

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA – ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



PBL2: THIẾT KẾ MẠCH ĐIỆN TỬ

Sinh viên thực hiện : Nguyễn Bá Thành

Lớp sinh hoạt : 21DTCLC4
Nhóm : 21.39B
Tổ : 7

GVHD : TS. Huỳnh Thanh Tùng
KS. Lê Hồng Nam

Đà Nẵng, năm 2024

NHIỆM VỤ

Yêu cầu thiết kế

Thiết kế mạch khuếch đại công suất

Loại mạch: OTL

Ngõ vào: vi sai

Công suất: 35W

Điện trở loa: 4Ω

Trở kháng vào: $300k\Omega$

Điện áp ngõ vào: 0,7V

Băng thông: 50-15000Hz

Méo phi tuyến: 0,3%

Phân công nhiệm vụ

| Họ tên sinh viên | Nhiệm vụ công việc | Mức độ đóng góp |
|------------------|--|-----------------|
| Nguyễn Bá Thành | Tính toán, mô phỏng, thi công tầng công suất, tầng thúc, tầng vi sai, viết báo cáo, kiểm tra và sửa chữa tổng thể mạch | 100% |
| Trần Phước Quốc | Nghi | 0% |

LỜI NÓI ĐẦU

Thế giới bước vào kỷ nguyên số, một kỷ nguyên được đánh dấu bằng sự ra đời của điện tử, máy móc công nghệ cao. Đáp ứng nhu cầu gắt gao của xã hội, ngành Điện tử ngày càng phát triển mạnh mẽ hơn để đào tạo ra những thế hệ kỹ sư với trình độ chuyên môn cao. Một thế hệ kỹ sư được đào tạo đầy đủ và bài bản những kiến thức để có thể tạo ra những thiết bị, máy móc đáp ứng mọi nhu cầu của cuộc sống.

Mạch Khuếch Đại Âm Thanh là một sản phẩm nền tảng phát triển các sản phẩm Điện tử phục vụ cho nhu cầu của con người. Hướng lợi từ Chương trình Đào tạo ngành Kỹ thuật Điện tử - Viễn thông, chúng em được học các kiến thức về điện tử thông qua các môn học: Lý thuyết mạch 1,2; Kỹ thuật mạch điện tử 1,2; Cấu kiện điện tử ... Những kiến thức đó đảm bảo cho chúng em có một nền tảng tốt để thực hiện phân tích và thiết kế một mạch Khuếch đại công suất âm thanh.

Nhận thấy sự hữu ích và tiện lợi của dạng mạch Khuếch đại công suất OTL vi sai về hiệu suất, hệ số sử dụng nguồn, công suất, độ lợi băng thông, biên độ tín hiệu ra Nhóm em đã quyết định chọn Mạch Khuếch Đại công suất OTL vi sai làm đề tài cho học phần Đồ Án Kỹ Thuật Mạch Điện Tử.

Trong quá trình thực hiện đồ án tuy gặp nhiều khăn, nhưng chúng em đã nhận được sự hướng dẫn tận tình và chu đáo đến từ TS. Huỳnh Thanh Tùng. Điều đó đã tạo một thuận lợi to lớn để chúng em hoàn thành Đồ án môn học này.

Đồng thời, chúng em xin CAM KẾT những nội dung trong bài Báo Cáo dưới đây thuộc sở hữu của chúng em, không thực hiện sao chép nguyên văn những đồ án trước đó. Tất cả những kiến thức tham khảo được đều được dẫn chứng cụ thể.

Một lần nữa, chúng em xin chân thành cảm ơn TS. Huỳnh Thanh Tùng cùng thầy Lê Hồng Nam và các thầy cô trong khoa Điện tử - Viễn thông đã tận tình giúp đỡ chúng em trong thời gian qua. Chúng em xin chúc thầy cô sức khỏe, hạnh phúc và thành công trong công việc.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

MỤC LỤC

| | |
|---|----|
| NHIỆM VỤ..... | 2 |
| Yêu cầu thiết kế | 2 |
| Phân công nhiệm vụ | 2 |
| LỜI NÓI ĐẦU | 3 |
| MỤC LỤC | 4 |
| CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI | 7 |
| I. Giới thiệu chương: | 7 |
| II. Nội dung chương: | 7 |
| 1. Transistor lưỡng cực..... | 7 |
| 2. Mạch OTL (Output Tranformer Less): | 9 |
| 3. Mạch OCL (Output Capacitor Less): | 9 |
| III. Kết luận chương..... | 9 |
| CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT | 10 |
| I. Giới thiệu chương: | 10 |
| II. Phân cực..... | 10 |
| 1. Mạch phân cực cố định: | 10 |
| 2. Mạch phân cực hồi tiếp Emitter: | 12 |
| 3. Mạch phân cực hồi tiếp Collector: | 14 |
| 4. Mạch phân cực bằng cầu phân áp: | 16 |
| III. Hồi tiếp..... | 18 |
| Phân loại hồi tiếp: | 18 |
| IV. Khuếch đại tín hiệu nhỏ..... | 19 |
| 1. Mắc B chung | 19 |
| 2. Mắc E chung..... | 20 |
| 3. Mắc C chung | 21 |
| V. Khuếch đại công suất | 23 |
| 1. Mạch khuếch đại ở chế độ A..... | 23 |
| 2. Mạch khuếch đại ở chế độ B: | 24 |
| 3. Mạch khuếch đại ở chế độ AB:..... | 25 |
| 4. Mạch OTL | 26 |
| VI. Các mạch khác | 27 |
| 1. Mạch khuếch đại vi sai..... | 27 |
| 2. Nguồn dòng | 29 |
| 3. Mạch bảo vệ | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Khuếch đại nhiều tầng | 31 |
| 5. Mạch OTL ghép tụ ngõ ra | 32 |
| 6. Mạch OCL không ghép tụ ngõ ra | 33 |
| VII. Kết luận chương | 33 |
| CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN | 34 |
| I. Sơ đồ mạch | 34 |
| II. Tác dụng linh kiện..... | 35 |
| III. Tính phần nguồn..... | 36 |
| IV Tính tầng công suất..... | 36 |
| 1. Tính chọn R1, R2 | 36 |
| 2. Tính chọn Q1, Q2 | 37 |
| 3. Tính chọn R3,R4 | 39 |
| 4. Tính chọn Q3,Q4..... | 40 |
| 5. Tính tụ C2..... | 43 |
| 6. Tính mạch lọc Zobel C1, R20 | 43 |
| V. Tính tầng thực..... | 44 |
| 1. Tính D3, D4, D5, VR2 | 44 |
| 2. Tính Q5, VR1, R5 làm nguồn dòng..... | 45 |
| 3. Tính Q6, R6, R7 | 47 |
| 4. Tụ C3..... | 48 |
| VI. Tính tầng vi sai | 48 |
| 1. Tính chọn R8 Hồi tiếp | 48 |
| 2. Tính chọn R10, R11 | 49 |
| 3. Tính chọn VR4 nguồn dòng | 49 |
| 4. Tính chọn Q9, R9 nguồn dòng | 49 |
| 5. Tính chọn R12, R13 | 50 |
| 6. Tính chọn R14 | 51 |
| 7. Tính chọn VR3 | 51 |
| 8. Tính chọn Q7 ,Q8 | 52 |
| 9. Tính tụ C5..... | 52 |
| 10. Tính tụ C6..... | 53 |
| 11. Tính tụ C7..... | 53 |
| VII. Hệ số khéch đại | 53 |
| Hệ số khuếch đại toàn mạch: | 53 |
| Tính trở kháng vào của mạch: | 54 |
| Tính méo phi tuyén..... | 54 |
| IX. Linh kiện sử dụng | 55 |
| CHƯƠNG 4: MÔ PHỎNG VÀ THI CÔNG | 56 |
| I. Mở đầu chương | 56 |

| | |
|--|-----------|
| II. Mô phỏng | 56 |
| PHÂN CỤC TĨNH | 56 |
| 1.Tầng vi sai | 56 |
| 2. Tầng thúc | 57 |
| 3.Tầng công suất..... | 57 |
| TÍN HIỆU VÀO (XOAY CHIỀU)..... | 59 |
| 1.Tầng vi sai | 59 |
| 2. Tầng thúc | 59 |
| 3.Tầng công suất..... | 60 |
| III. THI CÔNG | 61 |
| 1. Vẽ mạch nguyên lý trên Altium..... | 61 |
| 2. Vẽ mạch PCB trên Altium | 62 |
| 3. Tiến hành thi công mạch thực tế | 64 |
| 4. Đo mạch thực tế | 66 |

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

I. Giới thiệu chương:

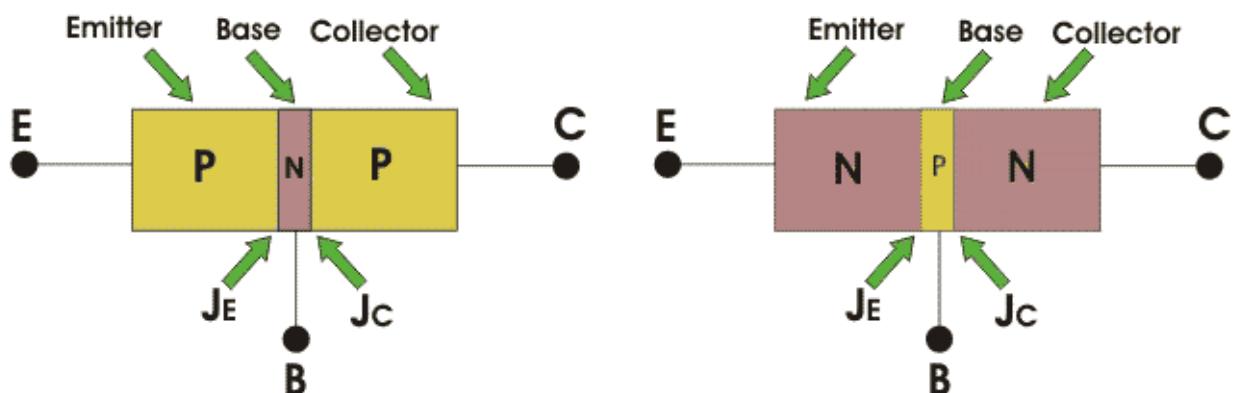
Mạch khuếch đại công suất là thành phần không thể thiếu trong các thiết bị âm thanh. Có hai dạng mạch khuếch đại công suất phổ biến là mạch OCL và OTL. Mỗi loại đều có những ưu điểm và nhược điểm. Trong chương này ta giới thiệu về ưu điểm nhược điểm của mạch OTL.

II. Nội dung chương:

1. Transistor lưỡng cực

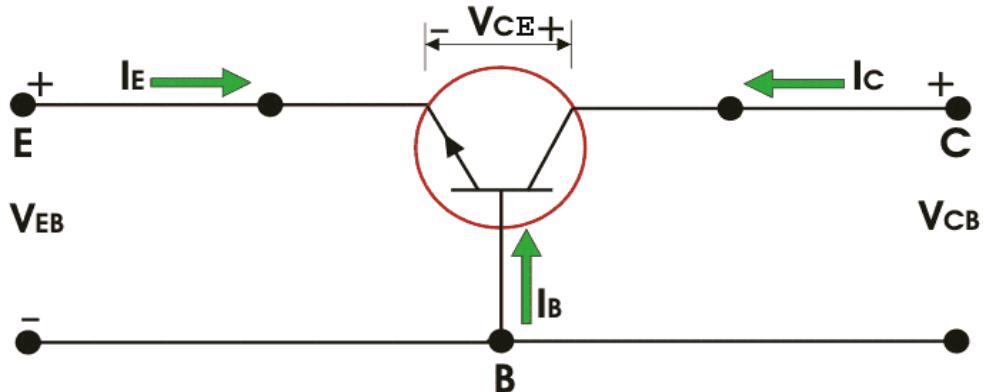
BJT, viết tắt của Bipolar Junction Transistor hay còn gọi là Transistor lưỡng cực, là một loại linh kiện bán dẫn ba khối bao gồm hai điốt loại p và n giúp khuếch đại và phóng đại tín hiệu. Ba khối bán dẫn bên trong BJT là base (cực gốc), emitter (cực phát) và collector (cực thu). BJT là loại transistor sử dụng cả electrons và lỗ hổng điện từ làm hạt tải điện.

Có hai loại BJT là transistor NPN và transistor PNP. Bạn đọc có thể tham khảo sơ đồ của hai loại BJT sau đây.



Hình 1.1 Hai loại BJT NPN và PNP

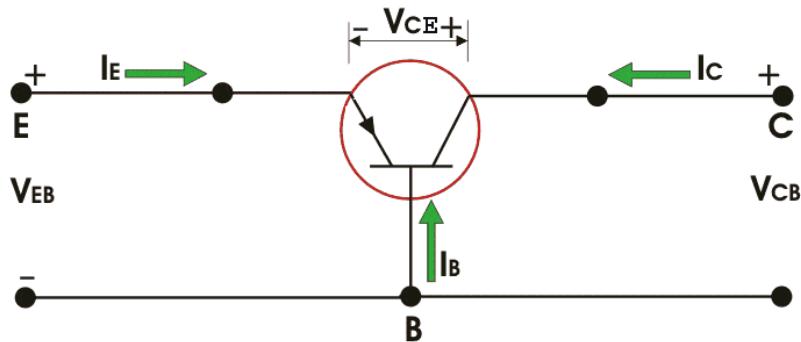
NPN Transistor : Ở n-p-n transistor lưỡng cực, chất bán dẫn loại p nằm giữa hai chất bán dẫn loại n như hình sau:



Hình 1.2 Cấu tạo NPN transistor.

I_E và I_C tương ứng với dòng điện chạy qua emitter và collector, V_{EB} và V_{CB} lần lượt là điện áp giữa emitter-base và collector-base. Đối với I_E I_B I_C , dòng điện đi vào BJT mang điện tích dương còn dòng điện đi ra khỏi BJT mang điện tích âm.

PNP transistor: Ở p-n-p transistor lưỡng cực, chất bán dẫn loại n nằm giữa hai chất bán dẫn loại p như hình sau:



Hình 1.3 Cấu tạo PNP transistor

Với PNP transistor, dòng điện đi vào BJT thông qua emitter. Giống như bất kỳ loại transistor lưỡng cực khác, điểm tiếp nối emitter-base phân cực thuận còn điểm tiếp nối collector-base phân cực nghịch.

2. Mạch OTL (Output Transformer Less):

Là mạch khuếch đại công suất được cấp nguồn đơn Vcc mà mass (0V). Tầng khuếch đại công suất đẩy kéo transistor bô phụ đối xứng nên điện thế điểm giữa ra loa bằng nửa nguồn. Sử dụng các linh kiện rời và ngõ ra mắc loa song song với tụ điện

Ưu điểm OTL

- Hiệu suất cao, chất lượng âm thanh tốt và đáp ứng tần số rộng.
- Tụ xuất âm ngăn dòng điện một chiều, chỉ cho thành phần xoay chiều đi qua.

Nhược điểm OTL

- Phù hợp với loa có tổng trở thấp.
- Mạch yêu cầu dùng dây loa có điện trở thấp.
- Tín hiệu ra không truyền được ra loa ở cự ly xa.

3. Mạch OCL (Output Capacitor Less):

Là mạch khuếch đại công suất sử dụng 2 nguồn đối xứng để cung cấp năng lượng cho mạch. Không có tụ bù nối đầu ra, loa nối trực tiếp vào mạch nên chú ý việc bảo vệ loa. Mạch đòi hỏi sự ổn định cao.

Ưu điểm OCL

- Tiêu hao năng lượng khi không có tín hiệu ngõ vào ít hơn lớp A
- Hiệu suất mạch cao

Nhược điểm OCL

- Hệ số khuếch đại thấp
- Sử dụng nguồn đối xứng

Hiệu suất của mạch OTL, OCL đều khoảng 78%

III. Kết luận chương

Trong chương vừa rồi, chúng ta đã tìm hiểu được về ưu, khuyết điểm của các loại OTL hoặc OCL khi ứng dụng chúng trong thực tế. Những gì được trình bày trong chương này để chúng ta có thể áp dụng phù hợp vào việc thiết kế các mạch khuếch đại.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

I. Giới thiệu chương:

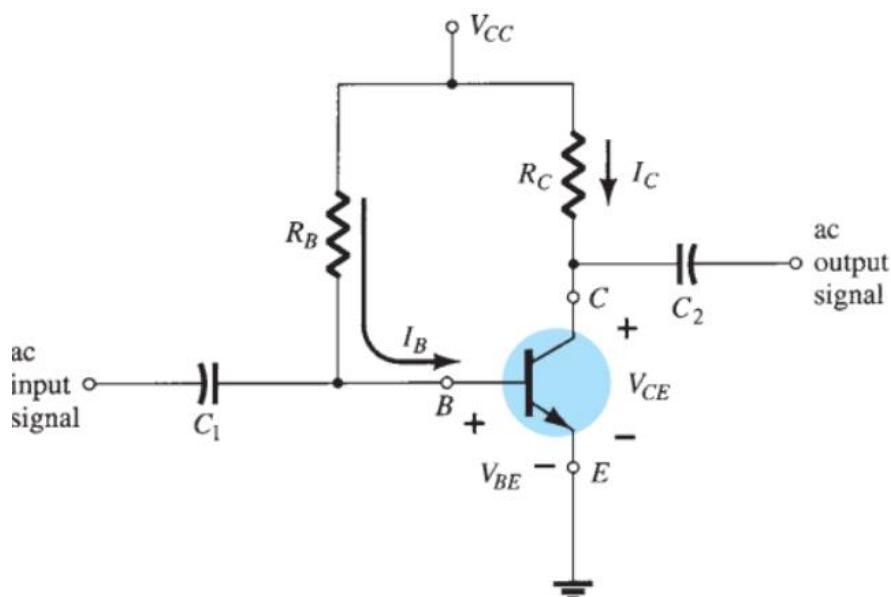
Để cho BJT hoạt động đúng với điểm làm việc mà chúng ta đề ra, chúng ta phải phân cực chính xác cho BJT đó. Đối với mỗi cách măc BJT sẽ có những ưu nhược điểm khác nhau để ứng dụng tùy vào nhu cầu của người sử dụng. Trong chương này, chúng ta sẽ tìm hiểu về các cách phân cực cho BJT, các cách măc BJT thường gặp, ưu nhược điểm và các ứng dụng của chúng trong thực tế.

II. Phân cực

Là quá trình thiết lập điện áp hoạt động một chiều của transistor hoặc điều kiện dòng điện ở mức chính xác để bất kỳ tín hiệu đầu vào AC nào có thể được khuếch đại chính xác bởi transistor.

1. Mạch phân cực cố định:

Sơ đồ mạch.



Hình 2.1 Sơ đồ mạch phân cực cố định

- Giả sử BJT hoạt động ở vùng tích cực/khuếch đại.

$$\text{Áp dụng KVL đối với mạch ngõ vào: } V_{CC} - I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0$$

$$\cdot I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B \quad (1.1)$$

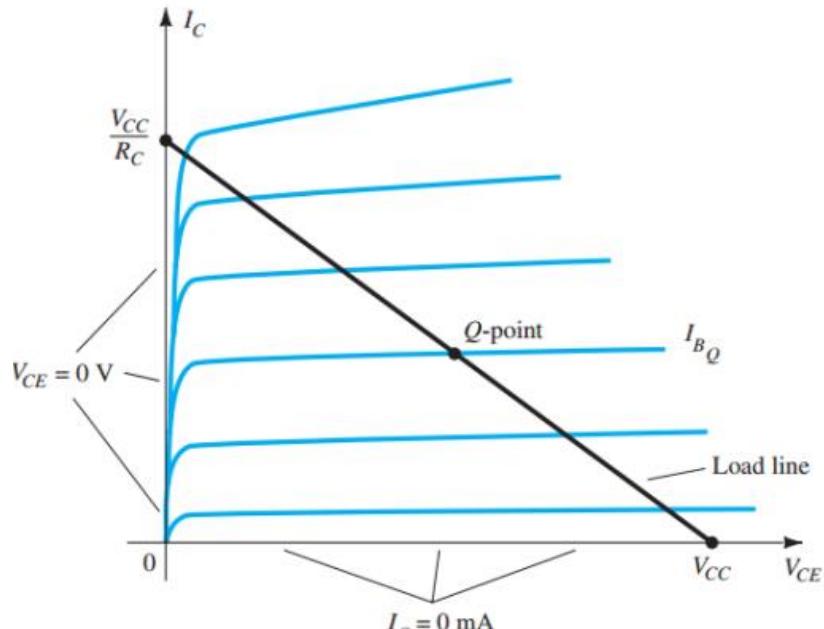
- Trong đó, $V_{BE} = 0.7 V$.

- Do đó, dòng I_B phụ thuộc vào giá trị điện trở R_B .

$$\cdot \text{Dòng } I_C: \quad I_C = \beta I_B \quad (1.2)$$

- Lưu ý: trong vùng tích cực, dòng I_C không phụ thuộc vào điện trở R .
- Áp dụng KVL cho mạch ngõ ra: $V_{CE} + I_C \cdot R_C - V_{CC} = 0$
- $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$ (1.3)
- Như vậy, điểm $Q = (I_B, I_C, V_{CE})$

Đường tải:



Hình 2.2 Đường đặc tuyến BJT

- Phương trình đường tải được xác định bởi mạch ngõ ra nên chỉ phụ thuộc vào các thông số của mạch ngoài:
- $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$ (*)
- Phương trình (*) có đồ thị là đường thẳng với các biến V_{CE} và I_C . Đồ thị đường tải đi qua 2 điểm:
- $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = V_{CC}/R_C - I_C = 0$
- $\Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$
- Nếu ta biểu diễn đường tải và đặc tuyến của BJT trên cùng một đồ thị thì giao điểm giữa đường tải và đường đặc tuyến xác định bởi I_{BQ} chính là điểm Q cần tìm.

Ưu điểm:

- Khi nhiệt độ tăng, I_C tăng, điểm làm việc di chuyển từ A sang A'. BJT dẫn càng mạnh, nhiệt độ trong BJT càng tăng, càng làm I_C tăng lên nữa

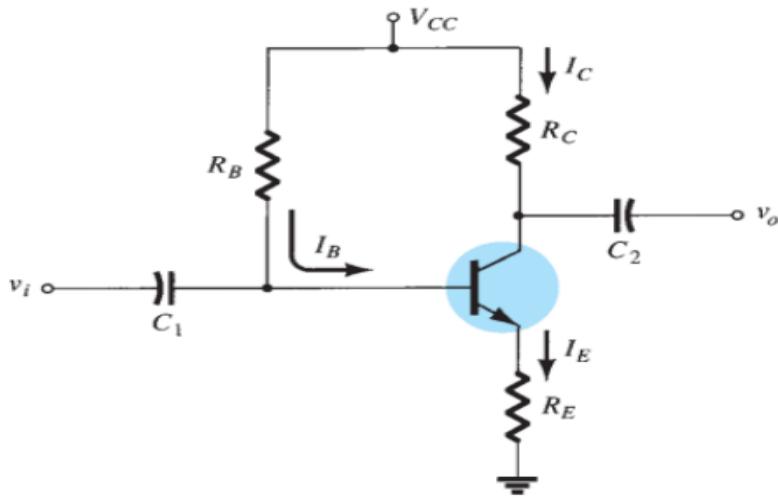
Nhược điểm:

- Nếu không tản nhiệt ra môi trường, điểm làm việc có thể sang A" và tiếp tục
- Vị trí điểm làm việc thay đổi, tín hiệu ra bị méo.
- Trường hợp xấu nhất có thể làm hỏng BJT.

Ứng dụng: Sử dụng ở các tầng công suất lớn.

2. Mạch phân cực hồi tiếp Emitter:

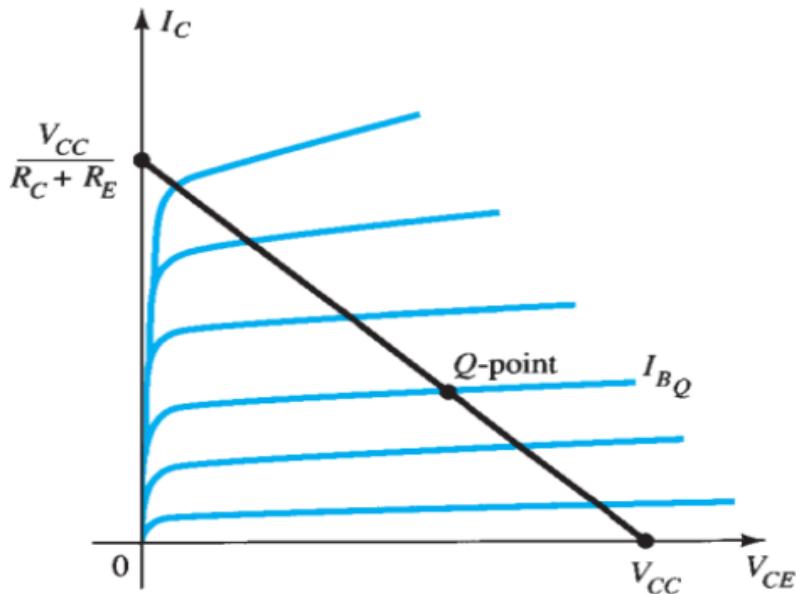
Sơ đồ mạch:



Hình 2.3 Sơ đồ mạch phân cực hồi tiếp Emitter

- Áp dụng KVL cho mạch ngõ vào: $V_{CC} - I_B \cdot R_B - V_{BE} - I_E \cdot R_E = 0$ với $V_{BE} = 0.7 V$.
- Ta có: $I_E = (\beta + 1)I_B$
- Suy ra: $I_B = (V_{CC} - V_{BE})/(R_B + (\beta + 1)R_E)$ (1.4)
- Từ công thức trên có thể thấy rằng, điện trở R_E được “nhìn thấy” từ ngõ vào với độ khuếch đại $\beta + 1$.
- Dòng $I_C = \beta I_B$. (1.5)
- Áp dụng KVL cho mạch ngõ ra: $V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} - I_E \cdot R_E = 0$
- Ta có thể xấp xỉ $I_E \approx I_C$ để thuận tiện cho tính toán.
- Điện áp V_{CE} : $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E)$ (1.6)

Đường tải:



Hình 2.4 Đường đặc tuyến BJT

- Phương trình đường tải được xác định bởi mạch ngõ ra nên chỉ phụ thuộc vào các thông số của mạch ngoài: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (*)
- Phương trình (*) có đồ thị là đường thẳng với các biến vCE và iC .
- Đồ thị đường tải đi qua 2 điểm: $V_{CE} = 0 \Rightarrow IC = V_{CC}/(R_C+R_E) - I_C = 0$
- $\Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$
- Nếu ta biểu diễn đường tải và đặc tuyến của BJT trên cùng một đồ thị thì giao điểm giữa đường tải và đường đặc tuyến xác định bởi I_{BQ} chính là điểm Q cần tìm.

