

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN

MẠCH ĐIỆN TỬ

ĐỀ TÀI:

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG

**MẠCH KHUẾCH ĐẠI ĐIỆN ÁP NGÕ VÀO
KẾT HỢP KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT**

Lớp: L09 – Nhóm: 39

Học kỳ: 242

GVHD: ThS. Nguyễn Khánh Lợi

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 5/2025

Danh sách thành viên và phân công nhiệm vụ:

| MSSV | Họ và tên | Nhiệm vụ | Đóng | Chữ ký |
|---------|----------------------|--------------------------------------|------|---|
| 2312491 | Võ Phan Hoàng Nhật | Mô phỏng, thuyết trình | 23% |  |
| 2311156 | Lê Quang Huy | Word, PowerPoint | 18% |  |
| 2311587 | Huỳnh Phạm Tiên Khoa | Word, PowerPoint | 18% |  |
| 2310209 | Đặng Gia Bảo | Tính toán lý thuyết, thuyết trình | 23% |  |
| 2310196 | Mai Hoàng Bách | Mô phỏng | 18% |  |

MỤC LỤC

| | |
|--|----|
| A. CƠ SỞ LÝ THUYẾT: | 1 |
| I. Sơ lược về mạch khuếch đại: | 1 |
| II. Các loại BJT cơ bản: | 2 |
| 1. Mạch khuếch đại ghép E chung (Common-Emitter-CE):..... | 2 |
| 2. Mạch khuếch đại B chung (Common Base- CB):..... | 4 |
| 3. Mạch khuếch đại C chung (Common Collector-CC):..... | 5 |
| III. Mạch khuếch đại liên tầng:..... | 7 |
| 1. Mạch ghép Cascade:..... | 7 |
| 2. Mạch ghép Cascode: | 8 |
| 3. Mạch ghép Darlington:..... | 8 |
| 4. Mạch ghép khuếch đại vi sai: | 9 |
| IV. Bộ lọc thông thấp(Low Pass Filter (LPF)): | 9 |
| 1. Bộ lọc thông thấp thu động RC:..... | 10 |
| 2. Bộ lọc thông thấp thu động RL: | 11 |
| 3. Bộ lọc thu động LC: | 12 |
| V. Bộ lọc thông cao (HPF): | 12 |
| 1. Mạch thông cao thu động RC:..... | 13 |
| 2. Bộ lọc thông cao thu động RL: | 14 |
| 3. Bộ lọc thông cao thu động LC: | 16 |
| 16 | |
| VI. Mạch khuếch đại công suất: | 17 |
| 1. Mạch khuếch đại công suất lớp A:..... | 18 |
| 2. Mạch khuếch đại kéo- đẩy lớp B: | 19 |
| 3. Mạch khuếch đại kéo-đẩy cải tiến lớp AB: | 21 |
| B. ỨNG DỤNG, THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN MẠCH KHUẾCH ĐẠI THEO YÊU CẦU | 23 |
| I. Mục tiêu thiết kế: | 23 |
| II. Chức năng từng khối trong mạch: | 24 |
| 1. Khối khuếch đại tín hiệu sử dụng NPN 2N2222(Q1): | 24 |
| 2. Khối đệm dòng sử dụng transistor Q2: | 24 |
| 3. Khối khuếch đại công suất sử dụng transistor (Q4): | 24 |
| III. Tính toán số liệu và mô phỏng mạch khuếch đại | 25 |
| 1. Tính toán các thông số của mạch: | 25 |
| 1.1. Khối Q1: | 25 |
| 1.2. Mạch Emitter Follower Q2..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 1.3. <i>Khối khuếch đại công suất (Power amplifier)</i> | 29 |
| 2. Mô phỏng: | 33 |
| 2.1. <i>Mô hình mạch thiết kế</i> : | 33 |
| 2.2. <i>Kết quả mô phỏng</i> : | 33 |
| C. Tài liệu tham khảo: | 41 |

LỜI NÓI ĐẦU

Mạch điện tử là một trong những môn học cơ sở quan trọng, đóng vai trò nền tảng cho việc tiếp cận và phát triển các môn chuyên ngành sâu hơn trong lĩnh vực kỹ thuật điện – điện tử. Trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ, phần lớn các hệ thống công nghệ hiện đại, dù có độ phức tạp cao đến đâu, đều được xây dựng dựa trên những nguyên lý cơ bản của mạch điện tử.

Nhận thức được tầm quan trọng đó, nhóm chúng em đã vận dụng các kiến thức lý thuyết đã học trong và ngoài lớp để thực hiện bài tập lớn với chủ đề: **Thiết kế mạch khuếch đại điện áp ngõ vào kết hợp khuếch đại công suất**. Mục tiêu chính của đề tài là thiết kế và phân tích một mạch khuếch đại điện áp kết hợp khuếch đại công suất đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đề ra, đảm bảo tính ổn định trong hoạt động và đạt hiệu suất cao.

Trong suốt quá trình thực hiện, nhóm đã cùng nhau lên ý tưởng, lựa chọn phương án phù hợp, tiến hành mô phỏng và trình bày nội dung một cách hệ thống. Dù đã nỗ lực hoàn thành bài tập lớn với tinh thần học hỏi nghiêm túc, nhưng do kiến thức và kinh nghiệm còn hạn chế, nhóm không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng em kính mong nhận được sự thông cảm và những góp ý quý báu từ thầy cô để có thể cải thiện và hoàn thiện hơn trong các nghiên cứu sau này.

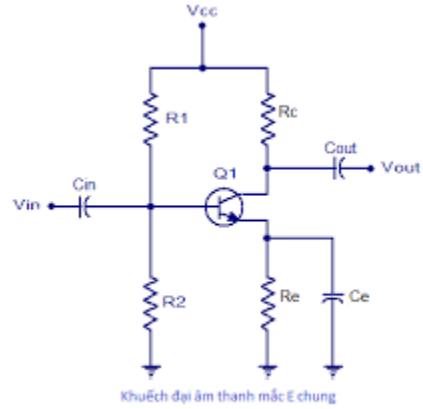
A. CƠ SỞ LÝ THUYẾT:

I. Sơ lược về mạch khuếch đại:

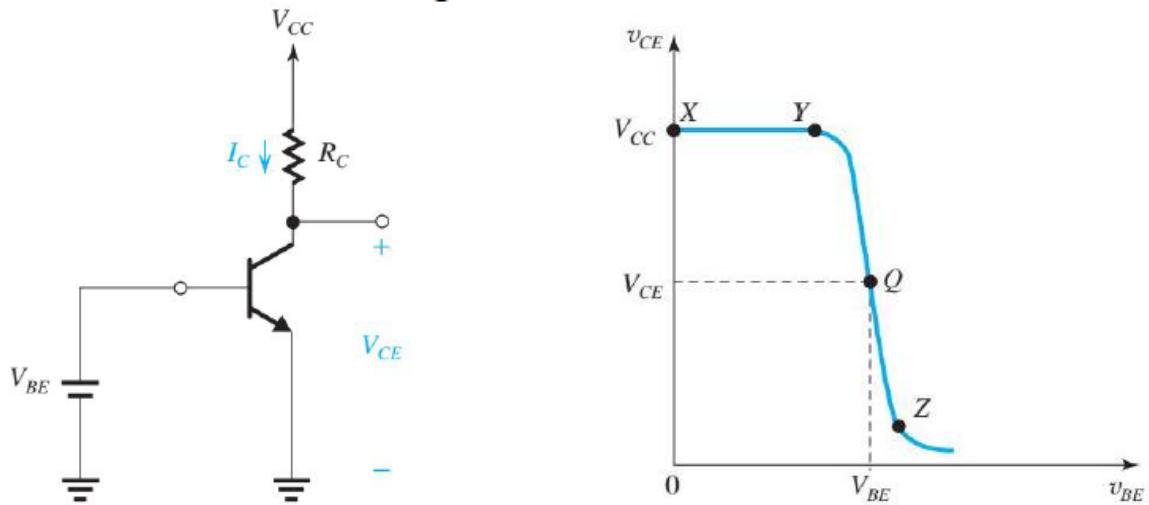
- Mạch khuếch đại là một hệ thống gồm các linh kiện điện tử cơ bản và linh kiện phụ trợ, có chức năng khuếch đại tín hiệu điện áp hoặc dòng điện đầu vào. Các transistor, như BJT hoặc FET, đóng vai trò chính trong quá trình khuếch đại, đưa tín hiệu ra với biên độ lớn hơn để phục vụ các mục đích sử dụng khác nhau.

- Ngày nay, tùy theo yêu cầu ứng dụng, mạch khuếch đại có thể được thiết kế dưới nhiều dạng như: khuếch đại liên tầng, khuếch đại vi sai, v.v. Trong bài tập lớn này, nhóm chúng em lựa chọn sử dụng transistor BJT do các ưu điểm nổi bật sau:

- Hệ số khuếch đại dòng lớn (β), giúp tăng biên độ tín hiệu hiệu quả.
- Dải tần hoạt động rộng, phù hợp nhiều loại tín hiệu.
- Thích hợp với các tín hiệu nhỏ như tín hiệu âm thanh, cảm biến.
- Dễ thiết kế, tính toán và điều chỉnh thông số.



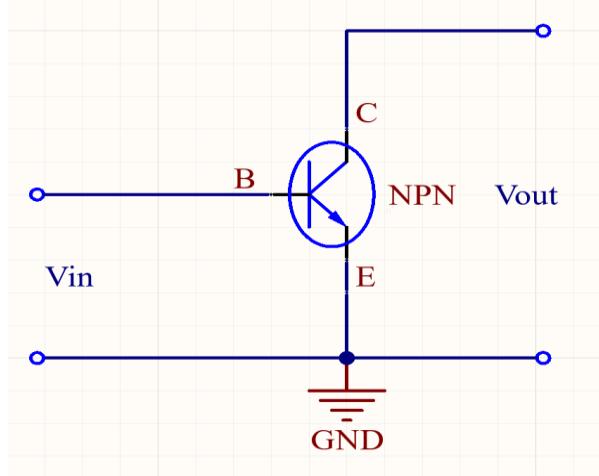
- Khi sử dụng BJT, để thiết kế mạch khuếch đại chúng ta cần phải quan tâm chú ý đến điểm làm việc tĩnh của loại BJT lựa chọn sử dụng. Và để ứng dụng tính khuếch đại của BJT, ta cần thiết kế sao cho điểm làm việc tĩnh này nằm trong vùng active mode.



