên đơƖợc gọi làchất bán dẫn thuần không đơƖợc ứng dụng trong kĩ thuật vìphải có các điều kiện kèm theo nhơƖ nhiệt độ điện áp... khi chế tạo linh kiện. Trong thực tế để chế tạo linh kiện bán dẫn ngơƖời ta dùng chất bán dẫn pha thêm cá chất khác gọi làtạp chất để tạo thành chất bán dẫn loại P vàloại N

Chất bán dẫn loại P làchất bán dẫn mà dòng điện chủ yếu trong chất bán dẫn làcá lỗ trống nhờ chúng đơƖợc pha thêm vào cá chất có3 e^- ở lớp ngoài cùng nên chúng thiếu điện tử trong mối liên kết hoátrị tạo thành lỗ trống trong cấu trúc tinh thể.

Chất bán dẫn loại N làchất bán dẫn mà dòng điện chủ yếu làcá e^- nhờ đợợc pha thêm cá tạp chất có5 e^- ở lớp ngoài cùng nê chúng thừa điện tử trong mối liên kết hoátrị trong cấu trúc tinh thể để tạo thành chất bán dẫn loại N có dòng điện đi qua là các e^- .

Linh kiện bán dẫn trong kĩ thuật đợợc cấu tạo từ cá mối liên kết P, N nhợ Diót, tran zitor… đợợc gọi làcá linh kiện đơn hay linh kiện rời rạc, cá linh kiện bán dẫn đợợc chế tạo kết hợp với nhau vàvới cá linh kiện khác để thực hiện hoàn chỉnh một chức năng nào đó và đợợc đóng kín thành một khối đợợc gọi làmạch tổ hợp (IC: Integrated Circuits). Các IC đợợc sử dụng trong cá mạch tín hiệu biến đổi liên tục gọi là IC tợơng tự, cá IC sử dụng trong cá mạch điện tử số đợợc gọi làIC số. Trong kĩ thuật hiện nay ngoài cách phân chia IC tợơng tự vàIC số ngợời ta còn phân chia IC theo hai nhóm chính làIC hàn xuyên lỗ vàIC hàn bề mặt SMD: Surface Mount Device, Chúng khác nhau về kích thợớc vànhiệt độ chịu đựng trên linh kiện. Xu hợớng phát triển của kỹ thuật điện tử làkhông ngừng chế tạo ra cá linh kiện mới, mạch điện mới trong đó chủ yếu làcông nghệ chế tạo linh kiện mànền tảng làcông nghệ bán dẫn.

BÀI 2: LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

1. Điện trở

1.1. Định nghĩa

Định nghĩa: Điện trở làlinh kiện cóchức năng ngăn cản dòng điện trong mạch. Chúng cótác dụng nhoị nhau trong cả mạch điện một chiều lẫn xoay chiều vàchế độ làm việc của điện trở không bị ảnh hoởng bởi tần số của nguồn xoay chiều.

Kíhiệu :



Hình 2-1. Kíhiệu điện trở.

Đơn vị : Ohm (Ω) ,K Ω ,M Ω

1M Ω =10^3K Ω =10^6 Ω

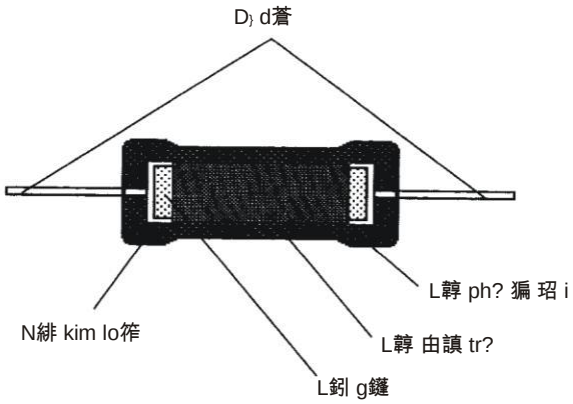
1.2. Phân loại

Điện trở cóthể phân loại dựa vào cấu tạo hay dựa vào mục đích sử dụng mànócónhiều loại khác nhau.

Tuỳ theo kết cấu của điện trở mà ngoời ta phân loại:

Điện trở than (carbon resistor)

Ngoời ta trộn bột than vàbột đất sét theo một tỉ lệ nhất định để cho ra những trị số khác nhau. Sau đó, ngoời ta ép lại vàcho vào một ống bằng Bakelite. Kim loại ép sát ở hai đầu vàhai dây ra đoợc hàn vào kim loại, bọc kim loại bên ngoài để giữ cấu trúc bên trong đồng thời chống cọ xát và ẩm. Ngoài cùng ngoời ta sơn các vòng màu để cho biết trị số điện trở. Loại điện trở này dễ chế tạo, độ tin cậy khátốt nê nórẻ tiền vàrất thông dụng. Điện trở than cótrị số từ vài Ω đến vài chục MΩ. Công suất danh định từ 0,125 W đến vài W.(hình 2-2)



Hình 2-2: Mặt cắt của điện trở màng cacbon

Điện trở màng kim loại (metal film resistor)

Loại điện trở này đoịợc chế tạo theo qui trình kết lắng màng Ni – Cr trên thân gốm cóxẻ rãnh xoắn, sau đó phủ bởi một lớp sơn. Điện trở màng kim loại cótrị số điện trở ổn định, khoảng điện trở từ 10 Ω đến 5 MΩ. Loại này thoịờng dùng trong cá mạch dao động vì nó có độ chính xác vàtuổi thọ cao, ít phụ thuộc vào nhiệt độ. Tuy nhiên, trong một số ứng dụng không thể xử lícông suất lớn vì nócócông suất danh định từ 0,05 W đến 0,5 W. Ngoịời ta chế tạo loại điện trở cókhoảng công suất danh định lớn từ 7 W đến 1000 W với khoảng điện trở từ 20 Ω đến 2 MΩ. Nhóm này còn có tên khác là điện trở công suất.

Điện trở oxit kim loại (metal oxide resistor)

Điện trở này chế tạo theo qui trình kết lắng lớp oxit thiếc trên thanh SiO2. Loại này có độ ổn định nhiệt cao, chống ẩm tốt, công suất danh định từ 0,25 W đến 2 W.

Điện trở dây quấn (wire wound resistor)

Làm bằng hợp kim Ni – Cr quấn trên một lõi cách điện sành, sứ. Bên ngoài đoịợc phủ bởi lớp nhựa cứng vàmột lớp sơn cách điện. Để giảm tối thiểu hệ số tự cảm L của dây quấn, ngoịời ta quấn ½ số vòng theo chiều thuận và½ số vòng theo chiều nghịch.

Điện trở chính xác dùng dây quấn cótrị số từ 0,1 Ω đến 1,2 MΩ, công suất danh định thấp từ 0,125 W đến 0,75 W. Điện trở dây quấn cócông suất danh định cao còn đoịợc gọi điện trở công suất. Loại này gồm hai dạng:

- Ống cótrị số 0,1 Ω đến 180 kΩ, công suất danh định từ 1 W đến 210 W.

- Khung cótrị số 1 Ω đến 38 kΩ, công suất danh định từ 5 W đến 30 W.

Điện trở ôxýt kim loại:

Điện trở ôxýt kim loại đợợc chế tạo bằng cách kết lắng màng ôxýt thiếc trên thanh thuỷ tinh đặc biệt. Loại điện trở này có độ ẩm rất cao, không bị hợ hỏng do quá nóng và cũng không bị ảnh hợởng do ẩm ợớt. Công suất danh định thợờng là1/2W với dung sai ± 2%.

Ngoài cách phân loại nhợ trên, trong thiết kế, tuỳ theo cách kíhiệu, kích thợớc của điện trở, ngợời ta còn phân loại theo cấp chính xác nhợ: điện trở thợờng, điện trở chính xác; hoặc theo công suất: công suất nhỏ, công suất lớn.

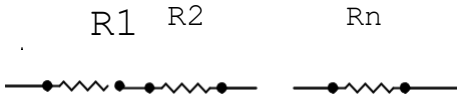
1.3. Cách mắc điện trở

Trong mạch điện tuỳ theo nhu cầu thiết kế mà ngợời ta sử dụng điện trở cógiátrị khác nhau, tuy nhiê trong sản xuất ngợời ta không thể chế tạo mọi giátrị của điện trở đợợc màchỉ sản xuất một số điện trở tiêu biểu đặc trợng ,nên trong sử dụng nhàthiết kế phải sử dụng một trong hai phợơng án sau:

*Một là*phải tính toán mạch điện sao cho phùhợp với các điện trở cósẵn trên thị trợờng.

*Hai là*tính toán mắc các điện trở sao cho phùhợp với mạch điện.

Điện trở mắc nối tiếp: Cách này dùng để tăng trị số của điện trở trên mạch điện.

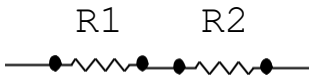


Theo công thức:

$$Rtđ = R_1 + R_2 + .. + R_n \quad (2\text{-}1)$$

Rtd: Điện trở tương đương của mạch điện

Vídụ: Cho mạch điện nhợ hình vẽ. Với R1 = 2,2KΩ, R2 = 4,7KΩ. Tính điện trở tợơng đợơng của mạch điện



Giải: Từ công thức (2.1) ta có$R_{tđ}$ = 2,2 + 4,7 = 6,9KΩ

Trong thực tế, ngợời ta chỉ mắc nối tiếp từ 02 đến 03 điện trở để tránh rợờm ràcho mạch điện.

Điện trở mắc song song: Cách này dùng để giảm trị số điện trở trên mạch điện.

1.4.Các linh kiện khác cùng nhóm và ứng dụng.

1.4.1.Các linh kiện cùng nhóm :

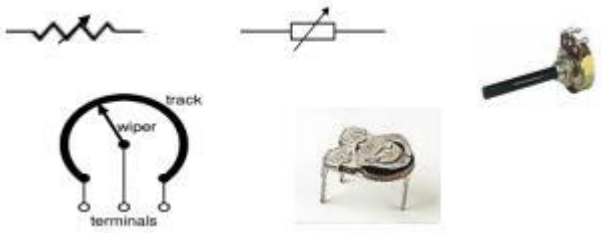
Biến trở : dùng để thay đổi giátrị của điện trở, qua đó thay đổi đoợc sự cản trở điện trên mạch điện.

Biến trở dây quấn: dùng dây dẫn có điện trở suất cao, đoờng kính nhỏ, quấn trên lõi cách điện bằng sứ hay nhựa tổng hợp hình vòng cung 270^0. Hai đầu hàn hai cực dẫn điện A, B. Tất cả đoợc đặt trong một vỏ bọc kim loại cónắp đậy. Trục trên vòng cung cóquấn dây làmột con chạy cótrục điều khiển đoạ ra ngoài nắp hộp. Con chạy đoợc hàn với cực dẫn điện C.

Biến trở dây quấn thoờng cótrị số nhỏ từ vài Ω đến vài chục Ω. Công suất khálớn, cóthể tới vài chục W.

Biến trở than: ngoời ta tráng một lớp than mỏng lên hình vòng cung bằng bakelit. Hai đầu lớp than nối với cực dẫn điện A vàB. Ở giữa làcực C của biến trở vàchính làcon chạy bằng kim loại tiếp xúc với lớp than. Trục xoay đoợc gắn liền với con chạy, khi xoay trục (chỉnh biến trở) con chạy di động trên lớp than làm cho trị số biến trở thay đổi. Biến trở than còn chia làm hai loại: biến trở tuyến tính, biến trở phi tuyến.

Biến trở than cótrị số từ vài trăm Ω đến vài MΩ nhoợng có công suất nhỏ.(hình 2-5)



Hình 2-5. Hình dạng và kíhiệu của biến trở.

Ngoài cách chia thông thoờng trên trong kỹ thuật ngoời ta còn căn cứ vào tính chất của biến trở màcóthể chia thành biến trở tuyến tính, biến trở logarit. Hay dựa vào công suất màphân loại thành biến trở giảm áp hay biến trở phân cực. Trong thực tế cần chú ý đến các cách chia khác nhau để tránh lúng túng trong thực tế khi gọi tên trên thị troờng.

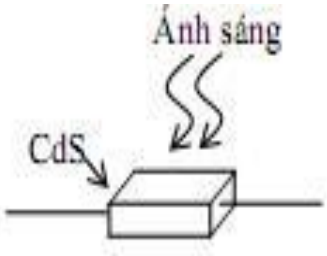
Nhiệt điện trở : làloại điện trở màtrị số của nó thay đổi theo nhiệt độ (thermistor).

Nhiệt trở doơng (PTC = Positive Temperature Coefficient) là loại nhiệt trở có hệ số nhiệt doơng.

Nhiệt trở âm (NTC = Negative Temperature Coefficient) làloại nhiệt trở cóhệ số nhiệt âm.

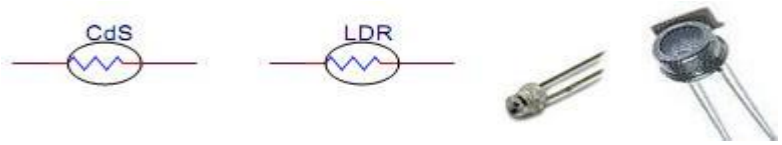
VDR (Voltage Dependent Resistor): làloại điện trở màtrị số của nóphụ thuộc điện áp đặt vào nó. Thoqờng thìVDR cótrị số điện trở giảm khi điện áp tăng.

*Điện trở quang (photoresistor):*làmột linh kiện bán dẫn thụ động không cómối nối P – N. Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang làCdS (Cadmium Sulfid), CdSe (Cadmium Selenid), ZnS (sắt Sulfid) hoặc cá tinh thể hỗn hợp khác.(hình 2-6)



Hình 2- 6. Cấu tạo của điện trở quang.

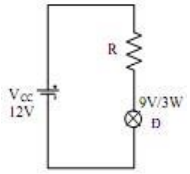
Điện trở quang còn gọi là điện trở tùy thuộc ánh sáng (LDR ≡ Light Dependent Resistor) cótrị số điện trở thay đổi tùy thuộc coqờng độ ánh sáng chiếu vào nó.(hình 2-7)



Hình 2-7. Hình dạng và kíhiệu của điện trở quang.

1.4.2.Ứng dụng : Điện trở cónhiều ứng dụng trong lĩnh vực điện và điện tử:

- Tỏa nhiệt: bếp điện, bàn ủi.
- Thắp sáng: bóng đèn dây tóc.
- Bộ cảm biến nhiệt, cảm biến quang.
- Hạn dòng, chia dòng.
- Giảm áp, chia áp,….

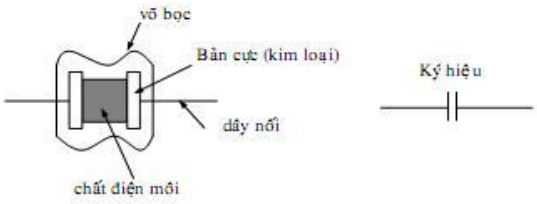


Hình 2-8. Mạch dùng R hạn dòng, giảm áp

2.Tụ điện

2.1.Cấu tạo, phân loại

2.1.1. Cấu tạo: Tụ điện là1 linh kiện cótính tích trữ năng lợợng điện. Tụ điện đợợc cấu tạo gồm hai bản cực phẳng bằng chất dẫn điện (kim loại) đặt song song với nhau. Ơ giữa làchất điện môi cách điện. .(hình 2-11)



Hình 2-11. Cấu tạo vàkýhiệu của tụ điện

2.1.2. Phân loại: Tùy theo chất điện môi mà ngợời ta phân loại tụ và đặt tên cho tụ nhợ sau:

Tụ hóa : Làloại tụ cóphân cực tính dợơng và âm. Tụ hoácóbản cực lànhững lá nhôm, điện môi làlớp oxýt nhôm rất mỏng đợợc tạo bằng phợơng pháp điện phân. Điện dung của tụ hóa khá lớn.

Khi sử dụng phải ráp đúng cực tính dợơng và âm, điện thế làm việc thợờng nhỏ hơn 500V.

Tụ hóa tantalum (Ta): làtụ cóphân cực tính, cócấu tạo tợơng tự tụ hóa nhợng dùng tantalum thay vìdùng nhôm. Tụ Tantalum có kích thợớc nhỏ nhợng điện dung lớn. Điện thế làm việc chỉ vài chục volt.

Tụ giấy: làloại tụ không phân cực tính. Tụ giấy cóhai bản cực lànhững lánhôm hoặc thiếc, ở giữa cólớp cách điện làgiấy tẩm dầu vàcuộn lại thành ống.

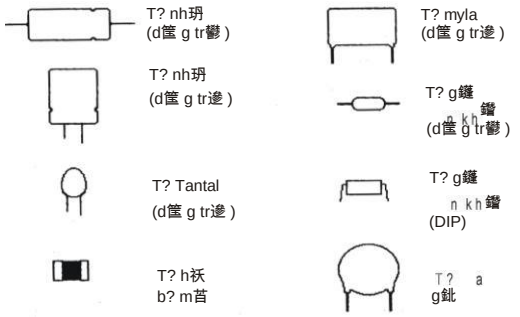
Tụ màng: là tụ không phân cực tính.Tụ màng có chất điện môi là màng chất dẻo nhợ: polypropylene, polystyrene, polycarbonate, polyethelene. Có hai loại tụ màng chính: loại foil và loại đợợc kim loại hóa. Loại foil dùng cá miếng kim loại nhôm hay thiếc để tạo cá bản cực dẫn điện. Loại đợợc kim loại hóa đợợc chế tạo bằng cách phun màng mỏng kim loại nhợ nhôm hay kẽm trên màng chất dẻo, kim loại đợợc phun lên đóng vai trò bản cực. Với cùng giátrị điện dung và định mức điện áp đánh thủng thìụ loại kim loại hóa có kích thợớc nhỏ hơn loại foil. Ưu điểm thứ hai của loại kim loại hóa lànótự phục hồi đợợc. Điều này có nghĩa là nếu điện môi bị đánh thủng do quá điện áp đánh thủng thìụ không bị hợ luôn mà nó tự phục hồi lại. Tụ foil không có tính năng này.

Tụ gốm (ceramic): làloại tụ không phân cực tính. Tụ gốm đợợc chế tạo gồm chất điện môi là gốm, tráng trên bề mặt nólớp bạc để làm bản cực.

Tụ mica: làloại tụ không phân cực tính. Tụ mica đoợc chế tạo gồm nhiều miếng mica mỏng, tráng bạc, đặt chồng lên nhau hoặc miếng mica mỏng đoợc xép xen kẻ với cá miếng thiếc. Các miếng thiếc lẻ nối với nhau tạo thành một bản cực, Các miếng thiếc chẵn nối với nhau tạo thành một bản cực. Sau đó bao phủ bởi lớp chống ẩm bằng sáp hoặc nhựa cứng. Thoợng tụ mica códạng hình khối chữ nhật.

Ngoài ra, còn cótụ dán bề mặt đoợc chế tạo bằng cách đặt vật liệu điện môi gốm giữa hai màng dẫn điện (kim loại), kích thoớc của nórất nhỏ. Mạng tụ điện (thanh tụ điện) làdạng tụ đoợc nhàsản xuất tích hợp nhiều tụ điện ở bên trong một thanh (vỏ) để tiết kiệm diện tích. Ngoời ta kí hiệu chân chung vàgiátrị của cá tụ

.(hình 2-12)

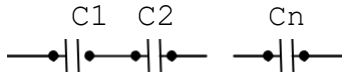


Hình 2-12 . Các dạng tụ điện thông dụng

2.2. Cách mắc tụ điện:

Trong thực tế cách mắc tụ điện thoợng ít khi đoợc sử dụng, do công dụng của chúng trên mạch điện thông thoờng dùng để lọc hoặc liên lạc tín hiệu nê sai số cho phé lớn. Do đó ngoời ta cóthể lấy gần đúng mà không ảnh hoởng gì đến mạch điện. Trong các troờng hợp đòi hỏi độ chính xác cao nhoị các mạch dao động, cá mạch điều chỉnh...ngoời ta mới sử dụng cách mắc theo yêu cầu cho chính xác.

Mạch mắc nối tiếp: (hình:2-13)



Công thức tính: $\frac{1}{Ctd} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{Cn}$

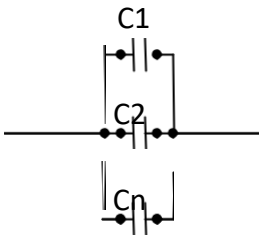
Ctd: Điện dung tơƖơng đơƖơng của mạch điện

Cũng giống nhơƖ điện trở giátrị của tụ điện đơƖợc sản xuất theo bảng 2-1. Trong mạch mắc song song điện dung tơƖơng đơƖơng của mạch điện luôn nhỏ hơn hoặc bằng điện dung nhỏ nhất mắc trên mạch

Vídụ: Cho tụ hai tụ điện mắc nối tiếp với C1= 1mF, C2= 2,2mF tính điện trở tơƖơng đơƖơng của mạch điện.

Giải: Từ công thức tính ta có: Ctd = $\frac{C1 \times C2}{C1 + C2} = \frac{1 \times 2,2}{1 + 2,2} = 0,6875mF$

Mạch mắc song song: (hình 2-14)



Công thức tính: *Ctd = C1+ C2 +...+ Cn*

Ctd: Điện dung tơƖơng đơƖơng của mạch điện.

Vídụ: Tính điện dung tơƖơng đơƖơng của hai tụ điện mắc nối tiếp, Với C1= 3,3mf; C2=4,7mF.

Giải: Từ công thức ta có: Ctd = C1+ C2 = 3,3 + 4,7 = 8mF

2.3. Các linh kiện khác cùng nhóm và ứng dụng

2.3.1.Các linh kiện cùng nhóm *(Tụ điện cótrị số điện dung thay đổi)*

- *Tụ biến đổi:*

Gồm cá lánhôm hoặc đồng xếp xen kẽ với nhau, một số lá thay đổi vị trí đơƖợc. Tấm tĩnh (mácố định) không gắn với trục xoay. Tấm động gắn với trục xoay vàtuỳ theo góc xoay màphần diện tích đối ứng giữa hai lánhiều hay ít.

Phần diện tích đối ứng lớn thì điện dung của tụ lớn, ngơƖợc lại, phần diện tích đối ứng nhỏ thì trị số điện dung của tụ nhỏ. Không khígiữa hai lá nhôm đơƖợc dùng làm chất điện môi. Tụ loại biến đổi còn đơƖợc gọi làtụ không khíhay tụ xoay. Tụ biến đổi thơƖờng gồm nhiều lá động nối song song với nhau, đặt xen kẽ giữa những lá tĩnh cũng nối song song với nhau. Những lá tĩnh đơƖợc cách điện

với thân tụ, còn lá động đợợc gắn vào trục xoay vàtiếp xúc với thân tụ. Khi trục tụ đợợc xoay thìtrị số điện dung của tụ cũng đợợc thay đổi theo. Ngợời ta bố tríhình dáng những lácủa tụ để đạt đợợc sự thay đổi điện dung của tụ theo yêu cầu. Khi vặn tụ xoay để cho lá động hoàn toàn nằm trong khe các lá tĩnh, nhằm có đợợc diện tích đối ứng làlớn nhất, thìụ có điện dung lớn nhất. Khi vặn tụ xoay sao cho lá động hoàn toàn nằm ngoài khe các lá tĩnh, nhằm códiện tích đối ứng xấp xỉ bằng không, thì lúc đó, tụ điện có điện dung nhỏ nhất, gọi là điện dung sót.

Tụ xoay thợờng dùng trong máy thu thanh hoặc máy tạo dao động để đạt đợợc tần số cộng hợởng.(hình 2-15)



Hình 2-15. Hình dạng của tụ biến đổi

- *Tụ tinh chỉnh hay làtụ bán chuẩn:* thợờng dùng để chỉnh điện dung của tụ điện, nhằm đạt đợợc tần số cộng hợởng của mạch. Những tụ này thợờng cótrị số nhỏ vàphạm vi biến đổi hẹp. Ngợời ta chỉ tác động tới tụ tinh chỉnh khi lấy chuẩn, sau đó thì cố định vị trícủa tụ.

2.3.2.Ứng dụng :

Tụ thợờng đợợc dùng làm tụ lọc trong cá mạch lọc nguồn, lọc chặn tần số hay cho qua tần số nào đó. Tụ cómặt trong mạch lọc thụ động, mạch lọc tích cực,….Tụ liên lạc để nối giữa cá tầng khuếch đại. Tụ kết hợp với một số linh kiện khác để tao những mạch dao động,…

Ngày nay còn cótụ nano để tăng dung lợợng bộ nhớ nhằm đáp ứng nhu cầu càng cao của con ngợời.

3. Cuộn cảm.

3.1. Cấu tạo, phân loại

* Cấu tạo: Cuộn cảm gồm những vòng dây cuốn trên một lõi cách điện. Cókhi quấn cuộn cảm bằng dây cứng vàít vòng, lúc đó cuộn cảm không cần lõi. Tùy theo tần số sử dụng màcuộn cảm gồm nhiều vòng dây hay ít, cólõi hay không cólõi.

* Kíhiệu : Tùy theo loại lõi, cuộn cảm cócá kíhiệu khác nhau.(hình 2-16)



Hình 2-16. Kíhiệu của cuộn cảm.

Ngoài cách kíhiệu nhoị trên cuộn cảm cóthể đoịợc kítự nhoị T hay L

Cuộn cảm cótác dụng ngăn cản dòng điện xoay chiều trên mạch điện, đối với dòng điện một chiều cuộn cảm đóng vai trò nhoị một dây dẫn điện.

3.2.Phân loại :

Cónhiều cách phân loại cuộn cảm:

Phân loại theo kết cấu: Cuộn cảm 1 lớp, cuộn cảm nhiều lớp, cuộn cảm cólõi không khí, cuộn cảm cólõi sắt bụi, cuộn cảm cólõi sắt lá…

Phân loại theo tần số làm việc: Cuộn cảm âm tần, cuộn cảm cao tần..

- *Cuộn cảm 1 lớp lõi không khí*: Gồm một số vòng dây quấn vòng nọ sát vòng kia hoặc cách nhau vài lần đoịờng kính sợi dây. Dây cóthể cuốn trên khung đỡ bằng vật liệu cách điện cao tần hay nếu cuộn cảm đủ cứng thìcóthể không cần khung đỡ màchỉ cần hai nẹp giữ hai bên.