Nhược điểm:

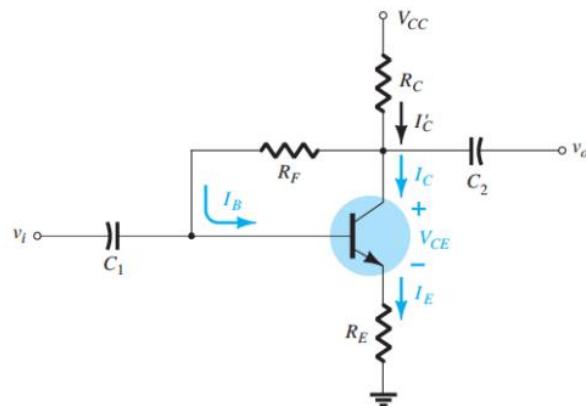
- Không ổn định khi nhiệt độ thay đổi. Khi nhiệt độ thay đổi, các giá trị như β , I_{CEO} và V_{BE} sẽ thay đổi, dẫn đến các giá trị dòng và điện áp của điểm Q sẽ thay đổi theo. Như vậy, điểm Q sẽ không được cố định khi nhiệt độ thay đổi.

Ưu điểm:

- Điện trở R_E làm nhiệm vụ hồi tiếp, đưa tín hiệu ngõ ra về ngõ vào để ổn định điểm làm việc khi nhiệt độ thay đổi.

3. Mạch phân cực hồi tiếp Collector:

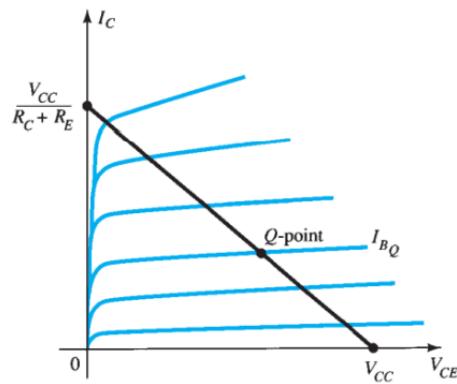
Sơ đồ mạch:



Hình 2.5 Sơ đồ mạch phân cực hồi tiếp Collector

- Áp dụng KVL cho mạch ngõ vào: $V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_B \cdot R_F - V_{BE} - I_E \cdot R_E = 0$
- Ta có: $I_C' = I_C + I_B$, do $I_C \gg I_B$ nên $I_C' \cong I_C = \beta I_B$. Ngoài ra, $I_E \cong I_C$.
- Suy ra: $V_{CC} - \beta \cdot I_B \cdot R_C - I_B \cdot R_F - V_{BE} - \beta \cdot I_B \cdot R_E = 0$
- $\Rightarrow I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / (\beta \cdot (R_C + R_E))$ (1.7)
- Dòng I_C : $I_C = \beta \cdot I_B$ (1.8)
- Lưu ý rằng, nếu $+ R_E \gg R_F$, thì $I_C = (V_{CC} - V_{BE}) / (R_C + R_E)$, tức là dòng I_C ổn định đối với khoảng thay đổi lớn của β .
- Áp dụng KVL cho mạch ngõ vào: $V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} - I_E \cdot R_E = 0$
- $\Rightarrow V_{CE} \cong V_{CC} - (R_C + R_E)$ (1.9)

Đường tải:



Hình 2.6 Đường đặc tuyến BJT

- Phương trình đường tải được xác định bởi mạch ngõ ra:
- $V_{CE} \cong V_{CC} - I_C(R_C+R_E)$ (*)
- Phương trình (*) có đồ thị là đường thẳng với các biến V_{CE} và I_C . Đồ thị đường tải đi qua 2 điểm: $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = V_{CC}/(RC+RE)$ - $I_C = 0$
- $\Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$
- Nếu ta biểu diễn đường tải và đặc tuyến của BJT trên cùng một đồ thị thì giao điểm giữa đường tải và đường đặc tuyến xác định bởi I_{BQ} chính là điểm Q cần tìm

Ưu điểm:

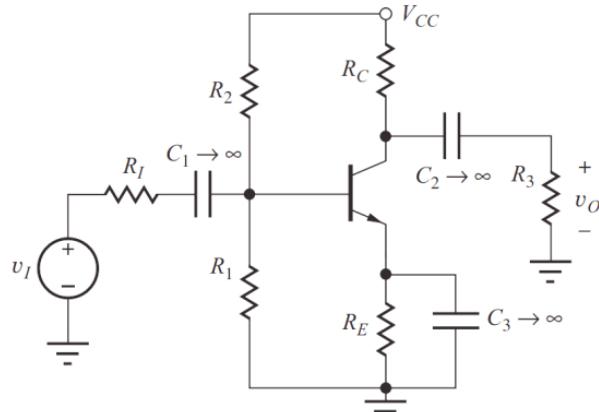
- Mạch phân cực hồi tiếp Collector sử dụng hồi tiếp từ cực Collector thông qua điện trở RF để ổn định điểm làm việc.
- Độ ổn định nhiệt của mạch phân cực hồi tiếp Collector tốt hơn mạch phân cực cố định và phân cực hồi tiếp Emitter

Nhược điểm:

- Điểm Q vẫn còn phụ thuộc vào hệ số β
- Khó tính toán và thiết kế

4. Mạch phân cực bằng cầu phân áp:

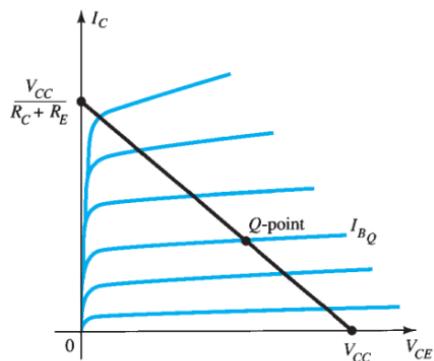
Sơ đồ mạch:



Hình 2.7 Sơ đồ mạch phân cực bằng phân áp

- Áp dụng tương đương Thevenin cho mạch ngõ vào đối với 2 điểm tại cực Base và nối mass (xem hình).
- Ta có: $R_{EQ} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4}$
- $V_{EQ} = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_2 + R_4}$
- Xét KVL với $V_{BE}=0.7$:
- $I_B = (V_{EQ} - V_{BE}) / (R_{EQ} + (\beta + 1) \cdot R_E)$ (1.10)
- $I_C = \beta \cdot I_B$ (1.11)
- $V_{CE} \cong V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (1.12)

Đường tải:



Hình 2.8 Đường đặc tuyến BJT

- Do mạch phân cực bằng phân áp sau khi biến đổi tương đương Thevenin sẽ có dạng mạch tư tương tự mạch phân cực hồi tiếp Emitter. Do đó, phương trình đường tải được xác định bởi mạch ngõ ra: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (*)
- Phương trình (*) có đồ thị là đường thẳng với các biến vCE và iC . Đồ thị đường tải đi qua 2 điểm:
- $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = V_C/(R_C + R_E) - I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$
- Nếu ta biểu diễn đường tải và đặc tuyến của BJT trên cùng một đồ thị thì giao điểm giữa đường tải và đường đặc tuyến xác định bởi I_{BQ} chính là điểm Q cần tìm.

Ưu điểm:

- Phụ thuộc rất ít vào hệ số β . Chính vì vậy, mạch phân cực này được sử dụng phổ biến.

Ứng dụng:

- Sử dụng phổ biến các mạch khuếch đại, các mạch công suất lớn, BJT hoạt động ở chế độ cao.

III. Hồi tiếp

Phân loại hồi tiếp:

- Tín hiệu hồi tiếp (điện áp hay dòng điện)
- Cách măc tín hiệu với ngõ vào (nối tiếp hay song song)

1. Hồi tiếp điện áp nối tiếp (khuếch đại điện áp):

Ôn định tín hiệu điện áp ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hàm truyền là hệ số khuếch đại điện áp.

2. Hồi tiếp dòng điện song song (khuếch đại dòng điện):

Ôn định tín hiệu dòng điện ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hàm truyền là hệ số khuếch đại dòng điện.

3. Hồi tiếp dòng điện nối tiếp (khuếch đại truyền dẫn):

Ôn định tín hiệu dòng điện ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hàm truyền là hệ số khuếch đại truyền dẫn.

4. Hồi tiếp điện áp song song (khuếch đại truyền trở):

Ôn định tín hiệu điện áp ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hàm truyền là hệ số khuếch đại truyền trở.

IV. Khuếch đại tín hiệu nhỏ

1. Môc B chung

Chế độ làm việc tĩnh Q

$$I_c = 0, V_{CB} = V_{CC}$$

$$V_{CB} = 0, I_c = \frac{V_{CC}}{\beta_i} + \frac{R_B}{\beta}$$

Trở kháng của mạch:

$$R_{in} = \frac{1}{g_m} // R_6$$

$$R_{out} = R_{ic} // R_6$$

$$R_{ic} = R_0 \cdot (1 + g_m \cdot (R_I // R_6))$$

Hệ số khuếch đại:

$$\text{Điện áp: } A_v = g_m \cdot R_L \cdot R_{in} (R_I + R_{in})$$

$$\text{Dòng: } A_i = A_v \cdot R_I + R_{in} \cdot R_7$$

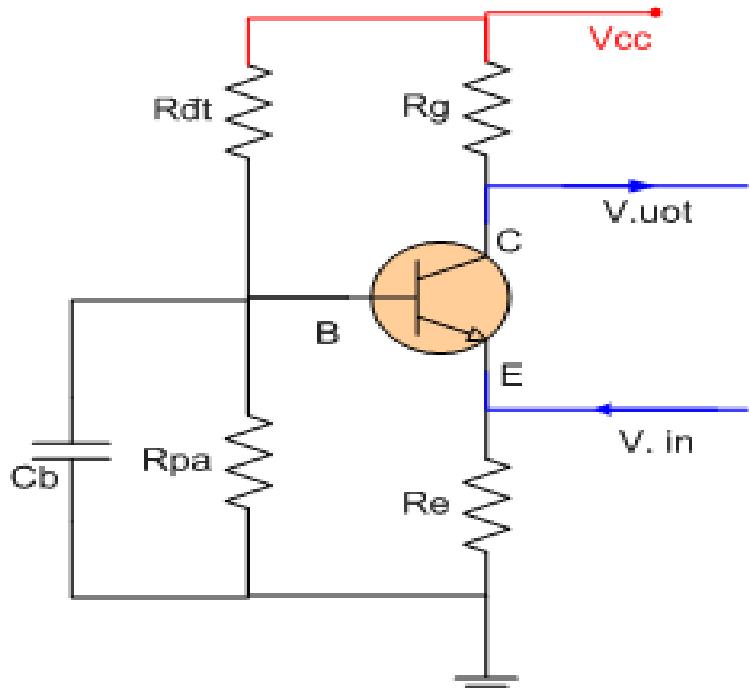
$$\text{Công suất: } A_p = A_v \cdot A_i$$

Tín hiệu ngõ ra đồng pha với tín hiệu ngõ vào

$$\text{Điều kiện để mạch hoạt động tuyến tính là } V_i \leq 0.005 \cdot \frac{R_I + R_{in}}{R_{in}}$$

Ưu điểm: Trở kháng vào mạch lớn, hệ số khuếch đại điện áp lớn

Nhược điểm: Không khuếch đại dòng, ít sử dụng trong thực tế



2. Mắc E chung

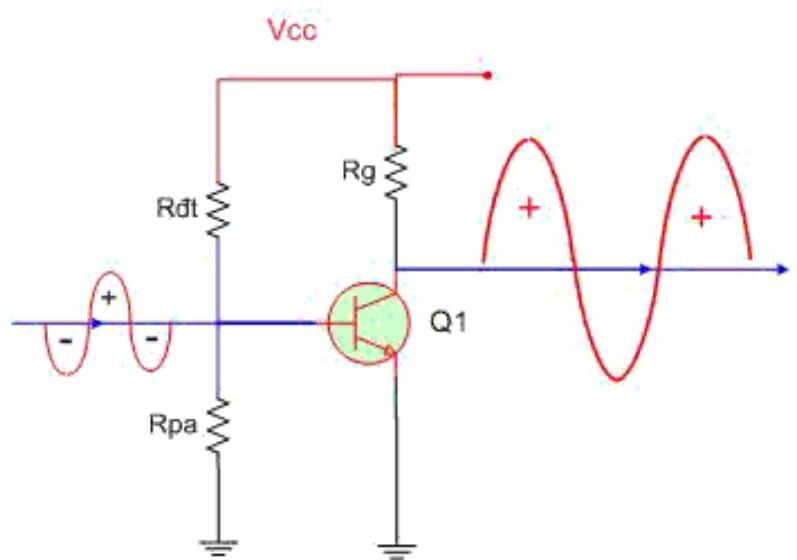
Chế độ làm việc tĩnh Q

Khi $I_c = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC}$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta) \cdot R_E}$$

$$\begin{cases} I_{CC} = \beta \cdot I_{BQ} \\ V_{CEQ} = V_{CC} - V_{CE}(R_C + R_E) \end{cases}$$



Trở kháng của mạch:

$$R_{in} = R_1 // R_2 // r_\pi$$

$$R_{out} = r_0 // R_L$$

Hệ số khuếch đại:

$$\text{Điện áp: } A_v = -g_m \cdot R_L \cdot \frac{R_{in}}{R_I + R_{in}}$$

$$\text{Dòng: } A_i = A_v \cdot \frac{R_I + R_{in}}{R_3}$$

$$\text{Công suất: } A_p = A_v \cdot A_i$$

3. Mắc C chung

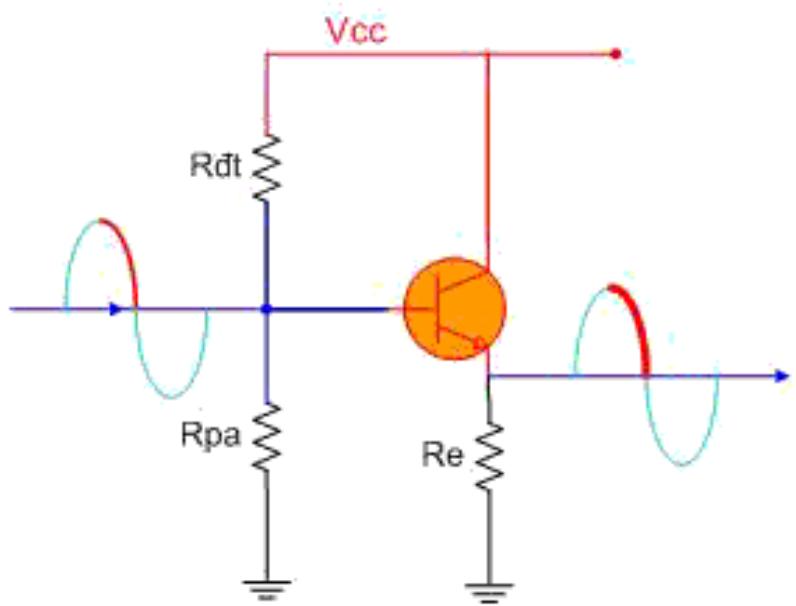
Chế độ làm việc tĩnh Q

$$I_c = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC}$$

$$V_{CC} = 0 \rightarrow I_c = \frac{V_{CC}}{R_E}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E}$$

$$\begin{cases} I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ} \\ V_{CEQ} = I_{CQ} \cdot R_E \quad (I_C \approx I_E) \end{cases}$$



Trở kháng của mạch:

$$R_{in} = r_\pi \cdot (1 + g_m \cdot R_L) // R_b$$

$$R_{out} = \left(\frac{1}{g_m} + \frac{R_I / R_b}{\beta + 1} \right) // R_4$$

Hệ số khuếch đại:

$$\text{Điện áp: } A_v = \frac{g_m \cdot R_L \cdot R_{in}}{(1 + g_m \cdot R_L) \cdot (R_I \cdot R_{in})}$$

$$\text{Dòng: } A_i = A_v \cdot \frac{R_I \cdot R_{in}}{R_7}$$

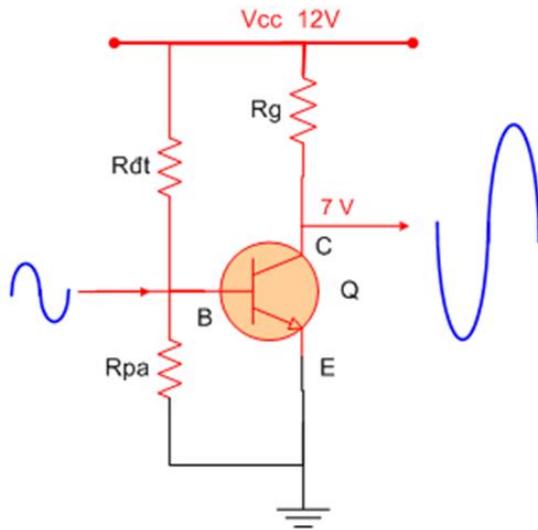
$$\text{Công suất: } A_p = A_v \cdot A_i$$

Bảng so sánh các loại tín hiệu nhỏ:

| Dặc điểm | E chung | C chung | B chung |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Điểm chung | Cực E | Cực C | Cực B |
| Tín hiệu vào | Cực B | Cực B | Cực E |
| Tín hiệu ra | Cực C | Cực E | Cực C |
| Độ lệch pha | Ngược pha | Cùng pha | Cùng pha |
| Khuếch đại dòng điện | Lớn | Nhỏ | Không |
| Khuếch đại điện áp | Lớn | Không | Nhỏ |
| Khuếch đại công suất | Lớn | Nhỏ | Nhỏ |
| Trở kháng vào | Nhỏ | Lớn | Nhỏ |
| Trở kháng ra | Lớn | Nhỏ | Lớn |

V. Khuếch đại công suất

1. Mạch khuếch đại ở chế độ A



Hình 2.9. Mạch khuếch đại ở chế độ B

Vai trò:

Tín hiệu được khuếch đại gần như tuyến tính, nghĩa là tín hiệu ngõ ra thay đổi tuyến tính trong toàn bộ chu kỳ 360° của tín hiệu ngõ vào (Transistor hoạt động cả 2 bán kỲ của tín hiệu ngõ vào).

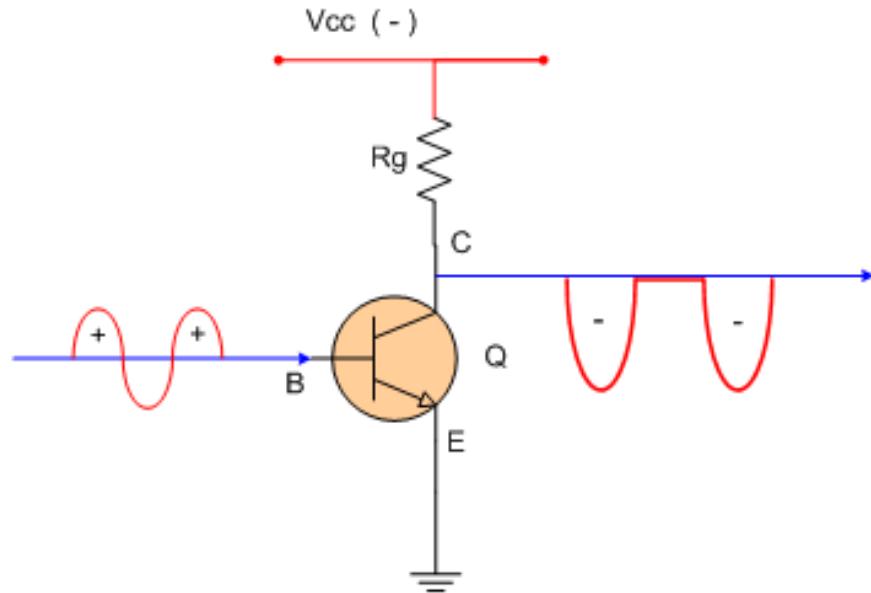
Ưu điểm:

- Khuếch đại ở cả 2 bán kì
- Tín hiệu ít bị méo dạng

Nhược điểm:

- Hiệu suất thấp: $\eta \leq 25\%$ nếu dùng tải là R và $\eta \leq 50\%$ nếu dùng tải là biến áp.
- Công suất tiêu hao lớn

2. Mạch khuếch đại ở chế độ B:



Hình 2.10. Mạch khuếch đại ở chế độ B

Vai trò:

Transistor được phân cực tại $V_{BE}=0$ (vùng ngưng). Chỉ một nửa chu kỳ âm hoặc dương của tín hiệu ngõ vào được khuếch đại.

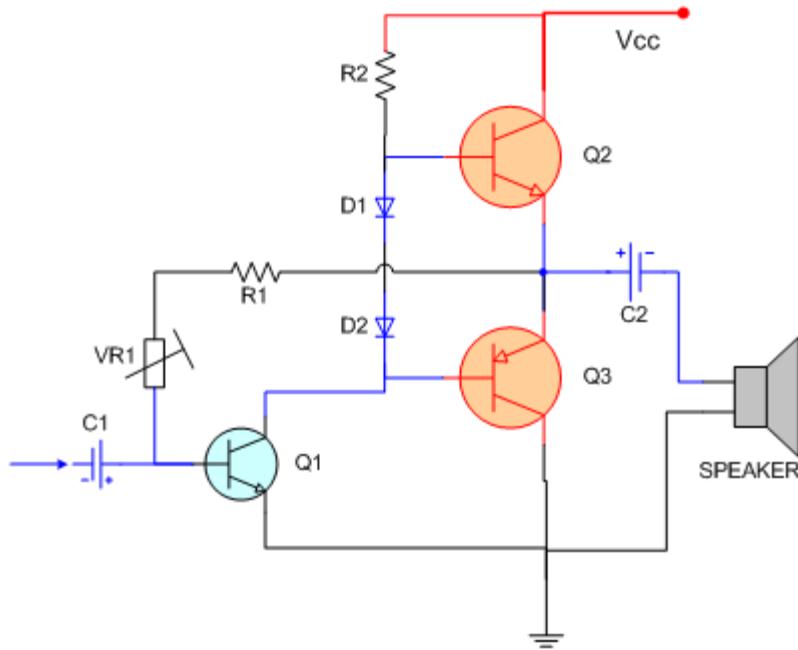
Ưu điểm:

- Hiệu suất cao $\eta \leq 78,54\%$.
- Ở chế độ tĩnh có tiêu thụ điện áp nên không có hao tổn trên Transistor.

Nhược điểm:

- Tín hiệu chỉ tồn tại trong nửa chu kỳ.
- Méo phi tuyến lớn.

3. Mạch khuếch đại ở chế độ AB:



Hình 2.11. Mạch khuếch đại ở chế độ AB

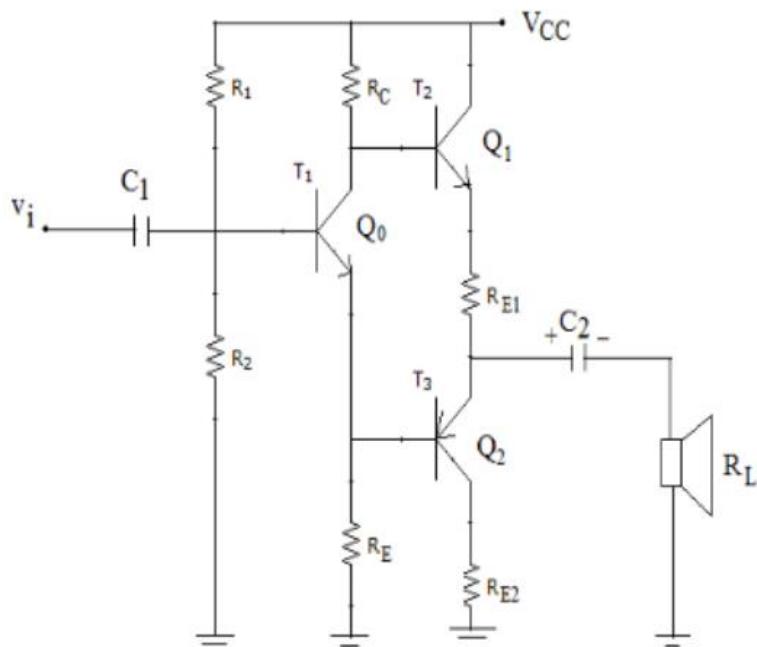
Vai trò:

Transistor được phân cực ở gần vùng ngưng. Tín hiệu ngõ ra thay đổi hơn một nửa chu kỳ của tín hiệu vào (Transistor hoạt động hơn một nửa chu kỳ dương hoặc âm của tín hiệu ngõ vào).

Đặc điểm:

- Kết hợp cả hai đặc tính của chế độ loại A & B nên khắc phục được nhược điểm của chế độ loại A lấn loại B.
- Hiệu suất khá cao $\eta \leq 70\%$.

4. Mạch OTL



Hình 2.12 Mạch OTL dùng 2 BJT mắc kiểu dây kéo

Q0 khuếch đại đảo pha

Q1, Q2: 2BJT mắc kiểu dây kéo.

ở chế độ tĩnh:

Qo được phân cực sao cho $IB1 = IB2 \Rightarrow IC1 = IC2 \Rightarrow VA = VCC/2$

ở chế độ xoay chiều:

ở bán kì âm của tín hiệu vào, Qo tắc nên Q1 dẫn, dòng điện nạp cho tụ C2 từ Vcc qua Q1, c2 rồi xuống mass

ở bán kì dương của tín hiệu vào, Q1 dẫn tạo ra ic2 chạy từ cực dương c2 qua Q2 xuống mass, qua RL về cực âm C2

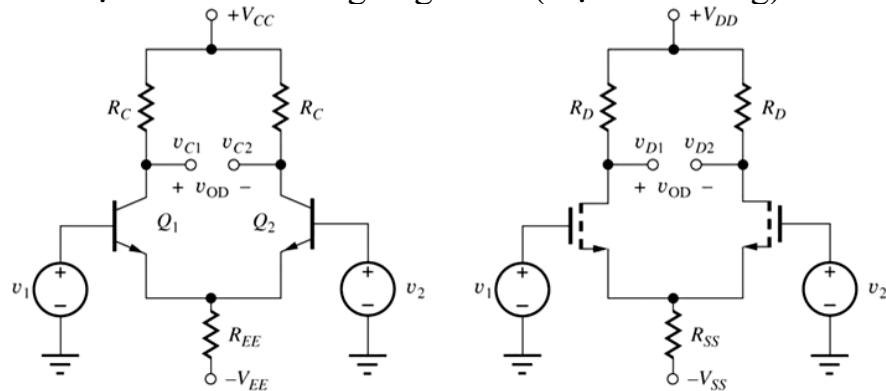
VI. Các mạch khác

1. Mạch khuếch đại vi sai

Mạch khuếch đại vi sai, bao gồm 2 mạch khuếch đại giống nhau, không sử dụng tụ ngõ vào và ngõ ra.