II. Các loại BJT cơ bản:

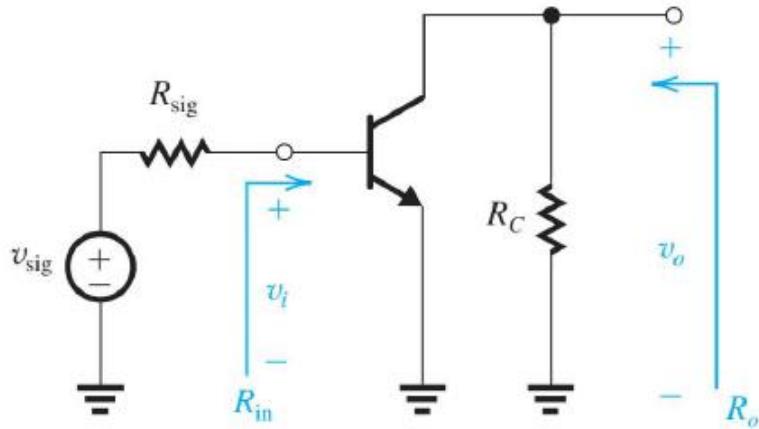
1. Mạch khuếch đại ghép E chung (Common-Emitter-CE):

- Mạch mắc theo kiểu cực E chung có các đặc điểm sau:

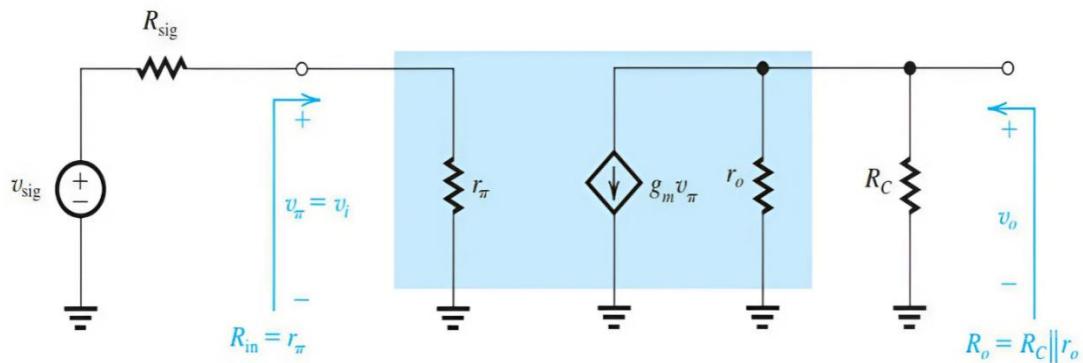


- Trở kháng ngõ vào (R_{in}) nhỏ.
- Trở kháng ngõ ra (R_{out}) lớn.
- Tín hiệu ngõ vào (V_{in}) là cực B.
- Tín hiệu ngõ ra (V_{out}) là cực C.
- Tín hiệu ngõ ra ngược pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực E chung, transistor có khả năng khuếch đại dòng điện, khuếch đại điện áp, và khuếch đại công suất.

- Là mạch khi xét ở chế độ AC có dạng:



- Mạch tương đương tín hiệu nhỏ (mô hình π):



- Các đại lượng tính toán cơ bản:

$$\text{Điện trở vào: } R_{in} = r_{\pi}$$

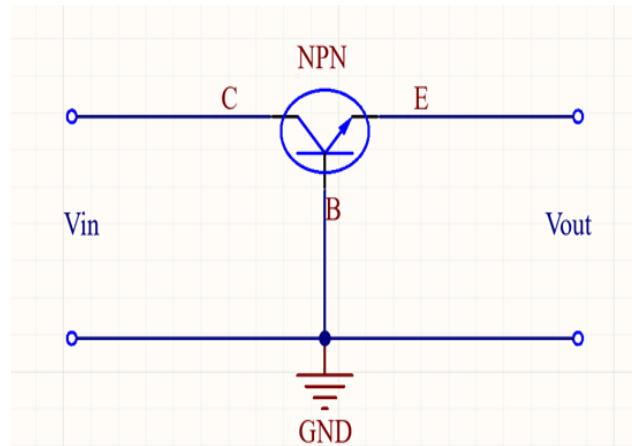
$$\text{Hệ số khuếch đại hở mạch: } A_{v0} = -g_m \cdot (R_C || r_0)$$

$$\text{Hệ số khuếch đại: } A_v = -g_m \cdot (R_C || |R_L| |r_0)$$

$$\text{Điện trở ra: } R_0 = R_C || r_{\pi}$$

$$\text{Hệ số khuếch địa điện áp: } G_v = \frac{v_0}{v_{sig}} = -\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{sig}} g_m \cdot (R_C || |R_L| |r_0)$$

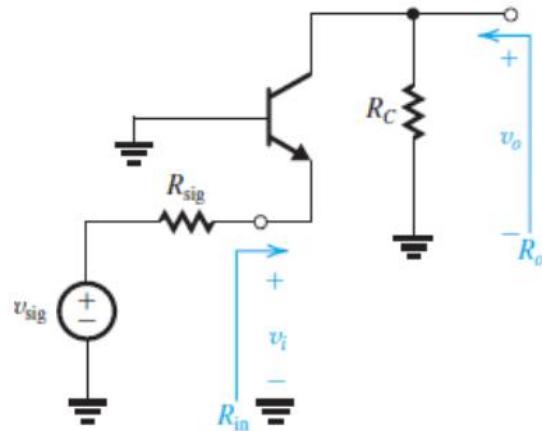
2. Mạch khuếch đại B chung (Common Base- CB):



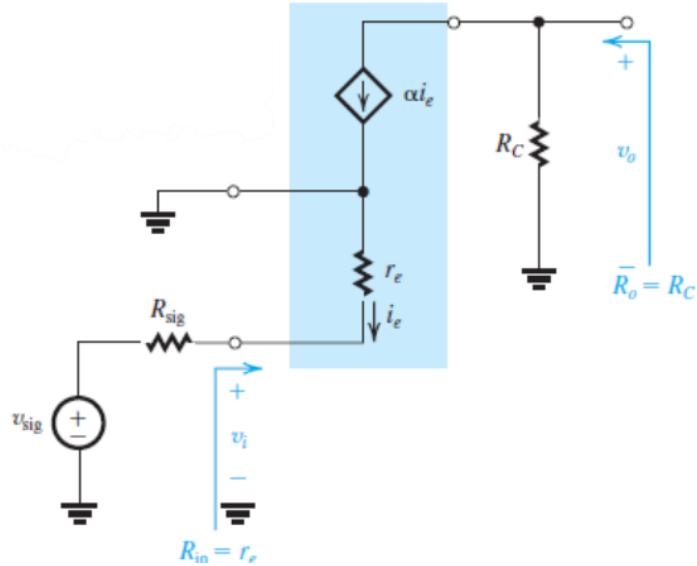
- Mạch mắc theo kiểu cực B chung có các đặc điểm sau:

- Trở kháng ngõ vào (R_{in}) lớn.
- Trở kháng ngõ ra (R_{out}) lớn.
- Tín hiệu ngõ vào (V_{in}) là cực E.
- Tín hiệu ngõ ra (V_{out}) là cực C.
- Tín hiệu ngõ ra cùng pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực B chung, transistor có khả năng khuếch đại điện áp.

- Khi xét 1 mạch ở chế độ AC:



- Mạch tương đương tín hiệu nhỏ (mô hình T):



- Các đại lượng tính toán cơ bản:

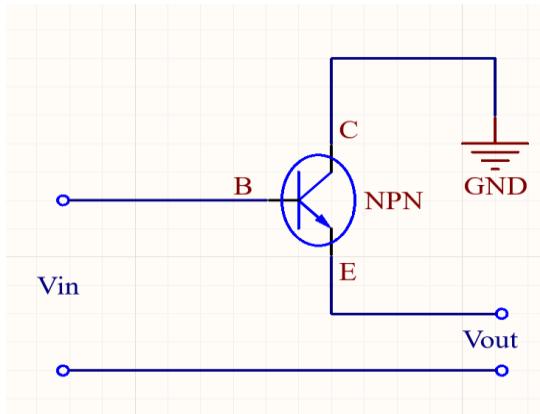
$$\text{Điện áp ngõ vào: } R_{in} = r_e$$

$$\text{Hệ số khuếch đại hở mạch: } A_{v0} = g_m \cdot R_C$$

$$\text{Điện áp ngõ ra: } R_0 = R_C$$

$$\text{Hệ số khuếch đại điện áp: } G_v = \frac{v_0}{v_{sig}} = -\frac{r_e}{r_e + R_{sig}} g_m \cdot (R_C ||| R_L)$$

3. Mạch khuếch đại C chung (Common Collector-CC):

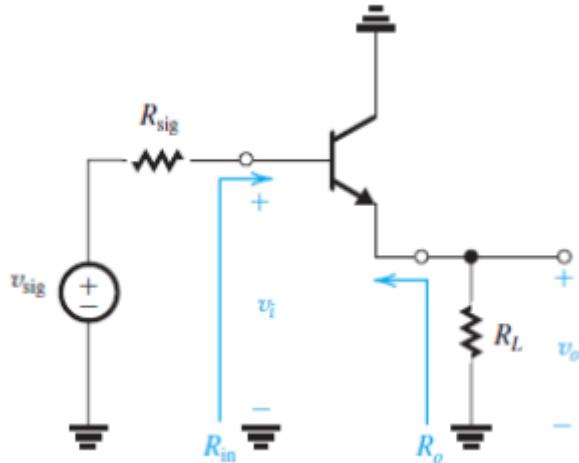


- Mạch mắc theo kiểu cực C chung có các đặc điểm sau:

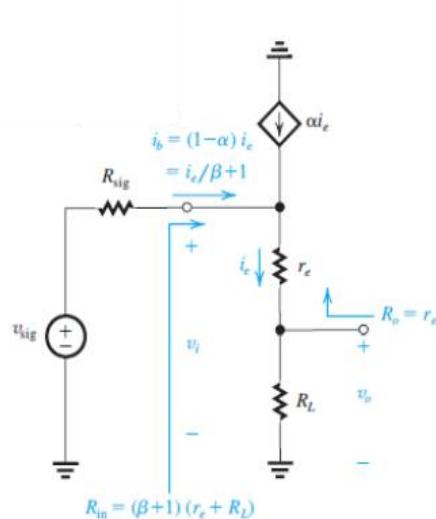
- Trở kháng ngõ vào (R_{in}) lớn.
- Trở kháng ngõ ra (R_{out}) nhỏ.
- Tín hiệu ngõ vào (V_{in}) là cực B.

- Tín hiệu ngõ ra (V_{out}) là cực E.
- Tín hiệu ngõ ra cùng pha so với tín hiệu ngõ vào.
- Khi mắc cực C chung, transistor có khả năng khuếch đại dòng điện.

- Mạch CC khi xét ở chế độ AC:



- Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ (mô hình T):



- Các đại lượng tính toán cơ bản:

Điện trở ngõ vào:

$$R_{in} = (\beta + 1)(r_e + R_L)$$

Điện trở ngõ ra:

$$R_0 = r_e$$

Hệ số khuếch đại: $A_V = \frac{R_L}{R_L + r_e} \approx 1$

Hệ số khuếch đại điện áp: $G_v = \frac{v_0}{v_{sig}} = \frac{(\beta+1)R_L}{(\beta+1)R_L + (\beta+1)r_e + R_{sig}}$

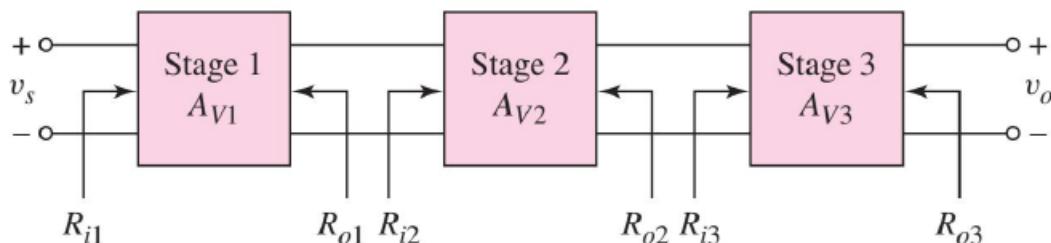
III. Mạch khuếch đại liên tầng:

- Mạch khuếch đại liên tầng (Multistage Amplifier) là mạch gồm hai hoặc nhiều tầng khuếch đại ghép nối với nhau nhằm tăng độ lợi tổng (biên độ hoặc công suất), mở rộng dải tần hoạt động và cải thiện công suất đầu ra.- Để ghép một mạch liên tầng, chúng ta có 3 phương pháp ghép:

- Ghép RC (Resistance-Capacitance Coupling): Truyền tín hiệu qua tụ điện, cách ly DC, dễ thiết kế nhưng dễ bị suy hao độ lợi.
- Ghép biến áp (Transformer Coupling): Dùng biến áp để truyền tín hiệu, hiệu suất cao, thích hợp cho mạch công suất nhưng cồng kềnh.
- Ghép trực tiếp (Direct Coupling): Truyền tín hiệu không qua tụ hay biến áp, thường dùng trong mạch âm tần.
 - Một số kiểu mạch khuếch đại liên tầng phổ biến:
 - **Mạch Cascade:** Các tầng m麦克 nối tiếp để tăng độ lợi.
 - **Mạch Cascode:** Kết hợp khuếch đại điện áp và dòng
 - **Mạch Darlington:** Hai transistor ghép để tăng độ lợi dòng cao.
 - **Mạch khuếch đại vi sai:** Dùng trong Op-Amp để tăng khả năng khử nhiễu

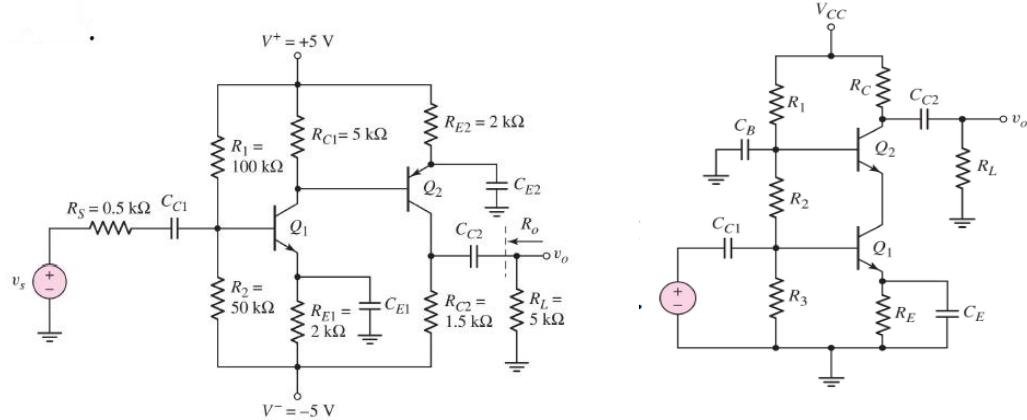
1. Mạch ghép Cascade:

- Là mạch gồm nhiều mạch khuếch đại nối tiếp với nhau. Ngõ ra của mạch khuếch đại này là ngõ vào của mạch khuếch đại tiếp theo.



2. Mạch ghép Cascode:

- Là mạch ghép từ 1 mạch khuếch đại CE và một mạch khuếch đại CB (hoặc 1 mạch CS và một mạch CG).

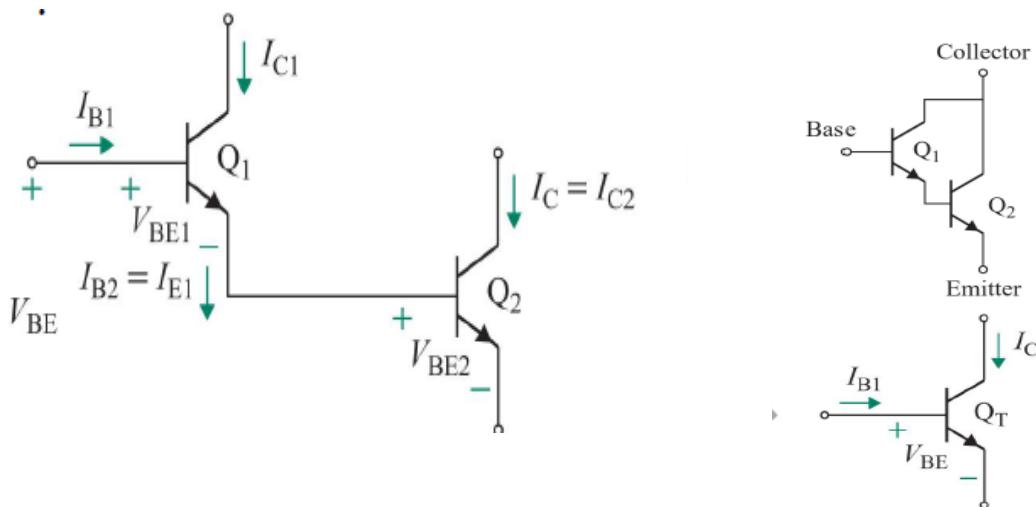


- Tín hiệu vào cấp cho mạch CE, tín hiệu ra lấy từ mạch CB.

- Ưu điểm lớn nhất của mạch là có đáp ứng tần số tốt hơn các kiểu mạch ghép khác, cũng như tốt hơn mạch khuếch đại đơn tầng.

3. Mạch ghép Darlington:

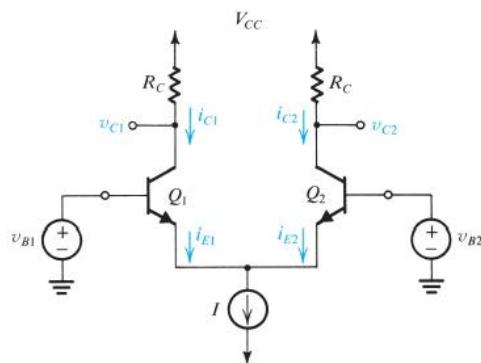
- Mạch ghép Darlington là một cấu hình sử dụng hai (hoặc nhiều) transistor BJT mắc nối tiếp, trong đó đầu ra của transistor thứ nhất được nối trực tiếp vào đầu vào của transistor thứ hai. Cách mắc này tạo thành một cặp Darlington, cho phép khuếch đại dòng điện với hệ số rất lớn nhờ hiệu ứng nhân hệ số khuếch đại dòng của cả hai transistor.



- Khi khảo sát ở chế độ AC, có thể tương đương 2 mạch này thành một mạch BJT có $\beta = \beta_1\beta_2$

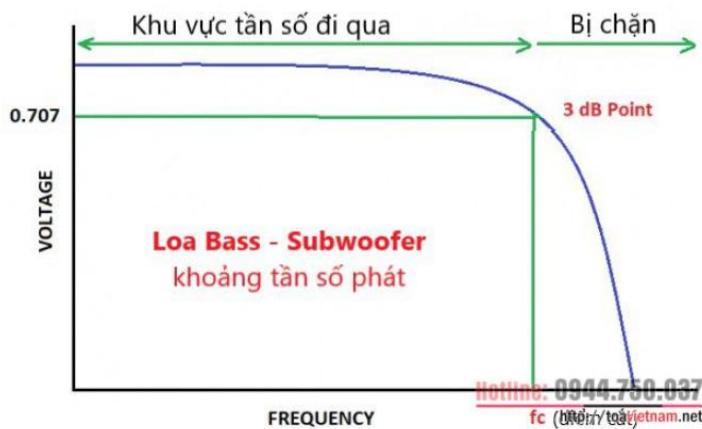
4. Mạch ghép khuếch đại vi sai:

- Là mạch gồm 2 BJT hoàn toàn giống nhau về mặt giá trị cũng như thông số ngõ vào ngõ ra (mạch đối xứng). Nguồn dòng cực E xem như nguồn dòng lý tưởng với trở khánh $\rightarrow \infty$. Có thể sử dụng R_E thay cho cho nguồn dòng.



IV. Bộ lọc thông thấp(Low Pass Filter (LPF)):

- Bộ lọc thông thấp là bộ lọc cho tín hiệu có tần số thấp hơn tần số cắt đã chọn đi qua và làm suy yếu tín hiệu có tần số cao hơn tần số cắt. Bộ lọc đôi khi được gọi là bộ lọc cắt cao hoặc bộ lọc cắt treble trong các ứng dụng âm thanh.



- Bộ lọc thông thấp xuất hiện dưới nhiều dạng khác nhau, từ mạch điện tử như bộ lọc tiếng rít trong âm thanh, bộ lọc chống răng cưa trước khi chuyển đổi ADC, đến các bộ

lọc số dùng để làm mịn dữ liệu, giảm nhiễu, làm mờ ảnh, hoặc rào cản âm trong kỹ thuật âm học.

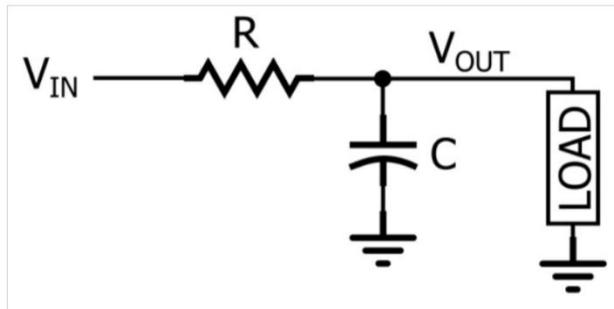
- Dựa vào thành phần cấu tạo, bộ lọc thông thấp được chia làm hai loại chính:

- **Bộ lọc thông thấp chủ động (active):** Sử dụng linh kiện khuếch đại (như op-amp) kết hợp với điện trở và tụ điện. Loại này cần nguồn nuôi và có khả năng điều chỉnh biên độ tín hiệu, thường dùng trong mạch âm tần và RF.
- **Bộ lọc thông thấp thụ động (passive):** Không cần nguồn cấp ngoài, sử dụng các phần tử R, L, C để suy giảm tần số cao. Các dạng phổ biến gồm bộ lọc RC, RL, LC và các cấu trúc như Chebyshev, Butterworth, T, π,...

1. Bộ lọc thông thấp thụ động RC:

- Bộ lọc thông thấp RC bao gồm điện trở và tụ điện, chúng có cấu tạo khá đơn giản và được sử dụng khá rộng rãi trong các ứng dụng âm thanh.

- Bộ lọc thông thấp RC là một mạch đơn giản giúp loại bỏ các tín hiệu có tần số cao hơn một ngưỡng nhất định (tần số cắt $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$) và chỉ cho phép tín hiệu có tần số thấp đi qua.



- Tần số cắt của bộ lọc thông thấp RC:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- Khi tần số thấp ($f < f_c$):

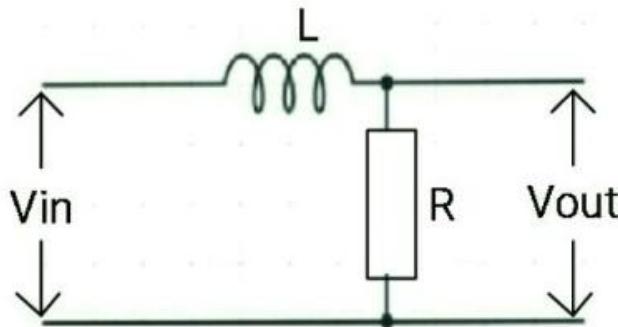
- Tụ điện có trở kháng lớn: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$

- Dòng điện chủ yếu đi qua R, dẫn đến tín hiệu đầu ra gần bằng đầu vào.
- Khi tần số cao ($f > f_c$):
 - Tụ điện có trở kháng nhỏ.
 - Dòng điện sẽ đi qua tụ xuống mass (GND), làm giảm biên độ tín hiệu đầu ra.
- Điện áp đầu ra:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

2. Bộ lọc thông thấp thụ động RL:

- Bộ lọc này sử dụng điện trở và cuộn cảm tương tự như bộ lọc RC, nhưng chúng được thiết kế để đáp ứng các tần số phi tuyến phụ thuộc vào sự thay đổi của nhiệt độ.



- Tần số cắt của bộ lọc thông thấp RL:

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

- Khi tần số thấp ($f < f_c$):
 - Cuộn cảm có trở kháng nhỏ $X_L = 2\pi f L$
 - Dòng điện đi qua cuộn cảm dễ dàng → tín hiệu đến đầu ra gần như nguyên vẹn.
- Khi tần số cao ($f > f_c$):
 - Cuộn cảm có trở kháng lớn → chặn dòng điện cao tần.
 - Tín hiệu bị suy giảm trước khi đến đầu ra.
- Điện áp đầu ra:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{X_C}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}$$

3. Bộ lọc thu động LC:

- Bộ lọc LC là một bộ lọc thu động sử dụng cuộn cảm (L) và tụ điện (C) để cho phép tín hiệu tần số thấp đi qua, đồng thời chặn hoặc làm suy giảm tín hiệu tần số cao. Nhờ đặc tính lọc hiệu quả, bộ lọc LC thường được ứng dụng trong các hệ thống yêu cầu hiệu suất cao như mạch RF, bộ thu – phát sóng, hoặc các thiết bị công suất lớn.