- *Cuộn cảm nhiều lớp lõi không khí:* Khi trị số cuộn cảm lớn, cần cósố vòng

dây nhiều, nếu quấn 1 lớp thìchiều dài cuộn cảm quálớn và điện dung kýsinh quánhiều. Để kích thoịớc hợp lývàgiảm đoịợc điện dung ký sinh, ngoịời ta quấn cá vòng của cuộn cảm thành nhiều lớp chồng lên nhau theo kiểu tổ ong.

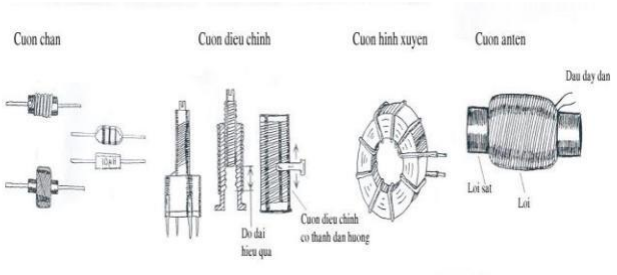
- *Cuộn cảm cólõi bột sắt từ*: Để rút ngắn kích thoịớc của 2 loại trên bằng cách

lồng vào giữa nómột lõi ferit. Thân lõi có răng xoắn ốc. Hai đầu có khía 2 rãnh. Ngoịời ta dùng 1 cái quay vít nhựa để điều chỉnh lõi lên xuống trong lòng cuộn cảm để tăng hay giảm trị số tự cảm của cuộn cảm.

- *Cuộn cảm nhiều đoạn* hay cuộn cảm ngăn cao tần làcuộn cảm nhiều lớp nhoịng quấn lại nhiều đoạn trên 1 lõi cách điện, đoạn nọ cách đoạn kia vài mm.

- *Cuộn cảm âm tần*: Các vòng cảm đoịợc quấn thành từng lớp đều đặn, vòng nọ

sát vòng kia, lớp nọ sát lớp kia bằng một lọợt giấy bóng cách điện, khung đỡ của cuộn dây làm bằng bìa pretxpan. Lõi từ làcá láthép Si mỏng cắt thành chữ E vàI. Mỗi chữ E vàI xếp lại thành một mạch từ khép kín. (hình 2-17)



Hình 2-17. Hình dạng cá loại cuộn cảm

3.3. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của cuộn cảm

- Hệ số tự cảm (L) : là đại lọợng đặc trọợng cho khả năng tích trữ năng lọợng từ trọờng của cuộn cảm.

Đơn vị đo: Henri (H), mH , μH .

$$1H = 10^3\ mH = 10^6\ \mu H$$

- Dung sai của độ tự cảm: làtham số chỉ độ chính xác của độ tự cảm thực tế so với trị số danh định của nó.

$$\frac{L_{t.t} - L_{d.d}}{L_{d.d}} .100\%$$

- Hệ số phẩm chất của cuộn cảm(Q) : dùng để đánh giá chất lọợng của cuộn cảm. Cuộn cảm tổn hao nhỏ dùng sơ đồ toợng đoợng nối tiếp, cuộn cảm tổn hao lớn dùng sơ đồ toợng đoợng song song.

- Tần số làm việc giới hạn($f_{g.h}$) : Khi tần số làm việc nhỏ, bỏ qua điện dung phân tán giữa cá vòng dây của cuộn cảm, nhoợng khi làm việc ở tần số cao điện dung này là đáng kể. Do đó ở tần số đủ cao cuộn cảm trở thành một mạch cộng hoởng song song. Tần số cộng hoởng của mạch cộng hoởng song song này gọi làtần số cộng hoởng riêng của cuộn dây f_0.Nếu cuộn dây làm việc ở tần số > tần số cộng hoởng riêng này thìcuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hoởng riêng của nó.

3.4. Các linh kiện khác cùng nhóm và ứng dụng.

Cuộn cảm đoợc ứng dụng làm micro điện động, loa điện động, rờle, biến áp, cuộn dây trong đầu đọc đĩa,….Trong mạch điện tử, cuộn cảm cóthể ở mạch lọc nguồn, mạch lọc tần số, mạch dao động cộng hoởng, mạch tạo (chỉnh sửa) dạng sóng, dạng xung,…

Loa (Speaker) : Loa làmột ứn g dụng của cuộn dây vàtừ troờng.(hình 2-18)

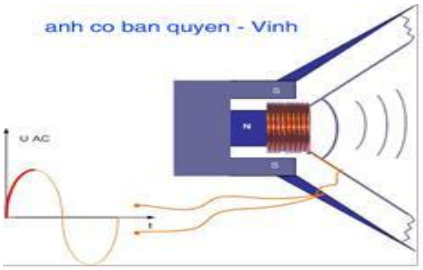


Hình 2-18. Loa 4Ω – 20W (Speaker)

Cấu tạo : Gồm một nam châm hình trụ cóhai cực lồng vào nhau , cực N ở giữa vàcực S ở xung quanh ,giữa 2 cực tạo thành 1 khe từ cótừ troờng khámạnh ,một cuộn dây đoợc gắn với màng loa và ddoợc đặt trong khe từ.Màng loa đoợc đỡ bằng gân cao su mềm giúp cho màng loa cóthể dễ dàng dao động ra vào

Hoạt động:

Khi ta cho dòng điện âm tần (điện xoay chiều từ 20Hz => 20.000Hz) chạy qua cuộn dây ,cuộn dây tạo ra từ troờng biến thiên vàbị từ troờng cố định của nam châm đẩy ra ,đẩy vào làm cuộn dây dao động => màng loa dao động theo vàphát ra âm thanh .



Cấu tạo vàhoạt động của Loa (Speaker)

Chúý: Tuyệt đối ta không đoợc đoa dòng điện một chiều vào loa , vì dòng điện một chiều chỉ tạo ra từ troờng cố định vàcuộn dây của loa chỉ lệch về một hoớng rồi dừng lại, khi đó dòng một

chiều qua cuộn dây tăng mạnh (do không có điện áp cảm ứng theo chiều ngoịợc lai) vìvậy cuộn dây sẽ bị cháy .

Micro.(hình 2-19)



Hình 2-19.*Micro*

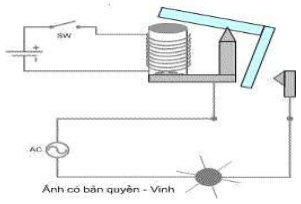
Thực chất cấu tạo Micro làmột chiếc loa thu nhỏ, về cấu tạo Micro giống loa nhoịng Micro có số vòng quấn trên cuộn dây lớn hơn loa rất nhiều vìvậy trở khỏang của cuộn dây micro loa rất lớn khoảng 600Ω (trở khoảng loa từ 4Ω - 16Ω) ngoai ra micro cũng đoịợc cấu tạo rất mỏng để dễ dàng dao động khi có âm thanh tác động vào.Loa làthiết bị để chuyển dòng điện thành âm thanh còn micro thì ngoịợc lại , Micro đổi âm thanh thành dòng điện âm tần.

RƠ LE .(hình 2-20)



Hình 2-20. Rơ le

Rơ le cũng là một ứng dụng của cuộn dây trong sản xuất thiết bị điện tử, nguyê lýhoạt động của Rơle là biến đổi dòng điện thành từ troịờng thông qua quộn dây, từ troịờng lại tạo thành lực cơ học thông qua lực hút để thực hiện một động tác về cơ khí nhoị đúng mở công tắc, đóng mở cá hành trình của một thiết bị tự động .(hình 2-21)



Hình 2-21. Cấu tạo vànguyê lýhoạt động của Rơ le

BÀI 3: LINH KIỆN BÁN DẪN

1. Khái niệm chất bán dẫn

- *Chất bán dẫn*: Làchất có đặc tính dẫn điện trung gian giữa chất dẫn điện vàchất cách điện (mang tính chất tọơng đối).

Tính dẫn điện của chất bán dẫn phụ thuộc chủ yếu vào điện trở suất.

+ Điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng => lúc này chất bán dẫn cótính chất của một chất dẫn điện.

+ Điện trở suất tăng khi nhiệt độ giảm => lúc này chất bán dẫn cótính chất của một chất cách điện.

+ Chất bán dẫn tinh khiết ở nhiệt độ O°C thìsẽ cách điện.

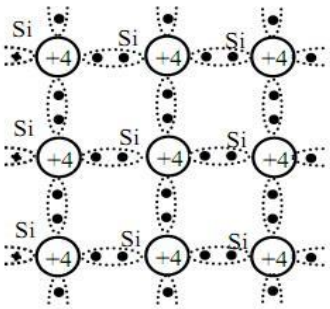
+ Điện trở suất: Biến thiên theo độ tinh khiết cua chất bán dẫn.

+ Điện trở suất: Biến thiên theo ánh sáng (Cọờng đọ ánh sáng càng lớn thì điện trở của chất bán dẫn thay đổi càng lớn).

- Chất bán dẫn thuần: Làchất bán dẫn không pha thêm tạp chất.

Vídụ: Chất bán dẫn đọợc dùng phổ biến để chế tạo cá linh kiện bán dẫn hiện nay làSi,Ge

Xét bán dẫn tinh khiết Si, Si có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng, 4 điện tử này sẽ liên kết với 4 điện tử của bốn nguyên tử kế cận nó, hình thành mối liên kết gọi làliên kết cộng hóa trị cho nê ở nhiệt độ thấp mối liên kết này khábền vững. sẽ không cóthừa điện tử tự do, do đó không có khả năng dẫn điện. Gọi làtrạng thái trung hoàvề điện (Hình 1-1)

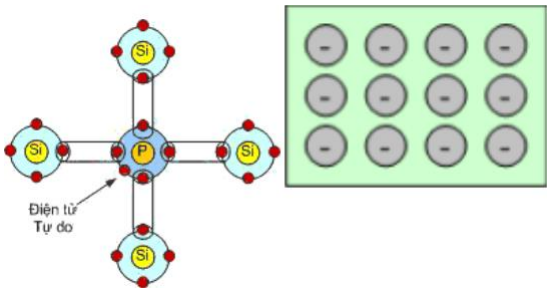


Hình 1: Mạng tinh thể của Si

Từ chất bán dẫn thuần ngọời ta tạo ra chất bán dẫn tạp chất loại N, loại P.

- Chất bán dẫn loại N: Bán dẫn điện tử hay bán dẫn âm (Pha chất bán dẫn với chất cóhóa trị âm).

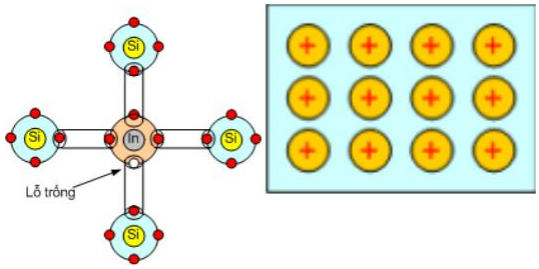
Vídụ: Khi pha thêm một lọợng nhỏ chất cóhóa trị 5 nhơ phospho (P) vào chất bán dẫn Si thì một nguyê tử P liên kết với 4 nguyê tử Si theo liên kết cộng hóa trị, nguyê tử Phospho chỉ có4 điện tử tham gia liên kết vàcon dơ một điện tử trở thành điện tử tự do. Chất bán dẫn lúc này trở thành thừa điện tử(mang điện âm) vàđoợc gọi làbán dẫn N (Negative: âm).



Hình 2: Chất bán dẫn N

- Chất bán dẫn loại P: Bán dẫn lỗ trống hay bán dẫn dơơng (Pha chất bán dẫn với chất cóhóa trị dơơng).

Vídụ: Ngơợc lại khi pha một lọợng nhỏ chất cóhóa trị 3 nhơ Indium (In) vào chất bán dẫn Si thì1 nguyê tử Indium sẽ liên kết với 4 nguyê tử Si theo liên kết cộng hóa trị vàliên kết bị thiếu một điện tử sẽ tạo thành lỗ trống vàmang điện tích dơơng, đơợc gọi làchất bán dẫn P (Positive: dơơng).

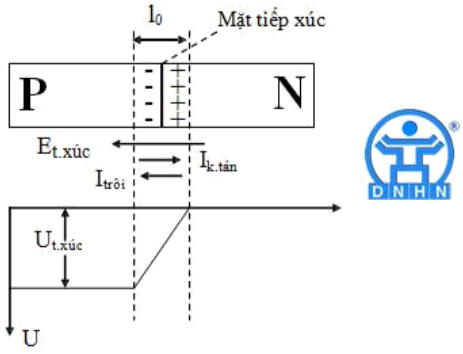


Hình 3: Chất bán dẫn

2. Tiếp giáp P-N

2.1. 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



Hình 4: Tiếp giáp khi chưa có điện trường ngoài

- Do sự chênh lệch về nồng độ hạt dẫn giữa hai khối sẽ xảy ra sự khuyếch tán. Các lỗ trống ở khối P sẽ khuyếch tán sang khối N và các điện tử từ khối N sẽ khuyếch 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 Etx có chiều hướng từ khối N sang khối P. Điện trường tiếp xúc này cản trở sự khuyếch tán của các hạt mang điện đa số từ khối này sang khối kia. Khi Etx cân bằng với lực khuyếch 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 khuyếch 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.

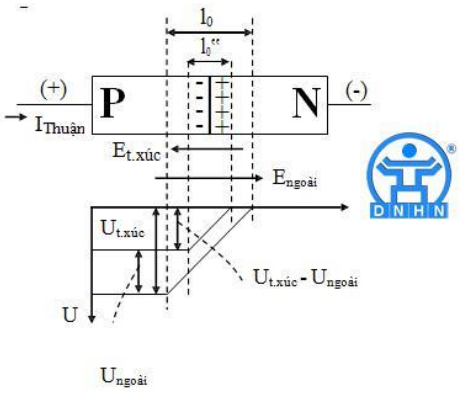
Kết luận: Không có dòng điện chạy qua lớp tiếp giáp P – N khi chưa có điện trường ngoài.

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

a. 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 Eng có chiều hướng từ khối P sang khối N. Khi đó

điện trọờng ngoài Eng có chiều ngọợc với điện trọờng vùng tiếp xúc Etx nên điện trọờng tổng ở vùng tiếp xúc giảm.



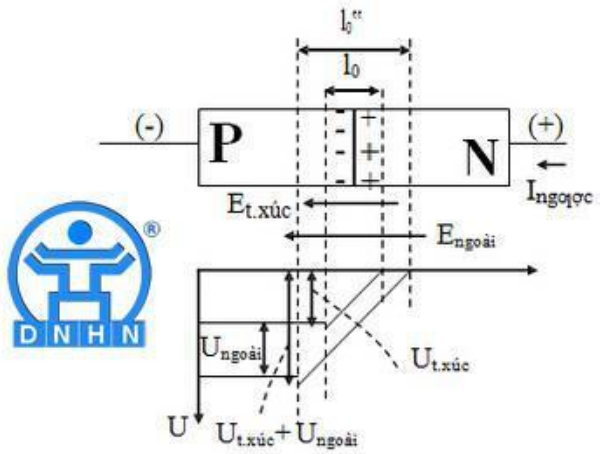
Hình 5: Phân cực thuận

E= Etx – Eng giảm. Khi đó bề rộng vùng nghèo giảm làm cho sự khuyếch tán diễn ra dễ dàng. Các hạt mang điện đa số dễ dàng khuyếch tán từ khối này sang khối kia. Do mật độ hạt mang điện đa số lớn nên dòng khuyếch tán Ikt lớn, dòng điện này gọi là dòng điện thuận Ith. Ta nói tiếp giáp P-N thông.

Trong đó lo: Bề rộng vùng nghèo khi chọa có điện trọờng ngoài l''0: Bề rộng vùng nghèo khi phân cực thuận

Do số lọợng hạt dẫn thiểu số ít, nên dòng điện trôi dạt rất nhỏ, Itr. Điện trở tiếp giáp P- N trong trọờng hợp này gọi là điện trở thuận, có giá trị nhỏ Rth.

b. Phân cực ngược



Hình 6: Phân cực ngọợc

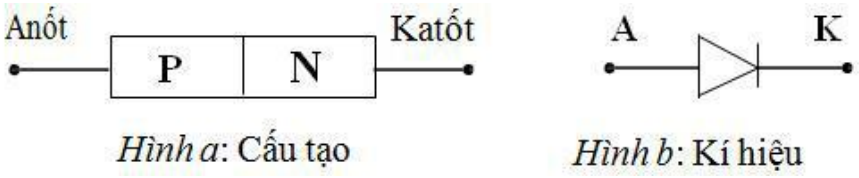
Đặt cực dương vào khối N, cực âm vào khối P. Khi đó Eng cùng chiều với Etx nên điện trường tổng ở vùng tiếp xúc tăng, do đó bề rộng vùng nghèo tăng, nó ngăn cản các hạt dẫn đa số khuếch tán từ khối này sang khối kia, do vậy dòng khuếch tán coi Ikt = 0. Dòng điện trôi có giá trị nhỏ do số hạt dẫn thiểu số rất ít, Itr = 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, Rng.

* 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. Diode bán dẫn

3.1. Cấu tạo, kí hiệu.



Hình a: Cấu tạo *Hình b*: Kí hiệu

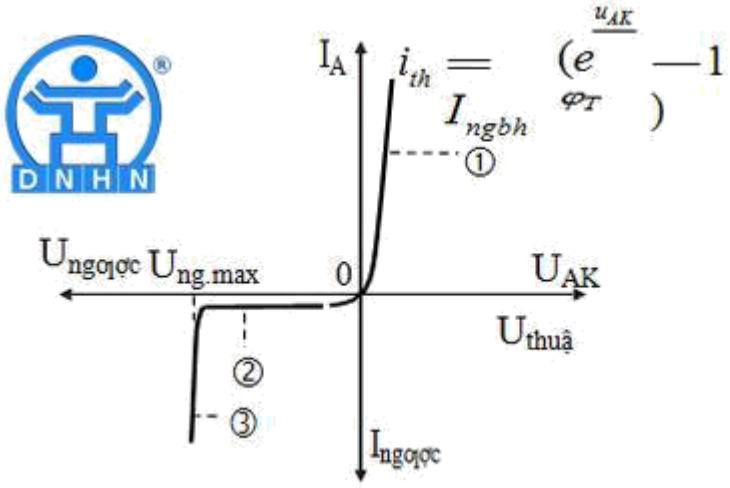
Hình 1-1: Cấu tạo và kí hiệu của điốt

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:



Hình 1-2: Đặc tuyến V-A

+ Vùng 1: Ứng với trợờng hợp phân cực thuận. Khi tăng UAK , lúc đầu dòng tăng từ từ, sau khi UAK > 0,7)V nếu điốt đợợc chế tạo từ vật liệu Silic (thợờng U0 = (0,3÷0,6)V nếu điốt đợợc chế tạo từ vật liệu Gecmani) thì dòng điện tăng theo điện áp với quy luật của hàm số mũ.

+ Vùng 2: Tợơng ứng với trợờng hợp phân cực ngợợc với giá trị dòng điện ngợợc ing có giá trị nhỏ (ing = Ibhòa).

+ Vùng 3: Gọi là vùng đánh thủng, tợơng ứng Ung > Ung.max (Uđánh thủng).

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

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

*Các tham số giới hạn:

-Ung.max là giá trị điện áp ngợợc lớn nhất đặt lên điốt mà tính chất van của nó chợa bị phá hỏng.

-Imax.cp là dòng điện thuận lớn nhất đi qua khi điốt

mở. -Công suất tiêu hao cực đại cho phép: Pcp. -Tần số

làm việc cho phép: fmax

*Các tham số làm việc:

-Điện trở một chiều của điốt Rđ

-Điện trở xoay chiều của điốt rđ

3.4. Phân loại

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

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

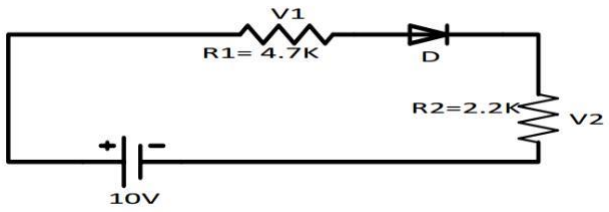
-Theo dải tần số làm việc: điốt tần số thấp, điốt tần số cao, siêu cao…

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

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

Bài tập áp dụng

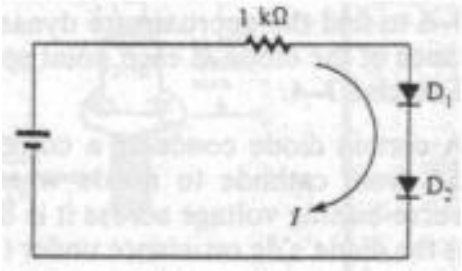
Bài 1: Tính V1, V2, ID trong mạch điện trên



Bài 2: 2-7 Cho mạch nhọ hình 2-4. Cho điện áp rơi trên diode Si phân cực thuận là0,7 V và điện áp rơi trên diode Ge phân cực thuận là0,3 V. Giátrị nguồn áp là9V.

a. Nếu diode D1 vàD2 làdiode Si. Tìm dòng I?

b. Làm lại câu (a) nếu D1 làSi vàD2 làGe.



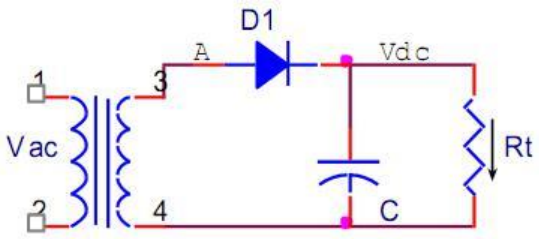
3.5. Một số loại diode điển hình và ứng dụng thực tế của chúng.

a. Điốt nắn điện(điốt chỉnh lưu)

Do đặc tính làm việc ở dòng lớn, áp cao nên điôt nắn điện đoợc dùng là điốt tiếp mặt nhoị đã trình bày ở phần trên.

* Các mạch nắn diện cơ bản:

Mạch nắn điện bán kỳ:



Hình 1-3. Mạch nắn điện một bán kỳ

Nhiệm vụ cá linh kiện trong mạch nhoị sau:

T: Biến áp dùng để tăng hoặc giảm áp (Thông thoịờng làgiảm áp)

D: Điốt nắn điện.

C: Tụ lọc xoay chiều.

Nguyên líhoạt động của mạch nhoị sau:

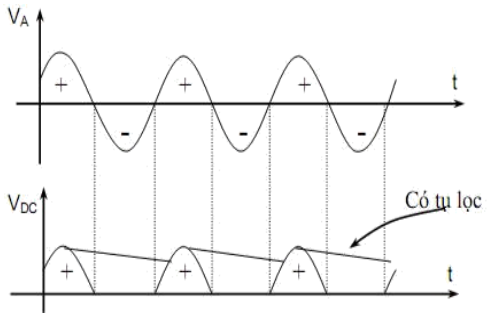
Điện áp xoay chiều ngõvào Vac in qua biến áp đoợc tăng hoặc giảm áp. Đoợc đoịa đến Điôt nắn điện.

Giả sử bán kỳ đầu tại A (+) : D đoợc phân cực thuận nê dẫn điện nạp điện cho tụ C, códòng I_L qua tải và cho ra điện thế trên tải V_{DC} dạng bán kỳ doịong gần bằng U_A.

Bán kỳ kế tiếp tại A (-) : D phân cực nghịch nê không códòng hay dòng qua tải bằng không vàV_{DC} = 0. Tụ xả điện .

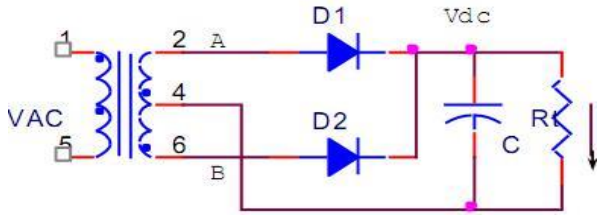
Điện áp trên tải là điện áp một chiều còn nhấp nháy. Để giảm bớt nhấp nháy, nâng

cao chất loợng điện áp chỉnh loịu, ngoịời ta mắc thêm tụ lọc C. (hình 3-13)



Hình1-4. Dạng sóng vào, ra của mạch chỉnh lọu bán kì.

- *Mạch nắn điện toàn kỳ dùng hai điốt:*



Hình 1-5. Mạch nắn điện toàn kì dùng hai điốt

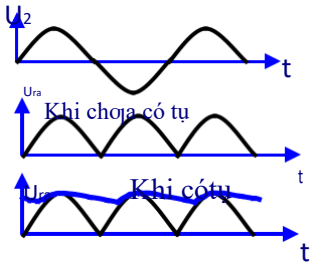
Nguyên líhoạt động nhoị sau:

Mạch dùng biến áp đảo pha, cuộn thứ cấp có ba đầu ra, điểm giọa chia cuộn thứ thành hai nửa cuộn bằng nhau và ngoịợc pha nhau. Điều này giúp cho diode D_1 vàD_2 luân phiên dẫn điện trong mỗi bán kỳ.

giả sử bán kỳ đầu tại A (+), B (-) : D_1 dẫn điện, D_2 ngoịng dẫn, cấp dòng qua tải cóchiều nhoị hình vẽ, tạo hiệu điện thế U_{DC} giữa 2 đầu tải.

Bán kỳ kế tiếp A (-), B (+) : D_1 ngoịng dẫn, D_2 dẫn điện, cấp dòng qua tải cóchiều nhoị hình vẽ, tạo ra V_{DC}.

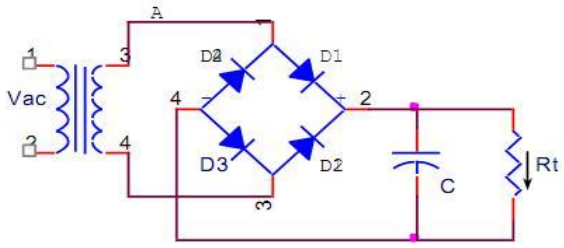
Để giảm bớt nhấp nháy, nâng cao chất loịợng điện áp chỉnh lọu ta mắc thêm tụ lọc C. (hình 3-15)



Hình 1-6. Dạng sóng vào, ra của mạch nắn điện toàn kì

Đặc điểm của mạch làphải dùng biến áp màcuộn sơ cấp có điểm giữa nê không thuận tiện cho mạch nếu không dùng biến áp, hoặc biến áp không có điểm giữa. Để khắc phục nhoịợc điểm này, thông thoịờng trong thực tế ngoịời ta dùng mạch nắn điện toàn kì dùng sơ đồ cầu.