Mỗi mạch khuếch đại có hai ngõ vào và hai ngõ ra.

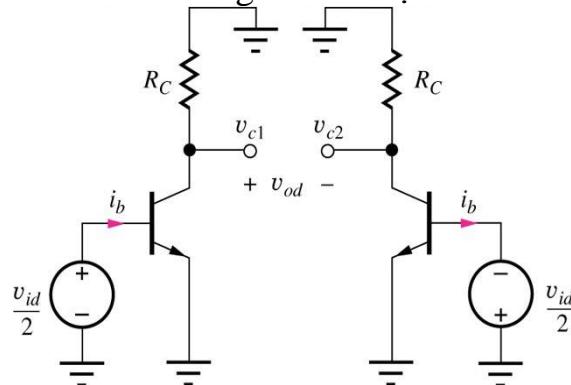
Mạch khuếch đại vi sai lý tưởng sử dụng hai transistor và các điện trở tương ứng của mỗi mạch là hoàn toàn giống nhau. (mạch đối xứng) như hình vẽ:



Hình 2.13. Mạch khuếch đại vi sai

Hệ số khuếch đại vi sai:

Sử dụng sơ đồ nửa mạch để tính các thông số của mạch



Hình 2.14. Sơ đồ nửa mạch khuếch đại vi sai

- Hệ số khuếch đại vi sai ngõ ra đơn:

$$A_{dd1} = \left. \frac{v_{cl}}{v_{id}} \right|_{v_{ic}=0} = -\frac{g_m R_C}{2} = \frac{A_{dd}}{2} \quad (2.9)$$

- Trở kháng vào:

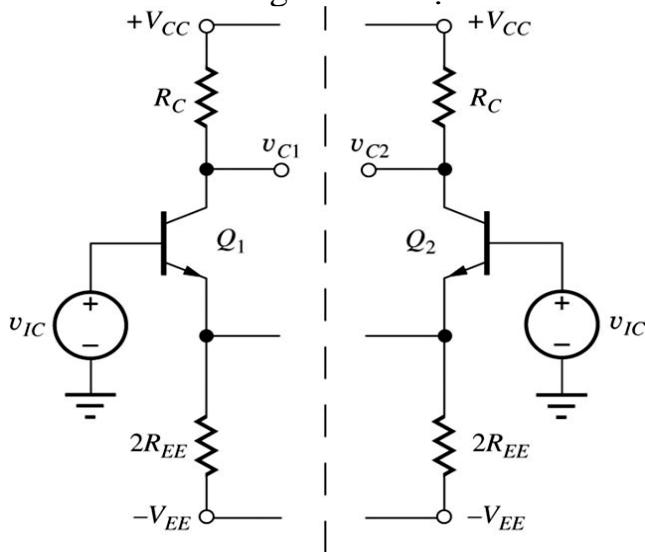
$$R_{id} = \frac{V_{id}}{i_{b1}} = 2r_\pi \quad (2.10)$$

- Trở kháng ra ngõ đơn:

$$R_{od} = R_C // r_o \quad (2.11)$$

Hệ số khuếch đại đồng pha:

Sử dụng sơ đồ nửa mạch để tính các thông số của mạch:



Hình 2.15 Sơ đồ nửa mạch vi sai

- Hệ số khuếch đại đồng pha

$$A_{CC} = \left. \frac{v_{oc}}{v_{ic}} \right|_{v_{id}=0} = \frac{-g_m \cdot R_C}{1 + 2g_m \cdot R_{EE}} \quad (2.12)$$

- Trở kháng vào

$$R_{ic} = \frac{v_{ic}}{2i_b} = \frac{r_\pi + 2(\beta_o + 1)R_{EE}}{2} = \frac{r_\pi}{2} + (\beta_o + 1)R_{EE} \quad (2.13)$$

- Trở kháng ra

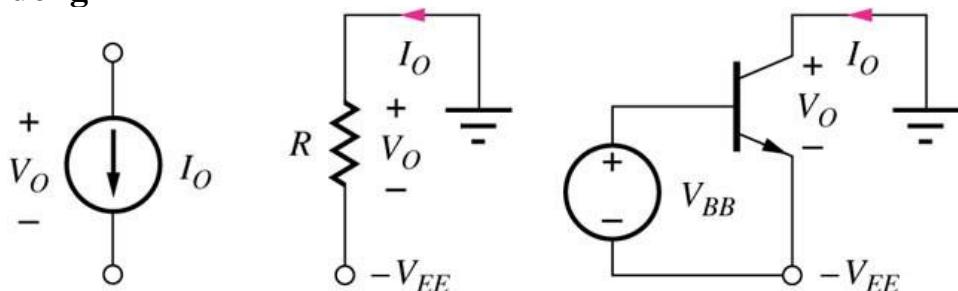
$$R_{oc} = \frac{R_C \| r_o}{2} \quad (2.14)$$

Hệ số nén tín hiệu tín hiệu đồng pha (CMRR):

CMRR biểu thị khả năng giảm/nén nhiễu của mạch khuếch đại vi sai.

$$\text{CMRR} = \left| \frac{A_{dd}}{A_{CC}} \right| \approx \frac{\frac{g_m R_C}{g_m R_C}}{\frac{1 + 2g_m R_{EE}}{2g_m R_{EE}}} = 1 + 2g_m R_{EE} \approx 2g_m R_{EE} \quad (2.15)$$

2. Nguồn dòng



Hình 2.16 Nguồn dòng

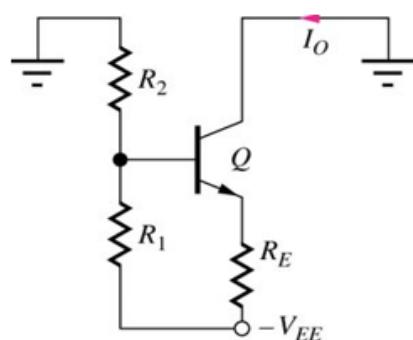
- Dòng điện đi qua nguồn dòng lí tưởng là độc lập với điện áp đặt trên các cực và trở kháng ngõ ra là rất lớn.
 - Trong nguồn dòng điện từ, dòng điện phụ thuộc vào điện áp đặt trên các cực và chúng có trở kháng đầu ra hữu hạn.
 - Nguồn dòng sử dụng Transistor đơn hoạt động ở góc phần tư thứ nhất cho trở kháng ra rất lớn.

$$V_{CS} = I_o \cdot R_{out} \quad (2.16)$$

- V_{CS} được sử dụng như là một giá trị chuẩn để so sánh các nguồn dòng khác nhau.
 - Đối với một dòng cho trước tương ứng với điểm tĩnh Q, V_{CS} đại diện cho điện áp tương đương cần đặt trên hai đầu điện trở tương đương.

$$V_{CS} = I_o \cdot R_{out} = I_C \cdot r_o = I_C \cdot \frac{V_A + V_{CE}}{I_C} = V_A + V_{CE} \quad (2.17)$$

Nguồn dòng với trở kháng ngoại ra lớn:



Hình 2.17 Nguồn dòng với trở kháng ra lớn

Trở kháng ngược của nguồn dòng có thể tăng lên bằng cách đặt một điện trở mắc nối tiếp với cực E của BJT hoặc cực S của FET.

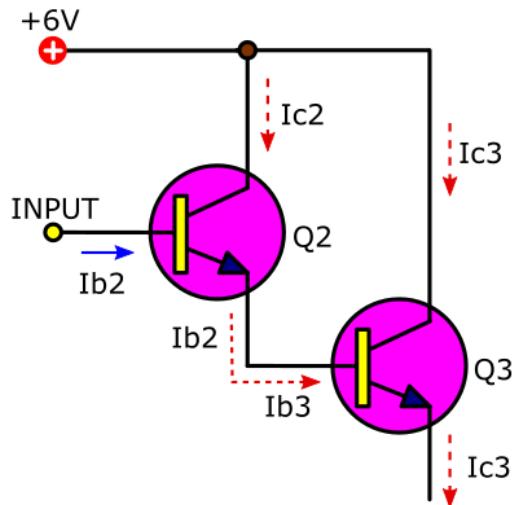
Đối với BJT:

$$R_{out} = r_o \cdot \left(1 + \frac{\beta_o \cdot R_E}{R_1 // R_2 + r_n + R_E} \right) \rightarrow R_{out} \cong 10M\Omega \quad (2.18)$$

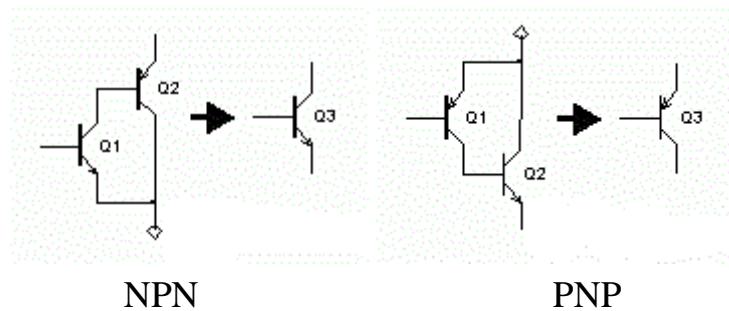
$$V_{CS} = \beta_o (V_A + V_{CE}) \rightarrow V_{CS} \cong 100.75 = 7500V \quad (2.19)$$

Darlington:

Darlington chỉ là một tên cho một kết nối triode. Nó có một ống Darlington có bán trên thị trường và một ống Darlington gồm hai bóng bán dẫn độc lập. Như thể hiện trong hình bên dưới, các thành phần khuếch đại hai giai đoạn là các bóng bán dẫn NPN. Dòng phát của bóng bán dẫn giai đoạn trước được đưa trực tiếp vào cơ sở của giai đoạn tiếp theo làm đầu vào của tầng thấp hơn. Bởi vì cùng loại bóng bán dẫn được sử dụng, nên nó được gọi là kết nối "cùng cực Darlington". Việc sử dụng các bóng bán dẫn NPN và PNP song song để đạt được các đặc tính của Darlington được gọi là "dị vòng Darlington."

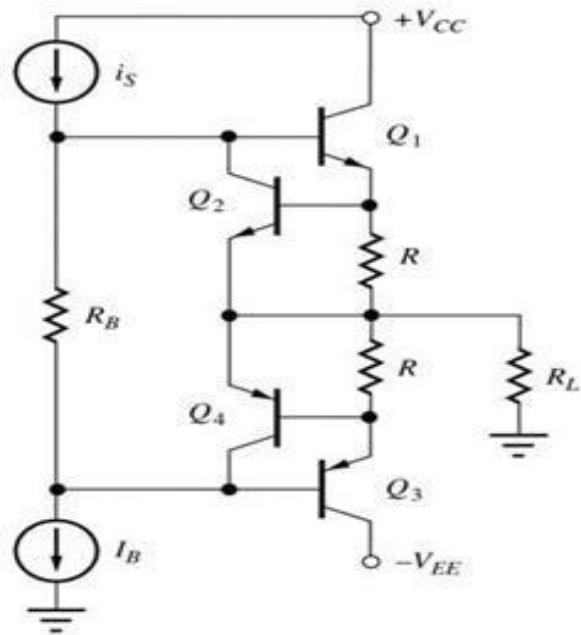


Hình 2.18 Hình Darlington



Hình 2.19 Hình phân loại mạch

3. Mạch bảo vệ

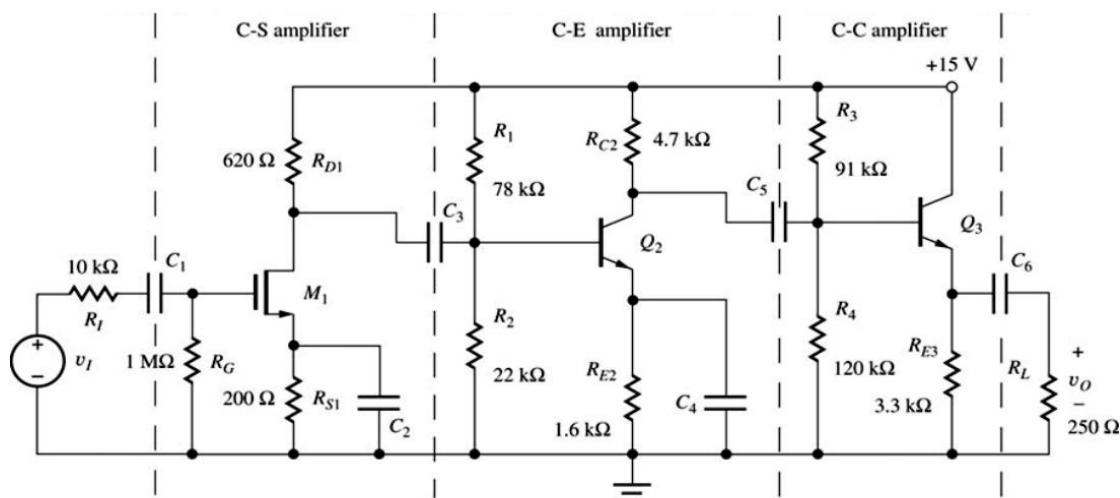


Hình 2.20 Hình mạch bảo vệ

Khi tải bị ngắn mạch (chập mạch), dòng tăng lên rất lớn làm BJT bị phá hủy. Q2 bảo vệ chống ngắn mạch tải R_L .

Ở chế độ khuếch đại, điện áp trên R được chọn < 0.5 V nên Q2 tắt.

4. Khuếch đại nhiều tầng



Hình 2.21 Mạch khuếch đại nhiều tầng

Chức năng

- **Tăng cường biên độ:** Mỗi tầng khuếch đại đóng vai trò trong việc tăng cường biên độ tín hiệu trước khi chuyển đến tầng khuếch đại tiếp theo.
- **Tách tín hiệu và nhiễu:** Các tầng khuếch đại có thể giúp loại bỏ nhiễu và tạo ra tín hiệu đầu ra sạch hơn.
- **Điều chỉnh tần số:** Mỗi tầng khuếch đại có thể được điều chỉnh để tăng cường tần số cụ thể của tín hiệu, phù hợp với yêu cầu của hệ thống.
- **Hiệu suất:** Mạch khuếch đại nhiều tầng có thể cải thiện hiệu suất so với việc sử dụng một tầng khuếch đại đơn lẻ.
- **Bảo vệ mạch:** Mạch khuếch đại nhiều tầng cũng có thể được thiết kế để bảo vệ mạch khỏi các tình huống quá tải, quá áp, quá nhiệt và các vấn đề khác có thể gây hỏng hóc cho mạch.

Tác dụng

- **BJT Q2** hoạt động ở chế độ E chung, tầng thứ 2, cung cấp hệ số khuếch đại điện áp lớn.
- **BJT Q3** mạch chế độ C chung cung cấp trở kháng ra thấp và có hệ số khuếch đại dòng lớn
- **MOSFET M1** hoạt động ở chế độ S chung cung cấp một trở kháng vào lớn và hệ số khuếch đại điện áp trung bình.
- **Tụ lọc C2 và C4** được dùng để tăng hệ số khuếch đại điện áp cực đại của hai mạch khuếch đại đảo.
- **Tụ liên lạc nội tầng C3 và C5** truyền tín hiệu ac giữa các mạch khuếch đại và ngăn cách tín hiệu DC làm ảnh hưởng đến điểm tĩnh của transistors.

5. Mạch OTL ghép tụ ngõ ra

Mạch này có ưu điểm chỉ có nguồn cung cấp, dải thông rộng hơn kiểu ghép biến áp, hiệu suất cao, ít công kềnh, chế độ làm việc ổn định.

Ưu điểm

- **Hiệu suất cao:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra có hiệu suất cao, giúp tín hiệu âm thanh được truyền tải một cách chính xác và rõ ràng.
- **Độ méo tiếng thấp:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra giúp giảm thiểu độ méo tiếng, cung cấp âm thanh chất lượng cao.
- **Khả năng điều chỉnh:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra có khả năng điều chỉnh tần số và âm lượng âm thanh một cách linh hoạt.

Nhược điểm

- **Chi phí cao:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra thường có chi phí sản xuất và lắp ráp cao hơn so với các mạch khác do sử dụng các tụ ngõ ra.

- **Khả năng phản hồi âm thanh kém:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra có thể gặp khó khăn trong việc xử lý phản hồi âm thanh, đặc biệt khi sử dụng loa có trở kháng thấp.
- **Độ ổn định thấp:** Mạch OTL ghép tụ ngõ ra có thể có độ ổn định thấp hơn so với mạch không sử dụng tụ ngõ ra do sự can thiệp từ các tụ ngõ ra.

6. Mạch OCL không ghép tụ ngõ ra

Mạch này có ưu điểm không gây méo tín hiệu ở tần số thấp do không có tụ, hiệu suất cao. Không ngăn cản được dòng DC qua loa khi mất đối xứng

Ưu điểm:

- **Độ ổn định cao:** Mạch OCL không ghép tụ ngõ ra thường có độ ổn định cao hơn so với các mạch ghép tụ ngõ ra do không có sự can thiệp từ các tụ ngõ ra.
- **Chi phí thấp:** Do không cần sử dụng các tụ ngõ ra nên mạch OCL không ghép tụ ngõ ra có chi phí sản xuất thấp hơn.

Nhược điểm:

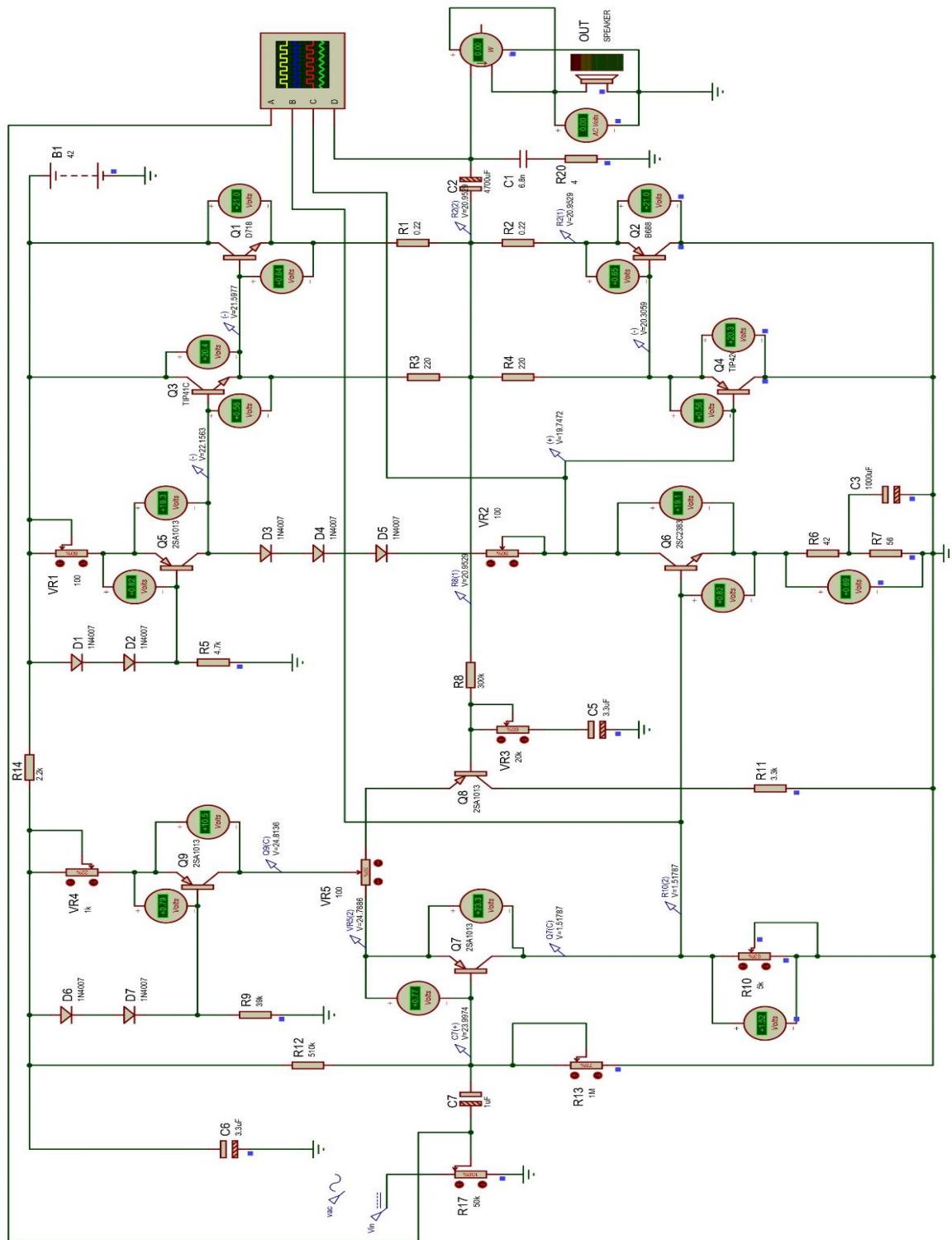
- **Độ méo tiếng cao:** Mạch OCL không ghép tụ ngõ ra có thể gây ra độ méo tiếng cao hơn so với mạch ghép tụ ngõ ra do không có sự can thiệp từ các tụ ngõ ra.
- **Có thể gây hao tụ:** Do không có tụ ngõ ra để bù lại năng lượng, mạch OCL không ghép tụ ngõ ra có thể gây hao tụ năng lượng và làm giảm hiệu suất của hệ thống.

VII. Kết luận chương

Trong chương vừa rồi, chúng ta đã tìm hiểu được về nguyên lý hoạt động, ứng dụng vai trò cũng như ưu, khuyết điểm của các mạch ứng dụng của mạch khuếch đại khi ứng dụng chúng trong thực tế. giúp cải thiện các tính chất của bộ khuếch đại, nâng cao chất lượng của bộ khuếch đại, kết hợp với tầng thúc để đưa tín hiệu sang tầng khuếch đại công suất để đảm bảo tín hiệu ít bị méo phi tuyến hơn và cho ra chất lượng âm thanh tốt hơn. Những gì được trình bày trong chương này sẽ là cơ sở để chúng ta áp dụng vào việc tính toán trong chương tiếp theo.

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN

I. Sơ đồ mạch



Hình 3.1 Sơ đồ mạch tổng hợp

II. Tác dụng linh kiện

| | |
|---------------------|---|
| R12, R13 | Phân cực cho Q7 |
| R6,R7 | Trở ản định nhiệt, phân cực cho Q6 |
| R14 | Hạn dòng tầng khéch đại tín hiệu vào |
| R10 | Điện trở phân cực cho Q6 |
| VR1 | Điều chỉnh nguồn dòng cố định, điều chỉnh áp trung điểm |
| D1, D2, R5 | Tạo dòng ản định |
| D3,D4,D5,VR2 | Ghim áp, phân cực cho Q3,Q4,Q1,Q2 tránh bị méo ở chế độ AB |
| Q5 | BJT hoạt động ở chế độ A, tác dụng làm nguồn dòng cố định |
| Q6 | BJT khuếch đại ở chế độ A, khuếch đại tín hiệu từ tầng ngõ vào |
| Q7 | BJT khuếch đại tín hiệu nhỏ ở chế độ A, khuếch đại tín hiệu vào |
| Q8 | BJT hoạt động ở chế độ A, tác dụng hồi tiếp tầng vi sai |
| Q9 | BJT hoạt động ở chế độ A, tác dụng làm nguồn dòng tầng vi sai |
| R8,VR3,C5 | Bộ hồi tiếp âm toàn mạch |
| Q1-Q3, Q2-Q4 | 2 cặp BJT bô phụ tầng công suất mắc Darlington dùng để khuếch đại dòng, hoạt động ở chế độ AB |
| C7 | Tụ nhận tín hiệu vào lọc tín hiệu DC qua Q7 vào thiết bị phát |
| C3 | Ngăn mạch ở chế độ DC và thoát AC ản định điểm làm việc cho Q6 |
| C6 | Tụ lọc nhiễu tầng công suất vào tầng nhận tín hiệu vào |
| C2 | Tụ ngăn tín hiệu DC ra loa và duy trì hoạt động của mạch |
| R1, R2 | Cân bằng dòng, ản định nhiệt cho Q1, Q2 |
| R3, R4 | Rẽ dòng nhiệt và phân cực cho Q1,Q2 |
| C1, R20 | Mạch Zobel bảo vệ loa trong trường hợp ngắn mạch, ản định trở kháng loa ở tần số cao |

Tính toán chọn linh kiện

III. Tính phần nguồn

Ta có

$$V_{Lhd} = \frac{V_L}{\sqrt{2}}, I_{Lhd} = \frac{I_L}{\sqrt{2}}$$

Công suất trên tải:

$$P_L = R_i I_{Lhd}^2 = \frac{V_{Lhd}^2}{R_L} = \frac{V_L^2}{2R_L}$$

$$VL = \sqrt{2P_L R_L} = \sqrt{2 \cdot 35.4} = 16,73(V)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{16,73}{4} = 4,18(A)$$

Chọn hệ số sử dụng nguồn là 0.8

$$V_{cc} = \frac{2V_L}{0,8} = \frac{2 \cdot 16,73}{0,8} = 41,8(V)$$

Ta chọn nguồn cung cấp là 42V

Công suất nguồn cung cấp:

$$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{tb}$$

$$I_{tb} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_L \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \cdot I_L \cdot \cos(\omega t) \Big|_0^\pi = \frac{I_L}{\pi}$$

$$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{tb} = 42 \cdot \frac{4,18}{\pi} = 55,8W$$

Hiệu suất của mạch

$$\eta = \frac{P_L}{P_{cc}} \cdot 100\% = \frac{35}{55,8} \cdot 100\% = 62,7\%$$

IV Tính tầng công suất

1. Tính chọn R1, R2

Vì mạch làm việc ở chế độ AB nên dòng tĩnh collector nằm giữa 20÷50 mA

Ở đây ta chọn: $I_{EQ/Q1} = I_{EQ/Q2} = 50$ mA

Dòng cực đại qua Q1, Q2 là:

$$I_{Ep1} = I_{EP2} = I_{EQ2} + I_L = I_{EQ1} + I_L = 0,05 + 4,18 = 4,23(A)$$

R1, R2 là hai điện trở ổn định nhiệt, tạo dòng hồi tiếp để cân bằng tầng dây kéo, dòng qua tải cũng chính là dòng qua trở, để không ảnh hưởng đến công suất của tải nên phải có công suất lớn.