- Tần số cắt của bộ lọc thông thấp RL:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Khi ở tần số thấp ($f < f_c$):

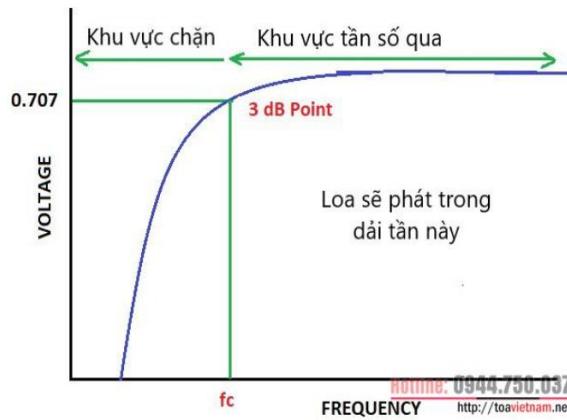
- Ở tần số thấp, cuộn cảm có trở kháng rất nhỏ, gần như là một đoạn dây dẫn thông thường. Do đó, tín hiệu điện áp đầu vào dễ dàng đi qua cuộn cảm mà không bị cản trở nhiều.
- Trong khi đó, tụ điện ở tần số thấp lại có trở kháng rất lớn, gần giống như một mạch hở. Điều này có nghĩa là dòng điện hầu như không thể đi qua tụ để xuống mass (GND).

- Khi tần số cao ($f > f_c$):

- Khi tần số tăng lên cao, cuộn cảm có trở kháng rất lớn, giống như một vật cản lớn trong mạch, khiến tín hiệu khó đi tiếp qua nó.
- Đồng thời, tụ điện lại có trở kháng rất nhỏ ở tần số cao, gần giống như một dây dẫn. Điều này khiến tín hiệu tần số cao dễ dàng bị dẫn xuống mass(GND) thông qua tụ điện.

V. Bộ lọc thông cao (HPF):

- Bộ lọc thông cao (HPF) là mạch điện tử cho phép tín hiệu có tần số cao hơn một giá trị cắt nhất định đi qua, đồng thời suy giảm tín hiệu tần số thấp hơn. Trong âm thanh, nó còn được gọi là bộ lọc cắt trầm (low-cut filter).



- Bộ lọc thông cao được dùng để: Loại bỏ tín hiệu DC trong các mạch nhạy với điện áp một chiều; lọc bỏ nhiễu tần số thấp trong tín hiệu âm thanh và RF; kết hợp với bộ lọc thông thấp để tạo thành bộ lọc thông dải (band-pass filter).

- HPF rất phổ biến trong các ứng dụng âm thanh như ghi âm, xử lý giọng nói, và điều chỉnh âm sắc.

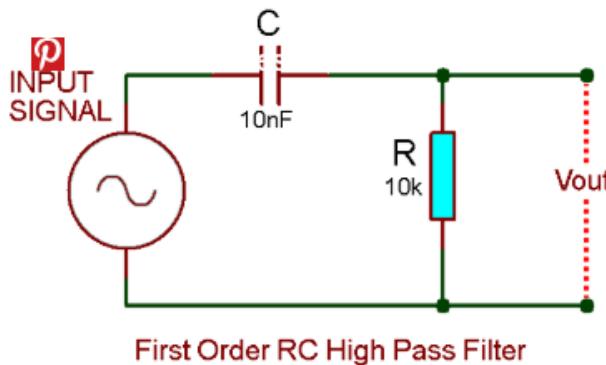
- Bộ lọc thông cao được chia thành hai loại dựa trên thành phần cấu tạo:

- **Bộ lọc thông cao chủ động:** Sử dụng các linh kiện chủ động, thường là khuếch đại thuật toán (op-amp), kết hợp với điện trở và tụ điện. Bộ lọc này không chỉ lọc tần số mà còn có khả năng khuếch đại tín hiệu đầu ra. Tuy nhiên, nó cần nguồn cấp điện và thiết kế mạch phức tạp hơn.

- **Bộ lọc thông cao thụ động:** Được xây dựng chỉ từ các linh kiện thụ động như điện trở (R), tụ điện (C) và cuộn cảm (L). Mạch này không cần nguồn cấp ngoài và hoạt động dựa vào đặc tính của các thành phần. Mặc dù đơn giản, chi phí thấp và dễ lắp ráp, nó không có khả năng khuếch đại tín hiệu, dẫn đến suy hao tín hiệu nếu tín hiệu đầu vào yếu.

Mạch thông cao thụ động RC:

- Trong mạch này, tụ điện C và điện trở R tạo thành một bộ chia điện áp xác định điện áp AC V_{out} . Điện áp trên C và R sẽ tỷ lệ thuận với trở kháng của mỗi tụ, do đó trở kháng của C càng thấp thì điện áp trên trở kháng cố định của R (V_{out}) càng cao. Khi tần số của V_{in} tăng, điện kháng (và do đó là trở kháng) của C giảm, khiến V_{out} lớn hơn. Khi tần số của V_{in} giảm, trở kháng của C trở nên lớn hơn, khiến V_{out} trở nên nhỏ hơn. Do đó, tần số cao đi qua bộ lọc mà không bị giảm, trong khi tần số thấp hơn bị giảm biên độ.



- Tần số cắt (f_c):

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- Khi tần số thấp ($f < f_c$):

- Tụ điện có trở kháng lớn: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$

• Dòng điện chủ yếu đi qua điện trở R xuống GND, dẫn đến tín hiệu đầu ra rất nhỏ.

- Khi tần số cao ($f > f_c$):

- Tụ điện có trở kháng nhỏ.

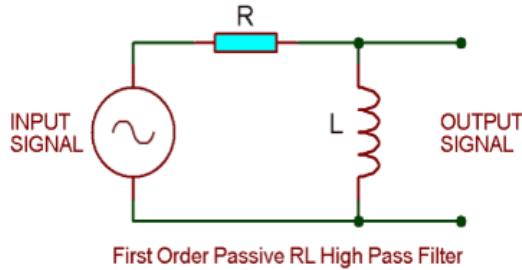
• Dòng điện dễ dàng đi qua tụ điện đến đầu ra, làm cho tín hiệu đầu ra gần bằng tín hiệu đầu vào.

- Điện áp đầu ra:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

4. Bộ lọc thông cao thụ động RL:

- Mạch lọc thông cao RL thường được sử dụng trong các mạch xử lý tín hiệu âm thanh, tín hiệu cao tần (RF), và các hệ thống điện tử để loại bỏ nhiễu tần số thấp, chỉ cho tín hiệu cao tần đi qua.



- Điện áp đầu ra V_{out} sẽ tỷ lệ với trở kháng của cuộn cảm L so với tổng trở của mạch.. Khi tần số của V_{in} tăng, điện kháng (và do đó là trở kháng) của L tăng theo, khiến V_{out} lớn hơn. Ngược lại, khi tần số của V_{in} giảm, trở kháng của L giảm xuống, làm cho phần lớn dòng điện đi qua cuộn cảm xuống GND, dẫn đến V_{out} nhỏ hơn. Do đó, các tín hiệu tần số cao đi qua bộ lọc mà không bị suy giảm nhiều, trong khi các tín hiệu tần số thấp bị giảm biên độ.

- Tần số cắt:

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

- Khi tần số thấp ($f < f_c$):

- Cuộn cảm có trở kháng thấp: $X_L = 2\pi f L$
- Dòng điện chủ yếu đi qua cuộn cảm xuống GND, dẫn đến tín hiệu đầu ra rất nhỏ.

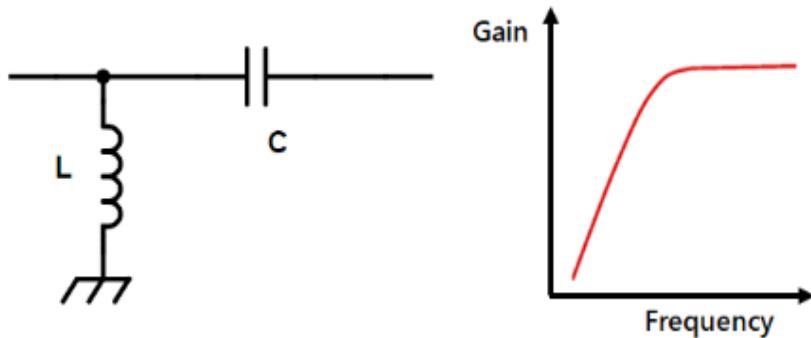
- Khi tần số cao ($f > f_c$):

- Cuộn cảm có trở kháng lớn.
- Dòng điện không thể đi qua cuộn cảm xuống mass mà đi qua điện trở R tới đầu ra.
- Điện áp đầu ra V_{out} gần bằng điện áp đầu vào, tín hiệu cao được truyền qua.

- Điện áp đầu ra:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{X_L}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}$$

5. Bộ lọc thông cao thụ động LC:



- Bộ lọc thông cao LC sử dụng tụ điện (C) và cuộn cảm (L) kết hợp để cho phép tín hiệu tần số cao đi qua và chặn tín hiệu tần số thấp. Mạch này hoạt động mà không cần nguồn cấp ngoài, dựa vào tính chất của các linh kiện đối với tín hiệu AC ở các tần số khác nhau.

- Khi tần số của tín hiệu vào V_{in} tăng, trở kháng của tụ C giảm, cho phép tín hiệu tần số cao dễ dàng đi qua tụ và đến đầu ra V_{out} . Cuộn cảm L có trở kháng tăng theo tần số, ngăn dòng điện cao tần xuống GND, làm tăng V_{out} . Khi tần số giảm, trở kháng của tụ C tăng lên, hạn chế dòng tín hiệu đi qua, trong khi cuộn cảm có trở kháng nhỏ, cho phép tín hiệu tần số thấp đi xuống GND và giảm V_{out} .

- Do đó, tín hiệu tần số cao đi qua bộ lọc mà không bị suy giảm nhiều, trong khi tín hiệu tần số thấp bị giảm biên độ.

- Tần số cắt f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Khi tần số thấp ($f < f_c$):

- Cuộn cảm có trở kháng thấp: $X_L = 2\pi f L$

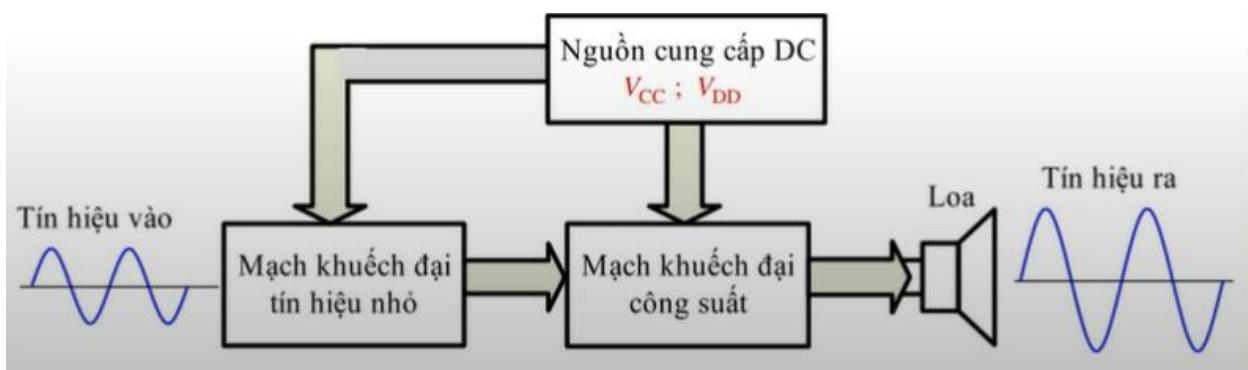
- Tụ điện L có trở kháng lớn: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$

• Dòng điện khó đi qua tụ C để đến V_{out} , mà phần lớn tín hiệu sẽ bị dẫn qua cuộn cảm L xuống mass.