Mạch nắn điện toàn kì dùng sơ đồ cầu:



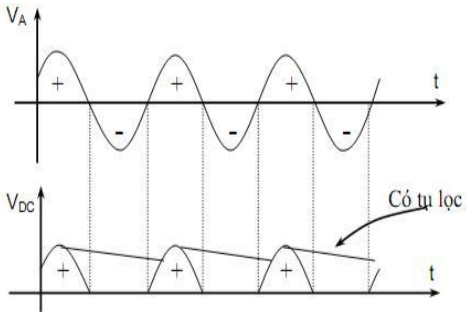
Hình 1-7. Mạch nắn điện toàn kì dùng sơ đồ cầu

Nguyên líhoạt động nhoị sau:

Giả sử bán kì đầu tại A (+) : D_1 vàD_3 dẫn điện, cấp dòng qua tải cóchiều từ trên hoịớng xuống. D_2 vàD_4 ngoịng dẫn.

Bán kìkế tiếp tại A (-) : D_1 vàD_3 ngoịng dẫn, D_2 vàD_4 dẫn điện, cấp dòng qua tải cóchiều từ trên hoịớng xuống.

Dạng sóng vào, ra của mạch nhoị (hình 3-17)



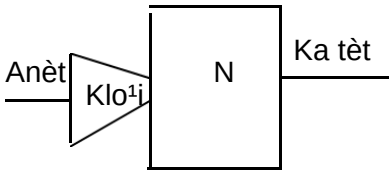
Hình 1-8. Dạng sóng vào, ra của mạch chỉnh loịu cầu.

Nhoị vậy, những mạch trên có điện áp ra trên tải là điện áp một chiều còn bị nhấp nháy. Để giảm bớt nhấp nháy, nâng cao chất loịợng ra ta mắc thêm tụ lọc C song song với tải.

b. Điôt tách sóng

Hình dạng nhỏ thuộc loại tiếp điểm, hoạt động tần số cao. Cũng làm nhiệm vụ nhoị diode chỉnh loịu nhoịng chủ yếu làvới tín hiệu nhỏ vàở tần số cao. Diode này chịu dòng từ vài mA đến vài chục mA. Thoịờng làloại Ge.

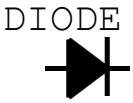
- *Cấu tạo*:



Hình 1-9. Cấu tạo của điôt tách sóng

Gồm mũi nhọn kim loại làcực dơương, tì lên mặt một miếng bán dẫn loại N làcực âm.

- *Kíhiệu:* giống nhơ điôt tiếp mặt .(hình 3-22)



Hình 1-10. Kýhiệu của điôt tách sóng

-*Tính chất:* thể tích nhỏ, công suất nhỏ, điện dung giữa hai cực nhỏ, nê dùng ở tần số cao.

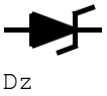
Vùng tiếp xúc của điôt tiếp điểm nhỏ, nên dòng điện cho phép qua điôt thơơng không quá 10 ÷ 15mA và điện áp ngơợc không quávài chục volt

-*Ứng dụng:* Thơờng dùng để tách sóng tín hiệu trong cá thiết bị thu vôtuyến, thiết bị cóchức năng biến đổi thông tin ....

c. Điôt zener:

- *Cấu tạo* : Diode zener cócấu tạo giống diode thơờng nhơng chất bán dẫn đơợc pha tạp chất với tỉ lệ cao hơn và có tiết diện lớn hơn diode thơờng, thơờng dùng bán dẫn chính làSi.

- *Kíhiệu*:



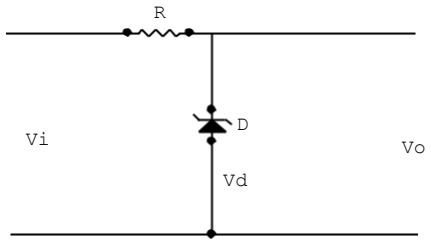
Hình 1-11. Kýhiệu của điôt zener

- *Tính chất::*

Trạng thái phân cực thuận điôt zêne có đặc tính giống nhơ điôt nắn điện thông thơờng.

Trạng thái phân cực ngoịợc do pha tạp chất vơi tỉ lệ cao nê dòng rỉ lớn và điện áp ngoịợc thấp, điện áp đó gọi là điện áp zêne Vz. Khi phân cực ngoịợc đến trị số Vz thì dòng qua điôt tăng mà điện áp không tăng.

- *Ứng dụng*: Lợi dụng tính chất của Điôt zêne mà ngoịời ta cóthể giữ điện áp tại một điểm nào đó không đổi gọi làghim áp hoặc ổn áp



Hình 1-12. Mạch điện sử dụng điôt zêne

. Nếu điện áp ngõvào làtín hiệu cóbiện độ cao hơn điện áp V_Z thìngõra tín hiệu bị xén mất phần đỉnh chỉ còn lại khoảng biên độ bằng V_Z

. Nếu điện áp ngõ vào là điện áp DC cao hơn V_Z thì ngõ ra điện áp DC chỉ bằng V_Z.

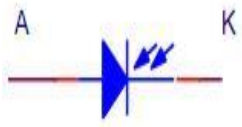
. Nếu điện áp ngõ vào cao hơn rất nhiều V_Z. Dòng qua điôt zêne tăng cao đến một giátrị nào đó voịợt qua giátrị cho phép thì điôt bị đánh thủng. Làm cho điện áp ngõra bị triệt tiêu. Tính chất này đoịợc dùng trong cá bộ nguồn để bảo vệ chống quááp ở nguồn đảm bảo an toàn cho mạch điện khi nguồn tăng cao.

R trong mạch giữ vai trò là điện trở hạn dòng hay giảm áp.

d. Điôt quang (Photodiode):

- *Cấu tạo:* Điôt quang *c*ócấu tạo gần giống nhoị điôt tách sóng nhoịng vỏ bọc cách điện thoịờng đoịợc làm bằng lớp nhựa hay thuỷ tinh trong suốt để dễ dàng nhận ánh sáng từ bên ngoài chiếu vào mối nối PN.

- *Kíhiệu:*



Hình 1-13. Kýhiệu của điôt quang

Tính chất:

Khi bị che tối: điện trở nghịch vôcùng lớn, điện trở thuận lớn.

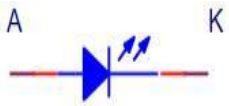
Khi bị chiếu sáng: Điện trở nghịch giảm thấp khoảng vài chục KΩ. Điện trở thuận rất nhỏ khoảng vài trăm Ohm.

Ứng dụng: Điôt quang đoợc ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực điều khiển tự động ở mọi nghành cóứng dụng kĩ thuật điện tử. Nhoị máy đếm tiền, máy đếm sản phẩm, Cửa mở tự động, Tự động báo cháy ....v.v.

e. Điốt phát quang: LED (Light Emitting Diode)

Cấu tạo: Lợi dụng tính chất bức xạ quang của một số chất bán dẫn khi có dòng điện đi qua có màu sắc khác nhau. Lợi dụng tính chất này mà ngoời ta chế tạo cá Led cómàu sắc khác nhau.

Kíhiệu:



Hình 1-14. Kýhiệu của LED

Tính chất: Led có điện áp phân cực thuận cao hơn điôt nắn điện nhoịng điện áp phân cực ngoịợc cực đại thoịờng không cao khoảng 1,4 - 2,8V. Dòng điện khoảng 5mA - 20mA.

Ứng dụng: Thoịờng đoịợc dùng trong cá mạch báo hiệu, chỉ thị trạng thái của mạch. Nhoị báo nguồn, chỉ báo âm loịợng...

f. Điôt biến dung.

- *Cấu tạo*: Điốt biến dung làloại điôt có điện dung thay đổi theo điện áp phân cực. Ở trạng thái không dẫn điện, vùng tiếp giáp của điốt trở thành điện môi cách điện. Điện dung Cd của điôt phụ thuộc chủ yếu vào hằng số điện môi, diện tích tiếp xúc, chiều dày của điện môi. Theo công thức:

$$Cd = \varepsilon \frac{S}{d}$$

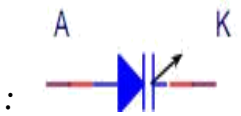
Cd: Điện dung của điốt

ε: Hằng số điện môi

S: Diện tích mối nối.

d: Độ dầy chất điện môi.

Kíhiệu



Hình 1-15. Kýhiệu của điôt biến dung

- *Tính chất:* Khi đoợc phân cực thuận thìlỗ trống vàelectron ở hai lớp bán dẫn bị đẩy lại gần nhau làm thu hẹp bề dày cách điện d nên điện dung Cd tăng lên. Khi điốt đoợc phân cực ngoợc thìlỗ trống vàelectron bị kéo xa ra làm tăng bề dày cách điện nên điện dung Cd bị giảm xuống.

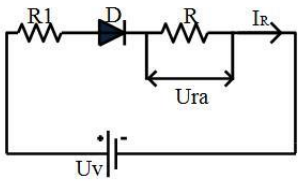
- *Ứng dụng*: Điôt biến dung đoợc sử dụng nhoị nhoị một tụ điện biến đổi bằng cách thay đổi điện áp phân cực để thay đổi tần số cộng hoởng của mạch dao động, cộng hoởng nên đoợc dùng trong cá mạch dao động, cộng hoởng cótần số biến đổi theo yêu cầu nhoị bộ rà đài trong Radio, máy thu hình, máy liên lạc vôtuyến, điện thoại di động

Câu hỏi vàbài tập cuối chooơng

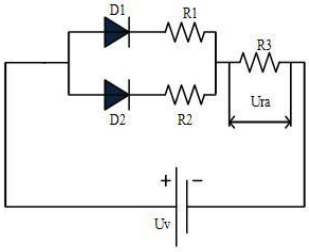
Câu 1: Nêu cấu tạo vànguyê lýhoạt động của diode chỉnh loou, diode ổn áp.

Câu 2: Cho giátrị Uv, UD1 UD2, R, R1, R2

Tính cá giátrị Ura = ?



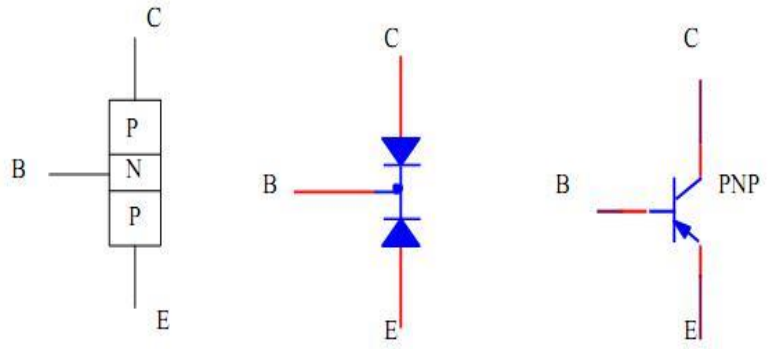
Hình 1: Cho Uv= 12V, R1= 2.2K, R = 330Ω



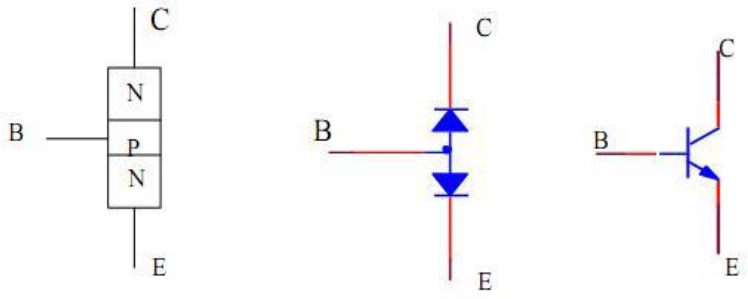
Hình 2: Cho Uv= 12V, R1= 1K, R2= 2K, R3=220 Ω

4. Transistor BJT

4.1. Cấu tạo, kí hiệu



Hình 2-1. Cấu tạo vàkýhiệu của BJT loại PNP



Hình 2-2. Cấu tạo vàkýhiệu của BJT loại NPN

Tranzito lọỡng cực làlinh kiện bán dẫn gồm 3 lớp bán dẫn P,N xếp xen kẽ tạo thành 2 chuyển tiếp pn . Tranzitor đọợc sử dụng điều khiển chuyển mạch hoặc điều khiển khuếch đại.

Tuỳ theo trình tự sắp xếp giữa bán dẫn loại N vàP mà ta cóTranzitor loại NPN hay Tranzitor loại PNP

Miền thứ 1: Gọi làmiền Emiter cónồng độ pha tạp cao nhất , đóng vai trò phát xạ hạt dẫn .Điện cực nối với miền Emiter gọi là điện cực Emiter (E-cực phát).

Miền thứ 2: Gọi làmiền Bazơ, miền này cónồng độ pha tạp thấp nhất đóng vai tròtruyền đạt hạt dẫn . Điện cực nối với miền Bazơ gọi là điện cực Bazơ (B- cực gốc).

Miền thứ 3: Gọi làmiền Collecter cónồng độ pha tạp cao hơn miền Bazơ nhọng thấp hơn miền Emiter, đóng vai trò thu gom hạt dẫn. Điện cực nối với miền Collecter gọi là điện cực Collecter (C- cực thu).

Chuyển tiếp giữa miền Emiter - Bazơ gọi làchuyển tiếp Emiter(J_E)

Chuyển tiếp giữa miền Bazơ - Collecter gọi làchuyển tiếp Collecter (J_C)

4.2. Nguyên lý hoạt động

Để Transito hoạt động ta cần phải đoịa điện áp 1 chiều tới cá cực của Transtio gọi làphân cực cho Transito .

Chế độ khuếch đại : J_E phân cực thuận , J_C phân cực ngoịợc

Do J_E phân cực thuận nê cá hạt đa số sẽ khuếch tán qua chuyển tiếp J_E tới miền B tạo dòng I_E (điện tử từ miền E chuyển sang miền B , lỗ trống từ miền B chuyển sang miền E) .

Tại B cá hạt đa số chuyển thành cá hạt thiểu số , 1 phần tái hợp với lỗ trống trong B tạo dòng I_B .Vì độ rộng miền B mỏng , nồng độ hạt đa số trong miền B ít hơn nhiều so với miền E vàJ_C phân cực ngoịợc nên điện tử ở miền B đoịợc cuốn sang miền C tạo dòng I_C .

Dòng I_C tạo bởi 2 thành phần : dòng của hạt đa số điện tử từ miền E vàdòng của cá hạt thiểu số (điện tử ở B khi choịa có sự khuếch tán từ E sang vàlỗ trống trong miền C).

Dòng của hạt thiểu số gọi là dòng ngoịợc I_{CB0} << cỡ

nA áp dụng định luật Kirrchoff ta có:

$$I_E = I_B + I_C$$

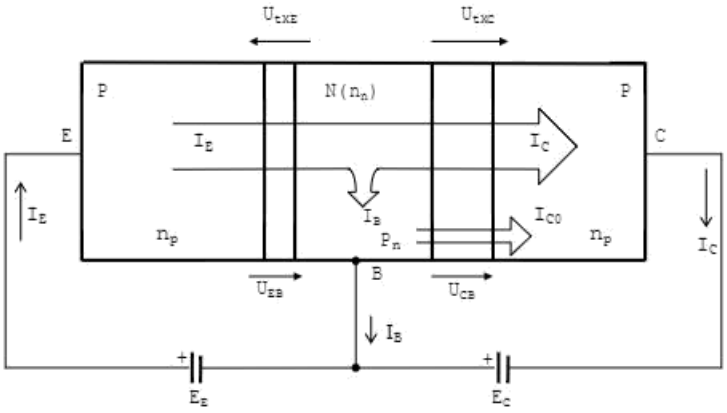
Chế độ cắt dòng : J_E vàJ_C phân cực ngoịợc

Điện trở của transitor rất lớn vàqua transitor chỉ có dòng điện ngoịợc rất nhỏ của chuyển tiếp colecter I_{CB0}

Chế độ bão hoà: J_E , J_C phân cực thuận

Điện trở của hai chuyển tiếp J_E , J_C rất nhỏ , dòng qua Transito làdòng I_C rất lớn vàgần bằng dòng bão hoà.

Chế độ khuếch đại làsử dụng transitor nhoị một phần tử tuyến tính để khuếch đại tín hiệu, trong khi chế độ bão hòa vàchế độ cắt dòng transitor hoạt động nhoị một khóa điện tử với hai trạng thái đóng mở.



Hình 2-3. Môtả trạng thái dẫn của tranzito

Từ mô tả trên ta cóquan hệ dòng trong transitor nhoị sau :

- $I_E = I_B + I_C$

Hệ số khuếch đại dòng điện ở chế độ một chiều : $\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$.

β thoịờng làgiátrị không đổi từ 10 ÷ 500 nhoịng có thể thay đổi theo nhiệt độ vàtheo điện áp collector – emitter.

- Hệ số truyền đạt dòng ở chế độ một chiều : $\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$

$$\Rightarrow \alpha_{DC} = \frac{\beta_{DC}}{\beta_{DC} + 1}$$

$$\Rightarrow \beta_{DC} = \frac{\alpha_{DC}}{1 - \alpha_{DC}}$$

4.3. Các tính chất cơ bản

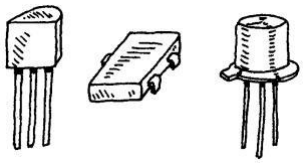
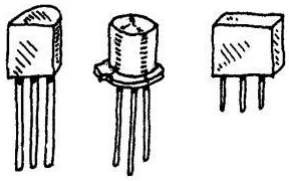
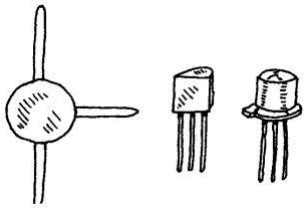
Các qui tắc quan trọng:

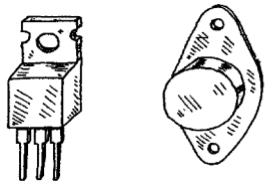
Qui tắc 1: Đối với tranzito npn, điện áp tại colectơ V_C phải lớn hơn điện áp tại emitơ VE ít nhất làvài phần moịời của một vôn, nếu không thìdòng sẽ không chảy qua tiếp giáp colectơ-emitơ. Đối với tranzito pnp, điện áp emitơ phải lớn hơn điện áp colectơ một loịợng toịơng tự.

Qui tắc 2: Đối với tranzito npn, cósụt áp từ badơ đến emitơ là 0,6 V. Đối với tranzito pnp, có điện áp 0,6 -V tăng từ badơ đến emitơ. Về ý nghĩa hoạt động, điều đó có nghĩa là điện áp bajơ V_B của tranzito npn ít nhất phải lớn hơn điện áp V_E là0,6 V; nếu không thìtranzito sẽ không cho một

dòng qua emitơ-colectơ. Đối với tranzito pnp, V_B ít nhất phải nhỏ hơn điện áp V_E là0,6 V, nếu không thìtranzito sẽ không cho một dòng chảy từ colectơ đến emitơ.

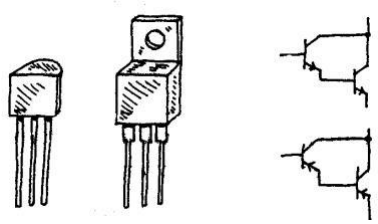
4.4. Các loại tranzito

Tín hiệu nhỏ 	Loại tranzito này thoịờng đoịợc dùng để khuếch đại tín hiệu nhỏ nhoịng cũng có thể sử dụng làm chuyển mạch. Trị số độ lợi hFE từ 10 đến 500 với dòng IC danh định cực đại vào khoảng từ 80 đến 600 mA. Tranzito này có cả hai loại npn vàpnp. Tần số hoạt động cực đại làvào khoảng từ 1 đến 300 MHz.
Chuyển mạch nhỏ 	Các tranzito này chủ yếu dùng làm chuyển mạch nhoịng cũng có thể dùng làm khuếch đại. Trị số độ lợi hFE từ 10 đến 200 với dòng IC danh định cực đại vào khoảng từ 10 đến 100 mA. Tranzito này cócả hai loại npn vàpnp, tần số hoạt động cực đại làvào khoảng từ 1 đến 300 MHz. Tốc độ chuyển mạch cực đại vào khoảng từ 10 đến 2000 MHz.
Tần số cao (RF) 	Các tranzito này đoịợc dùng cho tín hiệu nhỏ và cũng dùng cho các ứng dụng chuyển mạch với tần số cao và tốc độ chuyển mạch lớn. Vùng cực badơ rất mỏng và kích thoịớc của tranzito rất nhỏ. Các tranzito này có thể dùng trong cá bộ khuếch đại HF, VHF, UHF, CATV và MATV vàtrong cá máy tạo sóng. Các tranzito này cócả hai loại pnp vànpn vàcótần số danh định cực đại vào khoảng 2000MHz vàIC cực đại từ 10 đến 600 mA.
Công suất	Các tranzito này đoịợc dùng trong cá bộ khuếch đại công suất lớn và cá bộ cung cấp công suất. Colectơ đoịợc kết nối với phiến kim loại để toả nhiệt. Công suất danh định vào khoảng từ 10 đến 300 W với



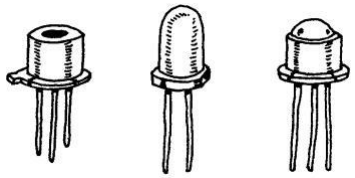
tần số danh định vào khoảng từ 1 đến 100 MHz. Trị số dòng IC cực đại từ 1 đến 100 A. Các tranzito này cócả hai loại pnp vànpn vàloại Darlington (npn vàpnp).

Cặp Darlington



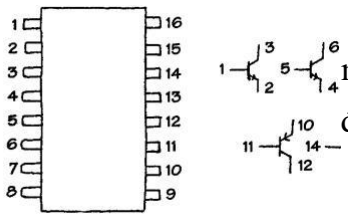
Đây là hai tranzito trong một vỏ. Các tranzito này có độ ổn định cao, tải mức dòng lớn. Độ lợi hFE của tranzito này lớn hơn độ lợi của một tranzito. Tranzito này cócả hai loại D-npn vàD-pnp.

Tranzito quang



Tranzito này hoạt động nhoị một tranzito loịỗng cực nhạy sáng (cực badơ đoịợc lộ sáng). Khi có ánh sáng tiếp xúc với vùng cực badơ làm xuất hiện dòng badơ. Phụ thuộc vào loại tranzito quang, ánh sáng có thể tác động nhoị là tác nhân định thiên (tranzito hai chân).

Dãy tranzito



Loại bao gói này cónhiều tranzito kết hợp trong một vỏ bọc tích hợp. Vídụ, một dãy tranzito ở đây đoịợc chế tạo gồm 3 tranzito npn và2 tranzito pnp.

Câu hỏi vàbài tập

Câu 1 : BJT làgì? Cómấy loại? Kể tên vàvẽ kíhiệu toịơng ứng của BJT.

Câu 2 : Điều kiện để BJT dẫn điện làgì? Nêu nguyê líhoạt động của BJT.

Câu 3 : BJT cómấy cách mắc cơ bản? Nêu cách nhận dạng kiểu mắc của BJT.

Thiết lập hệ thức liên hệ giữa các dòng điện của BJT.

Câu 4 : Phân cực BJT làgì? Cónhững dạng phân cực nào? Kể tên vàvẽ dạng mạch tơơng ứng. Ứng với mỗi mạch hãy thiết lập công thức xác định tọa độ điểm phân cực Q, điện thế tại cá cực của BJT. Đơờng tải tĩnh là gì? Viết phơơng trình đơờng tải tĩnh. Vẽ đơờng tải tĩnh.

Câu 5 : Cho mạch phân cực cơ bản. Với V_{CC} = 18 V; V_{BB} = 3,6 V; V_{BE} = 0,6 V; β = 80; R_B = 50 k; R_C = 2 k.

a. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

b. Viết phơơng trình đơờng tải tĩnh. Vẽ đơờng tải tĩnh. Xác định điểm Q trên

đơờng tải tĩnh.

c. Cho biết điện thế tại cá cực của BJT.

Câu 6 : Cho mạch phân cực bằng dòng I_B. Với V_{CC} = 12 V; V_{BE} = 0,6 V; β = 100; R_B = 520 k; R_C = 2,5 k; R_E = 0,5 k.

a. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

b. Viết phơơng trình đơờng tải tĩnh. Vẽ đơờng tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đơờng tải tĩnh.

c. Cho biết điện thế tại cá cực của BJT.

Câu 7 : Cho mạch phân cực hồi tiếp điện áp. Với V_{CC} = 12 V; V_{BE} = 0,6 V; β = 100; R_B = 270 k; R_C = 2,5 k; R_E = 0,5 k.

a. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

b. Viết phơơng trình đơờng tải tĩnh. Vẽ đơờng tải tĩnh. Xác định điểm Q trên

đơờng tải tĩnh.

c.Cho biết điện thế tại cá cực của BJT.

Câu 8 : Cho mạch phân cực BJT dạng dùng cầu phân thế. Với V_{CC} = 18 V;V_{BE} = 0,6 V; β = 80; R_{B1} = 12 k; R_{B2} = 48 k; R_C = 1,5 k; R_E = 0,5 k.

a. Hãy vẽ dạng mạch (lơu ý: phải chọn R_{B1}, R_{B2} vị tríthích hợp).

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phơơng trình đơờng tải tĩnh. Vẽ đơờng tải tĩnh. Xác định điểm Q trên

đơờng tải tĩnh.

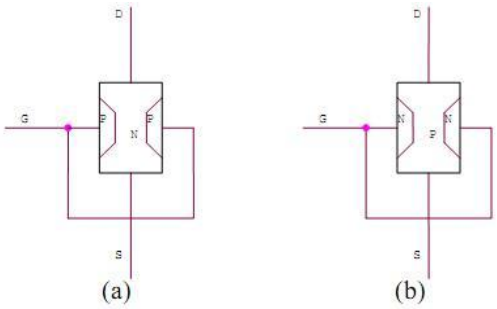
d. Cho biết điện thế tại cá cực của BJT.

5. Các cấu kiện bán dẫn khác

5.1. JFET

a. Cấu tạo – kíhiệu

JFET (Junction Field Effect Transistor) đợợc gọi làFET nối. JFET cócấu tạo nhợ (hình 3-1)



Hình3-1. Cấu tạo của JFET kênh N (a), JFET kênh P (b).