Để công suất ra loa đạt cực đại thì sụt áp trên 2 điện trở này không quá lớn, tránh hao phí ta chọn :

$$\frac{V_{R1}}{V_L} = \frac{1}{20} \Rightarrow V_{R1} = \frac{V_L}{20} = \frac{16,73}{20} = 0,83(V)$$

$$\Rightarrow R1 = R2 = \frac{V_{R1}}{I_{Ep1}} = \frac{0,83}{4,23} = 0,19\Omega$$

Công suất trở R1, R2 :

$$P_{R1} = P_{R2} = \frac{1}{4} \cdot R1 \cdot I_{Lhd}^2$$

$$\frac{1}{4} \cdot 0,2 \cdot \frac{4,18^2}{2} = 0,436 (W)$$

Ta chọn trở R1, R2 là $0,22\Omega / 5W$

2. Tính chọn Q1, Q2

Công suất nguồn cung cấp :

$$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{CCtb} = V_{cc} \cdot \frac{2I_L}{\pi}$$

Công suất loa:

$$P_L = \frac{1}{2} R_L \cdot I_L^2$$

Công suất tiêu tán của R1, R2 :

$$P_R = 2 \cdot P_{R1} = \frac{1}{2} \cdot R_1 \cdot I_L^2$$

Vậy công suất tiêu tán của hai BJT Q1, Q2 là :

$$2P_{tt} = P_{cc} - P_L - 2P_R = \frac{2V_{cc} \cdot I_L}{\pi} - \frac{1}{2} R_L \cdot I_L^2 - \frac{1}{2} \cdot R_1 \cdot I_L^2 \quad (1)$$

$$\Rightarrow P_{tt/Q_1} = P_{tt/Q_2} = \frac{(V_{cc} \cdot I_L)}{\pi} - \frac{1}{4} \cdot (R_L + R_1) \cdot I_L^2$$

Công suất tiêu tán cực đại của BJT là lấy đạo hàm Ptt /Q1 theo I L cho bằng 0:

$$\frac{dP_{tt/Q1}}{dI_L} = \frac{V_{CC}}{\pi} - \frac{1}{2}(R_L + R_1) \cdot I_L = 0$$

$$I_L = \frac{V_{CC}}{\pi(R_L + R_1)} = \frac{42}{\pi \cdot (4 + 0,2)} = 3,18(A)$$
(2)

Thay (2) vào (1), ta được

$$P_{tt_{max}/Q1} = \frac{V_{CC} \cdot I_L}{2\pi} - \frac{1}{4}(R_L + R_1)I_L^2$$

$$= \frac{42 \cdot 3,18}{2\pi} - \frac{1}{4}(4 + 0,2) \cdot 3,18^2 = 9,59 (W)$$

Công suất tiêu tán tĩnh trên Q1 :

$$P_{DC/Q1} = V_{CE/Q1} \cdot I_{C/Q1} \approx \frac{V_{CC}}{2} \cdot I_{EQ} = \frac{42}{2} \cdot 0,05 = 1,05 W$$

Vậy công suất tiêu tán cực đại trên Q1 là:

$$P_{tt_{\Sigma max}/Q1} = P_{tt_{max}/Q1} + P_{DC/Q1} = 9,59 + 1,05 = 10,64 W$$

Vì Q1, Q2 là cặp BJT bô phụ nên ta chọn Q1, Q2 thỏa mãn điều kiện:

$$I_C \geq (1,5 \div 2)I_{EP1} = (6,345 \div 8,46)(A)$$

$$V_{CEO} \geq (1,5 \div 2)V_{CC} = (63 \div 84)(V)$$

$$P_C \gg (1,5 \div 2)P_{tt_{\Sigma max}} = (15,96 \div 21,28)(W)$$

=> Tra cứu Datasheet

Ta chọn Q1 là 2SD718 và Q2 là 2SB688 :

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | 2SD718 | Unit |
|---|-------------------|-------------|--------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 120 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 120 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 5.0 | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C I_{CM} | 8.0 16 | A |
| Base current | I_B | 0.8 | A |
| Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$ | P_D | 80 0.64 | W W/ $^\circ C$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | -55 to +150 | $^\circ C$ |

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | 2SB688 | Unit |
|---|-------------------|-------------|--------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 120 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 120 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 5.0 | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C I_{CM} | 8.0 16 | A |
| Base current | I_B | 0.8 | A |
| Total Power Dissipation @ $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 80 0.64 | W W/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |

3. Tính chọn R3,R4

Chọn $\beta_{Q1}=\beta_{Q2}=\beta_{min}=55$

Dòng Base tĩnh của Q_1 :

$$I_{BQ/Q_1} = \frac{I_{EQ/Q_1}}{1 + \beta_1} = \frac{0,05}{1 + 55} = 0,89 \text{ (mA)}$$

Dòng Base cực đại của Q_1 :

$$I_{BP/Q_1} = \frac{I_{EP/Q_1}}{1 + \beta_{Q_1}} = \frac{4,23}{1 + 55} = 75 \text{ (mA)}$$

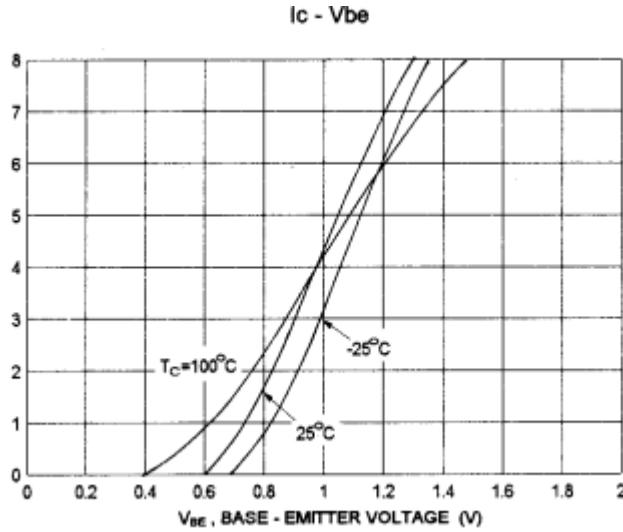
Để R_3, R_4 ảnh hưởng đến dòng ra ở chế độ xoay chiều thì R_3, R_4 phải thỏa mãn
 $Z_{B1M(ac)} \ll R_3, R_4 \ll Z_{B1M(dc)}$

$R_3, R_4 \ll Z_{B1M(dc)}$: để rẽ dòng nhiệt

$R_3, R_4 \gg Z_{B1M(ac)}$: giảm tổn thất tín hiệu

Với $Z_{B1M(ac)}, Z_{B1M(dc)}$: Là điện trở xoay chiều và 1 chiều từ cực Base của Q_1

Từ đặc tuyến I_C, V_{BE} của 2SD718, ta có:



$$I_{EQ/Q_1} = 0,05 \text{ A} \Rightarrow V_{BEQ} = 0,6 \text{ (V)}$$

$$I_{Eq/Q_1} = 4,23 \Rightarrow V_{BEmax} = 1 \text{ (V)}$$

$$\Rightarrow Z_{B_1M(dc)} = \frac{V_{BEQ/Q_1} + V_{R1}}{I_{BQ/Q_1}} = \frac{0,6 + 0,05 \cdot 0,2}{0,89 \cdot 10^{-3}} = 685,4 \text{ (\Omega)}$$

$$Z_{B_1(ac)} = \frac{(V_{BEmax/Q_1} + V_{R1}) - (V_{BEQ/Q_1} + V_{R1})}{I_{B/Q_1} - I_{BQ/Q_1}}$$

$$= \frac{(1 + 0,05 \cdot 0,2) - (0,6 + 0,05 \cdot 0,2)}{(75 - 0,89) \cdot 10^{-3}} = 5,39 \text{ (\Omega)}$$

Vậy: $5,39 \text{ \Omega} \ll R_3, R_4 \ll 685,4 \Omega$

Chọn $R_3 = R_4 = 220\Omega/2W$

4. Tính chọn Q3,Q4

Dòng tĩnh qua R_3 :

$$I_{R3Q} = \frac{(V_{BEQ/Q_1} + V_{R1})}{R_3} = \frac{(0,6 + 0,05 \cdot 0,2)}{220} = 2,77 \text{ (mA)}$$

Dòng cực đại qua R_3 :

$$I_{R3P} = \frac{(V_{BEP/Q_1} + V_{R1p})}{R_3} = \frac{(1 + 4,23 \cdot 0,2)}{220} = 8,3 \text{ (mA)}$$

Dòng Emitter qua Q_3 :

$$I_{EQ/Q3} = I_{R_3Q} + I_{BQ/Q_1} = 2,77 + 0,89 = 3,72 \text{ (mA)}$$

Dòng cực đại qua Q_3 :

$$I_{EP/Q3} = I_{R3P} + I_{BP/Q_1} = 8,3 + 75 = 83,3 \text{ (mA)}$$

Trở kháng xoay chiều từ cực B của Q_1 :

$$\begin{aligned} Z_{B_1(ac)} &= \frac{V_{B1P} - V_{B1Q}}{I_{EP/Q_3} - I_{EQ/Q_3}} \\ Z_{B_1(ac)} &= \frac{(V_{R_1max} + V_{BEmax/Q_1}) - (V_{BQ/Q_1} + V_{R_1})}{I_{EP/Q_3} - I_{EQ/Q_3}} \\ &= \frac{(1 + 2,77.0,2) - (0,6 + 0,05.0,2)}{(83,3 - 3,72).10^{-3}} = 11,86 \text{ (\Omega)} \end{aligned}$$

So sánh Z_{B_1ac} tính ở trước thì khi thêm R_3, R_4 vào thì sai khác không đáng kể

Trở kháng xoay chiều của Q_3 :

$$Z_{ac/Q3} = Z_{B_1ac} + (1 + \beta_{min}).R_L = 11,86 + (1 + 55).4 = 235,86 \text{ (\Omega)}$$

Để tìm được Q_3, Q_4 ta tìm nguồn công suất tiêu tán lớn nhất của chúng
Gọi IE_3 là biên độ dòng AC chạy qua Q_3

-Dòng xoay chiều trung bình Q_3 :

$$I_{tb/Q3} = \frac{IE_3}{\pi}$$

-Công suất nguồn cung cấp cho Q_3 :

$$P_{cc/Q3} = V_{CC}.I_{tb/Q3} = \frac{V_{CC}.IE_3}{\pi}$$

- Công suất cung cấp cho tải của Q_3 :

$$P_{t/Q_3} = Z_{t/Q_3} \cdot I_{E_3}^2 = Z_{t/Q_3} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^\pi (I_{E_3} \sin \omega t)^2 d(\omega t) = \frac{1}{4} \cdot I_{E_3}^2 \cdot Z_{t/Q_3}$$

- Công suất tiêu tán xoay chiều trên Q_3 :

$$P_{tt/Q_3} = P_{CC} - P_{t/Q_3} = \frac{V_{CC} \cdot I_{E_3}}{\pi} - \frac{1}{4} \cdot I_{E_3}^2 \cdot Z_{t/Q_3}$$

- Lấy đạo hàm theo I_{E_3} và cho $P_{tt/Q_3} = 0$ ta được:

$$I_{E3P} = \frac{2V_{CC}}{\pi \cdot Z_{t/Q_3}} = \frac{2,42}{3,14 \cdot 235,86} = 0,113 \text{ (A)}$$

- Công suất tiêu tán lớn nhất do dòng xoay chiều rơi trên Q1:

$$\begin{aligned} P_{ttmax/Q_3} &= \frac{V_{CC} \cdot I_{E3P}}{\pi} - \frac{1}{4} \cdot I_{E3P}^2 \cdot Z_{t/Q_3} = \frac{42 \cdot 0,113}{3,14} - \frac{1}{4} \cdot 0,113^2 \cdot 235,86 \\ &= 0,758(W) \end{aligned}$$

- Công suất tiêu tán tĩnh trên Q_3 :

$$\begin{aligned} P_{dc/Q_3} &= \frac{V_{CC}}{2} \cdot I_{EQ/Q_3} = \frac{42}{2} \cdot 3,72 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,078(W) \end{aligned}$$

- Công suất tiêu tán cực đại trên Q_3 :

$$\begin{aligned} P_{tt\Sigma max} &= P_{dc/Q_3} + P_{ttmax/Q_3} \\ &= 0,078 + 0,758 = 0,836(W) \end{aligned}$$

- Chọn Q_3, Q_4 thỏa :

$$I_C \geq (1,5 \div 2)I_{EPQ3} = (0,125 \div 0,16)(A)$$

$$V_{CE0} \geq (1,5 \div 2)V_{CC} = (63 \div 84)(V)$$

$$P_C \gg (1,5 \div 2)P_{tt\Sigma max} = (1,25 \div 1,672)(W)$$

Chọn Q_3 là Tip41C, Q_4 là Tip42C

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | TIP41 TIP42 | TIP41A TIP42A | TIP41B TIP42B | TIP41C TIP42C | Unit |
|--|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 40 | 60 | 80 | 100 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 40 | 60 | 80 | 100 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | | | 5 | | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C | | | 6 10 | | A |
| Base Current | I_B | | | 2 | | A |
| Total Power Dissipation@ $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | | | 65 0.52 | | W W/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | | | -65 to +150 | | $^\circ\text{C}$ |

5. Tính tụ C2

Tụ đưa tín hiệu ra loa, để tín hiệu không bị giữ lại trên tụ

$$\text{Chọn } X_{C_2} = \frac{Rl}{5} = \frac{4}{5} = 0,8$$

Chọn tần số cắt nhỏ hơn 50Hz

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_2}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,8} = 3980 (\mu\text{F})$$

Chọn $C_2 = 4700 \mu\text{F}/50V$

6. Tính mạch lọc Zobel C1, R20

Ta có: $ZL = (R20 + \frac{1}{jwC}) // (RL + jwL)$

$$= \frac{\left(R20 + \frac{1}{jwC}\right) \cdot (RL + jwL)}{R20 + \frac{1}{jwC} + RL + jwL}$$

Để không phụ thuộc vào tần số thì $ZL = RL$

$$\rightarrow R20.RL + R20.jwL + \frac{R_L}{jwC} + \frac{L}{C} = R20.RL + \frac{R_L}{jwC} + {R_L}^2 + RL.jwL$$

$$\rightarrow \begin{cases} \frac{L}{C} = R_L^2 \\ R_{20} \cdot jwL = jwL \cdot R_L \end{cases}$$

$\rightarrow R_{20} = R_L = 4\Omega$

Vì L của loa thường rất nhỏ $\approx 0,1\mu\text{H}$

$$C_1 = \frac{L}{R_L^2} = \frac{0,1 \cdot 10^{-6}}{16} = 6,25 \text{ (nF)}$$

Chọn $C_1 = 6,8 \text{ (nF)}$

V. Tính tầng thúc

Tính tầng lái

Để tính toán tầng thúc ta chọn $\beta_{Q3}=75$

$$I_{BP/Q3} = \frac{I_{EP/Q3}}{1+\beta_{Q3}} = \frac{83,3}{1+75} = 1\text{mA}$$

$$I_{BQ/Q3} = \frac{I_{EQ/Q3}}{1+\beta_{Q3}} = \frac{3,72}{1+75} = 0,05mA$$

1. Tính D3, D4, D5, VR2

Để tránh méo tín hiệu xuyên tâm và ổn định điểm làm việc cho các cặp BJT thì các tổ hợp này phải làm việc ở chế độ AB. Vì vậy ta dùng tổ hợp này để tạo ra áp ban đầu cho các BJT để khi có tín hiệu vào thì các BJT khuếch đại cùng công suất dẫn ngay

Chọn D3, D4, D5 là loại diode 1N4007

Để Q1, Q2 làm việc ở dòng tĩnh 50mA thì điện áp trên tiếp giáp BE của BJT ở chế độ tĩnh là 0,6V

Ta có:

$$V_{D3} + V_{D4} + V_{D5} + V_{R2} = V_{BE/Q1} + V_{BE/Q2} + V_{BE/Q3} + V_{BE/Q4} + V_{R1} + V_{R2}$$

$$V_{D3} + V_{D4} + V_{D5} + V_{R2} = 0,6 + 0,6 + 0,6 + 0,6 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 0,2 = 2,42\text{V}$$

Để dòng tĩnh Q5 ít thay đổi và tránh méo tín hiệu ta chọn:

$$I_{CQ/Q5} = 140. I_{BQ/Q3} = 140.0,05 = 7\text{mA}$$

Dòng cực đại qua Q5:

$$I_{CP/Q5} = 140. I_{BP/Q3} = 140.1 = 140\text{mA}$$

Dùng Diode để ổn định áp phân cực cho tầng lái. Diode D3, D4, D5 và VR2 đảm bảo cho Q1, Q2, Q3 Q4 làm việc ở chế độ AB, tức là $V_{D3} + V_{D4} + V_{D5} + V_{R2} = 2,42\text{V}$

$$\text{Vậy } VR2 = \frac{V_{D3} + V_{D4} + V_{D5} + V_{R2} - 3V_D}{I_{C/Q5}} = \frac{2,42 - 3,07}{7 \cdot 10^{-3}} = 45,7\Omega$$

$$V_{VR2} = 0,32\text{V}$$

Chọn VR2= 50 Ω

Chọn vi trở 100 để điều chỉnh

2. Tính Q5, VR1, R5 làm nguồn dòng

Q5 tạo dòng điện ổn định phân cực cho Q6 và ổn định điểm làm việc của hai cặp Darlington ở tầng khuếch đại công suất. Do nội trở nguồn dòng ở chế độ xoay chiều lớn nên tăng hệ số khuếch đại của tầng lái, phối hợp trở kháng với trở kháng vào lớn của 2 cặp Darlington làm nâng cao hiệu suất của mạch

Dòng collector qua Q5: $I_{C/Q5} = I_{C/Q6} = 7\text{mA}$

Chọn D1, D2 là diode 1N4007

Dòng qua hai diode là dòng phân áp cho Q5.

Chọn dòng phân cực $I_{B/Q5} < I_D$,

Mà để diode ghim áp ổn định thì dòng $I_D > 7\text{mA}$

Chọn dòng phân áp $I_{R5} = 9\text{mA}$. Lúc này $V_D = 0,7\text{V}$

Tại $V_D = 0,7\text{V}$ thì dòng xấp xỉ là $0,01\text{A} \Rightarrow$ Chọn $I_{pa} = 10\text{mA}$

Sụt áp trên R5 là: $V_{R5} = V_{CC} - V_{D1} - V_{D2} = 42 - 0,7 - 0,7 = 40,6\text{V}$

$$R5 = \frac{V_{R5}}{I_{pa}} = \frac{40,6}{0,01} = 4060\Omega$$

Chọn R5 = 4,3kΩ/2W

$$\text{Công suất R5: } P_{R5} = \frac{V_{R5}^2}{R5} = 0,38 \text{ W}$$

$$VR1 = \frac{V_{D1} + V_{D2} - V_{BE/Q5}}{I_{C/Q5}} = \frac{0,7 + 0,7 - 0,6}{10 \cdot 10^{-3}} = 80 \Omega$$

Chọn VR1 = 80 Ω Chọn vi trở 100 để điều chỉnh

Do Q5 hoạt động chế độ A được dùng làm nguồn dòng nên công suất tiêu tán lớn nhất của nó là công suất tiêu tán tĩnh.

Điện áp DC trên tiếp giáp CE của Q5 là:

$$\begin{aligned} V_{CE/Q5} &= \frac{V_{CC}}{2} - VR1 - V_{BE/Q1} - V_{BE/Q3} - V_{R1} \\ &= \frac{42}{2} - (0,7 + 0,7 - 0,6) - 0,6 - 0,6 - 0,05 \cdot 0,2 \\ &= 19V \end{aligned}$$

Vậy công suất tiêu thụ trên Q5 là:

$$P_{DC/Q5} = V_{CE/Q5} \cdot I_{C/Q5} = 19 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,19W$$

Chọn Q5 thỏa mãn:

$$I_C \geq (1,5 \div 2) I_{CP/Q5} = (210 \div 280) \text{mA}$$

$$V_{CE} \geq (1,5 \div 2) V_{CE/Q5} = (28,5 \div 38) \text{V}$$

$$P_C \geq (1,5 \div 2) P_{DC/Q5} = (0,285 \div 0,38) \text{W}$$

Chọn Q5 là 2SA1013

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|------------------|---------|------|
| Collector-Base Voltage | V _{CBO} | -160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V _{CEO} | -160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V _{EBO} | -6 | V |
| Collector Current | I _C | -1 | A |
| Base Current | I _B | -0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P _C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T _j | 150 | °C |
| Storage Temperature Range | T _{stg} | -55~150 | °C |

3. Tính Q6, R6, R7

Transistor Q6 làm nhiệm vụ nâng cao tín hiệu đủ lớn để kích cho tầng thúc làm việc và đảo pha cho tầng công suất. Q6 được chọn làm việc ở chế độ A. Q6 có tải lớn nên hệ số khuếch đại lớn, ta phải chọn điểm làm việc của Q6 sao cho khi không có tín hiệu vào điện thế vào cực E của Q1, Q2 = 0, lúc này sụt áp trên tải = 0
Điện trở R6 ,R7 làm nhiệm vụ hồi tiếp âm DC, riêng R7 còn làm nhiệm vụ hồi tiếp âm cho Q6

$$\text{Có } V_{R6} + V_{R7} = 0,7V$$

Để tránh hồi tiếp âm quá nhiều làm giảm hệ số khuếch đại của Q6, ta chọn $R6 < R7$:

$$R6+R7 = \frac{V_{R6}+V_{R7}}{I_{C/Q6}} = \frac{0,7}{7 \cdot 10^{-3}} = 100\Omega$$

Chọn R6 = 42Ω và R7 = 56Ω

Với hai giá trị của trở thì áp rơi trên hai điện trở này là:

$$V_{R6R7} = (R6+R7) \cdot I_{C/Q6} = (42+56) \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,685V$$

Điện thế cực C,E của Q6:

$$V_{CE/Q6} = V_{CC/2} - V_{VR1} - V_{BE/Q4} - V_{BE/Q2} - V_{R6R7}$$

$$= 42/2 - (0,7 + 0,7 - 0,6) - 0,6 - 0,6 - 0,685 = 19V$$

Công suất tiêu tán tĩnh của Q6:

$$P_{DC/Q6} = V_{CE/Q6} \cdot I_{C/Q6} = 18,3 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,128W$$

Vì Q6 làm việc ở chế độ A nên:

$$P_{ttmax/Q6} = P_{DC/Q6} = 0,128W$$

Từ những tính toán trên ta chọn Q6 thỏa mãn:

$$I_C \geq (1,5 \div 2) I_{C/Q6} = (10,5 \div 14)mA$$

$$V_{CE} \geq (1,5 \div 2) V_{CC} = (63 \div 84)V$$

$$P_C \geq (1,5 \div 2) P_{ttmax/Q6} = (0,192 \div 0,256)W$$

Ta chọn Q6 là 2SC2383

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|------------------|---------|------|
| Collector-Base Voltage | V _{CBO} | 160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V _{CEO} | 160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V _{EBO} | 6 | V |
| Collector Current | I _C | 1 | A |
| Base Current | I _B | 0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P _C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T _j | 150 | °C |
| Storage Temperature Range | T _{stg} | -55~150 | °C |

4. Tụ C3

Nguyên tắc chọn các tụ là giá trị trở kháng của tụ (tại tần số bé nhất trong băng thông phải ngỏ hơn nhiều so với giá trị trở kháng (thông thường ta chọn nhỏ hơn hoặc bằng $\frac{1}{10}$).