- Khi tần số cao ($f > f_c$):

- Tụ điện có trở kháng thấp
- Cuộn cảm có trở kháng lớn.
- Dòng điện dễ dàng đi qua tụ C tới V_{out} , và cuộn cảm L ngăn không cho tín hiệu đi xuống mass.
- Điện áp đầu ra V_{out} gần bằng điện áp đầu vào, tín hiệu cao được truyền qua mà không bị suy giảm nhiều.

VI. Mạch khuếch đại công suất:



- Mạch khuếch đại công suất là mạch khuếch đại ở tầng cuối cùng để tạo ra công suất cung cấp cho tải. Công suất cung cấp cho tải thường khoảng vài W đến vài trăm W, công suất này thường có mức điện áp cao và cường độ dòng điện lớn.

- Một đặc tính cơ bản của mạch:

- Trở kháng ra nhỏ
- Công suất tiêu tán trong mạch nhỏ
- Có khả năng cấp dòng hoặc áp lớn cho tải
- THD(mức độ méo tín hiệu do thành phần sóng hài gây ra) nhỏ.

- Đối với mạch khuếch đại công suất BJT, ta có các đặc điểm sau:

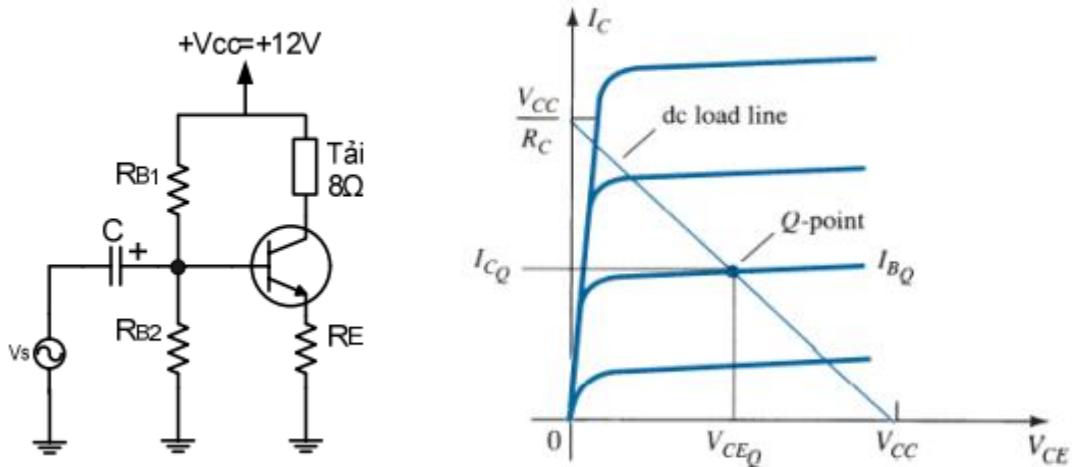
- Hệ số khuếch đại dòng nhỏ
- Áp-dòng và công suất ngõ ra lớn
- Băng thông nhỏ

- Các thông số công suất cơ bản:

- + Công suất tíc thời tiêu thụ bởi BJT: $p_Q = v_{CE} i_E + v_{BE} i_B \approx v_{CE} i_C$
- + Công suất trung bình: $P = \frac{1}{T} \int_T v_{CE} i_C dt$
- + Khi BJT hoạt động ở chế độ DC: $P = V_{CE} I_C$
- + Hiệu suất mạch khuếch đại: $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$

- Phân loại: có 3 loại chính: lớp A, lớp B, lớp AB.

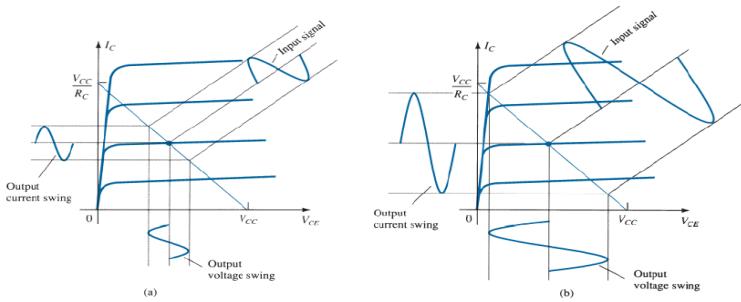
1. Mạch khuếch đại công suất lớp A:



- Mạch khuếch đại công suất BJT lớp A (Class A Power Amplifier using BJT) là một loại mạch khuếch đại sử dụng transistor lưỡng cực (BJT - Bipolar Junction Transistor) để khuếch đại tín hiệu với đặc điểm là transistor dẫn điện trong toàn bộ chu kỳ của tín hiệu đầu vào (360 độ).

- Tín hiệu đầu vào (thường là tín hiệu âm thanh hoặc tín hiệu AC nhỏ) được khuếch đại với độ tuyến tính cao, tức là không bị méo dạng nhiều.

- Phân tích chế độ AC:



- Khi tín hiệu AC được cung cấp tới ngõ vào thì ngõ ra sẽ thay đổi theo dòng và áp phân cực DC. Khi tín hiệu vào là nhỏ, đặc tuyến ngõ ra có hình sau, sẽ làm cho dòng ở cực nền thay đổi quanh điểm phân cực DC. Khi tín hiệu vào là lớn, ngõ ra sẽ biến đổi lớn hơn xung quanh điểm phân cực DC đã thiết lập.

- Ưu điểm:

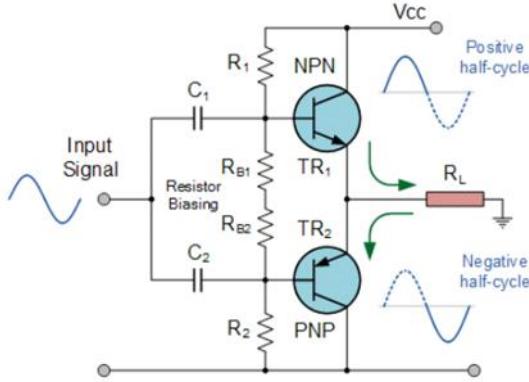
- Độ tuyến tính cao, chất lượng khuếch đại tốt
- Ít méo dạng (low distortion), đặc biệt phù hợp với ứng dụng âm thanh cao cấp
- Thiết kế đơn giản, dễ phân tích và xây dựng

- Nhược điểm:

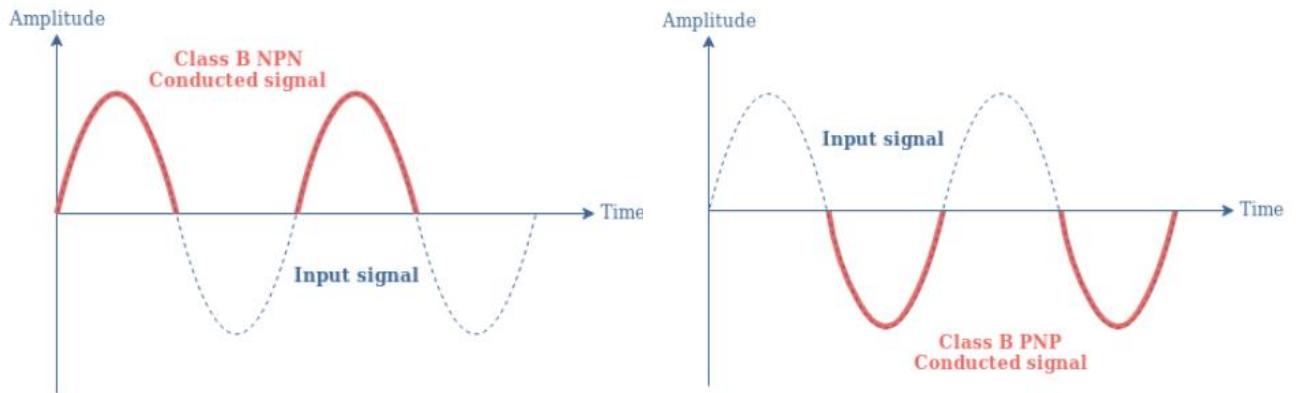
- Hiệu suất thấp: chỉ khoảng 25% (với tải trở) hoặc 50% (với biến áp) — phần lớn công suất bị tiêu tán dưới dạng nhiệt
- Tỏa nhiệt lớn, cần tản nhiệt tốt. Và luôn tiêu thụ dòng dù không có tín hiệu, gây lãng phí năng lượng

2. Mạch khuếch đại kéo- đẩy lớp B:

- Mạch khuếch đại lớp B là một loại mạch khuếch đại tín hiệu. Đặc điểm nổi bật của mạch lớp B là việc phân chia nhiệm vụ khuếch đại giữa hai transistor (hoặc các linh kiện tương tự) trong một mạch cầu, giúp mỗi transistor chỉ khuếch đại một nửa chu kỳ tín hiệu.



- Transistor mạch lớp B chỉ dẫn trong nửa chu kỳ của tín hiệu đầu vào:
 - Một transistor khuếch đại nửa dương
 - Một transistor khác khuếch đại nửa âm



- Hai transistor phối hợp khuếch đại toàn bộ tín hiệu dạng đầy đủ (full cycle) – kỹ thuật này gọi là khuếch đại đầy kéo (push-pull).

- Mạch sử dụng 2 transistor (NPN+ PNP) hoặc 2 transistor NPN+ 1 máy biến áp đảo pha:

- Q1(NPN) sẽ dẫn khi $V_{in} < 0$
- Q2(PNP) dẫn khi $V_{in} > 0$

- Mạch khuếch đại công suất **Class B** sử dụng hai bóng bán dẫn NPN, với các cực phát được nối chung. Dòng điện được phân chia giữa hai bóng bán dẫn, giúp giảm tổn thất công suất và cải thiện hiệu suất, đạt tới khoảng 70%.

• Khi không có tín hiệu đầu vào, mỗi bóng bán dẫn mang dòng điện tĩnh xác định bởi phân cực cơ sở tại điểm cắt.

- Khi có tín hiệu đầu vào, các bóng bán dẫn hoạt động "chống pha", tạo hiệu ứng đẩy kéo, cải thiện sóng sin đầu ra.

- Mạch **Class B** không có phân cực DC, do đó giảm tốn thát năng lượng và không có dòng điện qua các bóng bán dẫn khi không có tín hiệu.

- Mạch này có hiệu suất cao hơn mạch **Class A**, nhưng có thể tạo ra một chút méo tín hiệu do sự chuyển mạch giữa các bóng bán dẫn.

- **Ưu điểm:**

- Hiệu suất cao hơn lớp A, đạt tới khoảng 70%.
- Ít tỏa nhiệt hơn, vì mỗi transistor chỉ dẫn nửa chu kỳ.
- Phù hợp với các ứng dụng công suất lớn như: khuếch đại âm thanh, RF truyền thanh.

- **Nhược điểm:**

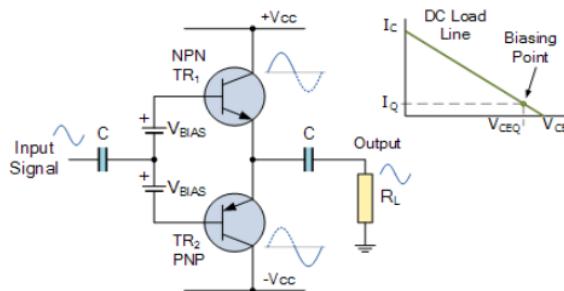
- Gây ra méo chéo (crossover distortion): do thời gian ngắn khi tín hiệu gần 0V, cả hai transistor đều không dẫn làm mất tín hiệu.
- Cần phối hợp chính xác transistor để tránh vùng chết.