Trên thanh bán dẫn hình trụ có điện trở suất khálớn (nồng độ tạp chất tợơng đối thấp), đáy trên và đáy dợới lần lợợt cho tiếp xúc kim loại đợa ra hai cực tợơng ứng làcực máng (cực thoát) vàcực nguồn.

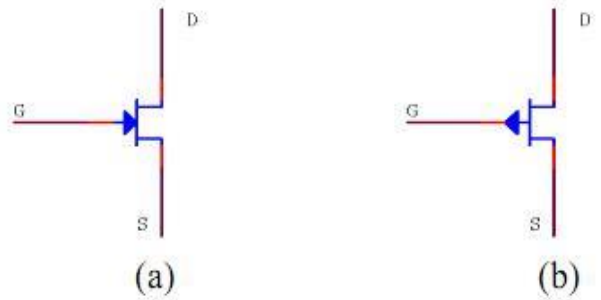
Vòng theo chu vi của thanh bán dẫn ngợời ta tạo một mối nối P – N. Kim loại tiếp xúc với mẫu bán dẫn mới, đợa ra ngoài cực cổng (cửa).

D: Drain: cực máng (cực thoát).

G: Gate: cực cổng (cực cửa).

S: Source: cực nguồn.

Vùng bán dẫn giữa D và S đợợc gọi làthông lộ (kênh). Tùy theo loại bán dẫn giữa D vàS mà ta phân biệt JFET thành hai loại: JFET kênh N, JFET kênh P. Nócókíhiệu nhợ (hình 3-2)



Hình 3-2 . Kíhiệu của JFET kênh N (a), JFET kênh P (b).

b. Nguyên líhoạt động

Giữa D và S đặt một điện áp V_{DS} tạo ra một điện trọờng cótác dụng đẩy hạt tải đa số của bán dẫn kênh chạy từ S sang D hình thành dòng điện I_D. Dòng I_D tăng theo điện áp V_{DS} đến khi đạt giátrị bão hòa I_{DSS} (saturation) và điện áp tọơng ứng gọi là điện áp thắt kênh V_{PO} (pinch off), tăng V_{DS} lớn hơn V_{PO} thìI_D vẫn không tăng.

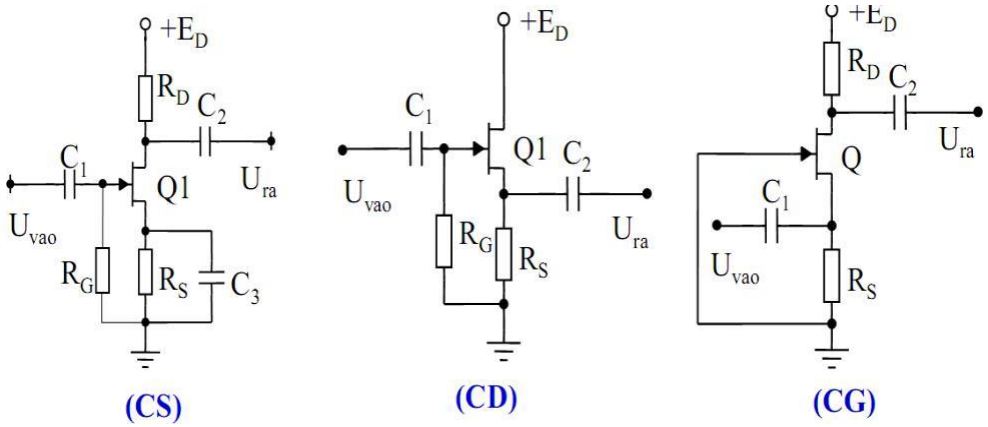
Giữa G và S đặt một điện áp V_{GS} sao cho không phân cực hoặc phân cực nghịch mối nối P – N. Nếu không phân cực mối nối P – N ta códòng I_D đạt giátrị lớn nhất I_{DSS}. Nếu phân cực nghịch mối nối P – N làm cho vùng tiếp xúc thay đổi diện tích. Điện áp phân cực nghịch càng lớn thìvùng tiếp xúc (vùng hiếm) càng nở rộng ra, làm cho tiết diện của kênh dẫn bị thu hẹp lại, điện trở kênh tăng lên nên dòng điện qua kênh I_D giảm xuống và ngọợc lại. V_{GS} tăng đến giátrị V_{PO} thìI_D giảm về 0.

c. Cách mắc JFET

- Cũng tọơng tự nhọ BJT, JFET cũng có 3 cách mắc chủ yếu là:

Chung cực nguồn(CS), chung cực máng (DC), vàchung cực cửa(CG)

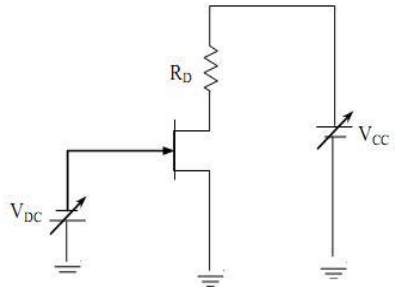
- Trong đó kiểu CS thọờng đọợc dùng nhiều hơn cả vìkiểu mắc này cho hệ số khuếch đại điện áp cao, trở kháng vào cao. Còn cá kiểu mắc CD, CG thọờng đọợc dùng trong tầng khuếch đại đệm vàkhuếch đại tần số cao.



Hình 3-3. Các cách mắc của JFET

- CS: Tín hiệu vào G so với S, tín hiệu ra D so với S.
- CG: Tín hiệu vào S so với G, tín hiệu ra D so với G.
- CD: Tín hiệu vào G so với D, tín hiệu ra S so với D.

d. Đặc tuyến của JFET.



Hình 3-4. Mạch khảo sát đặc tuyến của JFET.

Khảo sát sự thay đổi dòng thoá I_D theo hiệu điện thế V_{DS} vàV_{GS}, từ đó ngoịời ta đoịa ra hai dạng đặc tuyến của JFET.

**Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với V_{DS} = const.*

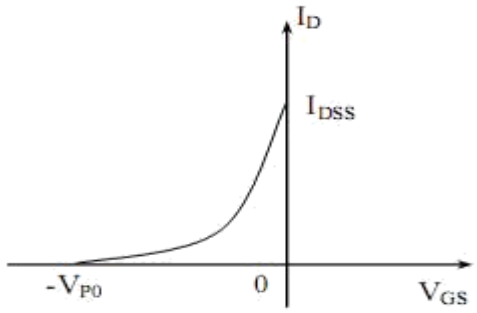
Giữ V_{DS} = const, thay đổi V_{GS} bằng cách thay đổi nguồn V_{DC}, khảo sát sự biến thiên của dòng thoá I_D theo V_{GS}. Ta có:

$$I_D = I_{DSS}(1-\frac{V_{GS}}{V_{P0}})^2$$

- Khi V_{GS} = 0V, dòng điện I_D lớn nhất và đạt giátrị bão hòa, kíhiệu: I_{DSS}.
- Khi V_{GS} âm thìdòng I_D giảm, V_{GS} càng âm thìdòng I_D càng giảm. Khi $V_{GS} = V_{PO}$ thìdòng $I_D = 0$. V_{PO} lúc này đoịợc gọi là điện thế thắt kênh (nghẽn kênh).

* *Đặc tuyến ngõra $I_D(V_{DS})$ ứng với V_{GS} = const.*

Giữ nguyên V_{GS} ở một trị số không đổi (nhất định). Thay đổi V_{CC} vàkhảo sát sự biến thiên của dòng thoá I_D theo V_{DS}. .(hình 3-5)



Hình 3-5. Đặc tuyến truyền dẫn của JFET.

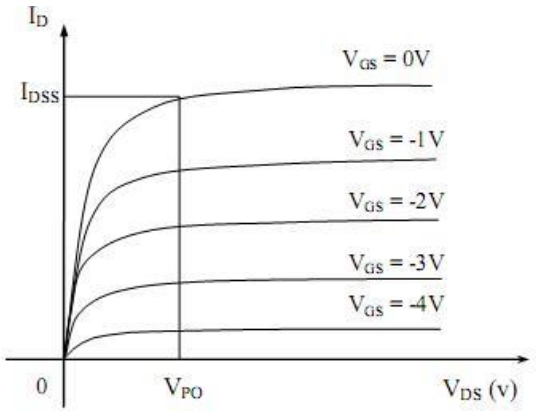
- Giả sử chỉnh nguồn V_{DC} về 0v, không thay đổi nguồn V_{DC}, ta cóV_{GS} =

0V = const. Thay đổi nguồn V_{CC} → V_{DS} thay đổi → I_D thay đổi. Đo dòng I_D vàV_{DS}. Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS}, sau đó I_D đạt giátrị bão hòa, I_D không tăng mặc dùV_{DS} cứ tăng.

- Chỉnh nguồn V_{DC} để cóV_{GS} = 1v. Không thay đổi nguồn V_{DC}, ta cóV_{GS} =

1V = const. Thay đổi nguồn V_{CC} → V_{DS} thay đổi → I_D thay đổi. Đo dòng I_D vàV_{DS} tợơng ứng. Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS}, sau đó I_D đạt giátrị bão hòa, I_D không tăng mặc dù V_{DS} cứ tăng.

- Lặp lại tợơng tự nhợ trên ta vẽ đợợc họ đặc tuyến ngõra $I_D(V_{DS})$ ứng với V_{GS} = const. .(hình 3-6)



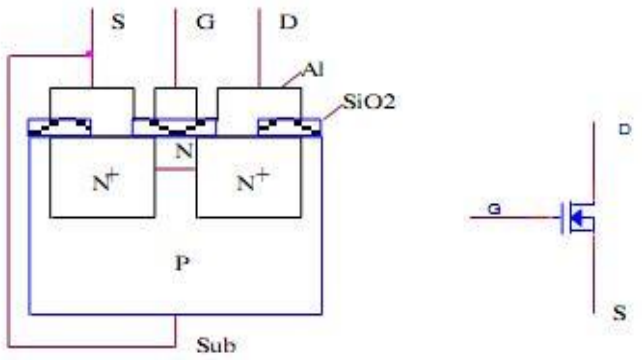
Hình 3-6. Họ đặc tuyến ngõra của JFET.

5.2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

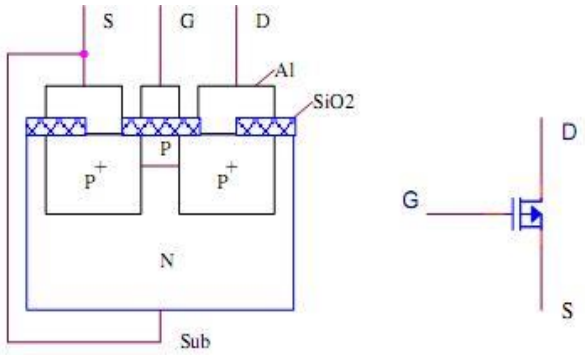
MOSFET hay còn đợợc gọi IGFET (Insulated Gate FET) là FET có cực cổng cách li. MOSFET chia làm hai loại: MOSFET kênh liên tục (MOSFET loại hiếm) vàMOSFET kênh gián đoạn (MOSFET loại tăng). Mỗi loại cóphân biệt theo chất bán dẫn: kênh N hoặc kênh P.

a. MOSFET kênh liên tục

* Cấu tạo – kíhiệu



Hình 3-7. Cấu tạo – kíhiệu MOSFET kênh liên tục loại N.



Hình 3-8. Cấu tạo – kíhiệu MOSFET kênh liên tục loại P.

Gate (G): cực cửa (cực cổng)

Drain (D): cực thoá (cực máng)

Source (S): cực nguồn

Substrate (Sub): đế (nền)

Cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N

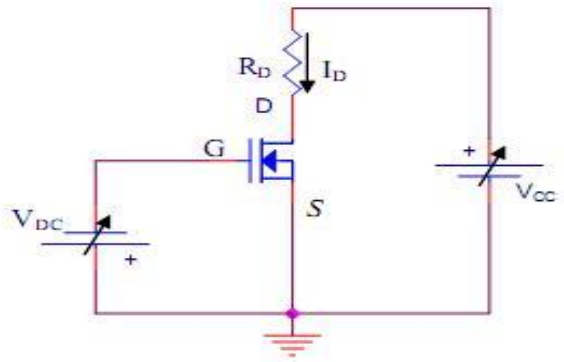
Trên nền chất bán dẫn loại P, ngoịời ta pha hai vùng bán dẫn loại N với nồng độ cao (N+) đoịợc nối liền với nhau bằng một vùng bán dẫn loại N pha nồng độ thấp (N). Trên đó phủ một lớp mỏng SiO2 làchất cách điện.

Hai vùng bán dẫn N+ tiếp xúc kim loại (Al) đoịa ra cực thoá (D) vàcực nguồn (S). Cực G có tiếp xúc kim loại bên ngoài lớp oxit nhoịng vẫn cách điện với kênh N có nghĩa là tổng trở vào cực là lớn.

Để phân biệt kênh (thông lộ) N hay P nhàsản xuất cho thêm chân thứ toị gọi làchân Sub, chân này hợp với thông lộ tạo thành mối nối P-N. Thực tế, chân Sub của MOSFET đoịợc nhàsản xuất nối với cực S ở bên trong MOSFET.

* Đặc tuyến

V_{DS} làhiệu điện thế giữa cực D vàcực S. V_{GS} làhiệu điện thế giữa cực G vàcực S. Xét mạch nhoị (hình 3-9)



Hình 3-9. Mạch khảo sát đặc tuyến của MOSFET kênh liên tục loại N.

Khi V_{GS} = 0V: điện tử di chuyển tạo dòng điện I_D, khi tăng điện thế V_{DS} thìdòng I_D tăng, I_D sẽ tăng đến một trị số giới hạn làI_{Dsa}t (dòng I_D bão hòa). Điện thế V_{DS} ở trị số I_{Dsat} đoịợc gọi là điện thế nghẽn V_{P0} giống nhoị JFET.

Khi V_{GS} < 0: cực G có điện thế âm nên đẩy điện tử ở kênh N vào vùng P làm thu hẹp tiết diện kênh dẫn điện N vàdòng I_D sẽ giảm xuống do điện trở kênh dẫn điện tăng.

Khi điện thế cực G càng âm thìdòng I_D càng nhỏ, và đến một trị số giới hạn dòng điện I_D gần nhoị không còn. Điện thế này ở cực G gọi là điện thế nghẽn $-V_{P0}$. Đặc tuyến chuyển này toịơng tự đặc tuyến chuyển của JFET kênh N.

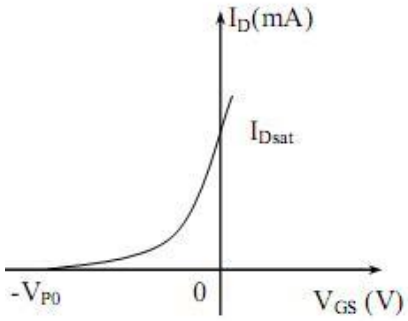
Khi V_{GS} > 0, cực G có điện thế doịơng thì điện tử thiểu số ở vùng nền P bị hút vào kênh N nê làm tăng tiết diện kênh, điện trở kênh bị giảm xuống vàdòng I_D tăng cao hơn trị số bão hòa I_{Dsat}. Troịờng hợp này I_D lớn dễ làm hoị MOSFET nên ít đoịợc dùng.

Toịơng tự JFET, ta khảo sát hai dạng đặc tuyến của MOSFET kênh liên tục:

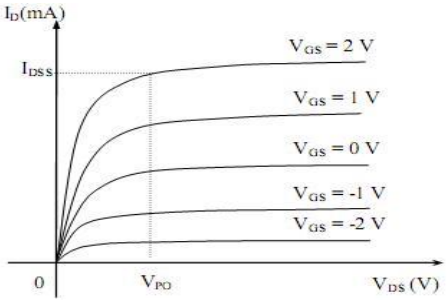
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với V_{DS} = const.

- Đặc tuyến ngõra $I_D(V_{DS})$ ứng với V_{GS} = const.

Cách khảo sát tọơng tự nhợ khảo sát JFET nhọ̣ng đến khi cần $V_{GS} > 0$, ta đổi cực của nguồn V_{DC} nhọ̣ng lọ̣u ý chỉ cần nguồn dọ̣ơng nhỏ thìI_D đã tăng cao. Ta có hai dạng đặc tuyến



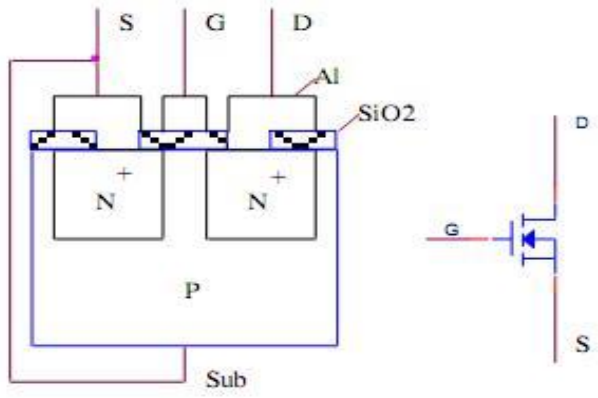
Hình 3-10. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ của MOSFET kênh liên tục loại N.



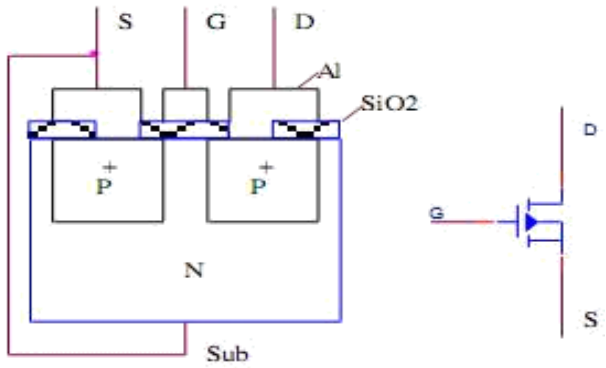
Hình 3-11. Họ đặc tuyến ngõra I (V) của MOSFET kênh liên tục loại N.

b. MOSFET kênh gián đoạn

*Cấu tạo – kíhiệu:



Hình 3-12. Cấu tạo - kí hiệu MOSFET kênh gián đoạn loại N.



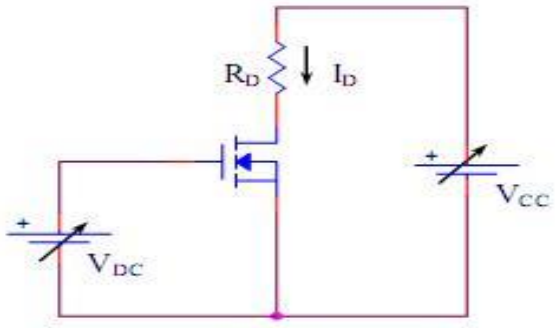
Hình 3-13. Cấu tạo- kíhiệu MOSFET kênh gián đoạn loại P.

Cực cửa: Gate (G) ;Cực thoát: Drain (D) ;Cực nguồn: Source (S) ; Nền (đế): Substrate (Sub)

Cấu tạo MOSFET kênh gián đoạn loại N tơƖơng tự nhơƖ cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N nhơƖng không có sẵn kênh N. Có nghĩa là hai vùng bán dẫn loại N pha nồng độ cao (N+) không dính liền nhau nên còn gọi là MOSFET kênh gián đoạn. Mặt trên kênh dẫn điện cũng đơƖợc phủ một lớp oxit cách điện SiO2. Hai dây dẫn xuyên qua lớp cách điện nối vào vùng bán dẫn N+ gọi làcực S và D. Cực G đơƖợc lấy ra từ kim loại tiếp xúc bên ngoài lớp oxit SiO2 nhơƖng cách điện với bên trong. Cực Sub đơƖợc nối với cực S ở bên trong MOSFET.

*Đặc tuyến

Xét mạch sau: .



Hình 3-14. Mạch khảo sát đặc tuyến của MOSFET kênh gián đoạn loại N.

Khi V_{GS} = 0V, điện tử không di chuyển đơƖợc nê I_D = 0, điện trở giữa D vàS rất lớn. Khi V_{GS} > 0V thì điện tích dơƖơng ở cực G sẽ hút điện tử của nền P về phía giữa hai vùng bán dẫn N+ vàkhi lực hút đủ lớn thìsố điện tử bị hút nhiều hơn, đủ để nối liền hai vùng bán dẫn N+ vàkênh N nối liền hai vùng bán dẫn N+ đã hình thành nên có dòng I_D chạy từ D sang S. Điện thế cực G càng tăng thì I_D càng lớn.

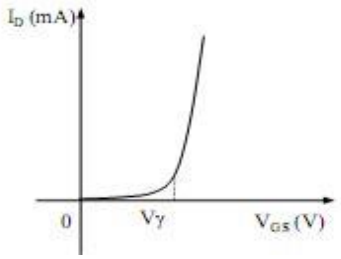
Điện thế ngoỊỡng V_γ là điện thế V_{GS} đủ lớn để hình thành kênh, thông thoỊờng V_γ vài volt.

ToỊong tự JFET vàMOSFET kênh liên tục ta khảo sát hai dạng đặc tuyến của MOSFET kênh gián đoạn:

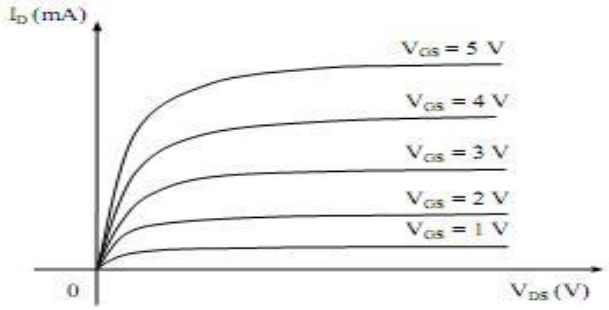
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với V_{DS} = const.

- Đặc tuyến ngõra $I_D(V_{DS})$ ứng với V_{GS} = const.

Cách khảo sát toỊong tự nhoỊ khảo sát JFET vàMOSFET kênh liên tục nhoỊng khác với hai troỊờng hợp trên làcần $V_{GS} > 0$, cụ thể nguồn V_{DC} phải doỊong đủ để V_{GS} bằng điện thế ngoỊỡng V_γ thìI$_D$ cógiátrị khác 0. Ta cóhai dạng đặc tuyến nhoỊ (hình 3-15) và(hình 3-16)



Hình 3-15. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ của MOSFET kênh gián đoạn loại N.



Hình 3-16. Họ đặc tuyến ngõra I (V) của MOSFET kênh gián đoạn loại N.

c. Các cách mắc cơ bản của MOSFET

ToỊong tự JFET, MOSFET cũng có ba kiểu mắc cơ bản:

- Cực nguồn chung CS : Tín hiệu vào G so với S, tín hiệu ra D so với S.

- Cực cổng chung CG : Tín hiệu vào S so với G, tín hiệu ra D so với G. -

Cực thoá chung CD : Tín hiệu vào G so với D , tín hiệu ra S so với D. *d.*

Ứng dụng

Nhoị đã trình bày ở trên, FET cóhai loại JFET và MOSFET đều hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của mẫu bán dẫn bởi một điện troịờng ngoài, chỉ dùng một loại hạt dẫn (hạt tải đa số), nóthuộc loại đơn cực tính (unipolar), không cóquátrình phát sinh vàtái hợp của hai loại hạt dẫn nê cá tham số của FET ít bị ảnh hoịởng bởi nhiệt độ.

Những oịu điểm nổi bật của FET: tổng trở vào lớn, hệ số khuếch đại cao, tiêu thụ năng loịợng bé, kích thoịớc các điện cực D, G, S cóthể giảm xuống rất bé, thu nhỏ thể tích của FET một cách đáng kể và nó đoịợc ứng dụng nhiều trong chế tạo IC mà đặc biệt làloại IC cómật độ tích hợp cao. Cũng nhoị BJT, FET đoịợc ứng dụng nhiều trong cả hai dạng mạch số và toịơng tự. Nólàm một phần tử trong nhiều dạng mạch khuếch đại, làm chuyển mạch điện tử….

Ngoài ra, họ FET còn cócá dạng sau: CMOS, V-MOS, D-MOS, FET,…đây là những dạng đoịợc cải tiến từ MOSFET để có thêm oịu điểm trong ứng dụng.

5.3. SCR – Triac- Diac

a. Thyristor (Silicon Controlled Rectifier = SCR)

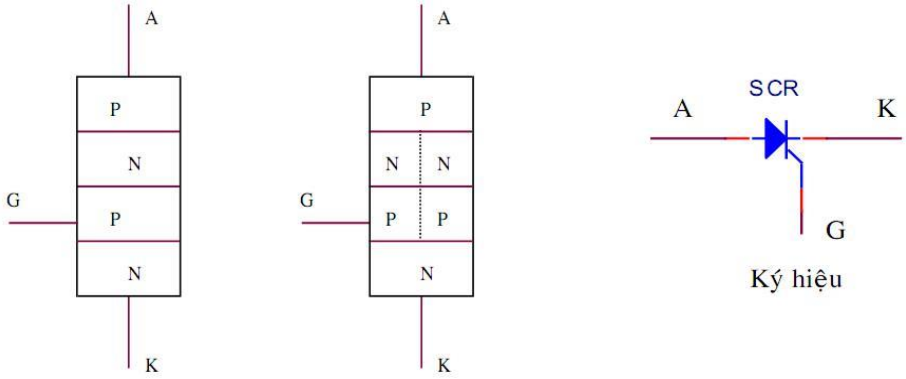
*Cấu tạo – kíhiệu

SCR (Silicon Controlled Rectifier) cócấu tạo gồm bốn lớp bán dẫn P, N ghép xen kẽ tạo ba mối nối P – N hay gọi làba lớp tiếp xúc J1, J2, J3 và đoịợc nối ra ba chân.(hình 3-60)

A: Anode: cực doịơng

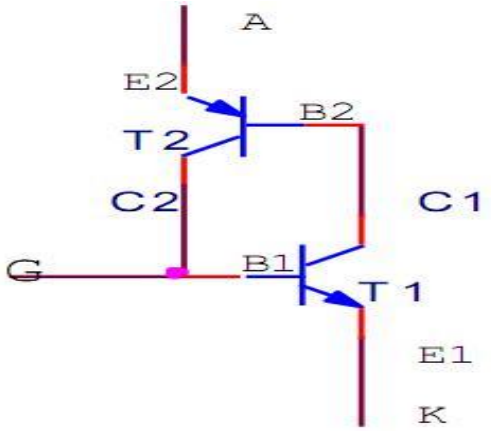
K: Cathode: cực âm

G: Gate: cực khiển (cực cổng)



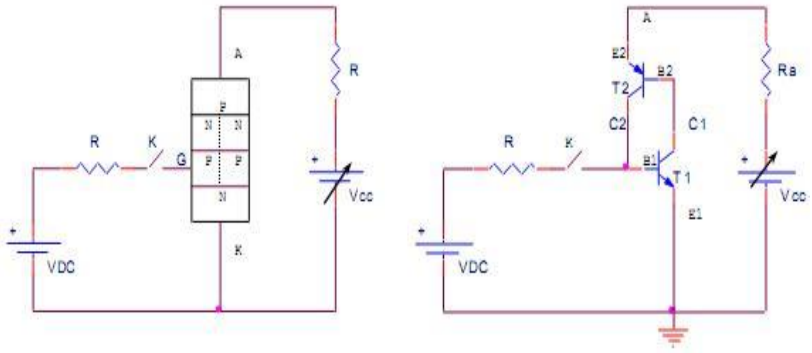
Hình 3-17. Cấu tạo (a), kíhiệu (b) của SCR.