Chọn $f_{min}=20\text{Hz}$

$$C_3 \text{ là tụ thoát xoay chiều } Q_6, \text{ Chọn } X_{C_3} = \frac{1}{10} R_7 = \frac{56}{10} = 5,6(\Omega)$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_3}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 5,6} = 1420(\mu F)$$

Chọn C₃= 1000 μF/50V

VI. Tính tầng vi sai

1. Tính chọn R8 Hồi tiếp

Ta có R₈ là trở kháng vào của Q4, để giảm nhiễu đồng pha cho tầng vi sai,

$$\text{Chọn } VR_8 = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \right) \frac{V_{CC}}{2} = \frac{1}{15} \cdot \frac{42}{2} = 1,4V$$

$$R8 = \frac{VR_8}{I_{C/Q_7}} = \frac{1,4}{0,46 \cdot 10^{-3}} = 3k\Omega$$

Chọn R₈ = Z_{in} = 300 kΩ

$$VR_8 = 3,8 V$$

2. Tính chọn R10, R11

$$\text{Chọn } \beta_{Q_6} = 150 \Rightarrow I_{B/Q_6} = \frac{I_{C/Q_6}}{\beta_{Q_6}} = \frac{7.10^{-3}}{150} = 46,6 \text{ } (\mu A)$$

Để không ảnh hưởng đến điểm làm việc Q_7 , ta chọn $I_{C/Q_7} \gg I_{B/Q_6}$

$$I_{C/Q_7} = 10 \cdot I_{B/Q_6} = 10 \cdot 46,6 \mu A = 0,46 \text{ } (mA)$$

$$\text{Ta có } I_{R10} = I_{C/Q_7} - I_{B/Q_6} = 0,46 \cdot 10^{-3} - 46,6 \cdot 10^{-6} = 0,41 \text{ } (mA)$$

$$V_{R10} = V_{BE/Q_6} + V_{R6R7} = 0,6 + 0,685 = 1,28 \text{ } V$$

$$R10 = \frac{V_{R10}}{I_{R10}} = \frac{1,28}{0,41 \cdot 10^{-3}} = 3121 \Omega$$

Chọn $R_{10} = R_{11} = 3,3k\Omega$ Chọn R10 vi trỏ 5k rồi điều chỉnh

Chọn D6, D7 là diode 1N4007

$$I_{R10R11} = \frac{V_{R10}}{R_{11}} = \frac{1,28}{3,3} = 0,387 \text{ mA}$$

3. Tính chọn VR4 nguồn dòng

$$R_{VR4} = \frac{V_{D6D7} - V_{BE/Q1} - V_{BE/Q4}}{2 \cdot I_{R14R15}} = \frac{0,7 + 0,7 - 0,6 - 0,6}{2 \cdot 0,387 \cdot 10^{-3}} = 258 \Omega$$

Chọn VR4 vi trỏ 1k rồi điều chỉnh

4. Tính chọn Q9, R9 nguồn dòng

$$\begin{aligned} V_{CE/Q9} &= V_{cc} - \frac{V_{cc}}{2} - V_{R16} - V_{BE/Q8} - V_{BE/Q4} - V_{R6R7} \\ &= 42 - \frac{42}{2} - 1,428 - 0,7 - 0,6 - 0,7 \end{aligned}$$

$$V_{CE/Q9} = V_{CEmax} = 17,57 \text{ } V$$

$$I_{CQ9} = 2 \cdot I_{R14R15} = 2 \cdot 0,387 = 0,774 \text{ mA}$$

Công suất tiêu tán tĩnh của Q9:

$$P_{ttmax/Q9} = P_{DC/Q6} = V_{CE/Q9} \cdot I_{CQ9} = 17,57 \times 0,774 \cdot 10^{-3} = 13,6m \text{ W}$$

Chọn BJT thoả:

$$I_C \geq (1,5 \div 2) I_{CQ9} = (1,16 \div 1,54) \text{mA}$$

$$V_{CE} \geq (1,5 \div 2) V_{CC} = (63 \div 84) \text{V}$$

$$P_C \geq (1,5 \div 2) P_{ttmax/Q9} = (20,4 \div 27,2) \text{mW}$$

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|------------------|---------|------|
| Collector-Base Voltage | V _{CBO} | -160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V _{CEO} | -160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V _{EBO} | -6 | V |
| Collector Current | I _C | -1 | A |
| Base Current | I _B | -0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P _C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T _j | 150 | °C |
| Storage Temperature Range | T _{stg} | -55~150 | °C |

Chọn Q9 là BJT: 2SA1013

$$\text{Ta có } I_{C/Q9} = 2 \cdot I_{R14R15} = 2 \cdot 0,387 = 0,774 \text{ mA}$$

$$\beta = 100$$

$$I_{B/Q9} = \frac{I_{C/Q9}}{\beta} = \frac{0,774}{100} = 7,74 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

Chọn I_D > I_{BQ9} = 1mA

$$R_9 = \frac{V_{CC} - V_{VR4} - V_{D6} - V_{D7}}{I_D} = \frac{42 - 1,428 - 1,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 39 \text{k}\Omega$$

Chọn R9 = 39k Ω

5. Tính chọn R12, R13

Ta có Z_{in} = 300 kΩ

$$V_{E/Q7} = \frac{V_{CC}}{2} - VR_8 = \frac{42}{2} - 3,8 = 17,2 \text{ V}$$

$$V_{R13} = V_{E/Q7} - V_{BE/Q7} = 17,2 - 0,6 = 16,6 \text{ V}$$

$$I_{BQ7} = \frac{I_{C/Q7}}{\beta} = \frac{0,46 \cdot 10^{-3}}{100} = 4,6 \mu A$$

Chọn $I_{R12R13} \geq 12$. $I_{B/Q7} = 12.4,6 = 55,2 \mu A$

$$V_{R12R13} = V_{CC} - V_{R16} = 42 - 1,428 = 40,57 \text{ V}$$

$$R_{13} = \frac{V_{R12R13}}{I_{R12R13}} = \frac{40,57}{55,2 \cdot 10^{-6}} = 734963 k\Omega$$

$$Z_{in} = \frac{R_{13} \cdot R_{12}}{R_{13} + R_{12}} = \frac{735k \cdot R_{12}}{735k + R_{12}} = 300k \Omega$$

R₁₃ = 735 kΩ chọn biến trở 1M để điều chỉnh

R₁₂ = 500kΩ ta chọn **R₁₂ = 510k Ω**

6. Tính chọn R14

$$\begin{aligned} V_{R14} &= V_{CC} - V_{R12} - V_{R13} \\ &= 42 - (750 \cdot 10^3 \cdot 32,2 \cdot 10^{-6}) - (510 \cdot 10^3 \cdot 32,2 \cdot 10^{-6}) \\ &= 1,428 \text{ V} \\ R_{14} &= \frac{V_{R14}}{I_{R13}} = \frac{1,428}{46 \cdot 10^{-6}} = 2.18k\Omega \end{aligned}$$

Chọn R14 là 2.2k

7. Tính chọn VR3

$$\text{Ta có: } K = \frac{K_0}{1+K_0 \cdot K_{ht}} = \frac{1}{K_{ht}}; \quad K = \frac{V_L}{\sqrt{2} \cdot V_{in}} = \frac{16,73}{\sqrt{2} \cdot 0,7} = 16,89$$

$$\Rightarrow K_{ht} = \frac{1}{16,89} = 0,059$$

$$K_{ht} = \frac{VR_3}{VR_3 + R_8} = 0,059 \Rightarrow VR_3 = 18k(\Omega)$$

Chọn VR3 vi trở 20k rồi điều chỉnh

8. Tính chọn Q7 ,Q8

Vì Q7 hoạt động ở chế độ tinh A và để khuếch đại không bị méo, có biên độ đủ lớn thì điểm làm việc tinh phải nằm ở giữa đường tải.

Chọn $V_{CE/Q_7} = 20V$

Ta có $P_{DC/Q_7} = V_{CE/Q_7} \cdot I_{C/Q_7} = 20.0,46 \cdot 10^{-3} = 9,2 \text{ (mW)}$

Do Q_7 hoạt động ở chế độ A

$P_{ttmax/Q_7} = P_{DC/Q_7} = 9,2 \text{ (mW)}$

Chọn BJT thoả:

$$I_C \geq (1,5 \div 2) I_{CQ7} = (0,69 \div 0,92) \text{mA}$$

$$V_{CE} \geq (1,5 \div 2) V_{CC} = (63 \div 84) \text{V}$$

$$P_C \geq (1,5 \div 2) P_{ttmax/Q7} = (4,6 \div 6,1) \text{mW}$$

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|-----------|---------|------|
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | -160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | -160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | -6 | V |
| Collector Current | I_C | -1 | A |
| Base Current | I_B | -0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P_C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T_j | 150 | °C |
| Storage Temperature Range | T_{stg} | -55~150 | °C |

Chọn Q7,Q8 là BJT 2SA1013

9. Tính tụ C5

Tụ C_5 : thoát xoay chiều cho cầu hồi tiếp VR3, R_8

$$\text{Chọn } X_{C_5} = \frac{VR3}{10} = \frac{13k}{10} = 1,3k$$

Chọn tần số cắt nhỏ hơn 50Hz

$$C_5 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_5}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,3k} = 2,5 (\mu F)$$

Chọn $C_5 = 3,3 \mu F/50V$

10. Tính tụ C6

Chọn tần số cắt nhỏ hơn 50Hz

Tụ C6 và R14 tạo mạch lọc thông thấp cho nguồn

$$C_6 = \frac{1}{2\pi f \cdot R_{14}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2,2k} = 1,44 (\mu F)$$

Chọn $C_6 = 3,3 \mu F/50V$

11. Tính tụ C7

Tụ C7 là tụ liên lạc tín hiệu vào, vì tín hiệu vào khá nhỏ nên để tín hiệu không bị giữ trên tụ

Chọn tần số cắt nhỏ hơn 50Hz

$$\text{Chọn } X_{C_7} = \frac{Z_{in}}{50} = \frac{300k}{50} = 6k$$

$$C_7 = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_7}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6k} = 0,53 (\mu F)$$

Chọn $C_7 = 1 \mu F/50V$

VII. Hệ số khuếch đại

Hệ số khuếch đại toàn mạch:

Hệ số khuếch đại toàn mạch khi có hồi tiếp âm áp nối tiếp

$$Av = \frac{V_{ht}}{V_c} = \frac{V_{R8}}{V_{R8+VR3}}$$

Hệ số khuếch đại toàn mạch

$$Av = \frac{A_0}{1+A_0 \cdot A_{ht}} = \frac{1}{A_{ht}} \quad \text{Vì } (A_0 \gg 1, A_0 \cdot A_{ht} \gg 1)$$

$$\text{Mặc khác } A = \frac{V_L}{\sqrt{2}V_{in}} = \frac{16,73}{\sqrt{2} \cdot 0,7} = 16,89$$

$$A = 1 + \frac{R8}{VR3} = 1 + \frac{300}{VR3} = 16,89$$

$$\Rightarrow A_{ht} = 1/A = \frac{1}{16,89} = \frac{VR3}{R8+VR3} = 0,059$$

Tính trở kháng vào của mạch:

Khi chưa có hồi tiếp, trở kháng vào của mạch chính là trở kháng vào của Q7
 $Z_v = R_{12} // R_{13}$ vì $R_{12} // R_{13} \gg r_{be}$

$$\Rightarrow Z_v = r_{be}$$

Khi có hồi tiếp, trở kháng vào tăng ($1+K \cdot K_{ht}$) lần

$$Z_v' = r_{be}(1+K \cdot K_{ht}) \text{ với } K_{ht} = \frac{V_{VR3}}{V_{R3} + R_8} = 0,059$$

Tính méo phi tuyến

- Vì Q_1, Q_2 làm việc ở chế độ AB nên mép phi tuyến toàn mạch sẽ do Q_1, Q_2 quyết định và độ méo lớn nhất khi công suất mạch là lớn nhất. Khi đó, điện áp đặt lên tiếp giáp BE của Q_1 là:

$$V_{BE/Q1(t)} = V_{BEQ/Q1} + V_{BE} \cdot \sin \omega t$$

Với $V_{BEQ/Q1} = 0,6V$

$$\sin \omega t \leq 1$$

$$V_{BE} = V_{BEmax} - V_{BEQ} = 1 - 0,4 = 0,6V$$

- Dòng ra I_C của Q_1 có dạng:

$$i_c = I_{cs} \cdot [\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1] \approx I_{CS} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

với $I_{CS} = A_N \cdot I_{ES}$

$$\Rightarrow i_c = I_{CS} \cdot \exp\left(\frac{V_{BEQ}}{V_T}\right) \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T} \cdot \sin \omega t\right)$$

Khai triển dưới dạng chuỗi Taylo của hàm e^x , ta được:

$$e^x = x + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow i_c &= I_{CS} \cdot \exp\left(\frac{V_{BEQ}}{V_T}\right) \cdot \left[1 + \frac{V_{BE}}{V_T} \cdot \sin \omega t + \frac{(V_{BE} \cdot \sin \omega t)^2}{2V_T^2} + \dots \right] \\ &= I_{CS} \cdot \exp\left(\frac{V_{BEQ}}{V_T}\right) \cdot \left[1 + \frac{V_{BE}}{V_T} \cdot \sin \omega t + \frac{(V_{BE})^2}{4V_T^2} (1 - \cos 2\omega t) + \dots \right] \end{aligned}$$

$$\text{Do } \sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

- Chỉ xét hàm bậc 1 và bậc 2 \Rightarrow hệ số méo phi tuyến khi chưa có hồi tiếp là:

$$K = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{(V_{BE})^2}{4V_T^2}}{\frac{V_{BE}}{V_T} + \frac{3(V_{BE})^3}{24 \cdot V_T^3}} = \frac{\frac{V_{BE}}{4V_T}}{1 + \frac{3(V_{BE})^2}{24 \cdot V_T^2}} = \frac{\frac{0,6}{4 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}}{1 + \frac{3(0,6)^2}{24 \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}} = 8,22\%$$

- Khi có hồi tiếp thì hệ số méo phi tuyến là:

$$K_f = \frac{K}{(1 + g_m \cdot R_L) \cdot g}$$

$$\text{với } g_m = \frac{h_{fe1}}{r_{be1}} = \frac{I_{EQ/Q1}}{V_T} = \frac{50}{25} = 2$$

$$\Rightarrow K_f = \frac{0,0822}{(1 + 2 \cdot 4) \cdot 96,69} = 0,009\%$$

Vậy yêu cầu độ méo phi tuyến $\gamma < 0,3\%$ đã thỏa mãn.

IX. Linh kiện sử dụng

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Q1 | 2SD718 |
| Q2 | 2SB688 |
| Q3 | TIP41C |
| Q4 | TIP42C |
| Q5 | 2SA1013 |
| Q6 | 2SC2383 |
| Q7 | 2SA1013 |
| Q8 | 2SA1013 |
| Q9 | 2SA1013 |
| R1, R2 | 0,22Ω/5W |
| R3,R4 | 220Ω /2W |
| R5 | 4,3kΩ |
| R6 | 43Ω |
| R7 | 56Ω |
| R8 | 300kΩ |
| R9 | 39kΩ |
| R10 | 5kΩ |
| R11 | 3,3kΩ |
| R12 | 510kΩ |
| R13 | 1MΩ |
| R14 | 3kΩ |
| VR1 | 100Ω |
| VR2 | 100Ω |
| VR3 | 20kΩ |
| D1, D2, D3, D4, D5 | 1N4007 |
| C1 | 6,8nF |
| C2 | 4700μF |
| C3 | 3,3μF |
| C4 | 100pF |
| C5 | 3,3μF |
| C6 | 3,3μF |
| C7 | 1 μF |

CHƯƠNG 4: MÔ PHỎNG VÀ THI CÔNG

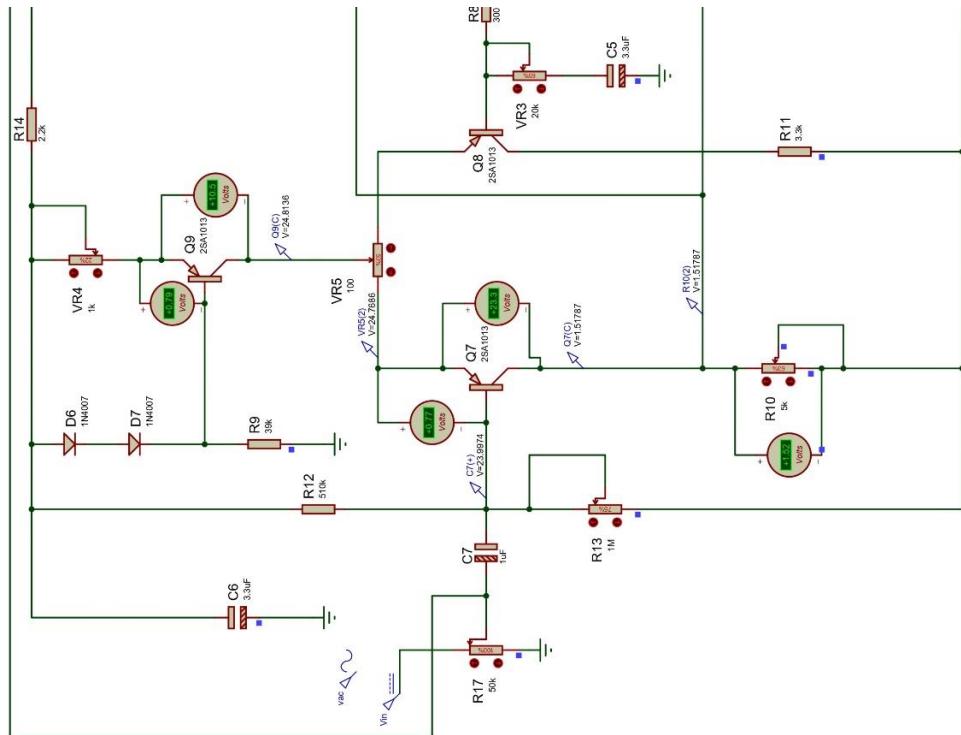
I. Mở đầu chương

Ở chương trước, chúng ta đã tính toán được các giá trị linh kiện trong một mạch khuếch đại công suất. Để kiểm tra độ chính xác của việc tính toán chúng ta cần kiểm tra hoạt động của mạch bằng mô phỏng và đo đặc thực tế trên mạch thi công. Sau đây chúng ta sẽ kiểm tra mạch ở hai chế độ khi không có tín hiệu vào và khi có tín hiệu vào trên phần mềm mô phỏng và trên mạch đã thi công.

II. Mô phỏng

PHÂN CỤC TĨNH

1.Tầng vi sai



Hình 4.1 Mô phỏng proteus tầng vi sai

Nhận xét:

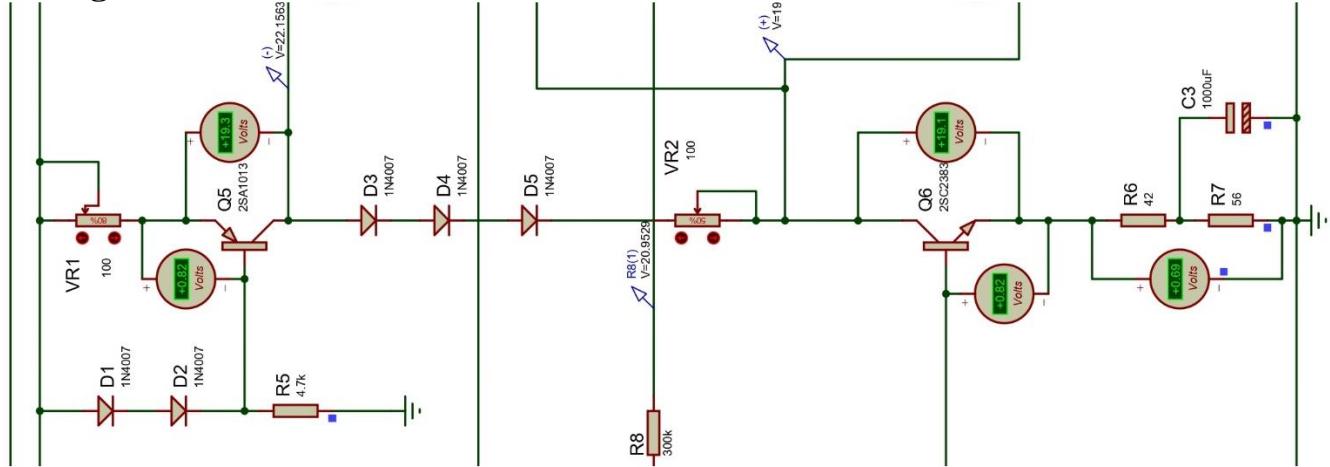
Ta thấy điện áp ngõ ra = 1.5V đủ phân cực tầng thúc

$$V_{CE/Q7} = 23,3V \text{ gần bằng } V_{CE/Q} \text{ đã tính toán} = 20V$$

$$V_{BE/Q7} = 0,77V \text{ nằm gần khoảng } (0,65V - 0,75V)$$

=>BJT Q7 làm việc ở chế độ A

2. Tầng thúc



Hình 4.2 Mô phỏng proteus tầng thúc

Nhận xét:

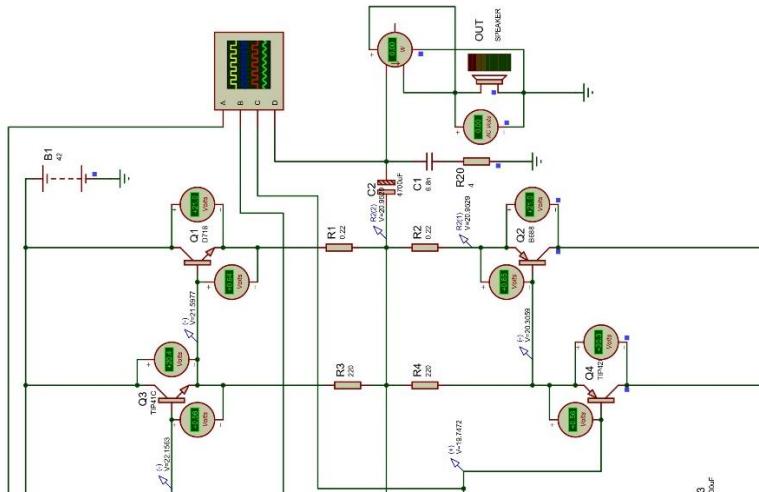
Ta thấy điện áp ngõ ra là 22V đủ phân cực cho tầng công suất

$$V_{CE/Q6} = 19,1V \text{ xấp xỉ giá trị } V_{CE/Q} \text{ đã tính toán} = 19V$$

$$V_{BE/Q6} = 0,82V \text{ nằm gần khoảng } (0,65V - 0,75V)$$

=> Q6 làm việc ở chế độ A

3.Tầng công suất



Hình 4.3 Mô phỏng proteus tầng công suất

$$V_A = \frac{V_{CC}}{2} = \frac{42}{2} = 21 V$$

$$\begin{aligned} V_{BQ3} &= V_A + V_{BEQ1} + V_{BEQ3} + V_{R1} \\ &= 21 + 0,6 + 0,6 + 0,83 = 23,03 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{BQ4} &= V_A - V_{BEQ2} - V_{BEQ4} - V_{R2} \\ &= 21 - 0,6 - 0,6 - 0,83 = 18,97 \text{ (V)} \end{aligned}$$

| | V_{B/Q3} | V_{B/Q4} | V_A |
|------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Tính toán | 23,03 V | 18,97 V | 21 V |
| Mô phỏng | 22,1 V | 19,7 V | 20,95 V |

Bảng so sánh tầng công suất

Nhận xét:

Ta điều chỉnh R10 để V_{BE} tăng lên giá trị 0,56 V để V_{CE} bắt đầu giảm xuống 20,4 V và xuất hiện dòng ic đủ phân cực cho BJT công suất

$$V_{BE/Q1} = 0,64V \text{ nằm gần ngưỡng dẫn (} 0,6V - 0,7V \text{)}$$

=> BJT Q1 làm việc chế độ AB

$$V_{BE/Q2} = 0,65V \text{ nằm gần ngưỡng dẫn (} 0,6V - 0,7V \text{)}$$

=>BJT Q2 làm việc ở chế độ AB

$$V_{BE/Q3} = 0,56V \text{ nằm gần ngưỡng dẫn (} 0,6V - 0,7V \text{)}$$

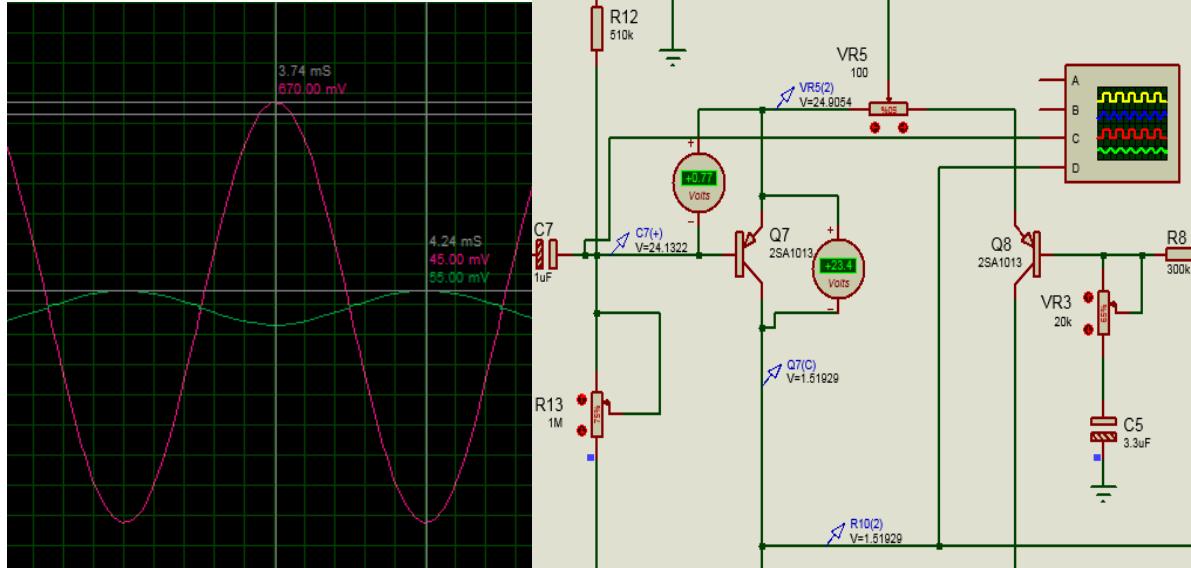
=> BJT Q3 làm việc chế độ AB

$$V_{BE/Q4} = 0,56V \text{ nằm gần ngưỡng dẫn (} 0,5V - 0,6V \text{)}$$

=>BJT Q4 làm việc ở chế độ AB

TÍN HIỆU VÀO (XOAY CHIỀU)

1. Tầng vi sai



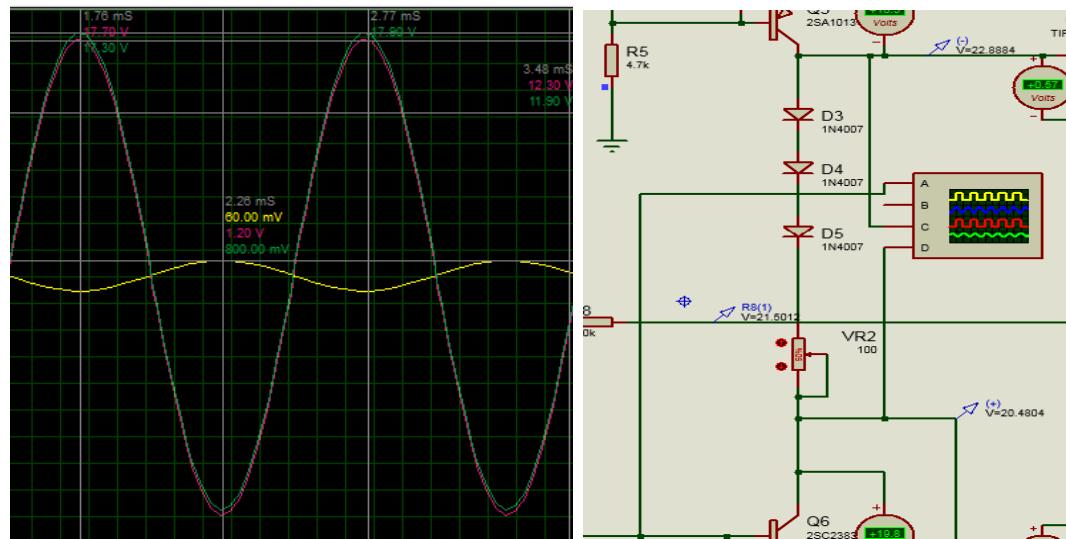
Hình 4.4 Dạng sóng tầng vi sai

Hình 4.5 Cách mắc đo sóng

Nhận xét:

Tín hiệu có biên độ 0.67 (V) qua tầng ngõ vào tín hiệu ngõ ra có biên độ 0.05 (V) bị giảm đi 13,4 lần, sóng sine không bị xén trên dưới và bị ngược pha so với tín hiệu ngõ vào.