3. Mạch khuếch đại kéo-dẩy cải tiến lớp AB:

- Mạch khuếch đại công suất lớp AB là sự kết hợp ưu việt giữa lớp A và lớp B, mang lại:

- **Độ tuyến tính cao** (như lớp A) và **hiệu suất tốt** (gần lớp B).
- **Giảm méo chéo** ở điểm chuyển giao, giúp cải thiện chất lượng âm thanh.

So với mạch lớp A, mạch lớp AB tiết kiệm năng lượng hơn, không tỏa nhiệt nhiều và có hiệu suất cao (50–70%). Tuy nhiên, thiết kế phức tạp hơn và yêu cầu phân cực chính xác để tránh méo và lãng phí điện năng.



- Ưu điểm:

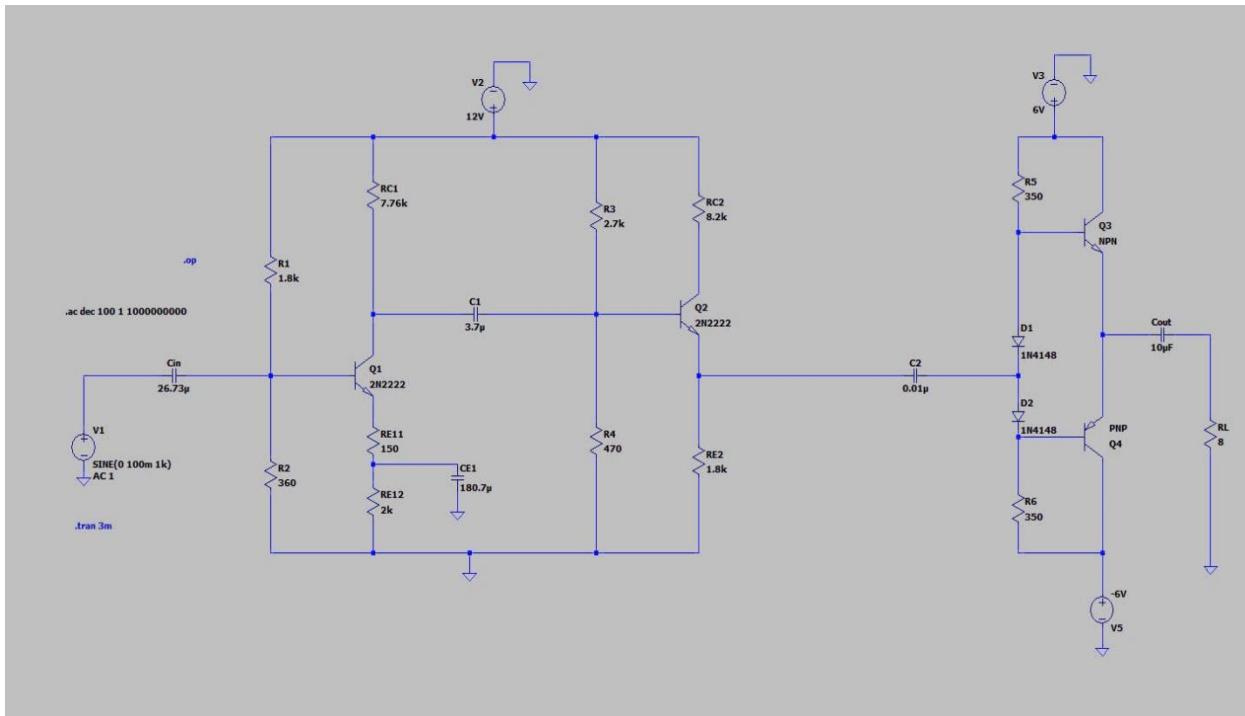
- Giảm đáng kể méo chéo so với lớp B
- Hiệu suất cao hơn lớp A, khoảng 50–70%
- Chất lượng âm thanh tốt, độ tuyển tính cao
- Không tỏa nhiệt nhiều như lớp A

- Nhược điểm:

- Thiết kế phức tạp hơn lớp A và B
- Cần phân cực chính xác, nếu không sẽ gây méo hoặc tiêu thụ điện không cần thiết

B. ỨNG DỤNG, THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN MẠCH KHUẾCH ĐẠI THEO YÊU CẦU

I. Mục tiêu thiết kế:



- Dựa trên cơ sở lý thuyết đã học, nhóm em đã thiết kế một mạch khuếch đại với mục tiêu khuếch đại tín hiệu điện áp nhỏ, đạt độ lợi cao và khả năng loại bỏ nhiễu tần số cao. Cấu trúc mạch sử dụng hai transistor NPN măc E chung theo cấu hình Cascade, kết hợp với một tầng đệm dòng điều khiển tầng khuếch đại công suất kiểu kéo-đẩy lớp AB, với tải $RL = 4\Omega$.

- Mục tiêu chính của thiết kế bao gồm:

- Tăng hệ số khuếch đại điện áp và công suất (với điện áp vào V_{inpp} max = 0,1V)
- Ôn định hoạt động và giảm méo tín hiệu để đảm bảo chất lượng âm thanh.
- Loại bỏ các thành phần nhiễu tần số cao trong tín hiệu ra, giúp cải thiện độ rõ ràng.
- Băng thông từ 15Hz – 500kHz, đảm bảo tín hiệu không bị bó hẹp ở các dải tần quan trọng.

- Đảm bảo tín hiệu đầu ra ổn định, sạch hơn ở tần số mong muốn, tránh nhiễu và méo.

- Chức năng tùng khói trong mạch:

1. Khối khuếch đại tín hiệu sử dụng NPN 2N2222(Q1):

- Khối đầu tiên của mạch là tầng khuếch đại tín hiệu điện áp, sử dụng một transistor BJT loại NPN 2N2222, được mắc theo cấu hình emitter chung (CE). Tín hiệu đầu vào được đưa vào cực Base của Q1 thông qua tụ Cin, kết hợp với một mạng phân áp (gồm R1 và R2) giúp thiết lập điện áp phân cực thích hợp, đảm bảo transistor hoạt động trong vùng tuyến tính.

- Cực emitter của Q1 nối qua hai điện trở RE11 và RE12 xuống GND, trong đó RE11 được nối song song với tụ CE1. Tụ này có tác dụng bỏ qua điện trở RE11 đối với tín hiệu xoay chiều, giúp tăng hệ số khuếch đại AC trong khi vẫn giữ được sự ổn định DC cho mạch.

- Tín hiệu ra tại cực collector của Q1 sẽ được truyền qua tụ ghép C1 sang tầng tiếp theo. Tầng khuếch đại Q1 đóng vai trò nâng biên độ tín hiệu nhỏ đầu vào lên mức đủ lớn để điều khiển hiệu quả các tầng sau, nhưng vẫn đảm bảo không bị méo dạng.

2. Khối đệm dòng sử dụng transistor Q2:

- Transistor Q2, cũng là một BJT NPN 2N2222, được sử dụng làm bộ đệm dòng. Tầng này nhận tín hiệu từ collector của Q1 qua tụ C1, sau đó xuất tín hiệu ra tại cực emitter.

- Cấu hình đệm dòng không khuếch đại điện áp đáng kể (hệ số gần 1), nhưng có khả năng khuếch đại dòng và cung cấp trở kháng đầu ra thấp. Điều này giúp bảo vệ và tách biệt tầng khuếch đại trước (Q1) với tầng công suất sau, đảm bảo truyền tín hiệu mà không bị sụt áp hoặc ảnh hưởng đến điểm làm việc của tầng trước.

3. Khối khuếch đại công suất sử dụng transistor (Q4):

- Khối khuếch đại công suất là tầng cuối cùng trong mạch, giữ vai trò quan trọng trong việc khuếch đại dòng điện để đưa tín hiệu ra tải công suất lớn, điển hình là một loa

trở kháng thấp (ví dụ 8Ω). Trong mạch này, khối công suất bao gồm hai transistor: Q3 và Q4, hoạt động kết hợp theo nguyên lý đẩy–kéo trong chế độ lớp AB.

- Transistor Q3 được mắc theo cấu hình emitter follower (collector nối với nguồn dương, emitter nối với đầu ra), có nhiệm vụ kéo tín hiệu đầu ra lên cao khi tín hiệu vào có biên độ dương. Ngược lại, transistor Q4 là một PNP công suất, được mắc đối xứng với Q3 (collector nối nguồn âm), sẽ đẩy tín hiệu đầu ra xuống thấp khi tín hiệu vào mang biên độ âm. Như vậy, hai transistor hoạt động luân phiên, đảm bảo truyền đầy đủ cả hai nửa chu kỳ của tín hiệu xoay chiều ra tải.

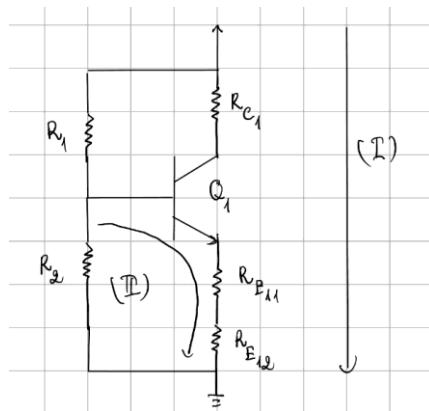
- Để hai transistor hoạt động hiệu quả và tránh hiện tượng méo tín hiệu khi chuyển tiếp giữa Q3 và Q4, mạch sử dụng hai diode D1 và D2, mắc nối tiếp với một điện trở. Hai diode này tạo ra một điện áp phân cực sẵn (khoảng 1.2V), đặt vào Base của Q3 và Q4, giúp các transistor bắt đầu dẫn sớm hơn ngay cả khi tín hiệu đầu vào còn nhỏ. Điều này có tác dụng giảm méo chéo.

- Khối khuếch đại công suất Q3–Q4 hoạt động như một tầng đẩy–kéo lớp AB, với khả năng khuếch đại dòng mạnh, truyền tín hiệu đầy đủ và mượt mà ra tải. Cấu trúc này mang lại hiệu suất cao hơn so với lớp A, đồng thời vẫn duy trì chất lượng tín hiệu tốt hơn so với lớp B đơn thuần, nhờ vào mạch phân cực thông minh bằng diode.