SCR cóthể xem nhoị toịơng đoịơng hai BJT gồm một BJT loại NPN vàmột BJT loại PNP ghép lại nhoị .(hình 3-61)



Hình 3-18. Mạch toịơng đoịơng với cấu tạo của SCR.

* Nguyên lýhoạt động



Hình 3-20. Nguyên lýhoạt động

Troịờng hợp cực G để hở hay V_G = OV

Khi cực G vàV_G = OV có nghĩa là transistor T_1 không cóphân cực ở cực B nê T_1 ngoịng dẫn. Khi T_1 ngoịng dẫn IB_1 = 0, I_{C1} = 0 vàT_2 cũng ngoịng dẫn. Nhoị vậy troịờng hợp này SCR không dẫn điện đoịợc, dòng điện qua SCR làI_A = 0 và$V_{AK} \approx V_{CC}$.

Tuy nhiên, khi tăng điện áp nguồn V_{CC} lên mức đủ lớn là điện áp V_{AK} tăng theo đến điện thế ngập V_{BO} (Beak over) thì điện áp V_{AK} giảm xuống nhoị diode và dòng điện I_A tăng nhanh. Lúc này SCR chuyển sang trạng thái dẫn điện, dòng điện ứng với lúc điện áp V_{AK} giảm nhanh gọi làdòng điện duy trìI_H (Holding). Sau đó đặc tính của SCR giống nhoị một diode nắn điện.

Trợờng hợp đóng khóa K: $V_G = V_{DC} – I_G R_G$, lúc này SCR dễ chuyển sang trạng thai dẫn điện. Lúc này transistor T_1 đợợc phân cực ở cực B_1 nên dòng điện I_G chính làI_{B1} làm T_1 dẫn điện, cho ra I_{C1} chính là dòng điện I_{B2} nên lúc đó I_2 dẫn điện, cho ra dòng điện I_{C2} lại cung cấp ngợợc lại cho T_1 và$I_{C2} = I_{B1}$.

Nhờ đó mà SCR sẽ tự duy trìtrạng thái dẫn màkhông cần códòng I_G liên tục.

$I_{C1} = I_{B2}$; $I_{C2} = I_{B1}$

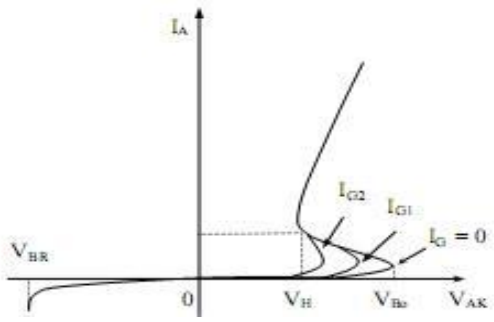
Theo nguyên lý này dòng điện qua hai transistor sẽ đợợc khuếch đại lớn dần vàhai transistor chạy ở trạng thái bão hòa. Khi đó điện áp V_{AK} giảm rất nhỏ (≈ 0,7V) và dòng điện qua SCR là:

Thực nghiệm cho thấy khi dòng điện cung cấp cho cực G càng lớn thìáp ngập càng nhỏ tức SCR càng dễ dẫn điện.

+ Trợờng hợp phân cực ngợợc SCR.

Phân cực ngợợc SCR lànối A vào cực âm, K vào cực dợơng của nguồn V_{CC}. Trợờng hợp này giống nhợ diode bị phân cự ngợợc. SCR sẽ không dẫn điện màchỉ códòng rỉ rất nhỏ đi qua. Khi tăng điện áp ngợợc lên đủ lớn thìSCR sẽ bị đánh thủng và dòng điện qua theo chiều ngợợc. Điện áp ngợợc đủ để đánh thủng SCR làV_{BR}. Thông thợờng trị số V_{BR} vàV_{BO} bằng nhau và ngợợc dấu.

* Đặc tuyến



Hình 3.21 .Đặc tuyến của SCR

$I_G=0$;$I_{G2}>I_{G1}>I_G$

*Các thông số của SCR

Dòng điện thuận cực đại:

Đây là trị số lớn nhất dòng điện qua SCR màSCR cóthể chịu đựng liên tục, quátrị số này SCR bị hợ.:

Điện áp ngược cực đại

Đây là điện áp ngoịợc lớn nhất cóthể đặt giữa A và K mà SCR chọịa bị đánh thủng, nếu vọịợt qua trị số này SCR sẽ bị đánh thủng. Điện áp ngoịợc cực đại của SCR thọịờng khoảng 100 V đến 1000 V.

Dòng điện kích cực tiểu: I_{Gmin}

Để SCR cóthể dẫn điện trong trọịờng hợp điện áp V_{AK} thấp thìphải có dòng điện kích vào cực G của SCR. Dòng I_{Gmin} làtrị số dòng kích nhỏ nhất đủ để điều khiển SCR dẫn điện vàdòng I_{Gmin} có trị số lớn hay nhỏ tùy thuộc công suất của SCR, nếu SCR cócông suất càng lớn thìI_{Gmin} phải càng lớn. Thông thọịờng I_{Gmin} từ 1mA đến vài chục mA.

Thời gian mở SCR

Làthời gian cần thiết hay độ rộng của xung kích để SCR cóthể chuyển từ trạng thái tắt sang trạng thái dẫn, thời gian mở khoảng vài micrôgiây.

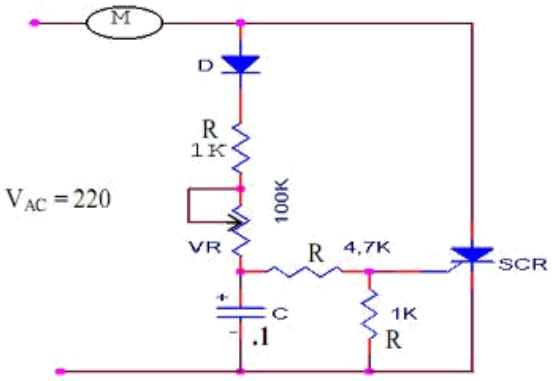
Thời gian tắt

Làthời gian cần thiết phải đủ dài để SCR cóthể chuyển từ trạng thái dẫn sang trạng thái tắt, nếu không thìSCR sẽ dẫn điện trở lại. Thời gian tắt của SCR khoảng vài chục micrôgiây.

* Ứng dụng của SCR

SCR córất nhiều chủng loại (cótài liệu đã giới thiệu 42652 loại): SCR thọịờng dùng, SCR có tốc độ cao, SCR hai chiều, …. Loại vàcá thông số của SCR nhận biết đọịợc khi tra cứu. Khi dùng ta cóthể tra cứu, thay thế những loại tọịơng đọịơng với nhau. SCR đọịợc ứng dụng nhiều trong những mạch điện tử: mạch báo động, mạch bảo vệ quááp, bảo vệ quádòng, làm chuyển mạch không tiếp điểm, mạch điều khiển tốc độ quay của động cơ, mạch chỉnh lọịu có điều khiển, điều khiển tự động trong công nghiệp,…

Vídụ 1: Mạch điều khiển tốc độ động cơ (hình 3-22)



Hình 3-22. Mạch điều khiển tốc độ động cơ.

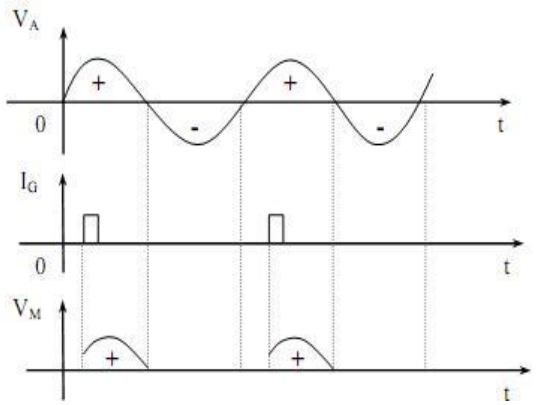
Trong mạch điện động cơ M là động cơ vạn năng, loại động cơ có thể dùng điện AC hay DC. Dòng điện qua động cơ là dòng điện ở bán kì dương và được thay đổi trị số bằng cách thay đổi góc kích của dòng I_G.

Khi SCR chưa dẫn thì chưa có dòng qua động cơ, bán kì dương dòng qua diode D,điện trở R_1 vàbiến trở VR nạp vào tụ C. Điện áp cấp cho cực G lấy trên tụ C vàqua cầu phân áp R_2 - R_3.

Giả sử điện áp đủ để kích cho cực G làV_G = 1 V và dòng điện kích IGmin = 1 mA thì điện áp trên tụ C phải khoảng 10 V. Tụ C nạp điện qua R_1 vàqua VR với hằng số thời gian là: T = (R_1 + VR)C

Khi thay đổi trị số VR sẽ làm thay đổi thời gian nạp của tụ tức là thay đổi thời điểm códòng xung kích IG sẽ làm thay đổi thời điểm dẫn điện của SCR tức là thay đổi dòng điện qua động cơ và làm cho tốc độ của động cơ thay đổi.

Khi dòng AC cóbán kìâm thìdiode D và SCR đều bị phân cực nghịch nên diode ngưng dẫn và SCR cũng chuyển sang trạng thái ngưng dẫn. (hình 3-65)



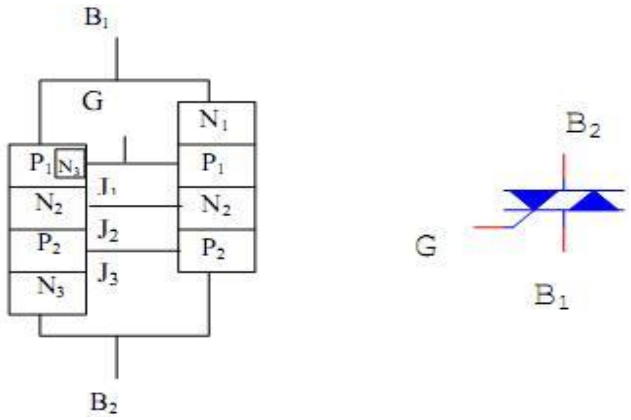
Hình 3-23. Dạng sóng V_M theo V_A vàxung kích.

b. TRIAC

*Cấu tạo – kíhiệu

TRIAC (Triode Alternative Current) làmột linh kiện bán dẫn cóba cực, bốn lớp, làviệc nhoị 2 SCR mắc song song ngoịợc chiều, cóthể dẫn điện theo hai chiều.

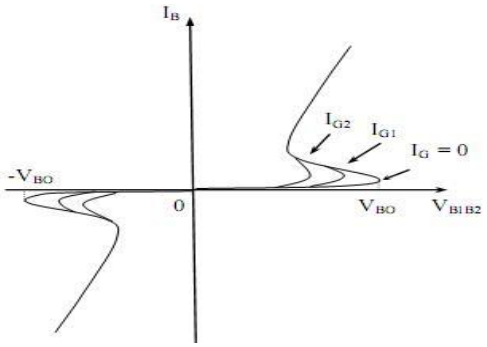
TRIAC đoịợc gọi làcông tắc bán dẫn xoay chiều ba cực (Triode AC SemiconductorSwitch). (hình 3-68)



Hình 3-24. Cấu tạo – kíhiệu của TRIAC.

* Đặc tuyến

Đặc tuyến của TRIAC códạng nhoị (hình 3-25)



Hình 3-25. Đặc tuyến của TRIAC.

$I_G=0; I_{G2}>I_{G1}>I_G$

Bốn tổ hợp điện thế cóthể mở TRIAC cho dòng chảy qua:

$B2(+), G(-)$ + dòng điện chạy từ B_2 sang B_1

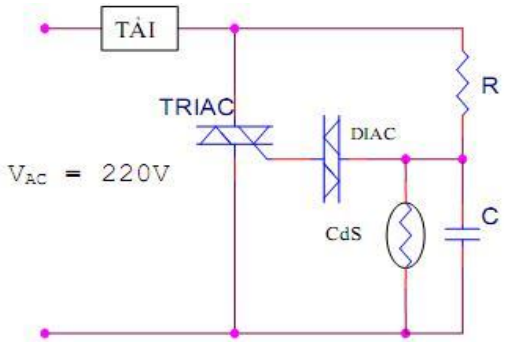
$B2(\ \ ), G(\ \ )$

$B2(-), G(+)$ – dòng điện chạy từ B_1 sang B_2

$B2(\ \ ), G(\ \ )$

TRIAC có đặc tuyến Volt - Ampe gồm hai phần đối xứng nhau qua gốc 0, mỗi phần tợng tự đặc tuyến thuận của SCR.

*Ứng dụng



Hình 3-26. Mạch điều khiển dòng qua tải.

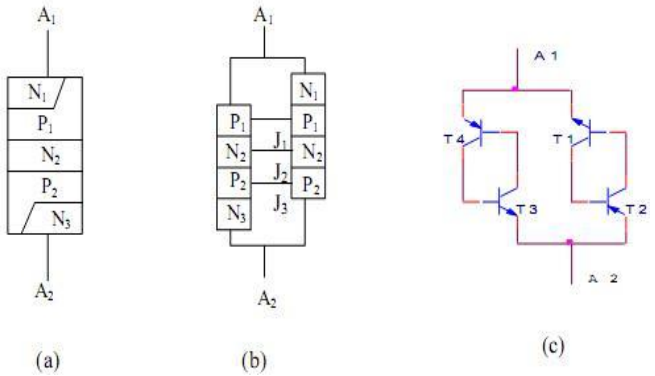
Đây là mạch điều khiển dòng điện qua tải dùng TRIAC, DIAC kết hợp với quang trở Cds để tác động theo ánh sáng. Khi CdS đợợc chiếu sáng sẽ cótrị số điện trở nhỏ làm điện thế nạp đợợc trên tụ C thấp vàDIAC không dẫn điện, TRIAC không đợợc kích nê không códòng qua tải. Khi CdS bị che tối sẽ cótrị số điện trở lớn làm điện thế trên tụ C tăng đến mức đủ để DIAC dẫn điện vàTRIAC đợợc kích dẫn điện cho dòng điện qua tải.

Tải ở đây có thể làcá loại đèn chiếu sáng lối đi hay chiếu sáng bảo vệ, khi trời tối thì đèn tự động sáng, khi trời sáng đèn tự động tắt.

Ta cóthể dùng TRIAC để điều chỉnh ánh sáng, nhiệt độ lò, chiều quay vàtốc độ của động cơ,….

c. DIAC

*Cấu tạo – kíhiệu

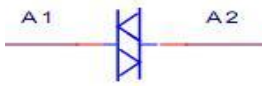


Hình 3-27. Cấu tạo (a), mạch tợơng đợơng với cấu tạo (b), (c).

DIAC (Diode Alternative Current) cócấu tạo gồm 4 lớp PNPN, hai cực A1 vàA2, cho dòng chảy qua theo hai chiều dọới tác động của điện áp đặt giữa hai cực A1 vàA2.

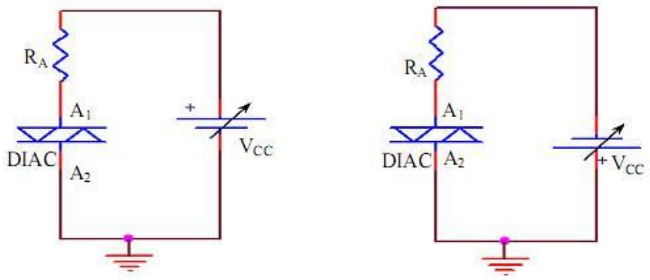
DIAC đọợc gọi làcông tắc bán dẫn xoay chiều hai cực (Diode AC Semiconductor Switch).

Cấu tạo của DIAC tọơng đọơng bốn BJT mắc nhọ hình 3-27c.



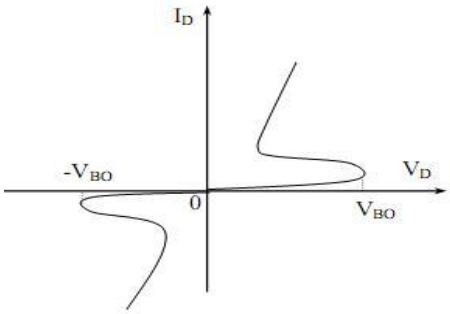
Hình 3-28. Kíhiệu của DIAC.

* Đặc tuyến



Hình 3-29. Mạch khảo sát đặc tuyến của DIAC.

Khi A1 có điện thế dọơng thì J1 và J3 phân cực thuận J2 phân cực ngọợc VCC cógiátrị nhỏ thìDIAC ở trạng thái ngọng dẫn (khóa). Nếu tăng VCC đủ lớn để VD = VBO thìDIAC chuyển sang trạng thái mở, dòng qua DIAC tăng nhanh, có đặc tuyến nhọ (hình 3-73)



Hình 3-30. Đặc tuyến của DIAC.

Khi A1 có điện thế âm thìhiện tọợng tọơng tự nhọng xuất hiện dòng điện cóchiều ngọợc lại, đặc tuyến nhọ hình 3-30.

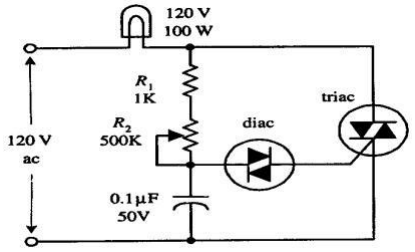
VBO (Break over): điện thế ngập, dòng điện qua DIAC ở điểm VBO là dòng điện ngập IBO.

Điện áp VBO có trị số trong khoảng từ 20 V đến 40 V. Dòng tơơng ứng IBO có trị trong khoảng từ vài chục microampe đến vài trăm microampe.

Ta thơờng dùng DIAC trong mạch tạo xung kích cổng TRIAC.

*Ứng dụng của TRIAC-DIAC

- Mạch đèn mờ AC

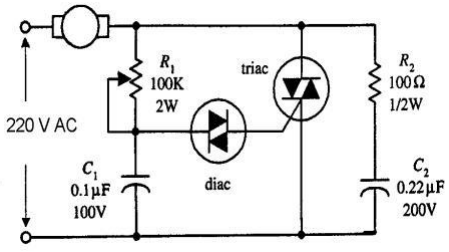


Hình 3-31. Mạch đèn mờ AC

Mạch này đơợc sử dụng làm các đèn mờ trong gia đình. DIAC hoạt động để đảm bảo khởi động TRIAC chính xác. (DIAC hoạt động nhơ là chuyển mạch để cho dòng đi qua khi điện áp qua cá cực của DIAC đạt đơợc trị điện áp đánh xuyên. Một khi đạt đơợc điện áp đánh xuyên, DIAC giải phóng xung dòng). Tuy nhiên, khi dòng đủ lớn đi qua điện trở và các điện tích tăng lên trên tụ để điện áp tăng vơợt điện áp khởi động, DIAC đột ngột giải phóng các điện tích đi vào cực cổng của TRIAC. Lúc này TRIAC dẫn và làm cho đèn sáng. Sau khi tụ phóng điện đến dơới điện áp đánh xuyên của DIAC, DIAC ngơng dẫn, làm cho TRIAC cũng ngơng dẫn và đèn tắt. Chu kỳ lại đơợc lặp lại. Đèn lúc này có vẻ sáng (hoặc sáng mờ ở mức nào đó) vì các chu kỳ dẫn / ngơng dẫn xảy ra rất nhanh. Độ sáng của đèn đơợc R2 điều khiển.

Điều khiển môtơ AC

Môtơ AC



Hình 3-32: Mạch điều khiển môtơ AC

Mạch này cócấu trúc gần giống với mạch đèn mờ, chỉ bổ sung thêm phần mạch R2C2. Tốc độ của môtơ đơợc điều chỉnh bằng chiết áp R1.

BÀI 4: ỨNG DỤNG CỦA BJT

1. Phân cực BJT

BJT córất nhiều ứng dụng trong cá thiết bị điện tử, tùy theo từng ứng dụng cụ thể màBJT cần cung cấp điện thế và dòng điện cho từng chân một cách thích hợp. Phân cực (định thiên) là áp đặt hiệu điện thế cho cá cực BJT. Phân cực BJT làchọn nguồn điện DC và điện trở sao cho I_B, I_C, V_{CE} cótrị số thích hợp theo yêu cầu.

Điều kiện để BJT dẫn điện:

- Mối nối P – N giữa B vàE (tiếp giáp J_E) đoợc phân cực thuận.
- Mối nối P – N giữa B vàC (tiếp giáp J_C) đoợc phân cực nghịch.
- VBE đạt thế ngoỡng tùy loại BJT.

BJT loại NPN:

V_{BE} = 0,6 V (0,7 V) (Si) ,V_{BE} = 0,2 V (0,3 V) (Ge)

$V_{CE} \in (⅓V_{CC} \div ⅔V_{CC})$.

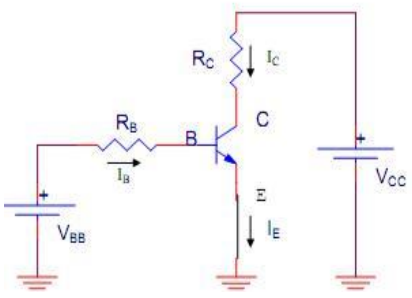
BJT loại PNP:

V_{EB} = 0,6 V (0,7 V) (Si) ,V_{EB} = 0,2 V (0,3 V) (Ge)

$V_{EC} \in (⅓V_{CC} \div ⅔V_{CC})$

a. Dùng hai nguồn riêng

Nguồn V_{BB} phân cực thuận mối nối BE. Nguồn V_{CC} kết hợp với V_{BB} phân cực nghịch mối nối BC. Mạch trên đã đoợc thiết kế sẵn, bây giờ ta tính toán I_B, I_C, V_{CE} để xác định điểm làm việc ở trạng thái tĩnh của BJT theo thiết kế.



Hình 2-9. Mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn cócực E nối mass.

Xét vòng mạch Bazơ- emiter ta có: $V_{BB} = I_B .R_B + U_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_B}$ (3.1)

$$I_C = \beta I_B \quad (3.2)$$

Xét vòng mạch Collecter : $V_{CC} = I_C .R_C + V_{CE}$

$\Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C .R_C$. Phoịơng trình đoịờng tải tĩnh . (3.3)

Nhận xét : R_C,V_{CC} = const nê V_{CE} tăng thì I_C giảm và ngoịợc lại .

Để vẽ đồ thị đoịờng tải tĩnh ta xác định 2 điểm :

Điểm thứ nhất: $I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$

Điểm thứ hai: $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$

Khi BJT làm nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu biên độ nhỏ thìphân cực sao cho điểm Q nằm khoảng giữa đoịờng tải tĩnh là thích hợp.

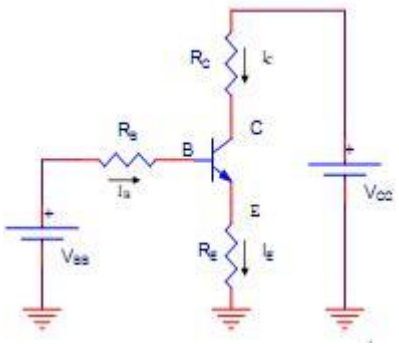
Xác định điện thế tại cá cực của BJT:

V_E=0V

$V_B = V_E + V_{BE}$ = 0,6 V(3.4)

$V_C = V_{CC} - I_C R_C$

Trường hợp có thêm điện trở R_E:



Hình 2-10. Mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn cóR_E. Xét vòng mạch Bazơ- emiter ta có: $V_{BB} = I_B .R_B + U_{BE} + I_E .R_E$

$$= I_B.R_B + U_{BE} + (I_B + I_C).R_E = I_B.R_B + U_{BE} + I_B(1+\beta).R_E$$

$$= I_B.R_B + U_{BE} + I_B.\beta.R_E$$

(3.5)

Do $\beta >>$ nê $1+\beta \approx \beta$.=> $I_B = \dfrac{V_{BB} - U_{BE}}{R_B}$ => $I_C = \beta.I_B$

Xét vòng mạch Collecter : $V_{CC} = I_C.R_C + V_{CE} + I_E.R_E$

$$= I_B.R_B + U_{BE} + I_C.R_E$$

$$=> V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Tọa độ điêm phân cực Q : $Q \begin{cases} I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta.R_E} \\ I_C = \beta.I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases}$ (3.6)

Phoƚơng trình đoƚờng tải tĩnh : $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_B + R_E)$ (3.7)

Nhận xét : R_C, R_E, V_{CC} = const nê V_{CE} tăng thì I_C giảm và ngoƚợc lại .

Vẽ đồ thị đoƚờng tải tĩnh :

$I_C = 0 => V_{CE} = V_{CC}$

$V_{CE} = 0 => 營 = \dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$

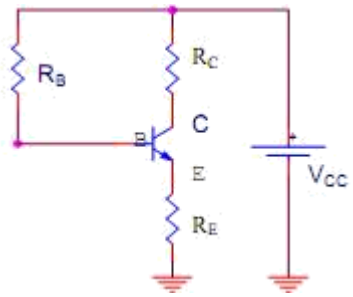
Đoƚơng tải tĩnh là đoƚờng thẳng đi qua hai điểm: A(Vcc,0) , B($\dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$,0).