2. Tầng thúc



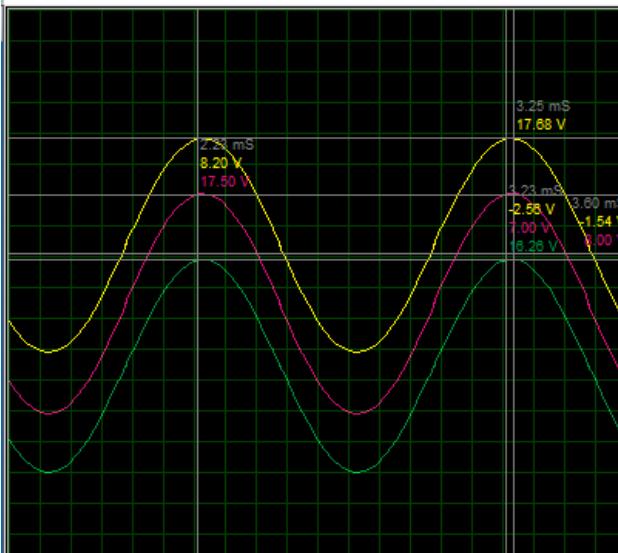
Hình 4.6 Dạng sóng tầng thúc

Hình 4.7 Cách mắc đo sóng

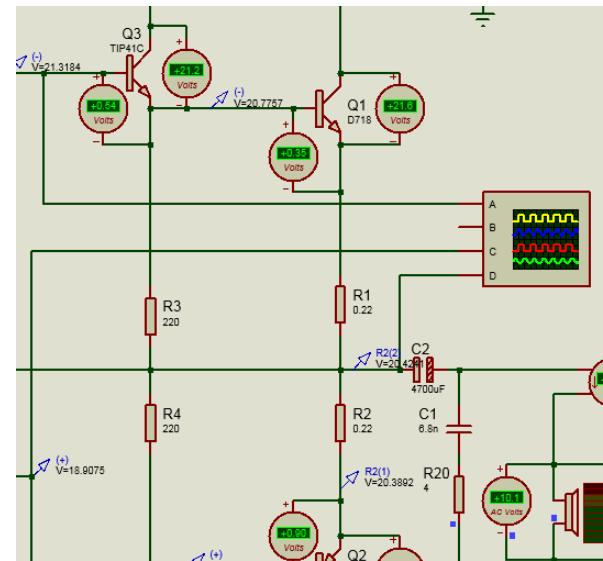
Nhận xét:

Tín hiệu có biên độ 0.06 (V) qua tầng thúc tín hiệu ngõ ra có biên độ 17,89 (V) tăng 298 lần, sóng sine không bị xén trên dưới và bị ngược pha so với tín hiệu ngõ vào.

3.Tầng công suất



Hình 4.8 Dạng sóng tầng công suất



Hình 4.9 Cách mắc đo sóng

Nhận xét:

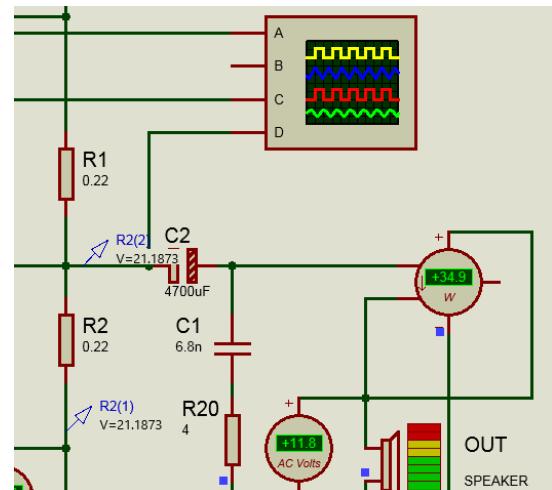
-Tín hiệu có biên độ 17,68 (V) trên và 17,5 (V) dưới, qua tầng công suất tín hiệu ngõ ra có biên độ 16,26 (V), sóng không bị xén trên dưới, không ngược pha so với tín hiệu ngõ vào.

Hệ số khuếch đại dòng thu được:

$$\Rightarrow A_i = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{2,9}{0,61 \cdot 10^{-3}} = 4754 (\text{lần})$$

Tín hiệu ra loa lấy được 11,8 V so với tính toán là 16,73 V

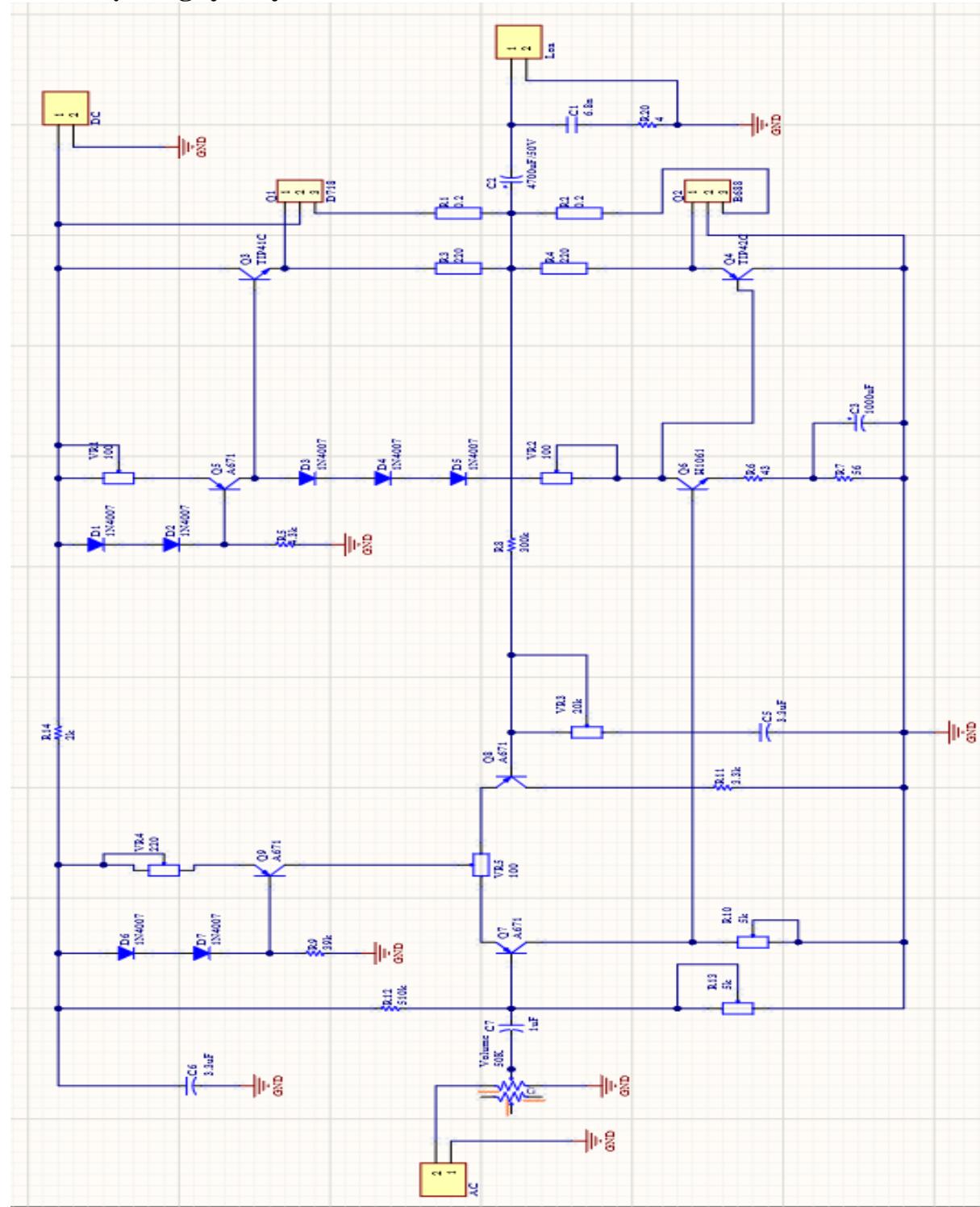
Công suất ra loa 34,9 W đáp ứng chỉ tiêu đầu bài 35W



Hình 4.10 Hiển thị công suất và điện áp ra loa

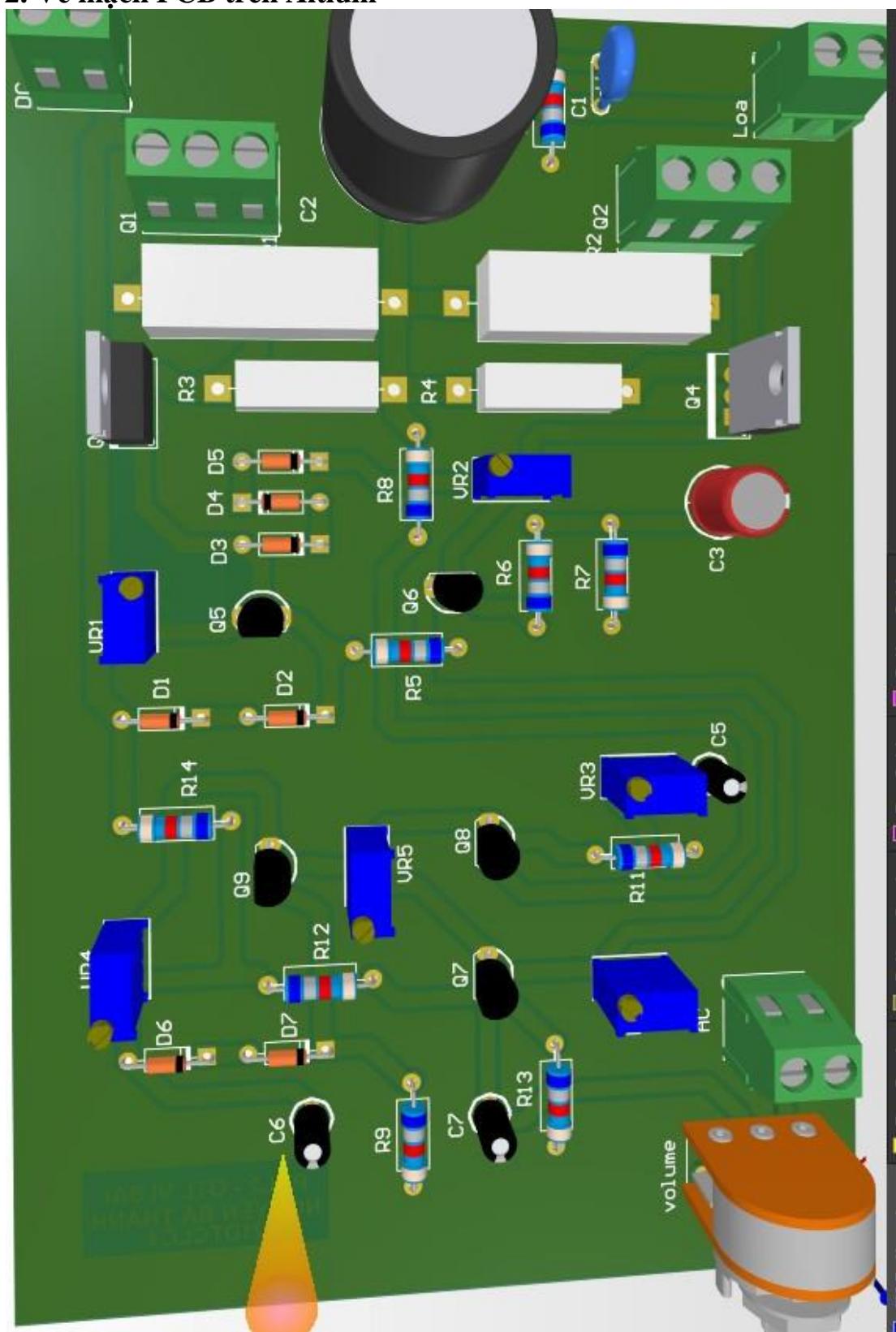
III. THI CÔNG

1. Vẽ mạch nguyên lý trên Altium

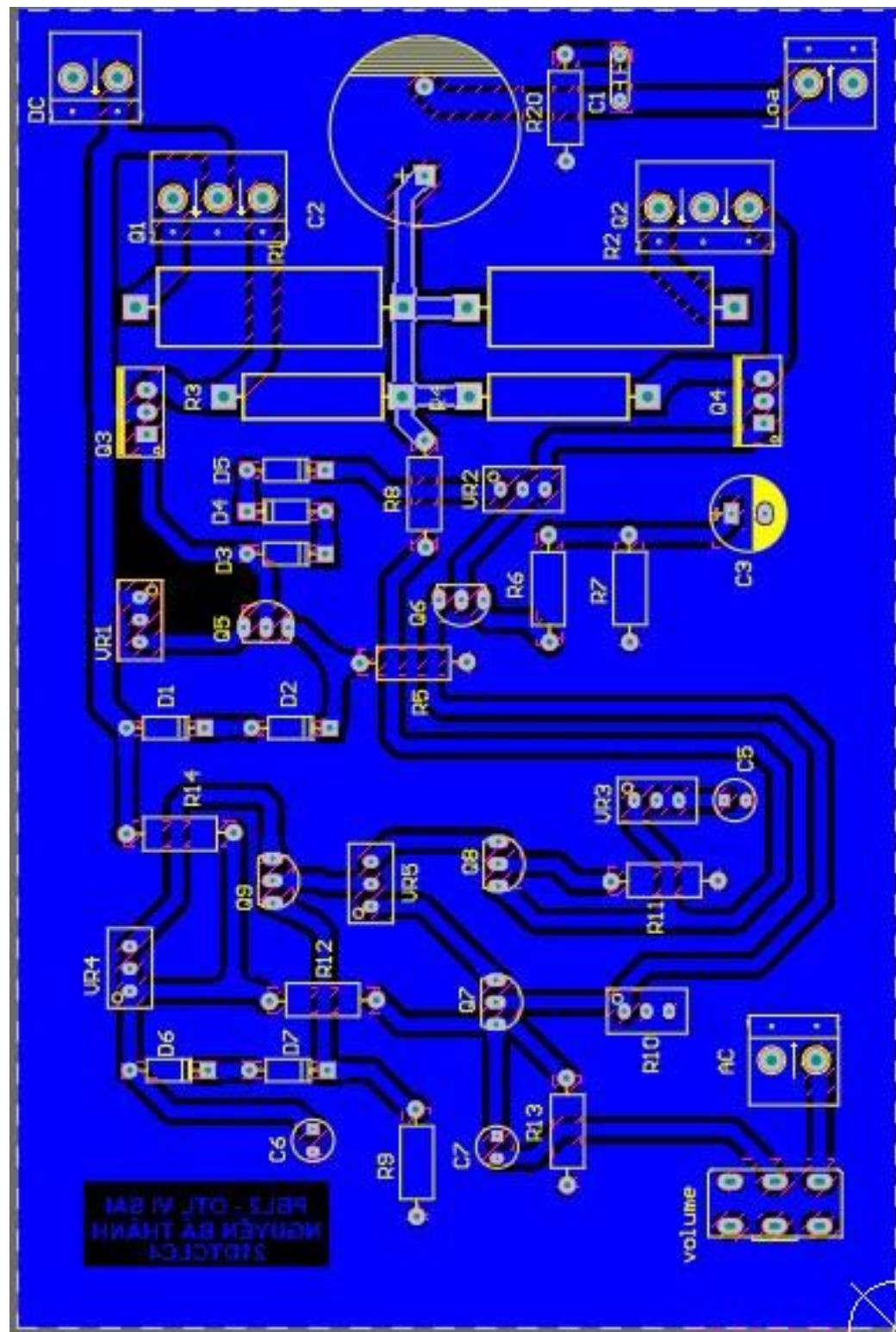


Hình 4.11 mạch nguyên lý Altium

2. Vẽ mạch PCB trên Altium



Hình 4.12 Mạch 3D altium



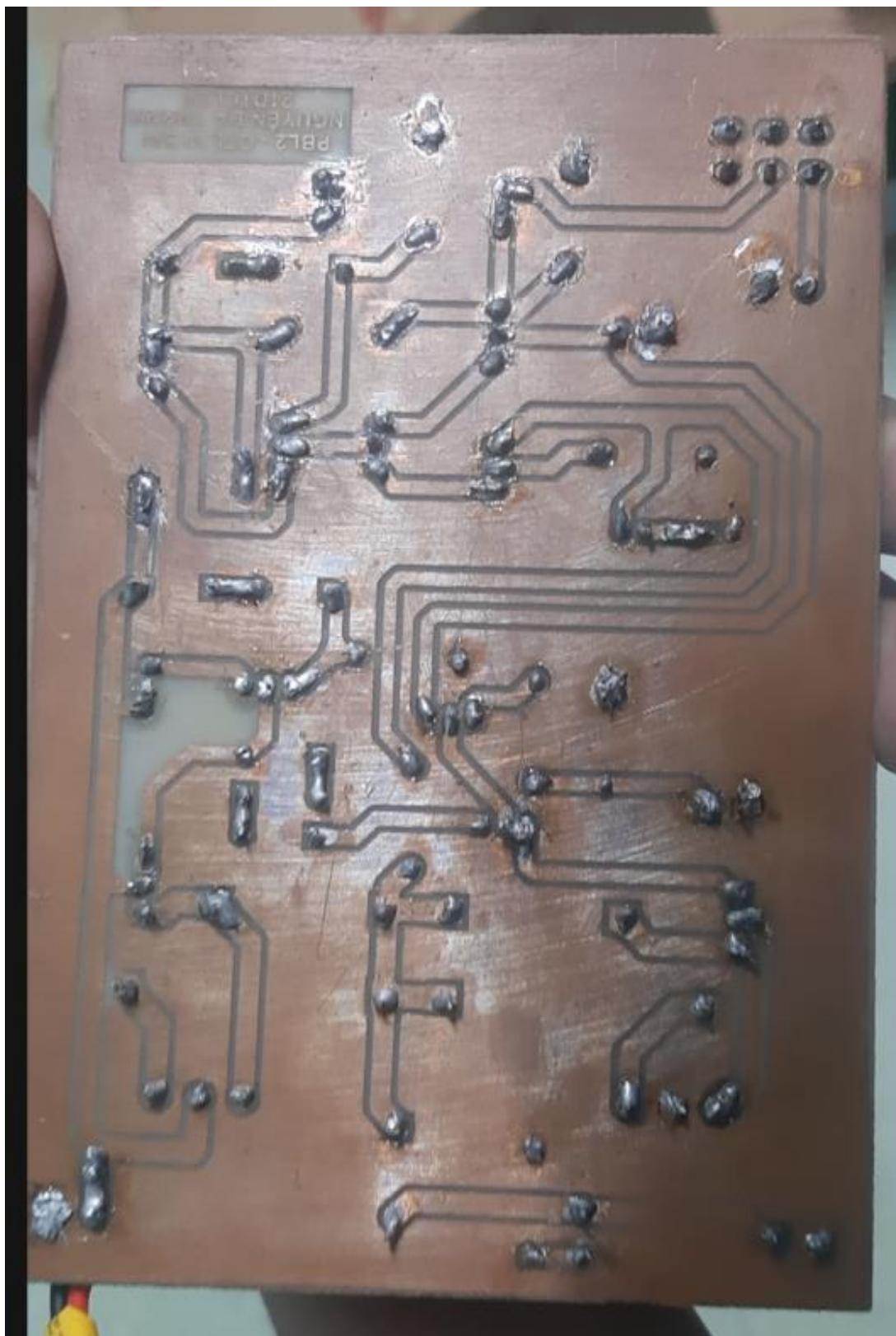
Hình 4.13 Mạch 2D altium

Nhận xét: Các vị trí sắp xếp linh kiện đã điều chỉnh theo các tầng để dễ quan sát và dễ phân biệt trên mạch chính.

3. Tiến hành thi công mạch thực tế



Hình 4.14 Mạch thực tế TOP



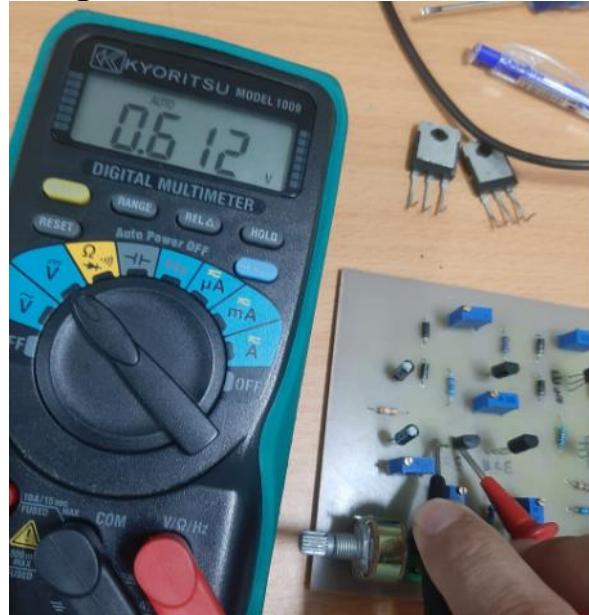
Hình 4.15 Mạch thực tế Bottom

Nhận xét:

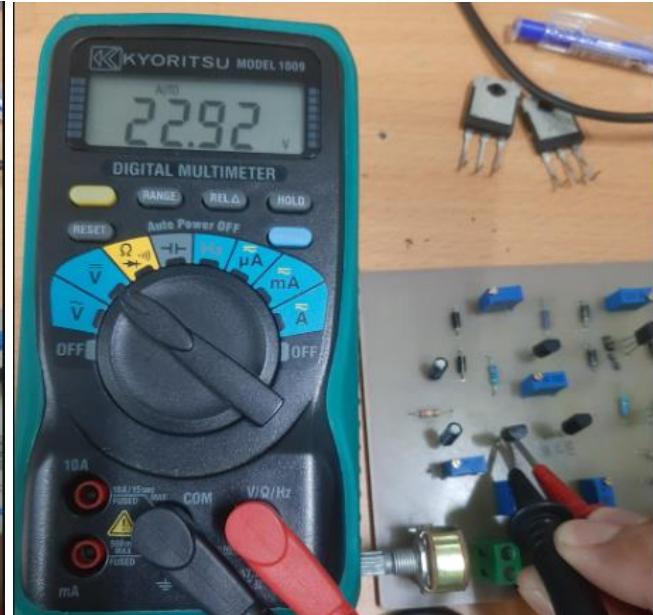
Mạch thực tế sau khi tiến hành thi công giống hoàn toàn so với mạch mô phỏng PCB trên Altium. Nhưng do điều kiện thực tế nên tín hiệu ở 1 số BJT chưa ổn định, lắp thêm tụ gồm 102 để ổn định tín hiệu ra của mạch.