II. Tính toán số liệu và mô phỏng mạch khuếch đại

1. Tính toán các thông số của mạch:

1.1. Khối Q1:



Tính toán DC Chọn điểm làm việc tại Q: $(V_{CE}, I_C) = (6V, 0.6mA)$ $\beta = 200$; $V_{BE} = 0.7V \Rightarrow$

$$\begin{cases} I_{C1} = 3mA \\ I_{E1} = 603mA \\ r_\pi = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C} = 8667\Omega \end{cases}$$

KVL vòng I:

$$-I_C R_{C1} + V_{CE} + I_E (R_{E11} + R_{E12}) = 12$$

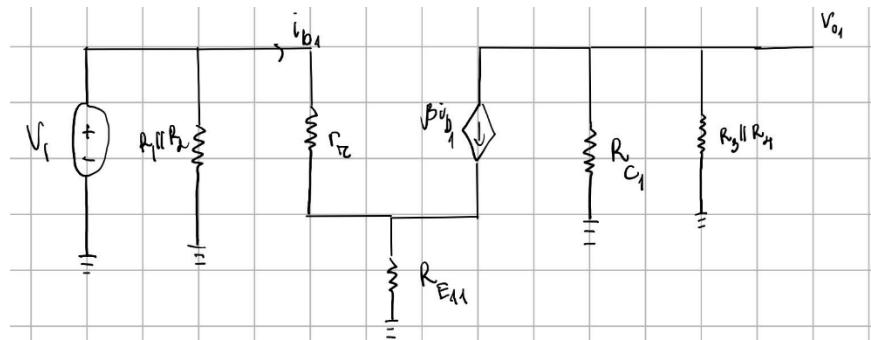
$$\Rightarrow 0.6R_{C1} + 0.603(R_{E1} + R_{E2}) = 6000$$

KVL vòng II:

$$\frac{12R2}{R1 + R2} = \frac{R1R2}{R1 + R2} I_{B1} + V_{BE} + I_E (R_{E11} + R_{E12})$$

Ché độ AC:

Sơ đồ mạch AC tương đương (có nguồn Vi, r_π , nguồn dòng βI_B , điện trở R_{C1} , tải song song RL , hồi tiếp R_{E11}):



$$A_{v1} = \frac{V_{o1}}{V_i} = -\beta \cdot \frac{V_{o1}}{\beta I_{B1}} \cdot \frac{I_{B1}}{V_i} = -\beta \cdot \frac{R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4}{r_\pi + (1 + \beta)R_{E11}}$$

Giả sử $A_{v1} = -40$, đặt $X = R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4$

$$-40 = \frac{-200 \cdot X}{8667 + 201 \cdot R_{E11}}$$

Giả sử $R_E1 = 100\Omega \Rightarrow$

$$X = \frac{40 \cdot (8667 + 20100)}{200} = 5753.4\Omega$$

Chọn $R_{C1} = 8,2 k\Omega$

Tính điện trở R_{E12} :

Thay vào (I), ta được

$$R_{E12} = \frac{6000 - 0,6 \cdot R_{C1} - 0,603 \cdot R_{E11}}{0,603} = 1691\Omega$$

→ Chọn $R_{E12} \approx 1,7 k\Omega$

Với $X = 5753,4\Omega$, $R_{C1} = 8,2 k\Omega$

$$\frac{1}{5753,4} = \frac{1}{8200} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

→ Giả sử $R_3 = R_4$

$$\frac{2}{R_3} = \frac{1}{579,5} - \frac{1}{8200} \Rightarrow R_3 = R_4 = \frac{2}{\frac{1}{5753,4} - \frac{1}{8200}} \approx 3,9 k\Omega$$

Tính điện áp tại B:

$$V_B = \frac{12 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot 3 \cdot 10^{-6}$$

$$V_B = 0,7 + 603 \cdot 10^{-3} \cdot (1000 + 700) = 1,7854$$

→ Giải ra:

$$R_2 = \frac{1,7854 \cdot R_1}{12 - 1,7854 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot R_1}$$

→ Chọn $R_1 = 2,7 k\Omega \Rightarrow R_2 = 472,3\Omega \Rightarrow$ Chọn $R_2 = 470\Omega$

Tính điện trở vào:

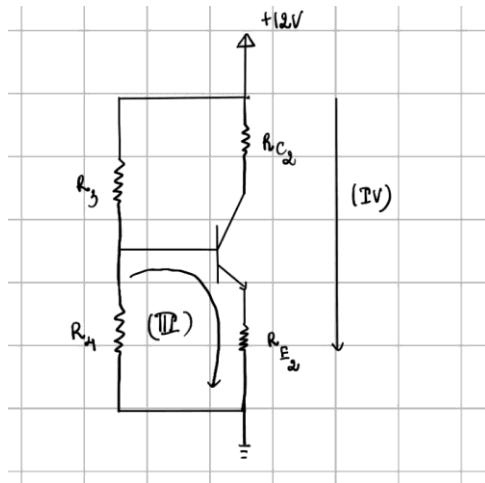
$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel [r_\pi \parallel (\beta + 1) \cdot R_{E11}] = 394\Omega$$

Tính điện trở ra:

$$R_{out} = R_C \parallel R_3 \parallel R_4 = 5773\Omega$$

1.2. Mạch Emitter Follower Q2

Chế độ DC:



Chọn điểm làm việc tĩnh Q có:

$$(V_{CE}, I_C) = (6V, 0,6mA)$$

KVL (III):

$$\begin{aligned} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot 12 - \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \cdot I_{B2} &= V_{BE} + I_{E2} \cdot R_{E2} \\ \Rightarrow \left(\frac{12 \cdot R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \right) &= 0,7 + 0,603 \cdot R_{E2} \\ \Rightarrow R_E &= 8692\Omega \end{aligned}$$

→ Chọn $R_E = 8,7k\Omega$

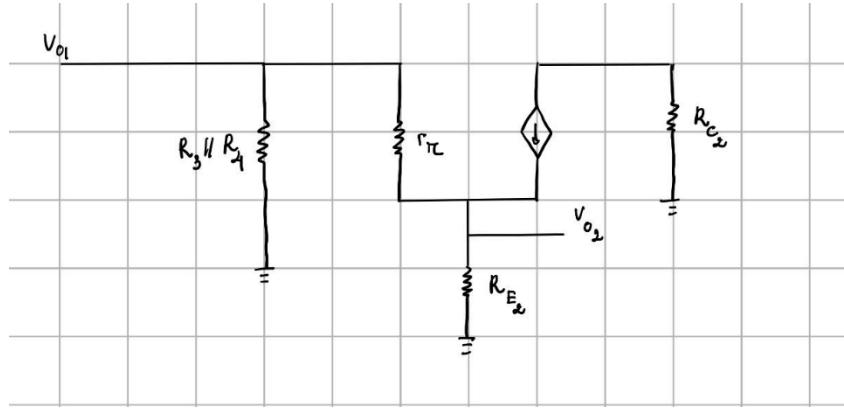
KVL (IV):

$$12 - V_{CE} = I_{C2} \cdot R_{C2} + I_{E2} \cdot R_{E2}$$

$$I_C = 0,6 \times 10^{-3} \quad \text{và} \quad I_E = 0,603 \times 10^{-3}, \quad R_{E2} = 8700 \Omega$$

$$\Rightarrow 12 - 6 = 0,6 \times 10^{-3} \cdot R_{C2} + 0,603 \times 10^{-3} \cdot 8700$$

$$\Rightarrow R_{C2} = 1,26 k\Omega$$



Tính trở vào:

$$\begin{aligned} R_{in} &= R_3 \parallel R_4 \parallel [r_\pi + (\beta + 1)R_{E2}] \\ &= 192986 \Omega \end{aligned}$$

Tính trở ra:

$$R_{out} = R_{E2} \parallel \frac{r_\pi}{\beta + 1} \approx 42,9 \Omega$$

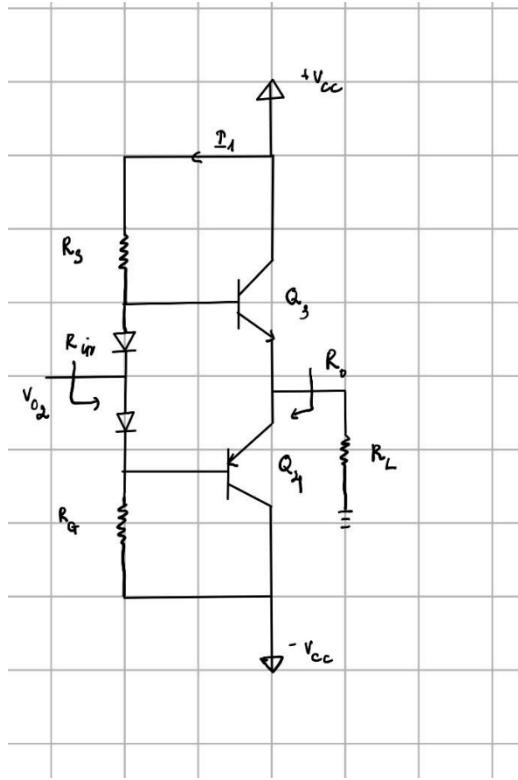
Hệ số khuếch đại áp:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_{o2}}{V_{in}} = (\beta + 1) \frac{V_{o2}}{I_{B2}(\beta + 1)} \frac{I_{B2}}{V_{o1}} = \frac{(\beta + 1)R_{E2}}{r_\pi + (\beta + 1)R_{E2}} \\ &= \frac{201 \cdot 8700}{8667 + 201 \cdot 8700} \approx 1 V/V \end{aligned}$$

Hệ số khuếch đại dòng:

$$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{A_v \cdot R_{in}}{R_{out}} = \frac{192,986}{42,9} \approx 4,5 \Rightarrow A_i \approx 450 A/A$$

1.3. Khối khuếch đại công suất (Power amplifier)



Thuật toán thiết kế:

Chọn tải $R_L = 4 \Omega$. Mạch khuếch đại công suất lớp AB, chọn $\beta = 50$,
chọn $V_{CESAT} = 0,2 V$

Ta chọn công suất ngõ ra trên tải RL là $P_{Lmax} = 2 W$

Công suất cực đại:

$$P_{max} = \frac{(V_{CC} - V_{CESAT})^2}{2R_L} \Rightarrow 2 W$$

Tính Vcc:

$$P_{max} = \frac{(V_{CC} - V_{CESAT})^2}{2 \cdot R_L} \Rightarrow 2 = \frac{(V_{CC} - 0,2)^2}{8} \Rightarrow V_{CC} - 0,2 = \sqrt{16} = 4 \Rightarrow V_{CC} = 4,2 V$$

Dòng cực đại:

$$i_{opmax} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L} = 1 A \quad (\text{vì } A_v \approx 1)$$

Công suất nguồn DC cung cấp:

Chọn $r_e = 0,1$, với:

$$I_{CC} = \frac{\beta \cdot V_T}{r_e \cdot (\beta + 1)} = 255 \text{ mA}$$

$$P_s \approx \frac{2 \cdot i_{opmax} \cdot V_{CC}}{\pi} + I_{CQ} \cdot V_{CC} = 3,74 \text{ W}$$

Hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_{Lmax}}{P_s} \cdot 100\% = \frac{2}{3,74} \cdot 100\% = 53,48\%$$

Chọn điện trở phân áp R1, R2:

$$R_1 = R_2 \approx \frac{V_{CC} - V_D}{I_{Dmin} + (I_{CQ} + i_{opmax}) / (\beta + 1)} = \frac{4,2 - 0,7}{1,5 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{51}} \approx 134 \Omega$$

Hệ số khuếch đại:

$$A_v = \frac{R_L}{R_L + r_{\pi 2}} \approx 1$$

Tính trở vào (input impedance):

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel ((\beta + 1) \parallel (R_L + r_e)) = 50,74 \Omega$$

Tính trở ra (output impedance):

$$R_O = r_e \approx 0,1 \Omega$$

Hệ số khuếch đại dòng:

$$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = A_v \frac{R_{in}}{R_L} = \frac{50,74}{4} = 12,7 \text{ A/A}$$

Sau khi đã tính toán xong các giá trị điện trở, ta tiến hành tính các tụ:

→ Ta chọn tần số cắt thấp là 20 Hz

Chọn tần số cắt thấp tại đầu ra là 20 Hz, các tụ còn lại tính để có tần số cắt thấp hơn hoặc bằng 20 Hz.