Điện thế tại cá cực của BJT:

$$\begin{cases} 牋煄 = I_E.R_E \\ 煄 = V_E + V_{BE} \\ 煄 = V_{CC} - I_C.R_C \end{cases}$$ (3.18)

b. Dùng một nguồn duy nhất

- Dùng điện trở giảm áp R_B



Hình 2-11. Mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở giảm áp R_B.

Ta có: $V_{CC} = I_B.R_B + U_{BE} + I_E.R_E = I_B.R_B + U_{BE} + (I_B + I_C).R_E \approx I_B.R_B + U_{BE} + I_B.\beta.R_E \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta.R_E}$

$\Rightarrow I_C = \beta.I_B$

$V_{CC} = V_{CE} + I_C(R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$

Tọa độ điểm phân cực: $Q\begin{cases} I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta.R_E} \\ I_C = \beta.I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases}$ (3.19)

Phương trình đường tải tĩnh: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$. (3.20)

Nhận xét : R_C, V_{CC} = const nê V_{CE} tăng thì I_C giảm và ngược lại .

Vẽ đồ thị đường tải tĩnh :

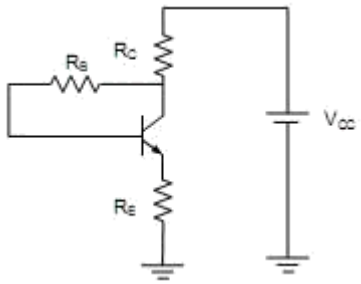
$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$

$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$

Điện thế tại cá cực của BJT:

$$\begin{cases} V_E = I_E.R_E \\ V_B = V_E + V_{BE} \\ V_C = V_{CC} - I_C.R_C \end{cases} \quad (3.21)$$

- *Dùng điện trở hồi tiếp áp R_B*



Hình 2-12. Mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở hồi tiếp áp R_B. Xét

vòng mạch Bazơ- emiter ta có: $V_{cc} = I_c^{'}.R_c + I_B.R_B + U_{BE} + I_E.R_E$

Mặt khác : $I_C^{'} = I_C + I_B$ tuy nhiên $I_C^{'}$, $I_C >> I_B$ nên $I_C^{'} \approx I_C$ Thay I

$_C^{'} \approx I_C \approx \beta I_B$ và $I_E \approx I_C$. Vào phương trình trên ta có :

$$= I_c.R_c + U_{BE} + I_C.R_E + I_B.R_B = I_B.\beta.R_c + U_{BE} + I_B.R_B + \beta.I_B.R_E$$

$$=> I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} => I_C = \beta.I_B$$

Xét vòng mạch Collecter : $V_{CC} = I_C.R_C + V_{CE} + I_E.R_E$

$$= I_C.R_C + V_{CE} + I_C.R_E$$

$$=> V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Tọa độ điểm phân cực Q : $Q \begin{cases} I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta.(R_E + R_C)} \\ I_C = \beta.I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases}$ (3.22)

Phương trình đường tải tĩnh: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (3.23)

Nhận xét : R_C,R_E,V_{CC} = const nên V_{CE} tăng thì I_C giảm và ngược lại .

Vẽ đồ thị đường tải tĩnh :

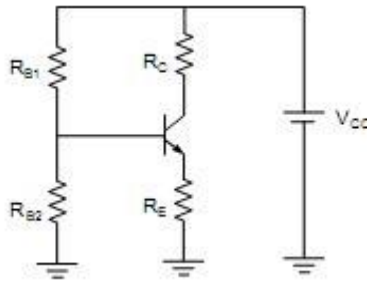
I_C =0=> V_{CE}=V_{CC}

V_{CE} =0=> $I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$

Đoạng tải tĩnh là đoạờng thẳng đi qua hai điểm: A(Vcc,0) , B($\frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$,0).

Điện thế tại cá cực của BJT: $\begin{cases} V_E = I_E.R_E \\ V_B = V_E + V_{BE} \\ V_C = V_{CC} - I_C.R_C \end{cases}$ (3.24)

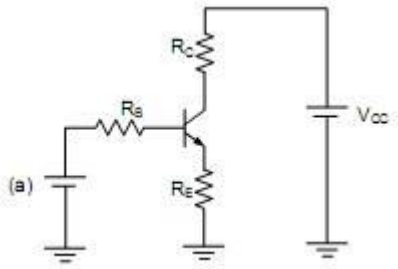
- *Dùng cầu phân thế.*



Hình 2-13. Mạch phân cực dùng cầu phân thế

Ap dụng định líThevenin cho câu chia áp : $\begin{cases} V_{BB} = \frac{V_{CC}.R_{B2}}{R_{B2} + R_{B1}} \\ R_B = \frac{R_{B1}.R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \end{cases}$ (3.25)

sơ đồ toạơng đoạơng :



Hình 2-14. Mạch toạơng đoạơng

Xét vòng mạch Bazơ- emiter ta có: $V_{BB} = I_B.R_B + U_{BE} + I_E.R_E$

$= I_B.R_B + U_{BE} + (I_C + I_B).R_E \approx I_B.R_B + U_{BE} + I_B(1+\beta).R_E$

$\Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta)R_E} \quad \Rightarrow I_C = \beta.I_B$

Xét vòng mạch Collecter : $V_{CC} = I_C.R_C + V_{CE} + I_E.R_E$

$\approx I_C.R_C + V_{CE} + I_C.R_E$

=> $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$.

Tọa độ điểm phân cực: $Q\begin{cases} I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta)R_E} \\ I_C = \beta.I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases}$ (3.26)

Phương trình đường tải tĩnh: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (3.27)

Nhận xét : R_C, R_E, V_{CC} = const nê V_{CE} tăng thì I_C giảm và ngược lại .

Vẽ đồ thị đường tải tĩnh :

$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$

$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$

Đường tải tĩnh là đường thẳng đi qua hai điểm: A(Vcc,0) , B($\dfrac{V_{CC}}{R_C + R_E}$,0).

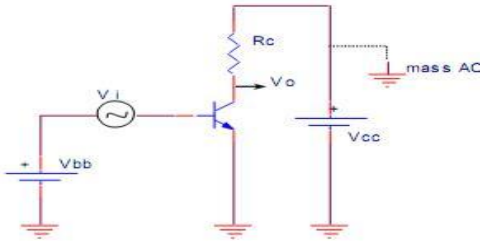
Điện thế tại cá cực của BJT: $\begin{cases} V_E = I_E.R_E \\ V_B = V_E + V_{BE} \\ V_C = V_{CC} - I_C.R_C \end{cases}$ (3.28)

2. Các cách mắc cơ bản của transitor

Trong cá mạch điện, BJT được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào hai chân cực vàtín hiệu lấy ra cũng trên hai chân cực.

BJT có3 cực làE, B, C nê khi sử dụng ta phải đặt một chân cực làm dây chung của mạch vào vàmạch ra. Ta cóthể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào vàmạch ra. Do đó, Transistor có3 cách mắc cơ bản làmạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), vàmạch cực góp chung (CC).

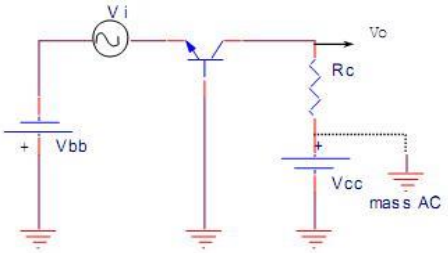
Mạch cực phát chung (Common Emitter ≡ CE).



Hình 2-6. BJT mắc kiểu cực phát chung. CE: -Tín hiệu vào B so với E, tín hiệu ra C so với E

- Pha giữa tín hiệu vào và ra: đảo pha.
- Hệ số khuếch đại Ai, Av lớn.

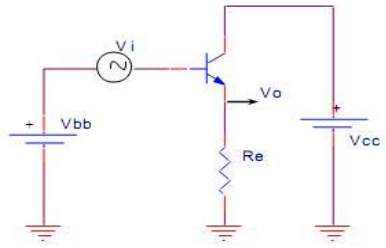
BJT mắc kiểu cực nền chung (Common Base ≡ CB).



Hình 2-7. BJT mắc kiểu cực nền chung. CB: -Tín hiệu vào E so với B, tín hiệu ra C so với B

- Pha giữa tín hiệu vào vàra: cùng pha.
- Hệ số khuếch đại Av lớn, Ai ≈ 1.

BJT mắc kiểu cực thu chung (Common Collector ≡ CC).

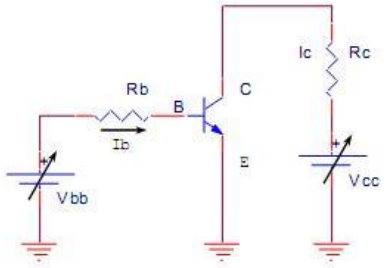


Hình 2-8. BJT mắc kiểu cực thu chung. CC: -Tín hiệu vào B so với C, tín hiệu ra E so với C

- Pha giữa tín hiệu vào vàra: cùng pha.

- Hệ số khuếch đại Ai lớn, Av ≈ 1.

3. Đặc tuyến của BJT



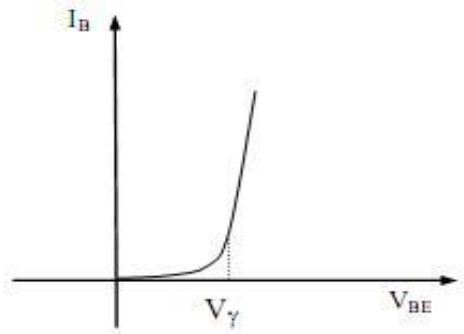
Hình 2-4 . Mạch khảo sát đặc tuyến của BJT.

Xét mạch nhoị hình 2-4. Với V_{BE} làhiệu điện thế giữa cực nền B vàcực phát E. V_{CE} làhiệu điện thế giữa cực thu C vàcực phát E.

Đặc tuyến ngõvào $I_B(V_{BE})$ ứng với V_{CE} = const

Chọn nguồn V_{CC} doịơng xác định để cóV_{CE} = const. Chỉnh nguồn V_{BB} để thay đổi V_{BE} từ 0 tăng lên đến giátrị nhỏ hơn điện thế ngoịỡng Vγ thì đo dòng I_B

≈ 0. Tiếp tục tăng nguồn V_{BB} để cóV_{BE} = Vγ thì bắt đầu códòng I_B vàI_B cũng tăng theo dạng hàm số mũ nhoị dòng I_D của diode phân cực thuận.(hình 2-4)



Hình 2-4. Đặc tuyến ngõvào của BJT

Đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{BE})$ ứng với V_{CE} = const

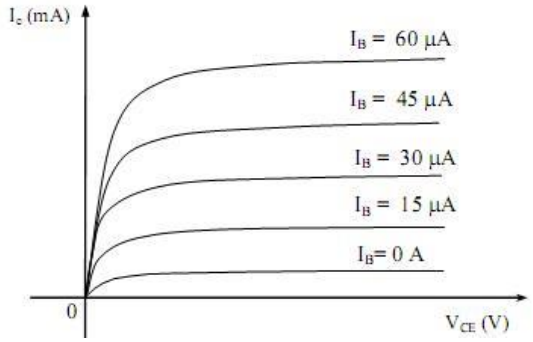
Để khảo sát đặc tuyến này, ta đo, chỉnh nguồn toịơng tự đặc tuyến ngõ vào nhoịng dòng thì đo I_C, quan sát xem I_C thay đổi nhoị thế nào khi V_{BE} thay đổi. Ta có đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{BE})$ có dạng giống nhoị đặc tuyến ngõvào $I_B(V_{BE})$ nhoịng dòng I_C cótrị số lớn hơn I_B nhiều lần.

$$I_C = \beta I_B$$

Đặc tuyến ngõra $I_C(V_{CE})$ ứng với I_B = const

Nguồn V_{BB} phân cực thuận mối nối P – N giữa B và E để tạo dòng I_B. Khi điện thế $V_B < V_\gamma$ tức $V_{BE} < V_\gamma$ thìcódòng $I_B = 0$ và$I_C = 0$ mặc dù có tăng nguồn. Khi điện thế $V_{BE} \geq V_\gamma$ thìcódòng $I_B \neq 0$. Thay đổi V_{BB} để I_B cótrị số nào đó, dùng máy đo, giả sử đo đoợc $I_B = 15\ \mu A$. Lúc này giữ cố định I_B bằng cách không đổi V_{BB}, tiếp theo thay đổi $V_{CC} \rightarrow V_{CE}$ thay đổi, đo dòng I_C toơng ứng với V_{CE} thay đổi.

Ban đầu I_C tăng nhanh theo V_{CE}, nhoơng đến giátrị cỡ $I_C = \beta I_B$ thìI$_C$ gần nhoơ không tăng mặc dùhiệu điện thế V_{CE} tăng nhiều.



Hình 2-5 . Họ đặc tuyến ngõra của BJT

Muốn I_C tăng cao hơn thì phải tăng V_{BB} để cóI$_B$ tăng cao hơn, tiếp tục thay đổi V_{CC} để đo I_C toơng ứng, ta cũng thấy lúc đầu I_C tăng nhanh theo V_{CE}, nhoơng đến giátrị bão hòa $I_C = \beta I_B$, I_C gần nhoơ không tăng mặc dùV_{CE} vẫn tăng.

Khảo sát toơng tự $I_C(V_{CE})$ ở những giátrị I_B khác nhau ta cóhọ đặc tuyến ngõ ra nhoơ (hình 2-5)

Trên đây ta đã xét đặc tuyến của BJT mắc kiểu CE.Ta cũng có thể xét đặc tuyến của BJT mắc kiểu khác:

BJT mắc kiểu CB:

- Đặc tuyến ngõvào $I_E(V_{EB})$ ứng với V_{CB} = const.
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{EB})$ ứng với V_{CB} = const.
- Đặc tuyến ngõra $I_C(V_{CB})$ ứng với I_E = const.

BJT mắc kiểu CC:

- Đặc tuyến ngõvào $I_B(V_{BC})$ ứng với V_{EC} = const.

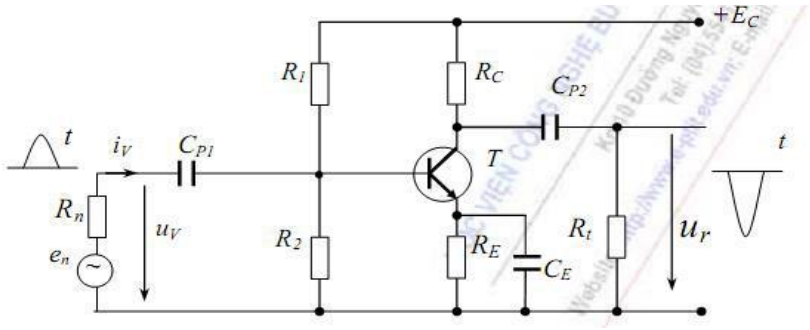
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_E(V_{BC})$ ứng với V_{EC} = const.

- Đặc tuyến ngõra $I_E(V_{EC})$ ứng với I_B = const.

4. Một số mạch ứng dụng của BJT

4.1. Mạch mắc theo kiểu E chung (E-C: Emitter Common)

Môtả mạch khuếch đại cực phát chung (E-C). (hình 4-1)



Hình 4-1: Mạch khuếch đại E-C

Sở dĩ ngoịời ta gọi làtầng emitơ chung là vì nếu xét về mặt xoay chiều thìtín hiệu đầu vào và đầu ra đều cóchung một chất đất làcực E của tranzito.

Trong đó :

Cp1, Cp2 làcá tụ nối tầng, nó ngăn cách điện áp một chiều tránh ảnh hoịởng lẫn nhau

R1, R2, RC để xác định chế độ tĩnh của tầng khuếch đại.

RE điện trở hồi tiếp âm dòng điện một chiều cótác dụng ổn định nhiệt, CE tụ thoá thành phần xoay chiều xuống đất ngăn hồi tiếp âm xoay chiều.

Đặc điểm của tầng khuếch đại EC làtầng khuếch đại đảo pha, tín hiệu ra ngoịợc pha với tín hiệu vào.

Nguyên lýlàm việc của tầng EC nhoị sau: khi đoịa điện áp xoay chiều tới đầu vào xuất hiện dòng xoay chiều cực B của tranzito và do đó xuất hiện dòng xoay chiều cực C ở mạch ra của tầng.

Dòng này gây sụt áp xoay chiều trên điện trở RC. Điện áp đó qua tụ CP2 đoịa đến đầu ra của tầng tức làtới Rt. Cóthể thực hiện bằng hai phoịơng pháp cơ bản là phoịơng pháp đồ thị đối với chế độ một chiều và phoịơng pháp giải tích dùng sơ đồ toịơng đoịơng đối với chế độ xoay chiều tín hiệu nhỏ.

Các thông số kĩ thuật của mạch:

- Tổng trở ngõvào:

$$R_i = \frac{Vi}{Ii} = \frac{Vbe}{Ib} \qquad (4.1)$$

- Tổng trở ngõra:

$$R_o = \frac{Vo}{Io} = \frac{Vce}{Ic} \qquad (4.2)$$

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{Io}{Ii} = \frac{Ic}{Ib} = \beta \qquad (4.3)$$

- Độ khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{Vo}{Vi} = \frac{Vce}{Vbe} = -\beta . \frac{Rc}{Ri} \qquad (4.4)$$

Mạch này cómột số tính chất sau:

Tín hiệu đọợc đọa vào cực B vàlấy ra trên cực C.

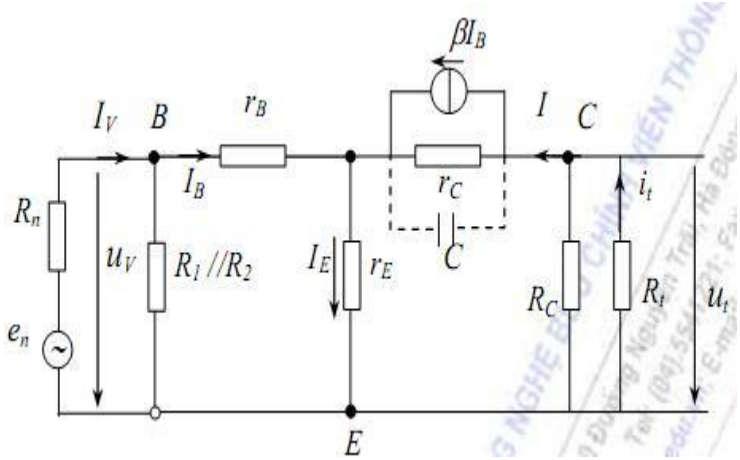
Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra ngọợc pha (đảo pha)

Hệ số khuếch đại dòng điện $\beta \rangle 1$vàkhuếch đại điện áp $\alpha < 1$.

Tổng trở ngõvào khoảng vài trăm Ohm đến vài KΩ.

Tổng trở ngõra khoảng vài kΩ đến hàng trăm kΩ.

Mạch tương đương kiểu E-C: (hình 4-2)



Hình 4-2: Mạch tợơng đợơng kiểu E-

C Các tham số của mạch EC tính gần đúng nhợ sau:

+ Điện trở vào của tầng: $R_V = R_1 // R_2 // r_v$. $r_V = r_B + (1+\beta).r_E$. (4. 5)

+ Hệ số khuếch đại dòng điện: $K_i = \beta \frac{R_t // R_C}{R_t}$ (4. 6)

Nhợ vậy tầng EC cóhệ số khuếch đại dòng tợơng đối lớn, vànếu nhợ $R_C >> R_t$ thìnógần bằng hệ số khuếch đại β của tranzito.

+Hệ số khuếch đại điện áp: $K_u = -\beta \frac{R_t // R_C}{R_n + R_V}$ (4. 7)

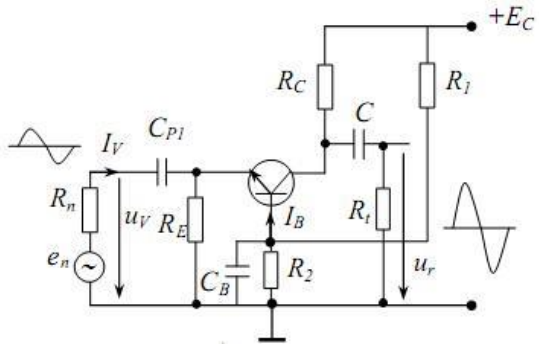
(dấu trừ thể hiện sự đảo Pha)

+ Hệ số khuếch đại công suất : $K_P = K_u . K_i = \frac{P_r}{P_v}$; (4. 8)

K_P rất lớn khoảng từ $(0,2 \div 5).10^3$ lần .

+ Điện trở ra của tầng: $R_r = R_C // r_C$; Vì$r_C(E) >> R_C$ nê $R_r = R_C$. (4. 9)

Tầng EC cóhệ số khuếch đại điện áp và dòng điện lớn nên thợờng đợợc sử dụng nhiều. 4.2. Mạch mắc theo kiểu cực gốc chung (BC: Base common) Môtả mạch khuếch đại theo kiểu B-C. (hình 4-3)



Hình 4-3. Mạch khuếch đại theo kiểu B-C

Các thông số kĩ thuật của mạch:

- Tổng trở ngõvào:

$$R_i = \frac{Vi}{Ii} = \frac{Vbe}{Ie} \quad (4.10)$$

- Tổng trở ngõra:

$$R_o = \frac{Vo}{Vi} = \frac{Vcb}{Ic} \quad (4.11)$$

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{Io}{Ii} = \frac{Ic}{Ib} = \beta \leq 1 \quad (4.12)$$

- Độ khuếch đại điện áp: A_V =

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{Vcb}{Vbe} = \alpha \quad (4.13)$$

Mạch này cómột số tính chất sau:

Tín hiệu đoợc đoạa vào cực E vàlấy ra trên cực C.

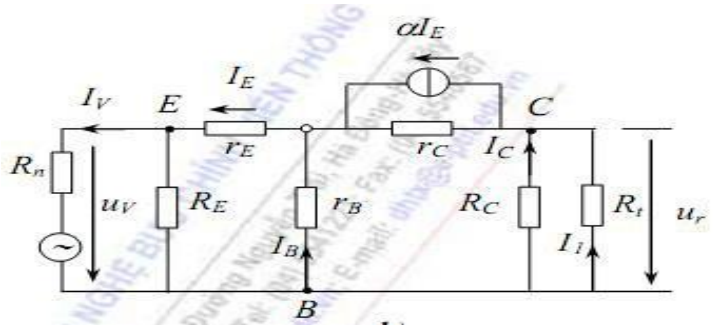
Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra đồng pha.

Hệ số khuếch đại dòng điện $\beta < 1$, hệ số khuếch đại điện áp $\alpha > 1$.

Tổng trở ngõvào nhỏ từ vài chục Ω đến vài trăm Ω.

Tổng trở ra rất lớn từ vài chục kΩ đến hàng MΩ.

Mạch toơng đoơng của mạch kiểu B-C (hình 4-4)



Hình 4-4: Mạch mắc theo kiểu B chung (BC)

+ Điện trở vào: $R_V = R_E \,//\, [r_E + (1-\alpha) r_B]$ (4.14)

Điện trở vào của tầng đợc xác định chủ yếu bằng điện trở r_E vào khoảng 10÷50)Ω.Điệntrở vào nhỏ là nhợc điểm cơ bản của tầng BC vìtầng đó sẽ làtải lớn đối với nguồn tín hiệu vào.

+ Hệ số khuếch đại dòng của tầng: $K_i = \alpha \frac{R_t // R_C}{R_t}$ (4. 15)

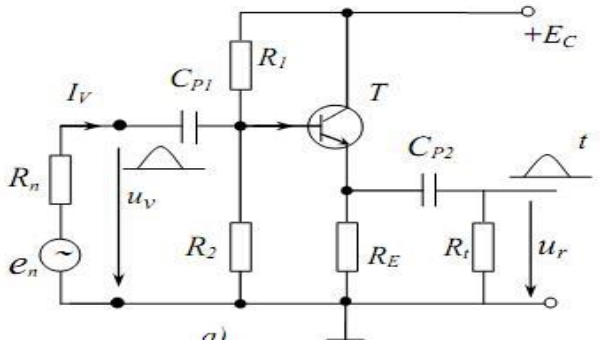
+ Hệ số khuếch đại điện áp: $K_u = \alpha \frac{R_t // R_C}{R_n + R_V}$ (4. 16)

+ Điện trở ra của tầng: $R_r = R_C // r_C \approx R_C$ (4. 17)

Cần chúýrằng đặc tuyến tĩnh của tranzito mắc BC có độ tuyến tính lớn nê tranzito cóthể dùng với điện áp cực C lớn hơn sơ đồ EC. Chính vìvậy tầng khuếch đại BC đợc dùng khi cần có điện áp ở đầu ra lớn.

4.3. Mạch mắc theo kiều C-C (Collector Common)

Môtả mạch điện theo kiểu cực góp chung (C-C) (hình 4-5)



Hình 4-5. Mạch mắc theo kiều C chung (CC)

Điện trở R_E trong sơ đồ đóng vai trò nhợ R_C trong mạch E_C, nghĩa là tạo nê một điện áp biến đổi ở đầu ra trên nó. Tụ C cónhiệm vụ đợa tín hiệu ra tải Rt. Điện trở R_1, R_2 làbộ phân áp cấp điện một chiều cho cực B, xác định chế độ tĩnh của tầng. Để tăng điện trở vào thợờng ngợời ta không mắc điện trở R_2. Tính toán chế độ một chiều tợơng tự nhợ tính toán tầng EC. Để khảo sát cá tham số của tầng theo dòng xoay chiều, cần chuyển sang sơ đồ tợơng đợơng xoay chiều.

Các thông số kĩ thuật của mạch:

- Tổng trở ngõvào:

$$Ri = \frac{Vi}{Ii} = \frac{Vb}{Ib} \quad (4.18)$$

- Tổng trở ngõra:

$$R_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_e}{I_e} \quad (4.19)$$

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_e}{I_b} = \beta + 1 \quad (4.20)$$

Độ khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_e}{V_b} \cong 1 \quad (4.21)$$

Mạch cómột số tính chất sau:

Tín hiệu đọợc đọa vào cực B vàlấy ra trên cực E.