4. Đo mạch thực tế

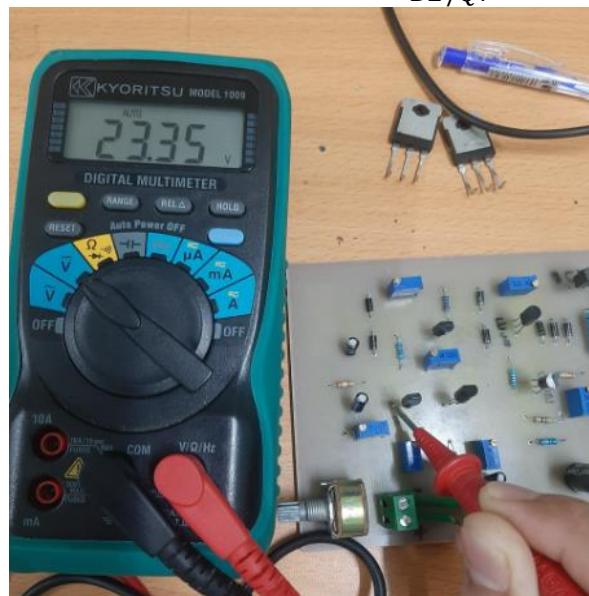
Tầng vi sai



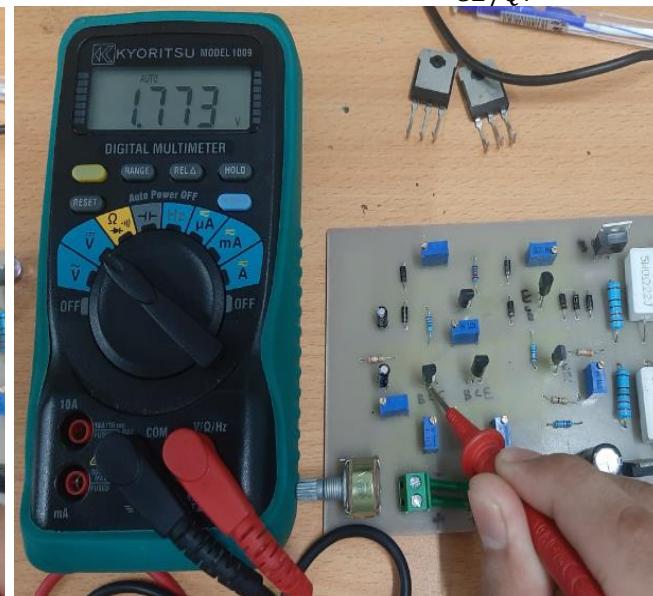
Hình 4.17 Đo $V_{BE}/Q7$



Hình 4.18 Đo $V_{CE}/Q7$

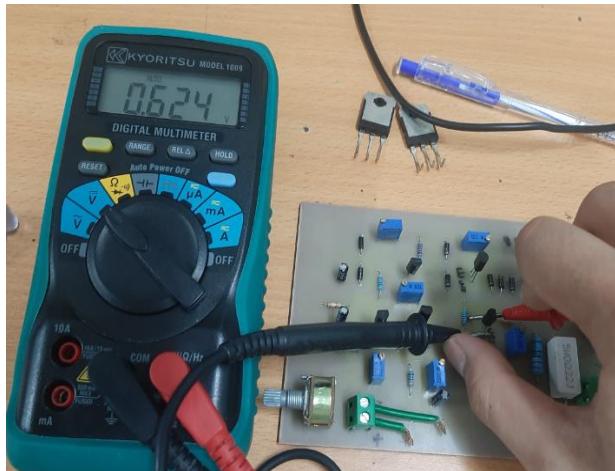


Hình 4.19 Đo ngõ vào chân B/Q7

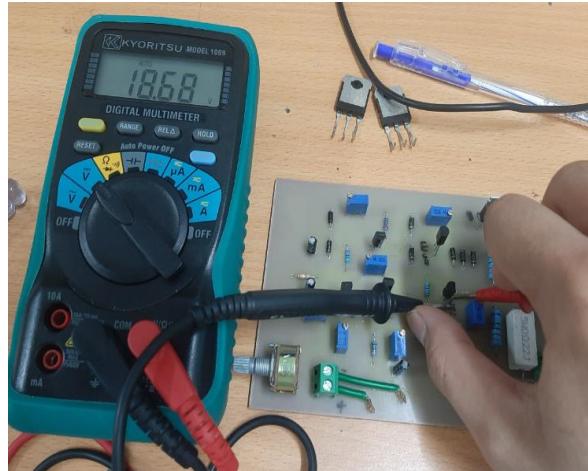


Hình 4.20 Đo ngõ ra chân C/Q7

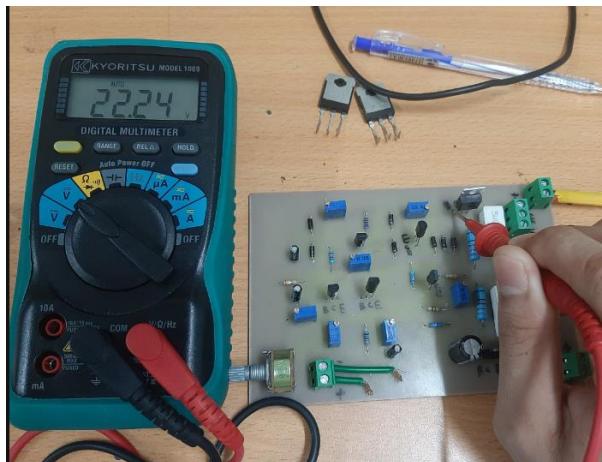
Tầng thúc



Hình 4.21 Đo V_{BE}/Q_6



Hình 4.22 Đo V_{CE}/Q_6

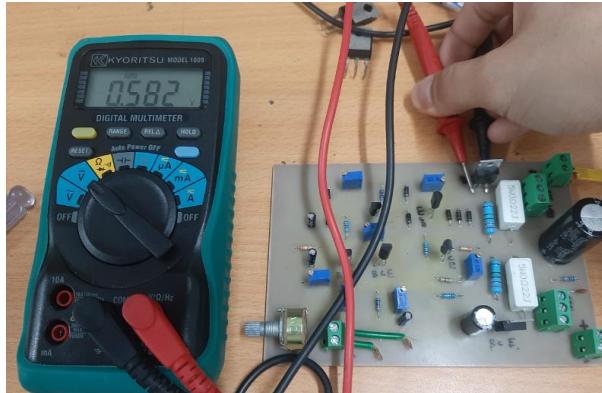


Hình 4.23 Đo ngõ ra thúc chân BQ3



Hình 4.24 Đo ngõ ra thúc chân BQ4

Tầng công suất

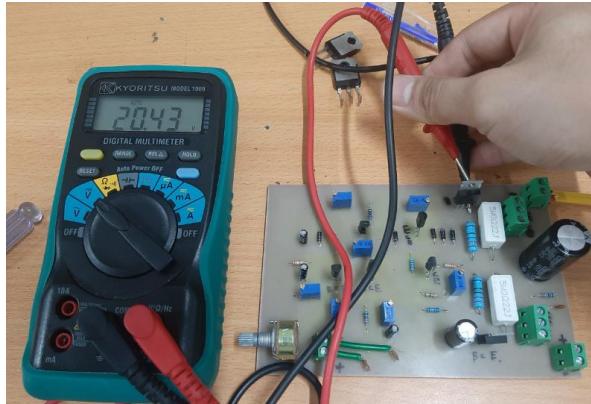


Hình 4.25 Đo V_{BE}/Q_3

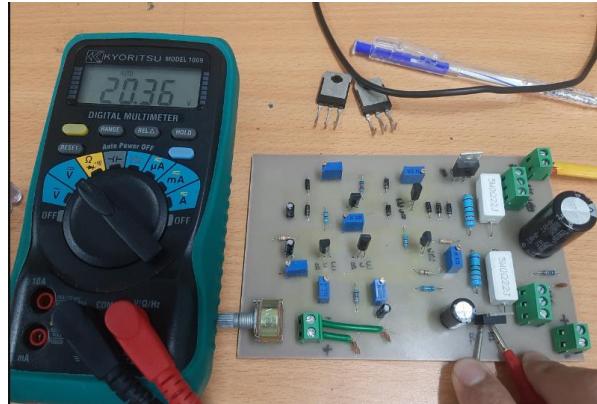


Hình 4.26 Đo V_{BE}/Q_4

PBL2: Thiết kế mạch khuếch đại công suất OTL vi sai - Nguyễn Bá Thành – 21DTCLC4



Hình 4.27 Đo V_{CE}/Q_3



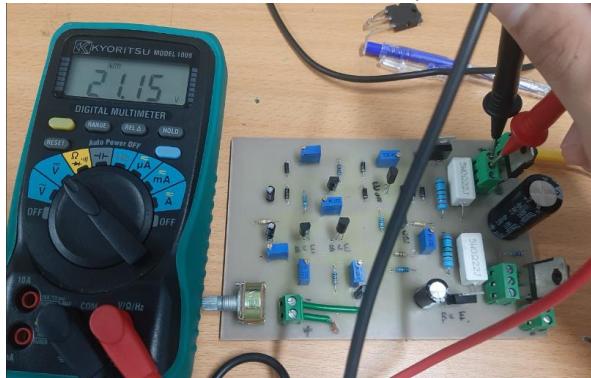
Hình 4.28 Đo V_{CE}/Q_4



Hình 4.29 Đo V_{BE}/Q_1



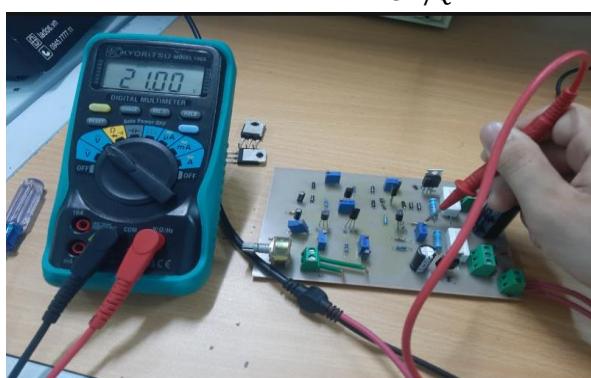
Hình 4.30 Đo V_{BE}/Q_2



Hình 4.31 Đo V_{CE}/Q_1



Hình 4.32 Đo V_{CE}/Q_2



Hình 4.33 Đo điểm giữa



Hình 4.34 Đo điện áp ra loa

Đo được sóng sine của mạch từ tầng ngõ vào ra loa, đáp ứng đủ yêu cầu khuếch đại



Hình 4.35 Sóng sine ngõ vào nhỏ vào ngõ ra lớn

Nhận xét:

-Tín hiệu có biên độ 0.7 (V) đỉnh-đỉnh tần số 1 (kHz) qua mạch ngõ ra có biên độ 16,6 (V) đỉnh-đỉnh tăng nhiều lần và cùng pha so với tín hiệu ngõ vào.

Quá trình đo còn nhiều sai số, tín hiệu tầng ngõ vào sang tầng thúc bị nhiễu.

Ra được nhạc, nhưng hơi rè

IV. PHẦN KẾT LUẬN

Những kết quả đạt được:

Thiết kế và chế tạo được mạch khuếch đại công suất âm tần OTL vi sai

Vận dụng được nhiều kiến thức về khuếch đại công suất trong quá trình thi công

Mạch ra nhạc

Khó khăn:

Nhóm gặp nhiều khó khăn trong việc tìm tài liệu đặc biệt là tài liệu tiếng Anh.

Mất nhiều thời gian trong quá trình thiết kế do phải lựa chọn nhiều phương án nhằm đáp ứng yêu cầu đề ra ban đầu.

Tốn kinh phí nhiều

Chúng em sẽ nỗ lực sửa chữa những khuyết điểm còn tồn đọng để trong tương lai có thể thực hiện các đề tài khác một cách xuất sắc hơn.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

Phản cực cố định : SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 7

Phản cực hồi tiếp Emitter : SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 7

Phản cực cầu phản áp: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 7

Phản cực hồi tiếp Collector : SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 7

Mạch khéch đại E chung: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 67

Mạch khéch đại C chung: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 81

Mạch khéch đại B chung: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 81

Hồi tiếp điện áp- nối tiếp: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 26-27

Hồi tiếp dòng điện- nối tiếp SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 27

Hồi tiếp điện áp- song song:SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 27

Hồi tiếp dòng điện- song song: SÁCH KĨ THUẬT MẠCH Phạm Minh Hà trang 27

Mạch vi sai: SÁCH MẠCH ĐIỆN TỬ Phạm Minh Hà TẬP 1 tr 116-> 129

Khái niệm: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 23

Ghép RC: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 23 24 25 26

Ghép biến áp: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 26 27

Ghép casscode MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 133->135

Ghép darlington MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 130->133

Ché độ A: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 9-10

Ché độ B: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 10-11-12

Ché độ AB: MẠCH ĐIỆN TỬ TẬP 1 tr 14-15-16

VI. PHỤ LỤC

1N4001-1N4007

PLASTIC SILICON RECTIFIERS

| | | | |
|---------|------------------|---------|------------|
| VOLTAGE | 50 to 1000 Volts | CURRENT | 1.0 Ampere |
|---------|------------------|---------|------------|

FEATURES

- Low forward voltage drop
- High current capability
- High reliability
- High surge current capability
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228
- In compliance with EU RoHS 2002/95/EC directives

MECHANICAL DATA

- Case: DO-41 Molded plastic
- Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant.
- Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-750, Method 2026
- Polarity: Color band denotes cathode end
- Mounting Position: Any
- Weight: 0.012 ounces, 0.30 gram

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

| PARAMETER | SYMBOL | 1N4001 | 1N4002 | 1N4003 | 1N4004 | 1N4005 | 1N4006 | 1N4007 | UNITS |
|--|------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage | V_{RRM} | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| Maximum RMS Voltage | V_{RMS} | 35 | 70 | 140 | 280 | 420 | 560 | 700 | V |
| Maximum DC Blocking Voltage | V_{DC} | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| Maximum Average Forward Current .375*(9.5mm) lead length at $T_A=75^\circ C$ | $I_{F(AV)}$ | 1.0 | | | | | | A | |
| Peak Forward Surge Current : 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load(JEDEC method) | I_{FSU} | 30 | | | | | | A | |
| Maximum Forward Voltage at 1.0A | V_F | 1.1 | | | | | | V | |
| Maximum DC Reverse Current at $T_j=25^\circ C$ Rated DC Blocking Voltage $T_j=100^\circ C$ | I_R | 5 50 | | | | | | uA | |
| Typical Junction capacitance (Note 1) | C_J | 15 | | | | | | pF | |
| Typical Thermal Resistance(Note 2) | R_{JJA} R_{JAL} | 50 25 | | | | | | °C / W | |
| Operating Junction and Storage Temperature Range | T_j, T_{STG} | -55 TO +150 | | | | | | °C | |

MOSPEC

HIGH-POWER NPN SILICON POWER TRANSISTORS

...designed for use in general-purpose amplifier and switching application.

FEATURES:

- * Recommend for 45 - 50W Audio Frequency Amplifier Output stage.
- * Complementary to 2SB688

NPN
2SD718

8 AMPERE
POWER
TRANASISTOR

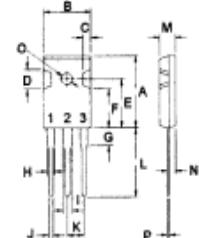
120 VOLTS
80 WATTS

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | 2SD718 | Unit |
|---|-------------------|-------------|--------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 120 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 120 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 5.0 | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C I_{CM} | 8.0 16 | A |
| Base current | I_B | 0.8 | A |
| Total Power Dissipation @ $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 80 0.64 | W W/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |



TO-247(3P)



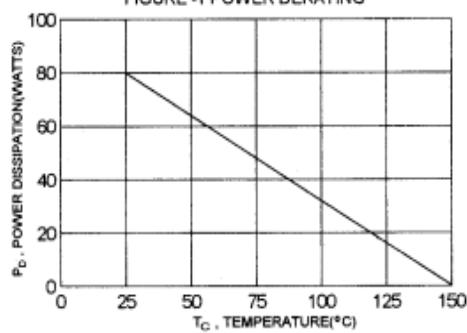
PIN 1.BASE
2.COLLECTOR
3.EMITTER

| DIM | MILLIMETERS | |
|-----|-------------|-------|
| | MIN | MAX |
| A | 20.63 | 22.38 |
| B | 15.38 | 16.20 |
| C | 1.90 | 2.70 |
| D | 5.10 | 6.10 |
| E | 14.81 | 15.22 |
| F | 11.72 | 12.84 |
| G | 4.20 | 4.50 |
| H | 1.82 | 2.46 |
| I | 2.92 | 3.23 |
| J | 0.89 | 1.53 |
| K | 5.26 | 5.66 |
| L | 18.50 | 21.50 |
| M | 4.68 | 5.36 |
| N | 2.40 | 2.80 |
| O | 3.25 | 3.65 |
| P | 0.55 | 0.70 |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|-------------------------------------|-----------------|------|--------------------|
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta jc}$ | 1.56 | $^\circ\text{C/W}$ |

FIGURE -1 POWER DERATING



2SD718 NPN

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Characteristic | Symbol | Min | Max | Unit |
|----------------|--------|-----|-----|------|
|----------------|--------|-----|-----|------|

OFF CHARACTERISTICS

| | | | | |
|---|-----------------------------|-----|----|----|
| Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_c = 50 \text{ mA}, I_b = 0$) | $V_{(\text{BR})\text{CEO}}$ | 120 | | V |
| Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 120 \text{ V}, I_E = 0$) | I_{CBO} | | 10 | uA |
| Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0 \text{ V}, I_c = 0$) | I_{EBO} | | 10 | uA |

ON CHARACTERISTICS (1)

| | | | | |
|--|----------------------|----|-----|---|
| DC Current Gain ($I_c = 1.0 \text{ A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$) * | $\text{hFE}(2)$ | 55 | 160 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_c = 5.0 \text{ A}, I_b = 0.5 \text{ A}$) | $V_{CE(\text{sat})}$ | | 2.5 | V |
| Base-Emitter On Voltage ($I_c = 5.0 \text{ A}, V_{CE}=5.0 \text{ V}$) | $V_{BE(\text{on})}$ | | 1.5 | V |

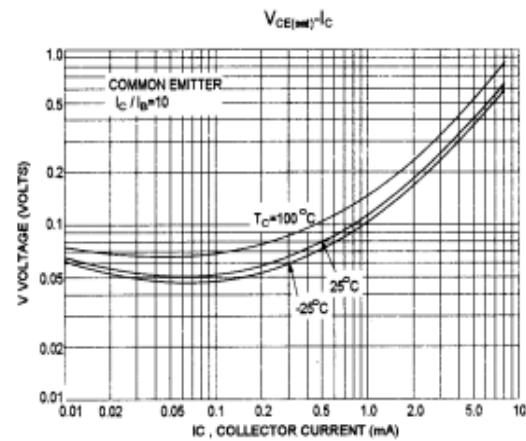
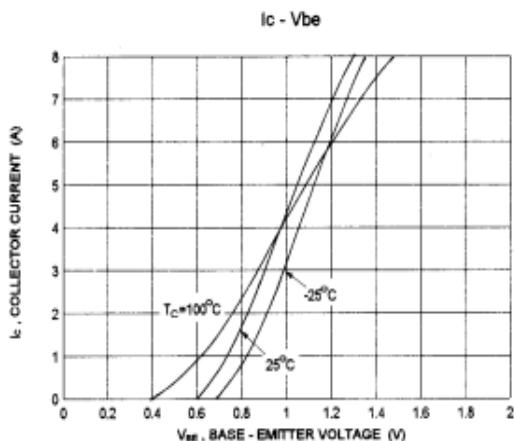
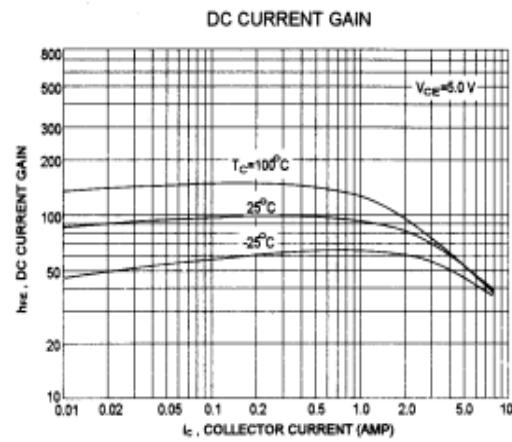
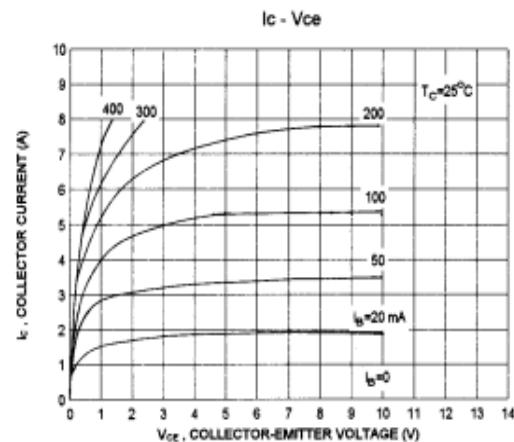
DYNAMIC CHARACTERISTICS

| | | | | |
|--|----------|----------|--|-----|
| Current-Gain-Bandwidth Product ($I_c = 1.0 \text{ A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}, f = 1.0 \text{ MHz}$) | f_T | 12(typ) | | MHz |
| Output capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ V}, I_E = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$) | C_{ob} | 170(typ) | | pF |

(1) Pulse Test: Pulse Width =300 us,Duty Cycle $\leq 2.0\%$

* hFE(2) Classification :

| | | | | | |
|----|---|-----|----|---|-----|
| 55 | R | 110 | 80 | O | 160 |
|----|---|-----|----|---|-----|



There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate I_c-V_{ce} limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of SOA curve is base on $T_{J(PK)}=150^{\circ}\text{C}$; T_c is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(PK)} \leq 150^{\circ}\text{C}$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

MOSPEC

HIGH-POWER PNP SILICON POWER TRANSISTORS

...designed for use in general-purpose amplifier and switching application .

FEATURES:

- * Recommend for 45 - 50W Audio Frequency Amplifier
- Output stage.
- * Complementary to 2SD718

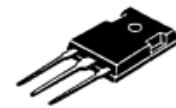
**PNP
2SB688**

**8 AMPERE
POWER
TRANASISTOR**

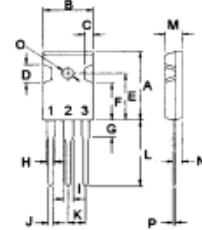
**120 VOLTS
80 WATTS**

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | 2SB688 | Unit |
|---|-------------------|-------------|--------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 120 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 120 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 5.0 | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C I_{CM} | 8.0 16 | A |
| Base current | I_B | 0.8 | A |
| Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 80 0.64 | W W/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |



TO-247(3P)



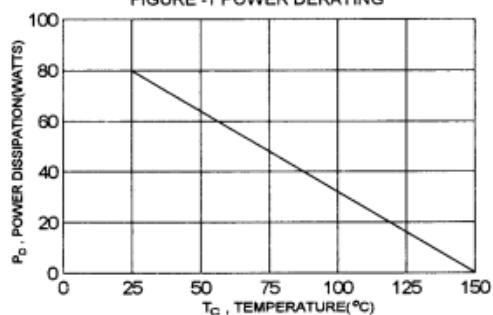
PIN 1.BASE
2.COLLECTOR
3.EMITTER

| DIM | MILLIMETERS | |
|-----|-------------|-------|
| | MIN | MAX |
| A | 20.63 | 22.38 |
| B | 15.38 | 16.20 |
| C | 1.90 | 2.70 |
| D | 5.10 | 6.10 |
| E | 14.81 | 15.22 |
| F | 11.72 | 12.84 |
| G | 4.20 | 4.50 |
| H | 1.82 | 2.46 |
| I | 2.92 | 3.23 |
| J | 0.89 | 1.53 |
| K | 5.26 | 5.66 |
| L | 18.50 | 21.50 |
| M | 4.68 | 5.36 |
| N | 2.40 | 2.80 |
| O | 3.25 | 3.65 |
| P | 0.55 | 0.70 |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|-------------------------------------|-------------------|------|--------------------|
| Thermal Resistance Junction to Case | R^{θ}_{JC} | 1.56 | $^\circ\text{C/W}$ |

FIGURE -1 POWER DERATING



2SB688 PNP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Characteristic | Symbol | Min | Max | Unit |
|----------------|--------|-----|-----|------|
|----------------|--------|-----|-----|------|

OFF CHARACTERISTICS

| | | | | |
|---|-----------------------------|-----|----|---------------|
| Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 0$) | $V_{(\text{BR})\text{CEO}}$ | 120 | | V |
| Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 120 \text{ V}, I_E = 0$) | I_{CBO} | | 10 | μA |
| Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0 \text{ V}, I_C = 0$) | I_{EBO} | | 10 | μA |

ON CHARACTERISTICS (1)

| | | | | |
|--|----------------------|----|-----|---|
| DC Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$) * | $hFE(2)$ | 55 | 160 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 5.0 \text{ A}, I_B = 0.5 \text{ A}$) | $V_{CE(\text{sat})}$ | | 2.5 | V |
| Base-Emitter On Voltage ($I_C = 5.0 \text{ A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$) | $V_{BE(\text{on})}$ | | 1.5 | V |

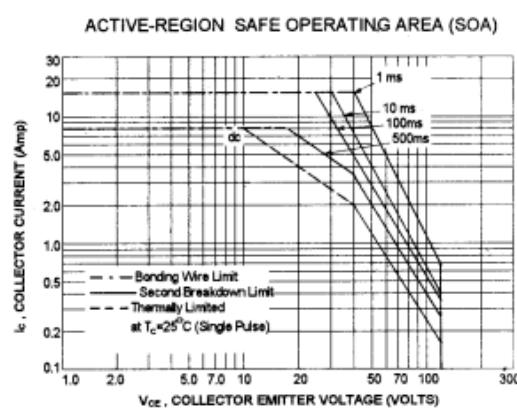
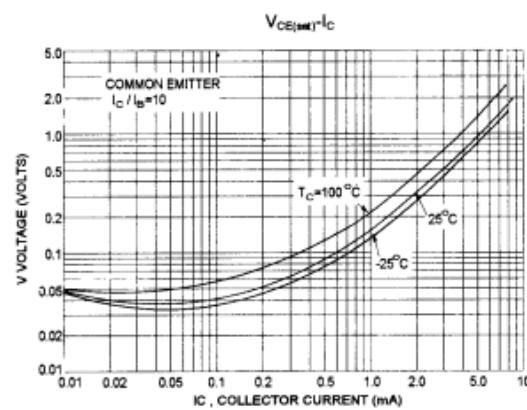
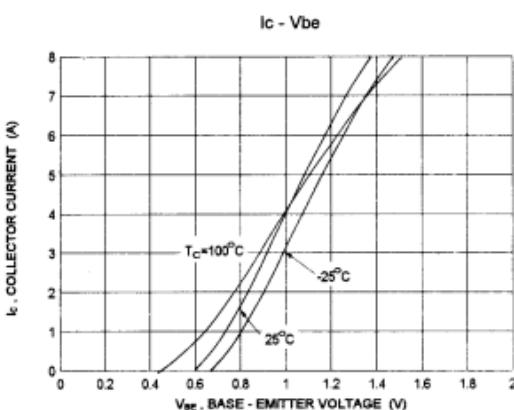
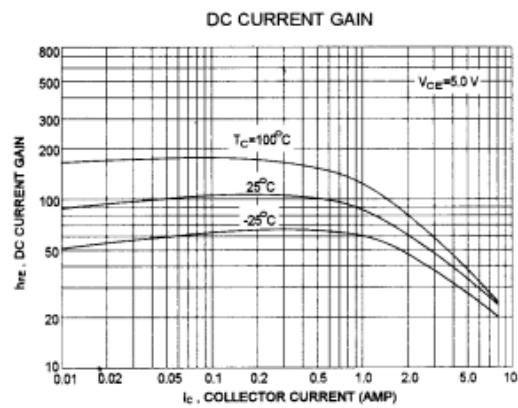
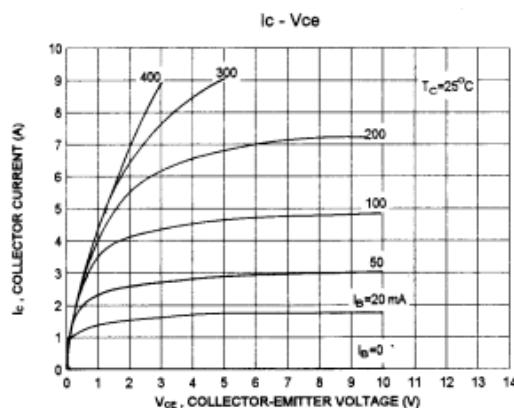
DYNAMIC CHARACTERISTICS

| | | | | |
|--|----------|----------|--|-----|
| Current-Gain-Bandwidth Product ($I_C = 1.0 \text{ A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}, f = 1.0 \text{ MHz}$) | f_T | 10(typ) | | MHz |
| Output capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ V}, I_E = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$) | C_{OB} | 280(typ) | | pF |

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 us, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

* hFE(2) Classification :

| | | | | | |
|----|---|-----|----|---|-----|
| 55 | R | 110 | 80 | O | 160 |
|----|---|-----|----|---|-----|



There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate I_c - V_{ce} limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of SOA curve is base on $T_{J(PK)}=150^\circ\text{C}$; T_c is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(PK)}<150^\circ\text{C}$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

TOSHIBA

2SA1013

TOSHIBA TRANSISTOR SILICON PNP EPITAXIAL TYPE (PCT PROCESS)

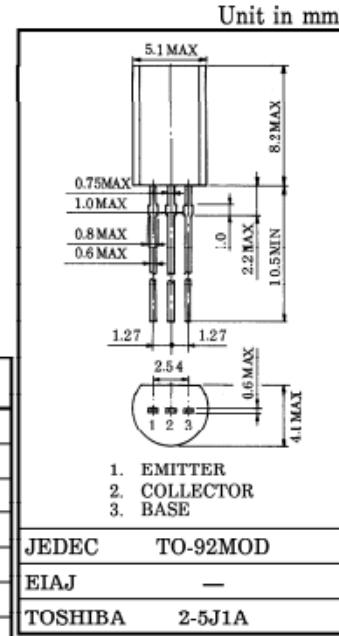
2 S A 1 0 1 3

COLOR TV VERT. DEFLECTION OUTPUT APPLICATIONS.
COLOR TV CLASS B SOUND OUTPUT APPLICATIONS.

- High Voltage : $V_{CEO} = -160V$
- Large Continuous Collector Current Capability.
- Recommended for Vert. Deflection Output & Sound Output Applications for Line Operated TV.
- Complementary to 2SC2383.

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ C$)

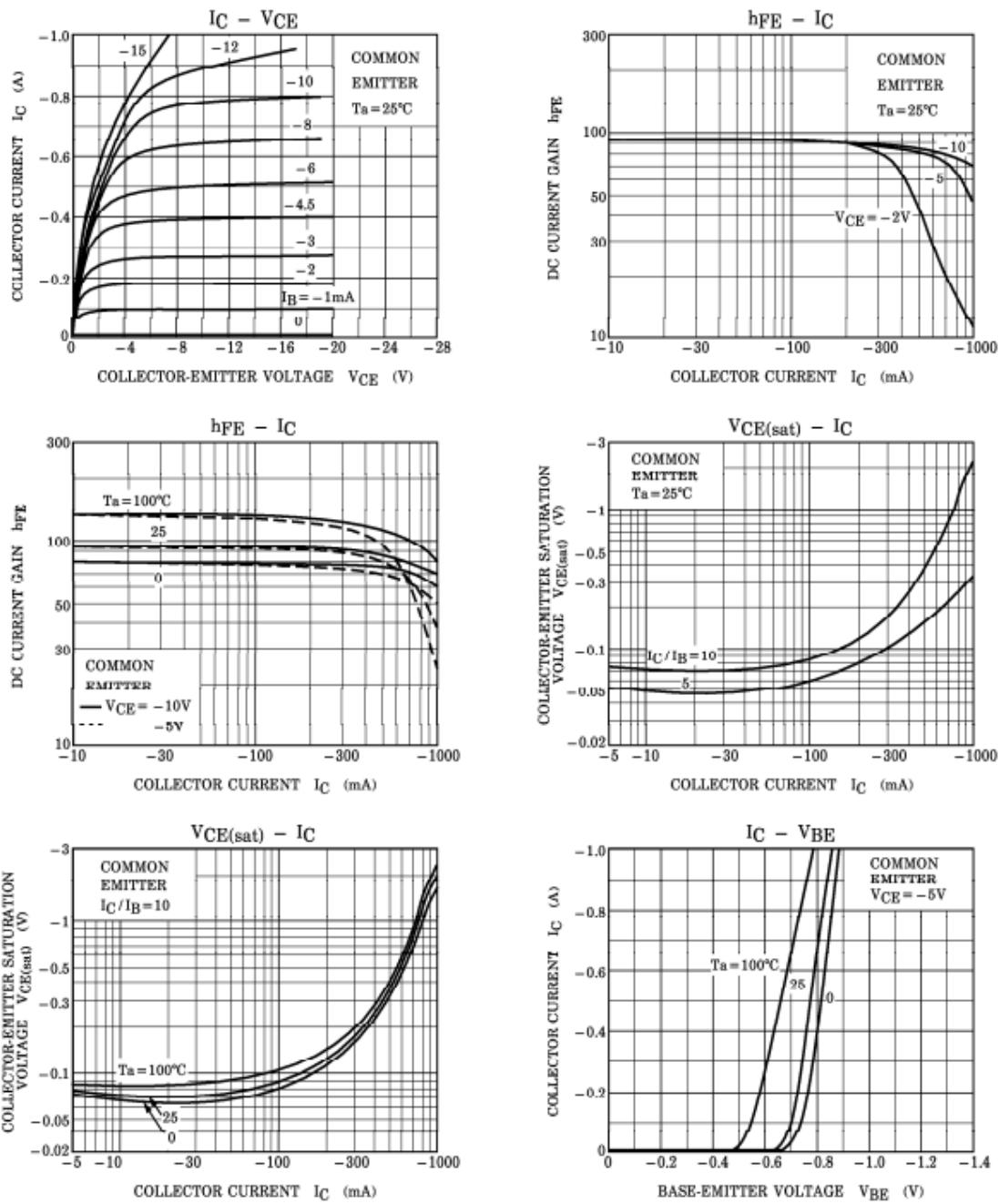
| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|-----------|---------|------------|
| Collector Base Voltage | V_{CBO} | -160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | -160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | -6 | V |
| Collector Current | I_C | -1 | A |
| Base Current | I_B | -0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P_C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T_j | 150 | $^\circ C$ |
| Storage Temperature Range | T_{stg} | -55~150 | $^\circ C$ |

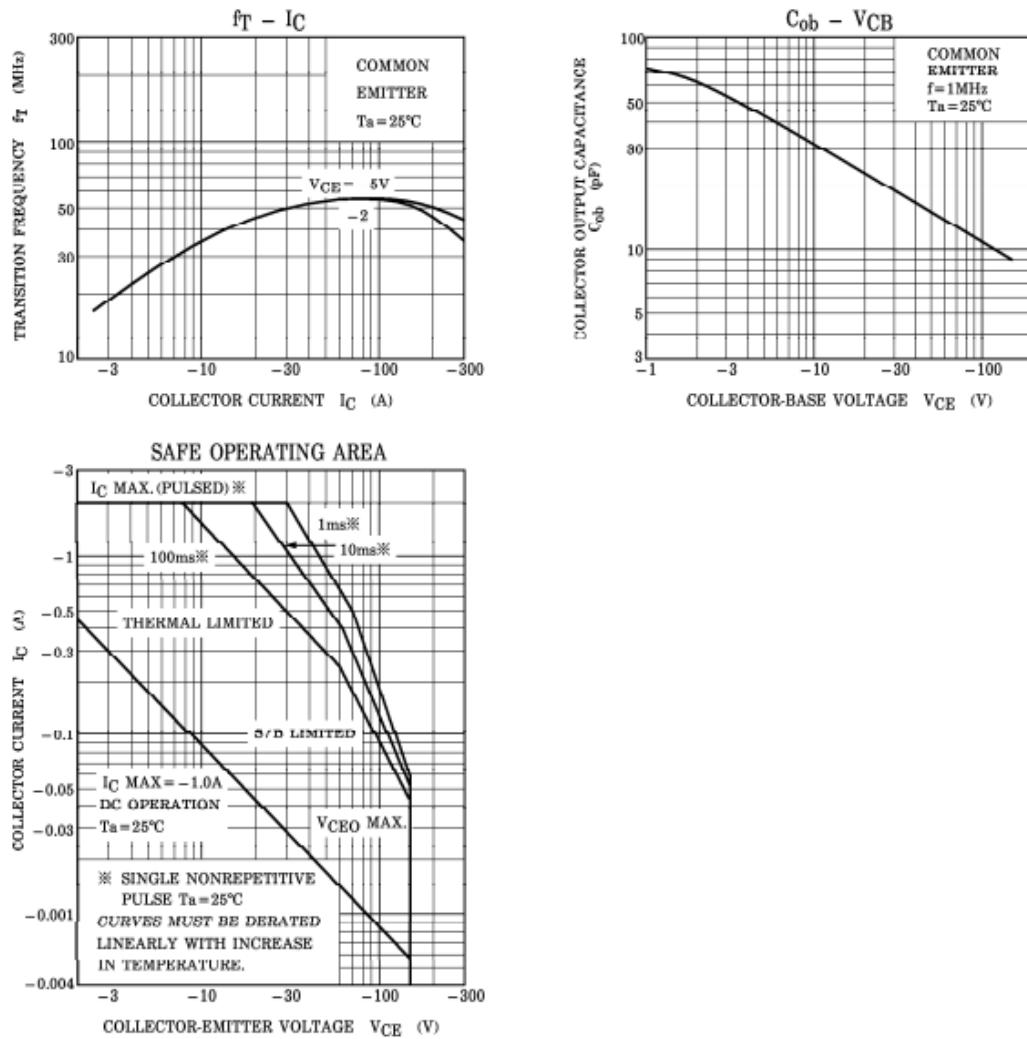


ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ C$)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | TEST CONDITION | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------|------|-------|---------|
| Collector Cut-off Current | I_{CBO} | $V_{CB} = -150V, I_E = 0$ | — | — | -1.0 | μA |
| Emitter Cut-off Current | I_{EBO} | $V_{EB} = -6V, I_C = 0$ | — | — | -1.0 | μA |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage | $V_{(BR)CEO}$ | $I_C = -10mA, I_B = 0$ | -160 | — | — | V |
| DC Current Gain | h_{FE} (Note) | $V_{CE} = -5V, I_C = -200mA$ | 60 | — | 200 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(sat)}$ | $I_C = -500mA, I_B = -50mA$ | — | — | -1.5 | V |
| Base-Emitter Voltage | V_{BE} | $V_{CE} = -5V, I_C = -5mA$ | -0.45 | — | -0.75 | V |
| Transition Frequency | f_T | $V_{CE} = -5V, I_C = -200mA$ | 15 | 50 | — | MHz |
| Collector Output Capacitance | C_{ob} | $V_{CB} = -10V, I_E = 0, f = 1MHz$ | — | — | 35 | pF |

Note : h_{FE} Classification R : 60~120, O : 100~200





TOSHIBA

2SC2383

TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN EPITAXIAL TYPE

2 S C 2 3 8 3

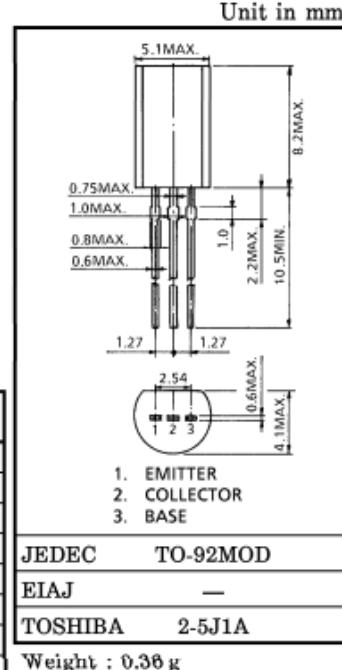
COLOR TV VERT. DEFLECTION OUTPUT APPLICATIONS

COLOR TV CLASS B SOUND OUTPUT APPLICATIONS

- High Voltage : $V_{CEO} = 160$ V
- Large Continuous Collector Current Capability.
- Recommended for Vert. Deflection Output & Sound Output Applications for Line Operated TV.
- Complementary to 2SA1013

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|-----------|---------|------------------|
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 160 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 160 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 6 | V |
| Collector Current | I_C | 1 | A |
| Base Current | I_B | 0.5 | A |
| Collector Power Dissipation | P_C | 900 | mW |
| Junction Temperature | T_j | 150 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature Range | T_{stg} | -55~150 | $^\circ\text{C}$ |



JEDEC TO-92MOD

EIAJ —

TOSHIBA 2-5J1A

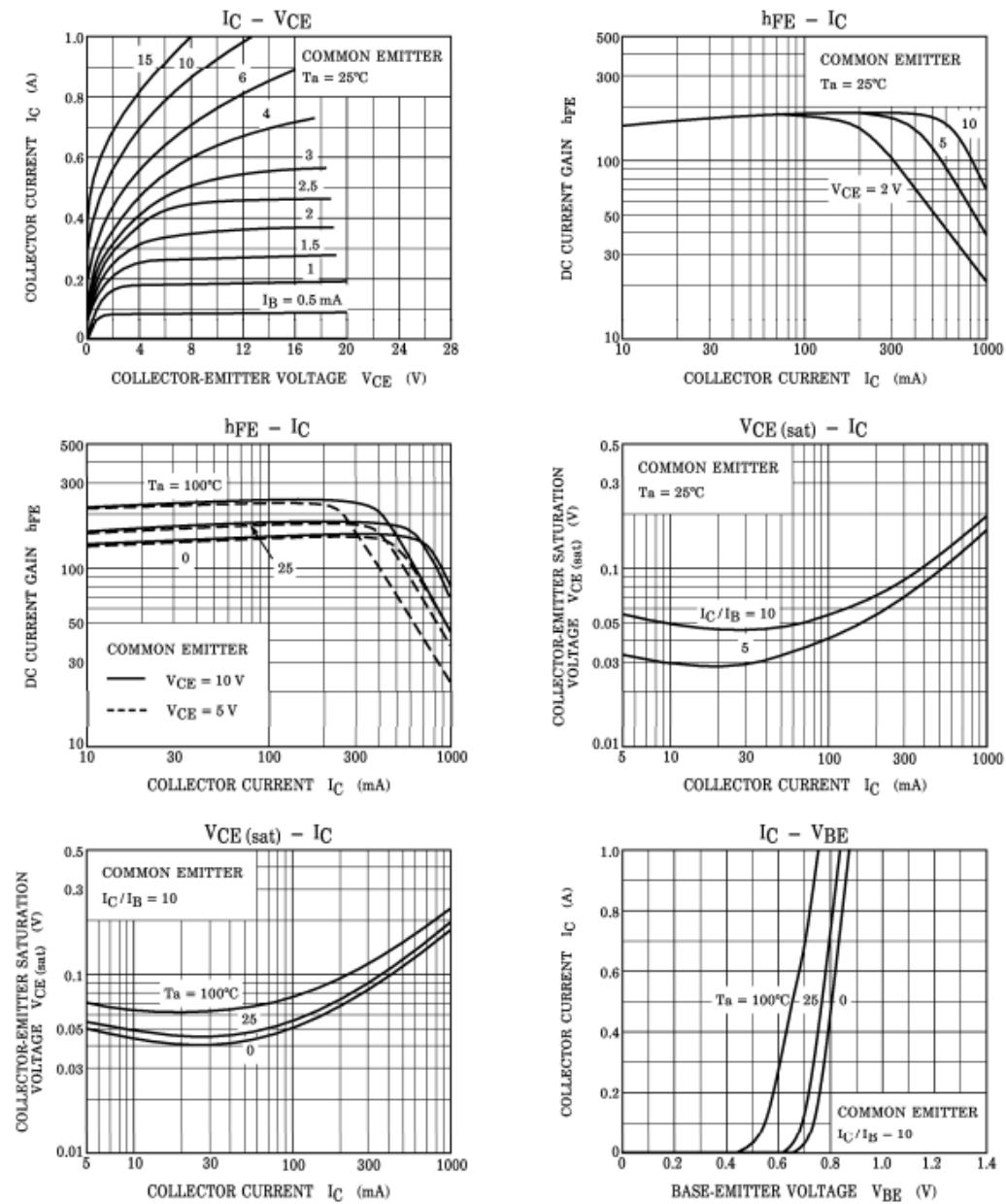
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

| CHARACTERISTIC | SYMBOL | TEST CONDITION | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--------------------------------------|------------------------|---|------|------|------|---------------|
| Collector Cut-off Current | I_{CBO} | $V_{CB} = 150$ V, $I_E = 0$ | — | — | 1.0 | μA |
| Emitter Cut-off Current | I_{EBO} | $V_{EB} = 6$ V, $I_C = 0$ | — | — | 1.0 | μA |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage | $V_{(BR)}\ CEO$ | $I_C = 10$ mA, $I_B = 0$ | 160 | — | — | V |
| DC Current Gain | h_{FE} (Note) | $V_{CE} = 5$ V, $I_C = 200$ mA | 60 | — | 320 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | $V_{CE}\ (\text{sat})$ | $I_C = 500$ mA, $I_B = 50$ mA | — | — | 1.5 | V |
| Base-Emitter Voltage | V_{BE} | $V_{CE} = 5$ V, $I_C = 5$ mA | 0.45 | — | 0.75 | V |
| Transition Frequency | f_T | $V_{CE} = 5$ V, $I_C = 200$ mA | 20 | 100 | — | MHz |
| Collector Output Capacitance | C_{ob} | $V_{CB} = 10$ V, $I_E = 0$, $f = 1$ MHz | — | — | 20 | pF |

(Note) : h_{FE} Classification R : 60~120, O : 100~200, Y : 160~320

TOSHIBA

2SC2383



MOSPEC

COMPLEMENTARY SILICON PLASTIC POWER TRANSISTORS

... designed for use in general purpose power amplifier and switching applications.

FEATURES:

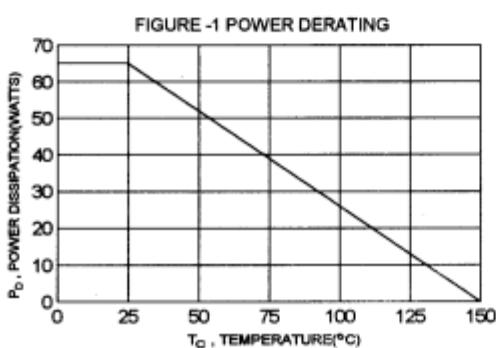
- * Collector-Emitter Sustaining Voltage -
 $V_{CEO(\text{sat})} = 40V(\text{Min})$ - TIP41,TIP42
 $60V(\text{Min})$ - TIP41A,TIP42A
 $80V(\text{Min})$ - TIP41B,TIP42B
 $100V(\text{Min})$ -TIP41C,TIP42C
- * Collector-Emitter Saturation Voltage- $V_{CE(\text{sat})} = 1.5V(\text{Max}) @ I_C = 6.0A$
- * Current Gain-Bandwidth Product $f_T = 3.0 \text{ MHz} (\text{Min}) @ I_C = 500\text{mA}$

MAXIMUM RATINGS

| Characteristic | Symbol | TIP41 TIP42 | TIP41A TIP42A | TIP41B TIP42B | TIP41C TIP42C | Unit |
|--|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 40 | 60 | 80 | 100 | V |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 40 | 60 | 80 | 100 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | | | 5 | | V |
| Collector Current - Continuous - Peak | I_C | | | 6 | | A |
| | | | | 10 | | |
| Base Current | I_B | | | 2 | | A |
| Total Power Dissipation@ $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | | | 65 | 0.52 | W $\text{W}/^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | | | -65 to +150 | | $^\circ\text{C}$ |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|-------------------------------------|-----------------|------|---------------------------|
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta jc}$ | 1.92 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ |

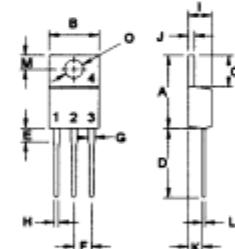


| NPN | PNP |
|--------|--------|
| TIP41 | TIP42 |
| TIP41A | TIP42A |
| TIP41B | TIP42B |
| TIP41C | TIP42C |

6 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
40 -100 VOLTS
65 WATTS



TO-220



PIN 1.BASE
2.COLLECTOR
3.EMITTER
4.COLLECTOR(CASE)

| DIM | MILLIMETERS | |
|-----|-------------|-------|
| | MIN | MAX |
| A | 14.68 | 15.31 |
| B | 9.78 | 10.42 |
| C | 5.01 | 6.52 |
| D | 13.06 | 14.82 |
| E | 3.57 | 4.07 |
| F | 2.42 | 3.66 |
| G | 1.12 | 1.38 |
| H | 0.72 | 0.96 |
| I | 4.22 | 4.96 |
| J | 1.14 | 1.38 |
| K | 2.20 | 2.97 |
| L | 0.33 | 0.55 |
| M | 2.48 | 2.98 |
| O | 3.70 | 3.80 |

TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C NPN / TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C PNP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Characteristic | Symbol | Min | Max | Unit |
|---|--|------------------------|--------------------------|------|
| OFF CHARACTERISTICS | | | | |
| Collector-Emitter Sustaining Voltage(1) ($I_c = 30 \text{ mA}, I_B = 0$) | TIP41,TIP42 TIP41A,TIP42A TIP41B,TIP42B TIP41C,TIP42C | $V_{CEO(\mu\text{s})}$ | 40 60 80 100 | V |
| Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30 \text{ V}, I_B = 0$) ($V_{CE} = 60 \text{ V}, I_B = 0$) | TIP41,TIP42,TIP41A,TIP42A TIP41B,TIP42B,TIP41C,TIP42C | I_{CEO} | 0.7 0.7 | mA |
| Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 40 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 60 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 80 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 100 \text{ V}, V_{BE} = 0$) | TIP41,TIP42 TIP41A,TIP42A TIP41B,TIP42B TIP41C,TIP42C | I_{CES} | 0.4 0.4 0.4 0.4 | mA |
| Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0 \text{ V}, I_C = 0$) | | I_{EBO} | 1.0 | mA |

ON CHARACTERISTICS (1)

| | | | | |
|---|----------------------|----------|-----|---|
| DC Current Gain ($I_C = 0.3 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V.}$) ($I_C = 3.0 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V.}$) | h_{FE} | 30 15 | 75 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 6.0 \text{ A}, I_B = 600 \text{ mA}$) | $V_{CE(\text{sat})}$ | | 1.5 | V |
| Base-Emitter On Voltage ($I_C = 6.0 \text{ A}, V_{CE} = 4.0 \text{ V}$) | $V_{BE(\text{On})}$ | | 2.0 | V |

DYNAMIC CHARACTERISTICS

| | | | | |
|---|----------|-----|--|-----|
| Current Gain - Bandwidth Product (2) ($I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f_{TEST} = 1 \text{ MHz}$) | f_T | 3.0 | | MHz |
| Small Signal Current Gain ($I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, f = 1 \text{ kHz}$) | h_{ie} | 20 | | |

(1) Pulse Test: Pulse width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0 \%$

(2) $f_T = |h_{ie}| \cdot f_{TEST}$

TIP41,TIP41A,TIP41B,TIP41C NPN / TIP42,TIP42A,TIP42B,TIP42C PNP

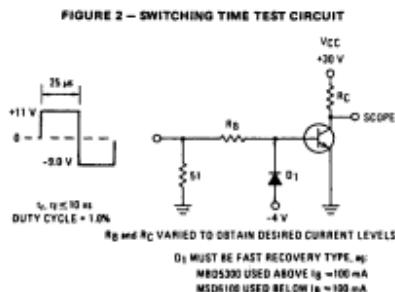


FIG-4 DC CURRENT GAIN

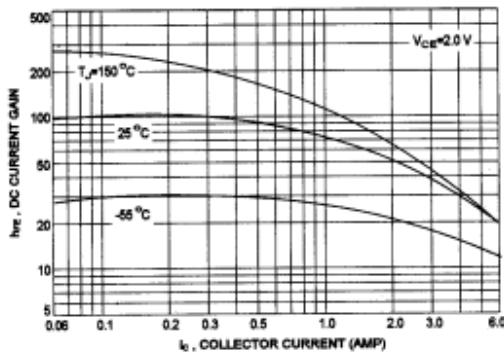


FIG-6 ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA

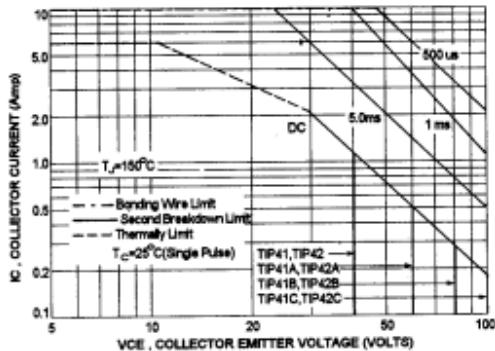


FIG-3 TURN-ON TIME

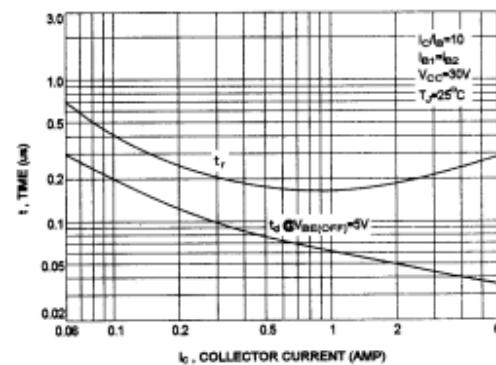
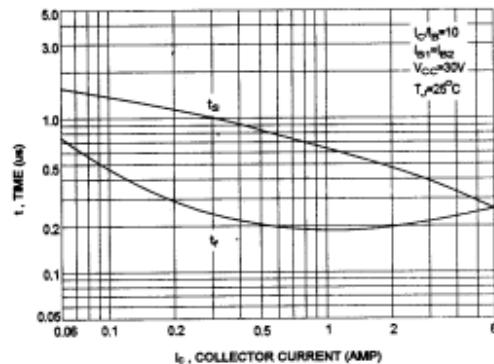


FIG-5 TURN-OFF TIME



There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown safe operating area curves indicate I_C - V_{CE} limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of FIG-6 curve is base on $T_{J,\text{PK}}=150^\circ\text{C}$; T_c is variable depending on power level. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J,\text{PK}} \leq 150^\circ\text{C}$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

TIP41,TIP41A,TIP41B,TIP41C NPN / TIP42,TIP42A,TIP42B,TIP42C PNP

FIG-7 COLLECTOR SATURATION REGION

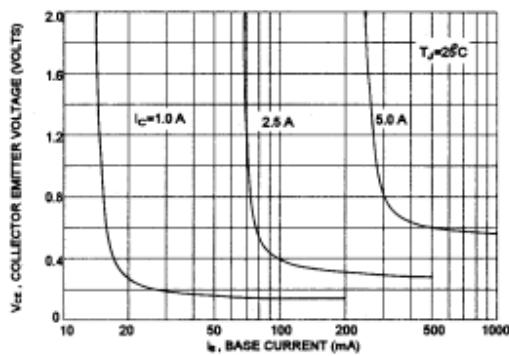


FIG-8 CAPACITANCES

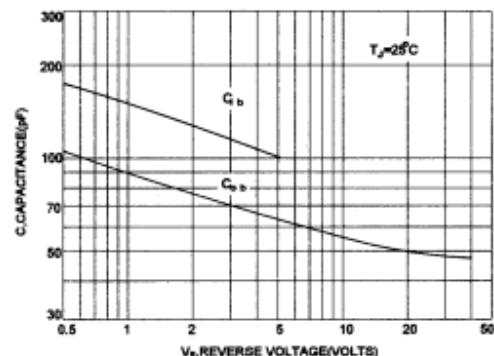


FIG-9 "ON" VOLTAGE

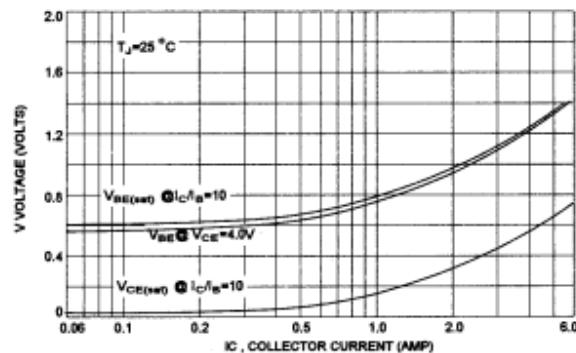


FIG-10 COLLECTOR CUT-OFF REGION