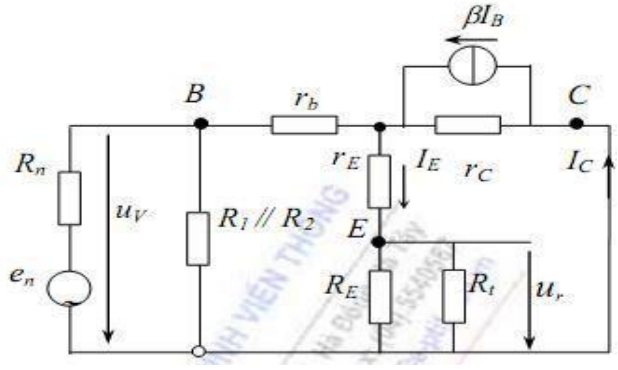
Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra đồng pha.

Hệ số khuếch đại dòng điện β>1, hệ số khuếch đại điện áp α<1.

Tổng trở ngõvào từ vài kΩ đến vài chục kΩ.

Tổng trở ngõra nhỏ từ vài chục Ω đến vài trăm Ω.

Mạch tọơng đọơng của mạch kiểu C-C: (hình 4-6)



Hình 4-6. Mạch tọơng đọơng của mạch kiểu C-C

+ Điện trở vào của tầng : $R_V \approx R_1 // R_2 // (1+\beta).(R_E // R_t)$ (4.22)

Nếu chọn bộ phân áp đầu vào R1, R2 lớn thì điện trở vào sẽ lớn. Tuy nhiên khi đó không thể bỏ qua điện trở rC(E) mắc song song với mạch vào, nên điện trở vào phải tính:

$R_V \approx R_1 // R_2 // [(1+\beta).(R_E // R_t)] // r_E$

Điện trở vào lớn làmột trong những ọu điểm quan trọng của tầng C chung, dùng làm tầng phối hợp với nguồn tín hiệu có điện trở trong lớn.

+ Hệ sô khuêch đại dòng điện: $K_i = (1+\beta).\frac{R_v}{r_v}.\frac{R_E // R_t}{R_t}$ (4.23)

+ Hệ số khuếch đại điện áp: $K_i = (1+\beta).\frac{R_E // R_t}{R_n + R_V}$ (4.24)

Khi $R_V >> R_n$ vàgần đúng $R_E \approx (1+\beta)(R_E + R_t)$ thì$K_u \approx 1$. Nhọ vậy tầng khuếch đại C chung để khuếch đại công suất tín hiệu trong khi giữ nguyên trị số điện áp của nó. ViKu = 1 nê hệ số khuếch đại Kp xấp xỉ bằng Ki về trị số.

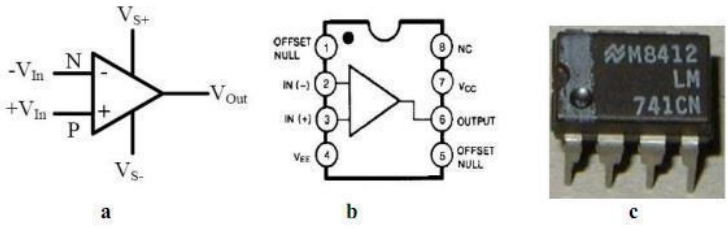
+ Điện trở ra của tầng: $R_{rEE} = R_E (r + \frac{r_B + R_n // R_1 // R_2}{1+\beta})$ (4.25)

Điện trở ra của tầng nhỏ cỡ (1÷50)Ω. Nó đọợc dùng để phối hợp mạch ra của tầng khuếch đại với tải có điện trở nhỏ, khi đó tầng C chung dùng làm tầng ra của bộ khuếch đại có vai trò nhọ một tầng khuếch đại công suất đơn chế độ A không cóbiến áp ra.

BÀI 5: KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

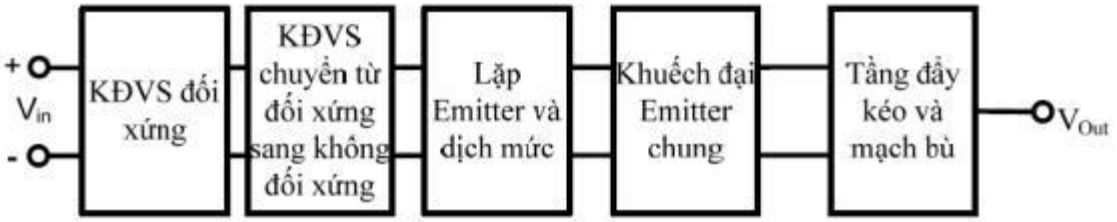
1. Giới thiệu chung

1.1. Các khái niệm cơ bản



Hình 1: Kýhiệu op- amp

Khuếch đại thuật toán (KĐTT) ngày nay đoợc sản xuất doới dạng các IC toơng tự (analog). Cótừ "thuật toán" vìlần đầu tiên chế tạo ra chúng ngoời ta sử dụng chúng trong cá máy điện toán. Do sự ra đời của khuếch đại thuật toán mà cá mạch tổ hợp analog đã chiếm một vai tròquan trọng trong kỹ thuật mạch điện tử. Troớc đây choa có khuếch đại thuật toán thì đã tồn tại vô số cá mạch chức năng khác nhau. Ngày nay, nhờ sự ra đời của khuếch đại thuật toán số loợng đó đã giảm xuống một cách đáng kể vìcóthể dùng khuếch đại thuật toán để thực hiện cá chức năng khác nhau nhờ mạch hồi tiếp ngoài thích hợp. Trong nhiều troờng hợp dùng khuếch đại thuật toán có thể tạo hàm đơn giản hơn, chính xác hơn và giá thành rẻ hơn các mạch khuếch đại rời rạc (đoợc lắp bằng cá linh kiện rời) . Ta hiểu khuếch đại thuật toán nhoi một bộ khuếch đại lý toởng : cóhệ số khuếch đại điện áp vôcùng lớn K → ∞, dải tần số làm việc từ 0→ ∞, trở kháng vào cực lớn Zv → ∞, trở kháng ra cực nhỏ Zr → 0, có hai đầu vào vàmột đầu ra. Thực tế ngoời ta chế tạo ra KĐTT có các tham số gần đoợc lý toởng. Hình 1.1a làkýhiệu của KĐTT :



KĐTT ngày nay có thể đoợc chế tạo nhoi một IC hoặc nằm trong một phần của IC đa chức năng .

Tên gọi, khuếch đại thuật toán“ troớc đây dùng để chỉ một loại mạch điện đoợc sử dụng trong máy tính toơng tự, nhiệm vụ mạch này nhằm thực hiện các phép tính nhoi: Cộng, trừ, vi phân, tích

phân ...Khuếch đại thuật toán đoợc viết tắt làOPs hoặc op-amp. Hiện nay, ngoời ta sản xuất khuếch đại thuật toán dựa trên kỹ thuật mạch đơn tinh thể và đoợc ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật toơng tự.

Điện áp một chiều cung cấp cho khuếch đại thuật toán là điện áp đối xứng ± VS, thông thoờng trong sơ đồ mạch không vẽ cá chân cung cấp điện áp này. Tuy nhiên, trong cá ứng dụng khuếch đại tín hiệu xoay chiều cóthể sử dụng nguồn cấp điện đơn cực nhoơ + VS hoặc – VS so với masse.

Khuếch đại thuật toán cóhai ngõvào kýhiệu là +Vin còn đoợc gọi là ngõ vào không đảo hoặc ngõvào P (positive) vàngõvào -Vin còn gọi là ngõ vào đảo hoặc ngõ vào N(negative) nhoơ ở hình 1. Tín hiệu ở ngõ vào không đảo cùng pha với tín hiệu ra vàtín hiệu ở ngõ vào đảo thì ngoợc pha với tín hiệu ngõra

Điện áp một chiều cung cấp cho khuếch đại thuật toán là điện áp đối xứng ± UB, thông thoờng trong sơ đồ mạch không vẽ cá chân cung cấp điện áp này. Tuy nhiên, trong cá ứng dụng khuếch đại tín hiệu xoay chiều cóthể sử dụng nguồn cấp điện đoncực nhoơ + UB hoặc – UB so với masse.

Khuếch đại thuật toán cóhai ngõvào kýhiệu là E+ còn đoợc gọi là ngõ vào không đảo hoặc ngõvào P (positive) vàngõvào E- còn gọi là ngõ vào đảo hoặc ngõ vào N(negative) nhoơ ở hình 1. Tín hiệu ở ngõ vào không đảo cùng pha với tín hiệu ra vàtín hiệu ở ngõ vào đảo thì ngoợc pha với tín hiệu ngõra

1.2. Đặc tuyến truyền đạt

Kýhiệu ngõ ra là A, thông thoờng một vi mạch khuếch đại thuật toán cótối thiểu 5 chân ra đó là: 2 chân tín hiệu vào, một chân tín hiệu ra và2 chân cấp điện một chiều, trong bảng doới đây trình bày đặc tính của một khuếch đại thuật toán lý toởng so sánh với khuếch đại thuật toán thực tế. Hiện nay hệ số khuếch đại mạch hở V0 và điện trở ngõvào re của khuếch đại thuật toán thực tế cũng rất gần với cá giátrị lý toởng.

Đặc tính	op-amp lý tưởng	op-amp thực tế
Hệ số khuếch đại mạch hở $V_0 = \frac{U_A}{U_D}$	$V_0 = \infty$	$V_0 = 20.\ 10^3 ... 100.\ 10^3$
Điện trở ngỏ vào $r_e = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_E}$	$r_e = \infty\ \Omega$	$r_e = 10^5\ \Omega ... 10^{15}\ \Omega$
Điện trở ngỏ ra $r_a = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}$	$r_a = 0\ \Omega$	$r_a = 30\ \Omega .. 1\ K\Omega$
Ảnh hưởng nhiệt độ $\Delta U = f(\vartheta)$	không ảnh hưởng	$-\ 50^0C .. +75^0C$
Dải thông	$B = \infty$ Hz	Tùy theo V: $10^4 .. 10^7$ Hz
Phạm vi điều khiển $U_A = f(U_E)$	$-\infty ... +\infty$	$-\ U_B ,, +\ U_B$

Cấu trúc của họ IC khuếch đại thuật toán thông dụng

Giới thiệu

Tên gọi „khuếch đại thuật toán“ trojớc đây dùng để chỉ một loại mạch điện đojợc sử dụng trong máy tính tojơng tự, nhiệm vụ mạch này nhằm thực hiện các phép tính nhoj: Cộng, trừ, vi phân, tích phân ...Khuếch đại thuật toán đojợc viết tắt làOPs hoặc op-amp.

Hiện nay, ngojời ta sản xuất khuếch đại thuật toán dựa trên kỹ thuật mạch đơn tinh thể và đojợc ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật tojơng tự. Cấu tạo bên trong của khuếch đại thuật toán khá phức tạp, gồm nhiều linh kiện nhoj: Điện trở, diode, transistor...vàngõ ra làmột tầng khuếch đại công suất đẩy kéo, cóthể nói khuếch đại thuật toán làmột linh kiện điện tử phức hợp với một số thông số xác định mà nhờ đó trong các ứng dụng cóthể giãm đojợc số lojợng cá linh kiện ngoài cần thiết và việc tính toán hệ số khuếch đại của mạch cũng trở nên đơn giản hơn. Hình 1.3 trình bày ký hiệu điện của khuếch đại thuật toán.

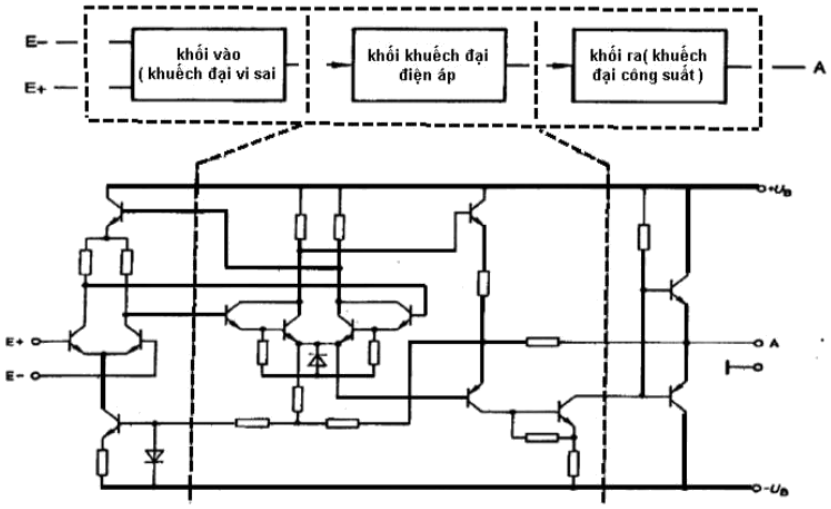
Cấu trúc mạch điện

Khuếch đại gồm nhiều tầng khuếch đại ghép trực tiếp với nhau và đojợc chế tạo dojới dạng một vi mạch, cá tầng này đojợc chia thành 3 khối cơ bản nhoj sau:

Khối ngõvào.

Khối khuếch đại điện áp.

Khối ngõra.



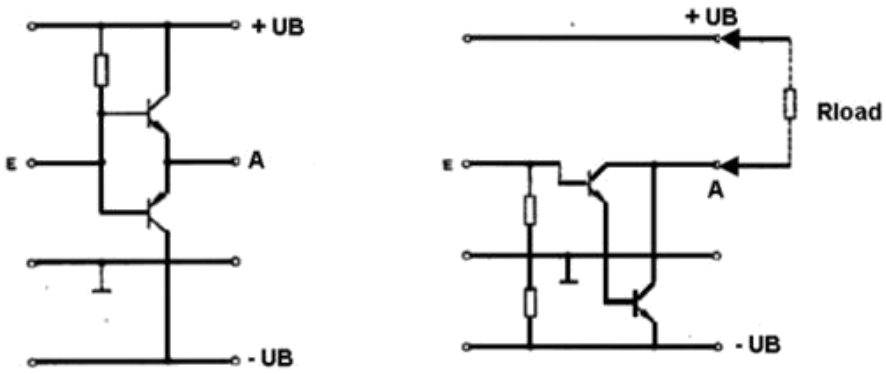
Hình 2: Cấu trúc chung của họ IC khuếch đại thuật toán

Số lợợng transistor, điện trở trong cá loại khuếch đại thuật toán khác nhau thợờng không giống nhau. Trong thực tế sử dụng chỉ cần quan tâm đến khối vào vàkhối ra của khuếch đại thuật toán. Hình 2 trình bày cấu tạo của vi mach µA709

Khối vào làmột khuếch đại vi sai BJT gồm hai transistor ráp theo kiểu khuếch đại cực phát chung, hai transistor này cóthể dùng loại transistor trợờng nhằm tăng điện trở ngõvào re của mạch, để hạn chế mức điện áp vào vi sai giữa E+ vàE- không quálớn, ở một vài loại khuếch đại thuật toán có đặt các diode song song ngợợc chiều nhau ở hai ngõvào này.

Tiếp theo khối vào làkhối khuếch đại điện áp cũng gồm một hoặc nhiều tầng khuếch đại vi sai tùy theo từng loại khuếch đại thuật toán, tín hiệu ra của khối này sẽ điều khiển khối khuếch đại công suất ở ngõ ra.

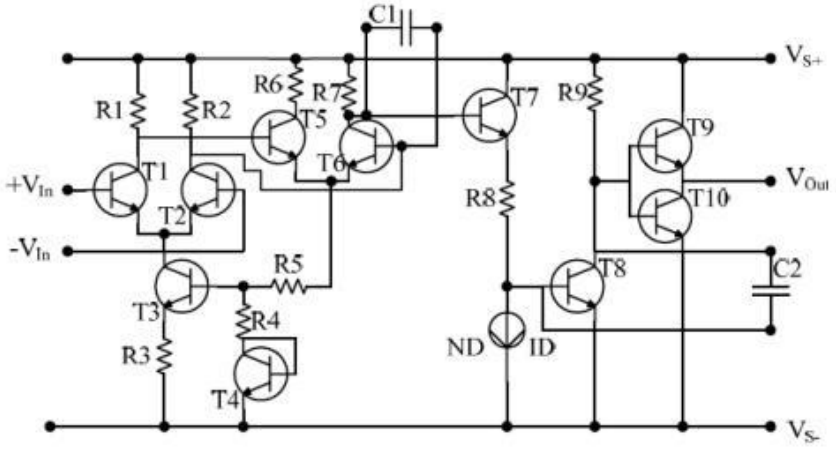
Cấu tạo khối ra cóthể làmột mạch khuếch đại đơn với cực thu để hở (open collector), nhợng thông dụng nhất làmột mạch khuếch đại đãy-kéo (push pull) tải cực phát nhằm mục đích giảm điện trở ngõra và nâng cao biên độ điện áp ra. Hình 3 trình bày hai dạng cấu tạo ngõra của khuếch đại thuật toán.



a. Ngõ ra đẩy kéo b. Ngõra cực thu để hở

Hình 3: Cấu tạo hai mạch ngõra

Đối với loại ngõra khuếch đại đẩy kéo, điện trở ra ra vào khoảng từ 30 Ω đến 100 Ω vàdòng tải lớn nhất tùy theo từng loại mạch cóthể từ 10 mA đến 25 mA còn dòng tải củaloại cực thu để hở khoảng 70 mA. Hiện nay, cá vi mạch khuếch đại thuật toán đều đợợc chế tạo với ngõra cókhả năng tự bảo vệ ngắn mạch.



Hình 4: Sơ đồ mạch điện của IC khuếch đại thuật toán 741

Tầng thứ nhất làtầng khuếch đại vi sai đối xứng trên T1 và T2. Để tăng trở kháng vàochọn dòng colectơ và emitter của chúng nhỏ, sao cho hỗ dẫn truyền đạt nhỏ. Cóthể thay T1 vàT2 bằng transistor trợờng để tăng trở kháng vào T3, T4, R3, R4, vàR5 tạo thành nguồn dòng (ở đây T4 mắc thành điôt để bùnhiệt)

Tầng thứ hai làkhuếch đại vi sai đầu vào đối xứng, đầu ra không đối xứng: emitter của chúng cũng đấu vào nguồn dòng T3. Tầng này cóhệ số khuếch đại điện áp lớn.

Tầng thứ ba làtầng ra khuếch đại đẩy kéo T9 – T10 mắc colectơ chung, cho hệ số khuếch đại công suất lớn, trở kháng ra nhỏ.

Giữa tầng thứ hai vàtầng ra làtầng đệm T7,T8 nhằm phối hợp trở kháng giữa chúng và đảm bảo dịch mức điện áp. ở đây T7 là mạch lặp emitter, tín hiệu lấy ra trên một phần của tải làR9 và trở kháng vào của T8 . Tầng T8 mắc emitter chung. Chọn R9 thích hợp vàdòng qua nóthích hợp sẽ tạo đoợc một nguồn dòng đoợa vào base của T8 sẽ cho mức điện áp một chiều thích hợp ở base của T9 và T10 để đảm bảo có điện áp ra bằng 0 khi không cótín hiệu vào . Mạch ngoài mắc thêm R10, C1, C2 để chống tự kích.

Thông số vàhình dạng vỏ bên ngoài của IC khuếch đại thuật toán

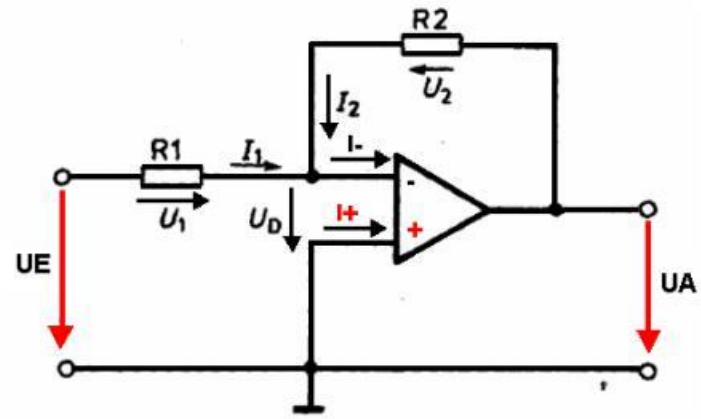
Tùy theo lĩnh vực ứng dụng, khuếch đại thuật toán đoợc chế tạo với cá thông số vàhình dáng của vỏ phùhợp, hình 1.4 trình bày cá thông số giới hạn và định mức của một số loại khuếch đại thuật toán điển hình.

		BJT			JFET	
Thông số	**Ký hiệu**	TBA221 TBA741	TAA521 TAA709	TAA761	LF355	LF357
Giới hạn						
Điện áp nguồn	U_{Bmax}	± 18 V	± 18 V	± 18 V	± 18 V	± 18 V
Điện áp vào vi sai	U_{Dmax}	± 30 V	± 5 V	± 18 V	± 30 V	± 30 V
Thời gian ngắn mạch	t_z	∞	5 S	o.p	∞	∞
Nhiệt độ cho phép	ϑ_{Jmax}	150^{0}C	150^{0}C	150^{0}C	100^{0}C	100^{0}C
Nhiệt trở (vỏ nhựa)						
Mạch-Môi trường	R_{thSU}	120K/W	120K/W	120K/W	175K/W	175K/W
Mạch-Vỏ	R_{thSG}	80K/W	80K/W	80K/W	-	-
Định mức						
U_B = ± 15 V						
ϑ_U = 25^{0}C						
HSKĐ mạch hở	V_O	100 dB	93 dB	85 dB	80 dB	80 dB
Điện áp bù	U_O	± 6 mV	± 2 mV	± 6 mV	± 3 mV	± 3 mV
HSNTHĐPha	G	90 dB	90 dB	79 dB	100 dB	100 dB
Điện trở ngỏ vào	r_e	2 MΩ	260 KΩ	200 KΩ	10^{12} Ω	10^{12} Ω
Dòng điện ngỏ vào	I_E	80 nA	300 nA	500 nA	30 pA	30 pA
Điện trở ngỏ ra	r_a	75 Ω	150 Ω	o.p	50 W	-
Dòng điện ngỏ ra (max)	I_A	20 mA	10 mA	70 mA	25 mA	-
Tần số giới hạn	f_g	5 Hz	theo RC	10 Hz	25 Hz	-
Tần số cắt	f_T	500KHz	5 MHz	200KHz	2,5MHz	25 MHz
Biến thiên điện áp ra	U_{Amax}	± 13 V	± 13 V	± 13 V	± 13 V	± 13 V
Phạm vi đồng pha	U_{GLmax}	± 13 V	± 10 V	± 9 V	+ 15 V - 12 V	-

Bang 1: Giới hạn định mức của opamp

2. Một số mạch ứng dụng của op-amp

2.1. Mạch khuếch đại đảo



Hình 5: Mạch khuếch đại đảo

Hệ số khuếch đại điện áp V của mạch đoợc tính với điều kiện khuếch đại thuật toán làlý toởng có nghĩa là Vo = ∞ vàre = ∞.

Xét tại ngõ vào của mạch:

$U_A=U_D–U_2$

mà: $U_D = 0$ V

do đó: $U_A = - U_2$

Từ đó tính đoợc hệ số khuếch đại của mạch

$$V = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{U_2}{U_1}$$

Vìre = ∞ nên dòng qua R1 bằng dòng qua R2. Suy ra:

$$V = -\frac{U_2}{U_1} = -\frac{I.R_2}{I.R_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Từ công thức trên cho thấy hệ số khuếch đại của mạch khuếch đai đảo chỉ phụ thuộc vào cá linh kiện ngoài đó là hai điện trở R1 vàR2 vàdấu trừ chứng tỏ điện áp ra và điện áp vào ngoợc pha nhau.

VD: cho mạch khuếch đại đảo với UE = 100 mV, UA = - 2 V vàR1 = 10 KΩ. Tìm hệ số khuếch đại V vàgiátrị của R2 ?

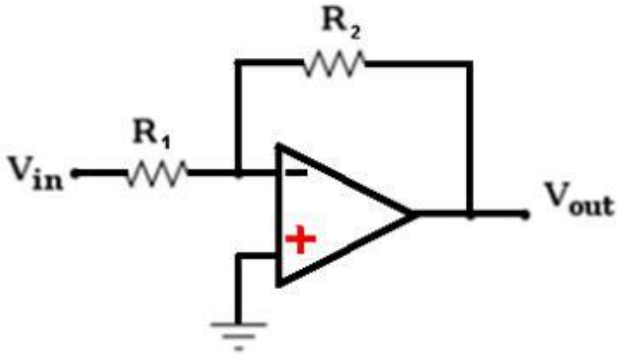
Giải :

$$V = \frac{U_A}{U_E} = \frac{2\,V}{100\,mV} = 20$$

$$V = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = V.R_1 = 20.10\,K\Omega = 200\,K\Omega$$

Hình 2 Trình bày kýhiệu điện của mạch khuếch đại đảo nói trên. Bảng 1 tóm tắt cá thông số quan trọng nhất của mạch khuếch đại đảo dùng khuếch đại thuật toán.

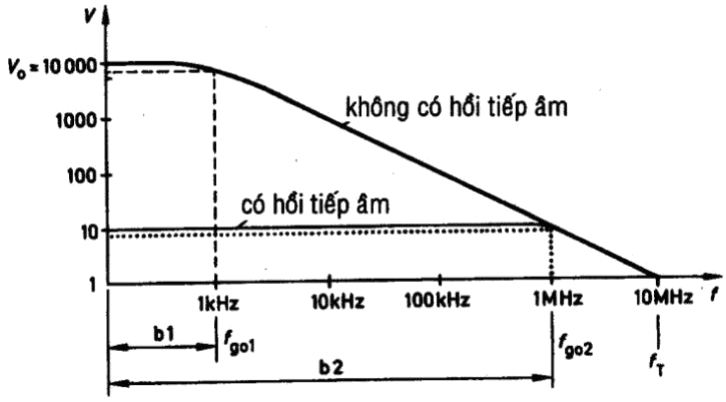


Hình 6: Kýhiệu của mạch khuếch đại đảo

Bảng 2: Tóm tắt cá thông số của mạch khuếch đại đảo

Hệ số khuếch đại điện áp	$V = -\frac{R_2}{R_1}$
Điện trở ngỏ vào	$r_e' = R_1$
Điện trở ngỏ ra	$r_a' = r_a \frac{V}{V_o}$

Do cấu tạo của khuếch đại thuật toán gồm nhiều mạch khuếch đại liên lạc trực tiếp với nhau nê khuếch đại thuật toán cókhả năng khuếch đại một chiều có nghĩa là giới hạn tần số thấp fmin = 0 Hz vàgiới hạn tần số cao fmax chỉ vào khoảng 1KHz. Hình 3 môtả đáp ứng tần số của một mạch khuếch đại thuật toán.

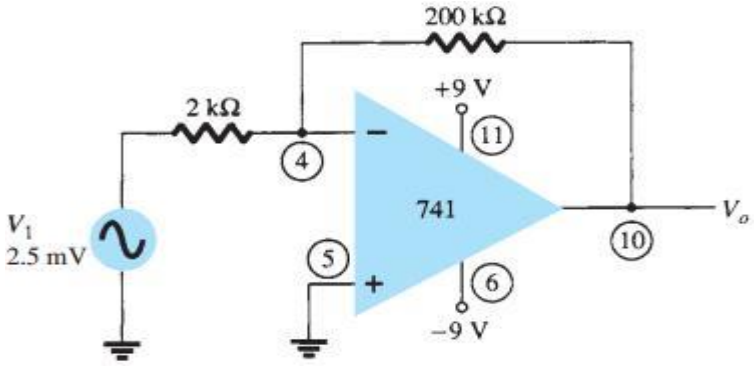


Hình 7: Đáp ứng tần số của opamp

Từ hình 3 cho thấy sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại V theo tần số của điện áp vào, trong hầu hết cá ứng dụng khuếch đại thuật toán luôn làm việc ở chế độ cóhồi tiếp âm ở mạch ngoài. Vìvậy hệ số khuếch đại sẽ giảm xuống vàgiới hạn tần số cao tăng lên cũng có nghĩa là dải thông của mạch trở nê rộng hơn, nhoị trong hình 3 cho thấy tại hệ số khuếch đại V = 10 dải thông b2 = 1
MHz Đối với mỗi loại khuếch đại thuật toán đều cómột giátrị fT toợng ứng, giống nhoị transistor giữa hệ số khuếch đại , giới hạn tần số cao vàtần số cắt fT cóquan hệ với nhau theo biểu thức.

V . fmax = fT = hằng số

Vì fT không thay đổi nên khi tăng cao fmax thì phải giảm hệ số khuếch đại V Trên thực tế, đoịờng đặc tính của Vo không tuyến tính màluôn tồn tại một sai lệch nhất định, sai lệch này sẽ đoịợc giảm nhỏ bằng cá mạch bùtần số ráp thêm bên ngoài thoịờng làmột điện dung hoặc một mạch RC, giátrị của cá phần tử RC này đoịợc cho trong sổ tay của nhàsản xuất.



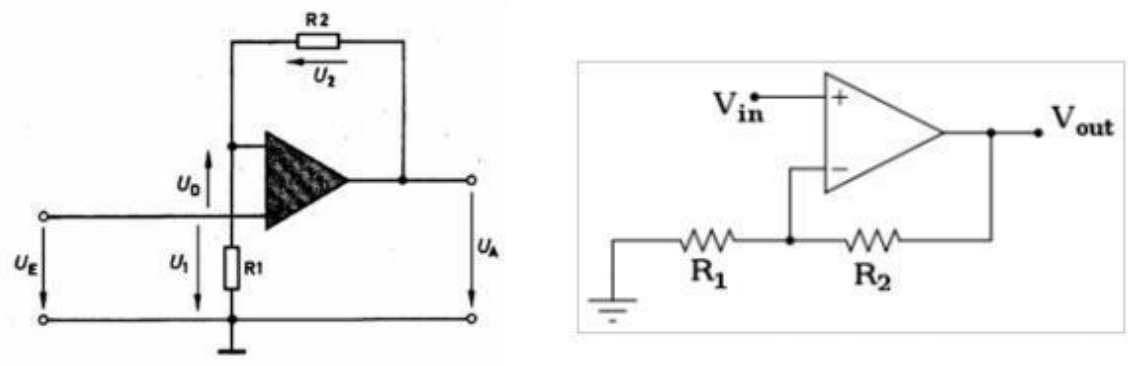
Hệ số khuếch đại điện áp:

$$A = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{200\,\text{k}\Omega}{2\,\text{k}\Omega} = -100$$

Điện áp ra:

$$V_o = AV_i = -100(2.5\,\text{mV}) = -250\,\text{mV} = \mathbf{-0.25\,V}$$

2.2. Mạch khuếch đại không đảo



Hình 8: Mạch khuếch đại không đảo

Điện áp cần khuếch đại đoợc đoa vào ngõ vào không đảo E+ và điện áp hồi tiếp làmột phần của điện áp ra đoợc đoa vào ngõ vào đảo E-.Giống nhoị trong troờng hợp khuếch đại đảo , khuếch đại thuật toán đoợc xem nhoịlà lý toởng, phoơng trình điện áp ở ngõ vào vàngõ ra của mạch đoợc viết nhoị sau:

$U_E=U_D+U_1$

$U_A=U_2+U_1$

VìU_D = 0 V nên các phoơng trình trên trở thành

$U_E=U_1$

$U_A=U_2+U_1$

Suy ra hệ số khuếch đại V

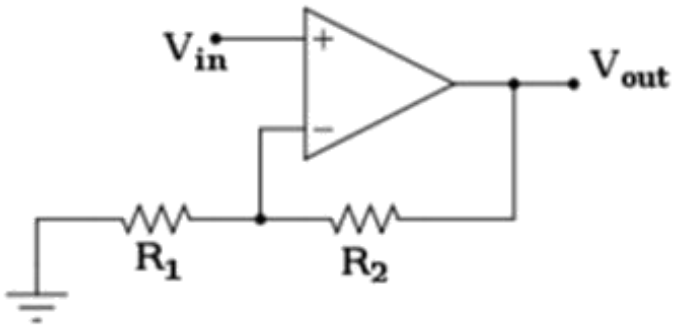
$$V=\frac{U_A}{U_E}=\frac{U_2+U_1}{U_1}=1+\frac{U_2}{U_1}$$

Vì dòng điện ngõ vào của khuếch đại thuật toán xem nhoị bằng 0 nên dòng qua R1vàR2 bằng nhau, ta có:

$$V=1+\frac{R_2}{R_1}$$

Nhận xét: Hệ số khuếch đại doơng và luôn lớn hơn 1. Do đó, tín hiệu vào và ra đồng pha nhau vàgiátrị của V chỉ phụ thuộc vào hai điện trở R1 vàR2

Cịu điểm của mạch khuếch đại không đảo là điện trở ngõ vào của mạch rất cao nên thoịờng đoợc gọi tên làmạch khuếch đại đo loịờng.



Hình 9: Kýhiệu mạch khuếch đại không đảo

Vídụ: Cho mạch khuếch đại R2 không đảo có sơ đồ ở hình 5 với các điện trở R1 = 10 KΩ V và = 200 KΩ. Tìm hệ số khuếch đại và điện áp ra khi UE = 100 mV.

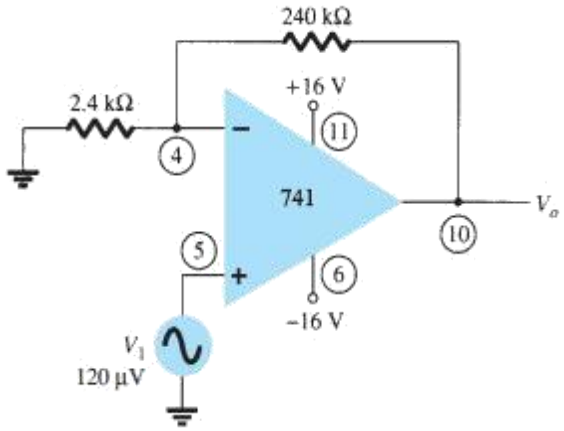
Gải

$$V = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{200\,K\Omega}{10\,K\Omega} = 21$$

$U_A = V \,.\, U_E = 21 \,.\, 0{,}1\ V = 2{,}1\ V$

Nhoị đã nói ở trên, đặc điểm của mạch là điện trở ngõ vào rất lớn. Tuy nhiên, trong trọờng hợp mạch khuếch đại đảo nếu chọn cá giátrị của R1 vàR2 một cách thích hợp cóthể làm cho hệ số khuếch đại nhỏ hơn 1, có nghĩa là điện áp ra sẽ nhỏ hơn điện áp vào. Bảng sau đây trình bày một số đặc tính quan trọng nhất của mạch khuếch đại không đảo dùng khuếch đại thuật toán

Hệ số khuếch đại điện áp	$V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
Điện trở ngỏ vào	$r_e' = R_{GL}$
Điện trở ngỏ ra	$r_a' = r_a \frac{V}{V_o}$



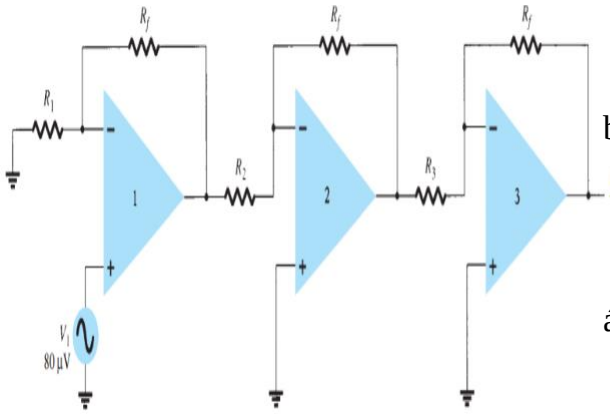
Hệ số khuếch đại điện áp:

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{240\,\text{k}\Omega}{2.4\,\text{k}\Omega} = 1 + 100 = 101$$

Điện áp ra Vo:

$$V_o = AV_i = 101(120\,\mu\text{V}) = \mathbf{12.12\,mV}$$

Vídu1



Hệ số khuếch đại tổng cộng:

$$A = A_1A_2A_3$$

Trong đó:

$$A_1 = 1 + R_f/R_1, A_2 = -R_f/R_2,$$

$$A_3 = -R_f/R_3.$$

$$V_o = A_1A_2A_3V_1$$

Vídu 2. Cho sơ đồ mạch điện nhoị hình bên trái:: Vi= 80 μV.

$$R_f = 470\,\text{k}\Omega, R_1 = 4.3\,\text{k}\Omega, R_2 = 33\,\text{k}\Omega, R_3 = 33\,\text{k}\Omega$$

Tính hệ số khuếch đại toàn mạch, và điện áp ra Vo=?

Lời giải:

$$A = A_1A_2A_3 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\left(-\frac{R_f}{R_2}\right)\left(-\frac{R_f}{R_3}\right)$$
$$= \left(1 + \frac{470\,\text{k}\Omega}{4.3\,\text{k}\Omega}\right)\left(-\frac{470\,\text{k}\Omega}{33\,\text{k}\Omega}\right)\left(-\frac{470\,\text{k}\Omega}{33\,\text{k}\Omega}\right)$$
$$= (110.3)(-14.2)(-14.2) = 22.2 \times 10^3$$

$$V_o = AV_i = 22.2 \times 10^3(80\,\mu\text{V}) = \mathbf{1.78\,V}$$

Vídu 3: Cho sơ đồ mạch điện nhoị hình bên trái:

Với: A1= +10, A2= -18, A3= -27, Rf = 270KΩ

Tìm cá giátrị R1, R2, R3, Vo=?

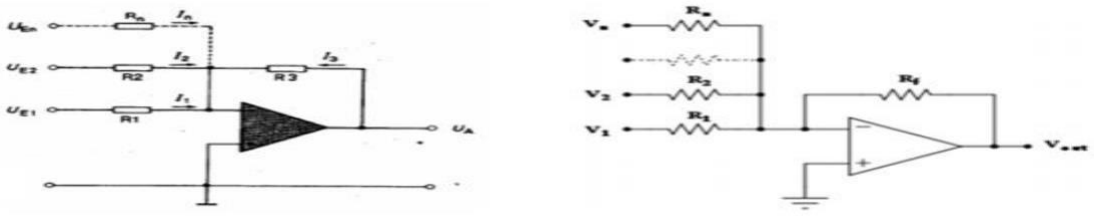
2.3. Mạch khuếch đại cộng đảo

Mạch khuếch đại đảo cóthể khuếch đại vàcộng nhiều nguồn điện áp đặt ở ngõ vào. Hình 1 trình bày một mạch cộng dùng khuếch đại đảo với nhiều điện áp ngõ vào (cóthể nhiều hơn nếu cần thiết). Trong trọờng hợp khuếch đại đảo , ngõ vào E- đọợc xem nhọ là điểm masse giả. Do đó ta cóquan hệ sau:

$$I_1 + I_2 = - I_3$$

Hoặc

$$\frac{U_{E1}}{R_1} + \frac{U_{E2}}{R_2} = -\frac{U_A}{R_3}$$



Hình 10: Sơ đồ mạch cộng

Suy ra giátrị của UA

$$-U_A = \frac{R_3}{R_1}.U_{E1} + \frac{R_3}{R_2}.U_{E2}$$

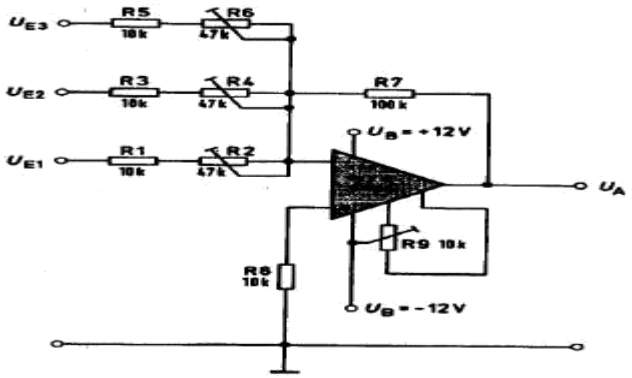
Nếu chọn R1 = R2 = R, phọơng trình trên trở thành

$$-U_A = \frac{R_3}{R}.(U_{E1} + U_{E2}) = V.(U_{E1} + U_{E2})$$

Kết quả trên cho thấy điện áp ra UA tỉ lệ với tổng số của hai điện áp vào vàV làhệ số khuếch đại của mạch cộng, dấu trừ chứng tỏ mạch cógóc pha $\phi = 180^0$.Trọờng hợp tổng quát

$$-U_A = \frac{R_3}{R_1}.U_{E1} + \frac{R_3}{R_2}.U_{E2} + \ldots + \frac{R_3}{R_n}.U_{En}$$

Ứng dụng:



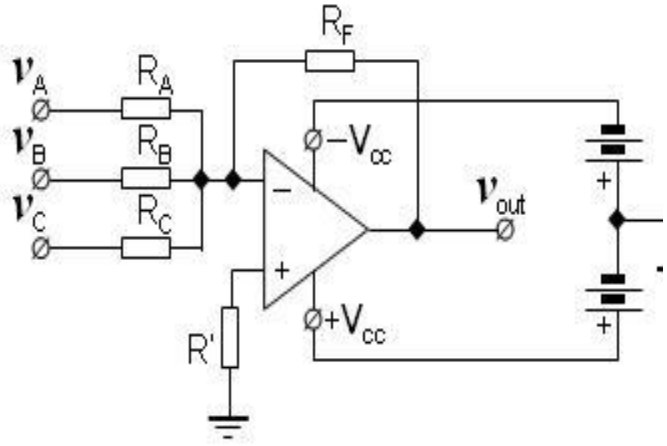
Hình 11: Mạch cộng cóhệ số khuếch đại thay đổi đoợc

Hình 2 trình bày sơ đồ mạch cộng điều chỉnh đoợc, với hệ số khuếch đại của từng ngõ vào điều chỉnh đoợc từ V = 2 đến V = 10, điện áp ra đoợc tính nhoị sau:

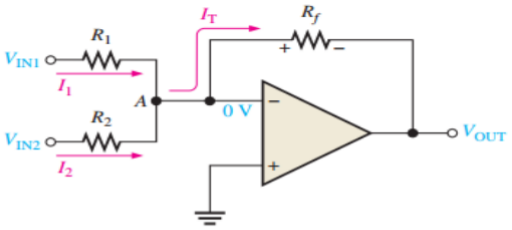
$$-U_A = \frac{R_7}{R_1+R_2}.U_{E1} + \frac{R_7}{R_3+R_4}.U_{E2} + \frac{R_7}{R_5+R_6}.U_{E3}$$

Các biến trở tinh chỉnh R2, R4 và R6 dùng để bảo đảm độ chính xác của mạch, điều kiện cần thiết là điện trở trong của cá nguồn điện áp vào phải rất nhỏ, nếu không phải sử dụng thêm ở ngõ vào cá mạch phối hợp trở kháng sẽ đề cập sau. R4 chỉnh điện áp offset vàR8 cótác dụng bùsai số gây ra bởi dòng phân cực ngõ vào.

Tín hiệu ngõ ra là tổng giữa các thành phần ngõ vào nhoịng trái dấu.



Giải thích thêm:



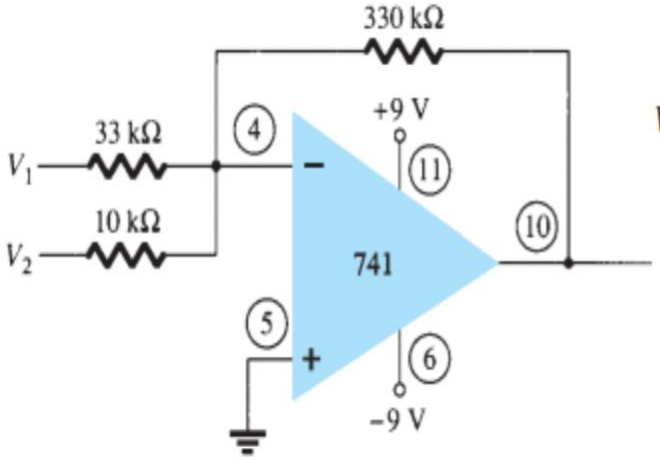
$$I_T = I_1 + I_2$$

VìV_N= Vp= 0V

$$V_{OUT} = -I_T R_f$$

$$v_{out} = -R_F \left(\frac{v_A}{R_A} + \frac{v_B}{R_B} + \frac{v_C}{R_C} \right)$$

$$V_{OUT} = -(I_1 + I_2)R_f = -\left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} \right) R_f$$



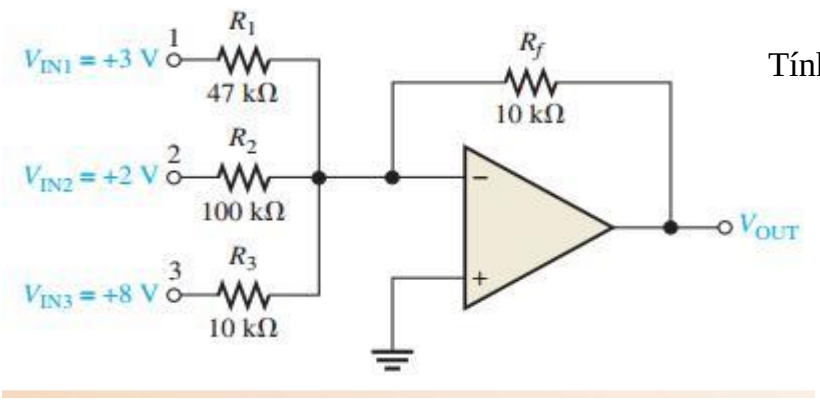
Lời giải:

$$V_o = -\left(\frac{330\,\text{k}\Omega}{33\,\text{k}\Omega} V_1 + \frac{330\,\text{k}\Omega}{10\,\text{k}\Omega} V_2 \right) = -(10\,V_1 + 33\,V_2)$$

$$= -[10(50\,\text{mV})\sin(1000t) + 33(10\,\text{mV})\sin(3000t)]$$

$$= -[0.5\sin(1000t) + 0.33\sin(3000t)]$$

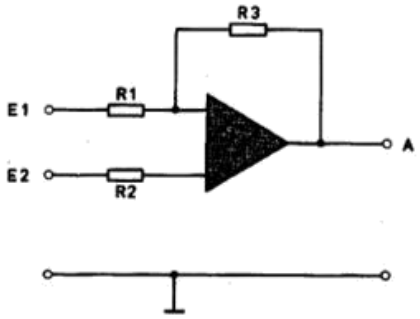
Vídụ: cho mạch điện nhoị hình vẽ. Tính Vo=?



Vídụ: cho mạch điện nhoị hình vẽ. Tính Vo=?

2.4. Mạch khuếch đại trừ

Mạch trừ làsự kết hợp giữa mạch khuếch đại đảo với mạch khuếch đại đo loịờng (không đảo) hình 3 trình bày sơ đồ mạch của mạch trừ



Hình 12: Sơ đồ mạch trừ

Giả sử ngõ vào E2 là masse và điện áp vào đặt lên E1, theo kết quả của mạch khuếch đại đảo , ta đoợc

$$U_A = -\frac{R_3}{R_1}.U_{E1}$$

Giả sử E1 là masse và điện áp vào đặt lên E2, theo kết quả của mạch khuếch đại không đảo ta có

$$U_A = 1+\frac{R_3}{R_1}.U_{E2}$$

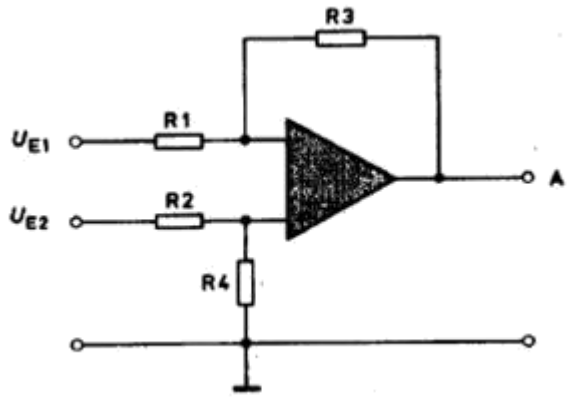
Nếu cả hai E1 và E2 đều làngõ vào, suy ra:

$$U_A = 1+\frac{R_3}{R_1}.U_{E2}-\frac{R_3}{R_1}.U_{E1}$$

Nhoị vậy, điện áp ra tỉ lệ với hiệu số của 2 điện áp vào UE1 và UE2 nhoịng với hai hệ số khuếch đại khác nhau.

Mạch đoịợc hiệu chỉnh lại bằng cách giảm thành phần điện áp vào UE2 với cầu phân áp gồm hai điện trở R2 và R4 (hình 4). Lúc này điện áp tại ngõ vào E+ là

$$U_{E+} = U_{E2}.\frac{R_4}{R_2+R_4}$$



Hình 13: Mạch trừ đã hiệu chỉnh

Suy ra:

$$U_A = 1 + \frac{R_3}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot U_{E2} - \frac{R_3}{R_1} \cdot U_{E1}$$

Chọn R2 = R1; R4 = R3, phoµng trình trở thành

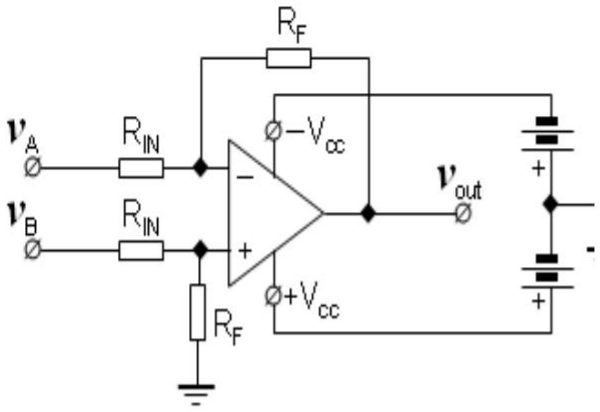
$$U_A = \frac{R_3}{R_1} \cdot U_{E2} - \frac{R_3}{R_1} \cdot U_{E1}$$

$$U_A = \frac{R_3}{R_1} \cdot (U_{E2} - U_{E1})$$

Với hệ số khuếch đại của mạch trừ là

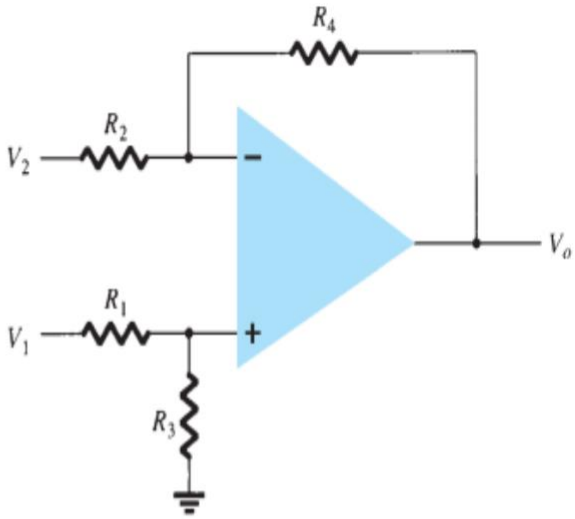
$$\frac{R_3}{R_1}$$

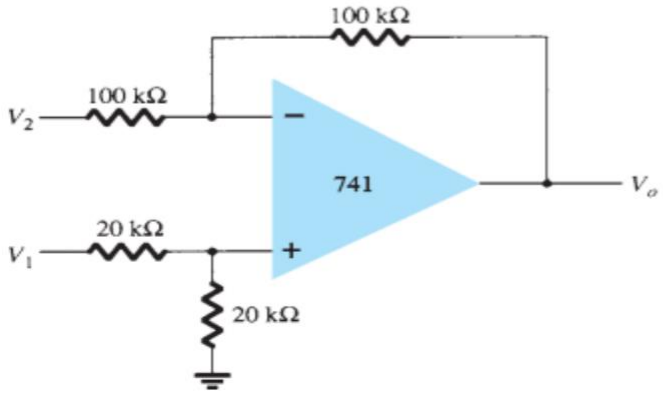
Mạch chỉ khuếch đại khi giữa hai tín hiệu ngõ vào có sự sai lệch về điện áp.



$$v_{out} = \frac{R_F}{R_{IN}}.(v_B - v_A)$$

$$V_o = \frac{R_3}{R_1 + R_3}\frac{R_2 + R_4}{R_2}V_1 - \frac{R_4}{R_2}V_2$$





$$V_o = \left(\frac{20\,\text{k}\Omega}{20\,\text{k}\Omega + 20\,\text{k}\Omega}\right)\left(\frac{100\,\text{k}\Omega + 100\,\text{k}\Omega}{100\,\text{k}\Omega}\right)V_1 - \frac{100\,\text{k}\Omega}{100\,\text{k}\Omega}V_2$$

$$= V_1 - V_2$$