- **Ảnh hưởng tại Cout, chọn $f_{L1} = 20 \text{ Hz}$**

$$f_{L1} = \frac{1}{2\pi(R_{L2} + r_e)C_{out}} \Rightarrow 20 = \frac{1}{2\pi \cdot 4 \cdot 1 C_{out}} \Rightarrow C_{out} = 1940 \mu F$$

$$\Rightarrow \text{chọn } C_{out} = 2000 \mu F$$

- **Ảnh hưởng tại Cin, chọn $f_{L2} = 20 \text{ Hz}$**

$$f_{L2} = \frac{1}{2\pi \left(R_1 \parallel R_2 \parallel ((r_\pi + (1 + \beta)) \parallel R_{E11}) \right) \cdot C_{in}} = 20 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow C_{in} = 20 \mu F$$

- **Ảnh hưởng tại C1**

$$f_{L3} = \frac{1}{2\pi(R_{c1} + R_{in2})C_1} = 2 \text{ Hz} \Rightarrow C_1 = 2,9 \mu F$$

- **Ảnh hưởng tại CE1**

$$f_{L4} = \frac{1}{2\pi \left(R_{E12} \parallel \left(R_{E11} + \frac{r_\pi}{\beta + 1} \right) \right) \cdot C_{E1}} = 2 \text{ Hz} \Rightarrow C_{E1} = 600 \mu F$$

- **Ảnh hưởng tại tụ C2**

$$f_{L5} = \frac{1}{2\pi(R_{in3} + R_{out2})C_2} = 2 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow C_2 = 850 \mu F$$

- **Tính tần số cắt cao**

→ Chọn linh kiện Q1: **2N2222**, có $C_{bc} = 8 \text{ pF}$, $C_{be} = 25 \text{ pF}$

$$C_{eq} = C_{bc} \left(1 + \frac{\beta \cdot R_C || R_3 || R_4}{r_\pi} \right) = 1,07 \text{ nF}$$

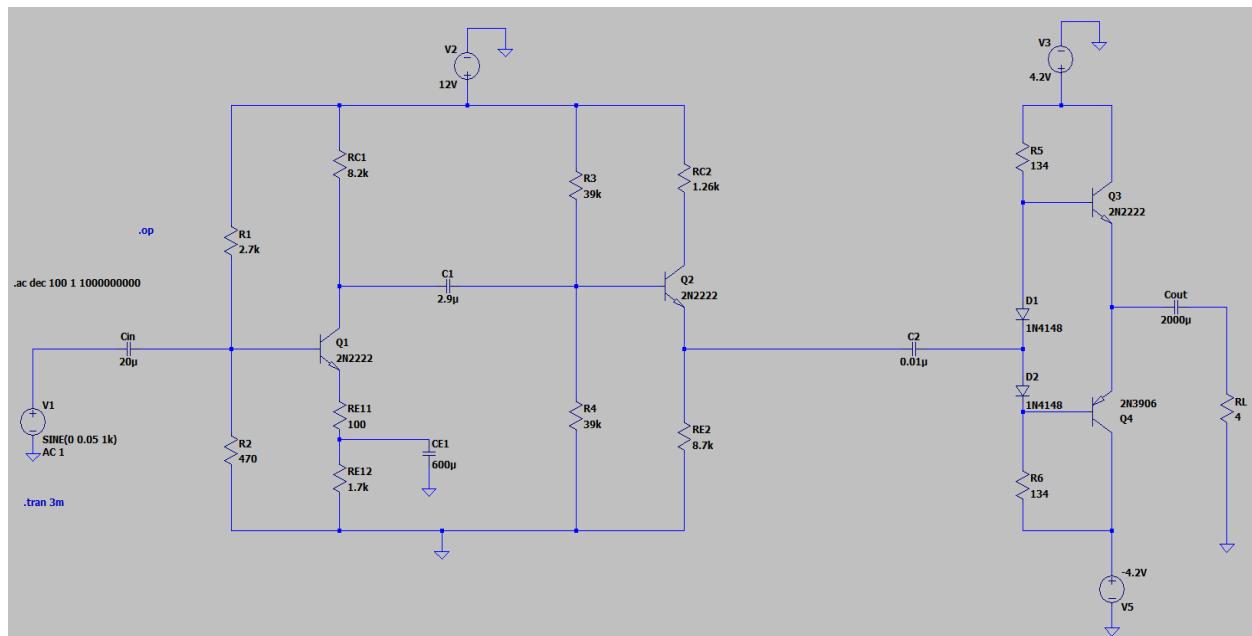
$$R_{eq} = R_{E11} || (R_1 || R_2 || r_\pi) = 482,64 \Omega$$

$$f_{H1} = \frac{1}{2\pi(C_{eq} + C_{be}) \cdot R_{eq1}} = 301,15 \text{ kHz}$$

2. Mô phỏng:

2.1. Mô hình mạch thiết kế:

*Mô hình mô phỏng trên LTSpice:



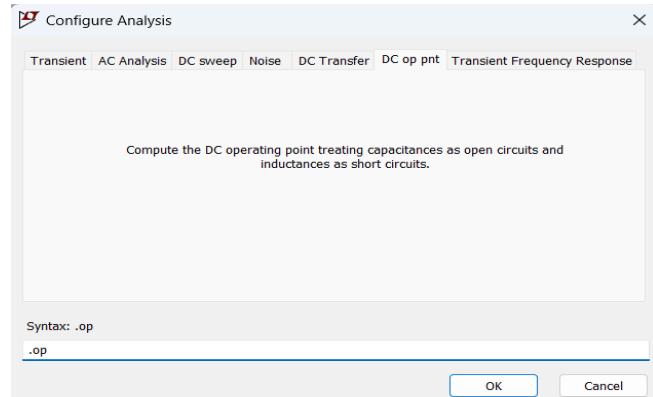
*Các thông số mô phỏng:

- Phân cực tĩnh DC
- Độ lợi Av
- Băng thông (Đáp ứng tần số)

2.2. Kết quả mô phỏng:

* Đo mạch ở chế độ DC:

Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn DC op pnt.



- Các giá trị sau khi đã chọn ở phần trên, ta tiến hành chạy mô phỏng để kiểm nghiệm lại các kết quả tính toán. Sau đây là sơ đồ mạch trong LTspice của nhóm chúng em. Bấm Run, ta thu được các thông số bên dưới đây.

| | | |
|-----------|--------------|----------------|
| V(n004) : | 1.07285 | voltage |
| V(n001) : | 12 | voltage |
| V(vc1) : | 6.84963 | voltage |
| V(vc2) : | 11.2357 | voltage |
| V(vc3) : | 4.2 | voltage |
| V(ve4) : | 2.80895e-15 | voltage |
| V(vb4) : | -0.708827 | voltage |
| V(n002) : | 2.24716e-29 | voltage |
| V(vin) : | 0 | voltage |
| V(vb1) : | 1.77798 | voltage |
| V(vb2) : | 5.94372 | voltage |
| V(ve2) : | 5.30266 | voltage |
| V(ve1) : | 1.13596 | voltage |
| V(vb3) : | 0.708827 | voltage |
| V(vc4) : | -4.2 | voltage |
| V(n003) : | 3.10862e-15 | voltage |
| I(V1) : | 3.55596e-17 | device_current |
| I(R3) : | 0.000155289 | device_current |
| I(RC2) : | 0.000606615 | device_current |
| Ic(Q2) : | 0.000606615 | device_current |
| Ib(Q2) : | 2.88616e-06 | device_current |
| Ie(Q2) : | -0.000609501 | device_current |
| Is(Q2) : | 0 | device_current |
| I(R5) : | 0.0260535 | device_current |
| I(Cout) : | -5.6179e-30 | device_current |
| I(RE11) : | 0.000631089 | device_current |
| I(V5) : | 0.388988 | device_current |
| I(Cin) : | 3.55596e-17 | device_current |
| I(RC1) : | 0.000628094 | device_current |
| I(RE12) : | 0.000631089 | device_current |
| I(V2) : | -0.00517593 | device_current |
| Ic(Q4) : | -0.362935 | device_current |
| Ib(Q4) : | -0.0127949 | device_current |
| Ie(Q4) : | 0.37573 | device_current |
| Is(Q4) : | 0 | device_current |
| I(V3) : | -0.388988 | device_current |
| I(R2) : | 0.00378294 | device_current |
| I(RE2) : | 0.000609501 | device_current |
| I(R4) : | 0.000152403 | device_current |
| Ic(Q1) : | 0.000628094 | device_current |
| Ib(Q1) : | 2.99484e-06 | device_current |
| Ie(Q1) : | -0.000631089 | device_current |
| Is(Q1) : | 0 | device_current |
| I(R6) : | 0.0260535 | device_current |
| I(RL) : | 5.6179e-30 | device_current |
| I(CE1) : | 6.43711e-16 | device_current |
| I(R1) : | 0.00378593 | device_current |
| Ic(Q3) : | 0.362935 | device_current |
| Ib(Q3) : | 0.0127949 | device_current |

- Transistor Q1:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân B và E đo được:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 1,77798 - 1,13596 = 0,64202(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 6,84963 - 1,13596 = 5,71367(V)$$

+ Dòng I_{CQ} đo được: $I_{CQ} = 0,628094(mA)$.

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q1:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,628094 \times 10^{-3}}{1,40482 \times 10^{-6}} = 299,2746402 \approx 300$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q1: **Q1(5,71V; 0,63mA)**.

- Transistor Q2:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân B và E đo được:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 5,94372 - 5,30266 = 0,64106(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 11,2357 - 5,30266 = 5,93304(V)$$

+ Dòng I_{CQ} đo được: $I_{CQ} = 0,606615(mA)$.

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q2:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,606615 \times 10^{-3}}{2,88616 \times 10^{-6}} \approx 210$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q2: **Q2(5,93V; 0,61mA)**.

- Transistor Q3:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân B và E đo được:

$$V_{BE} = V_B - V_E = 0,708827 - 0 = 0,708827(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 4,2 + 0 = 4,2(V)$$

+ Dòng I_{CQ} đo được: $I_{CQ} = 0,362935(A)$.

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q2:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,362935}{0,0127949} \approx 29$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q3: **Q3(4,2V; 0.36A)**.

- Transistor Q4:

+ Chênh lệch điện áp giữa hai chân E và B đo được:

$$V_{EB} = V_E - V_B = 0 + 0.708827 = 0,832846(V)$$

+ Điện áp phân cực tĩnh:

$$V_{EC} = V_E - V_C = 0 + 4,2 = 4,2(V)$$

+ Dòng I_{CQ} đo được: $I_{CQ} = 0.362935(A)$.

+ Xác định hệ số khuếch đại dòng Q2:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,362935}{12,7949 \times 10^{-3}} \approx 29$$

Qua đó, ta xác định được điểm hoạt động của BJT Q2: **Q2(4,2V; 0.36A)**.

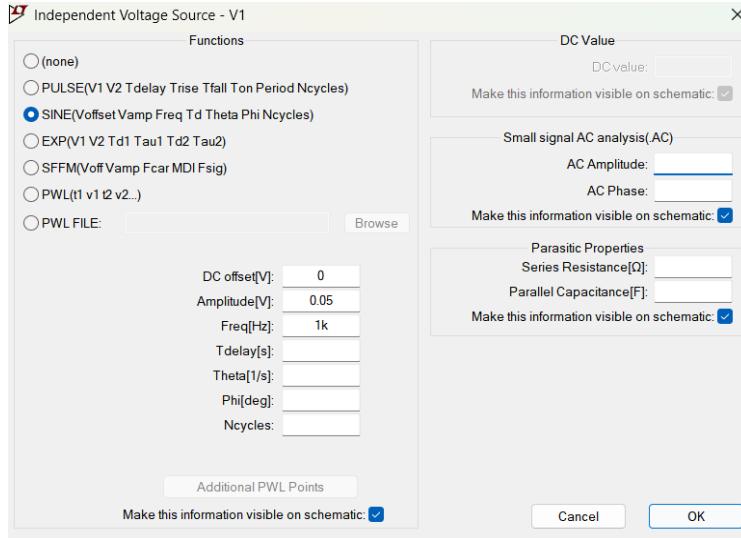
Đo độ lợi áp:

Ta có công thức độ lợi áp: $A_v = \frac{V_{outpp}}{V_{inpp}}$. Để tính được độ lợi áp ta cần giá trị V_{outpp}

và V_{inpp} do đó ta sẽ mô phỏng dạng sóng ngõ vào và ngõ ra.

Đặt giá trị cho nguồn V_{in} .

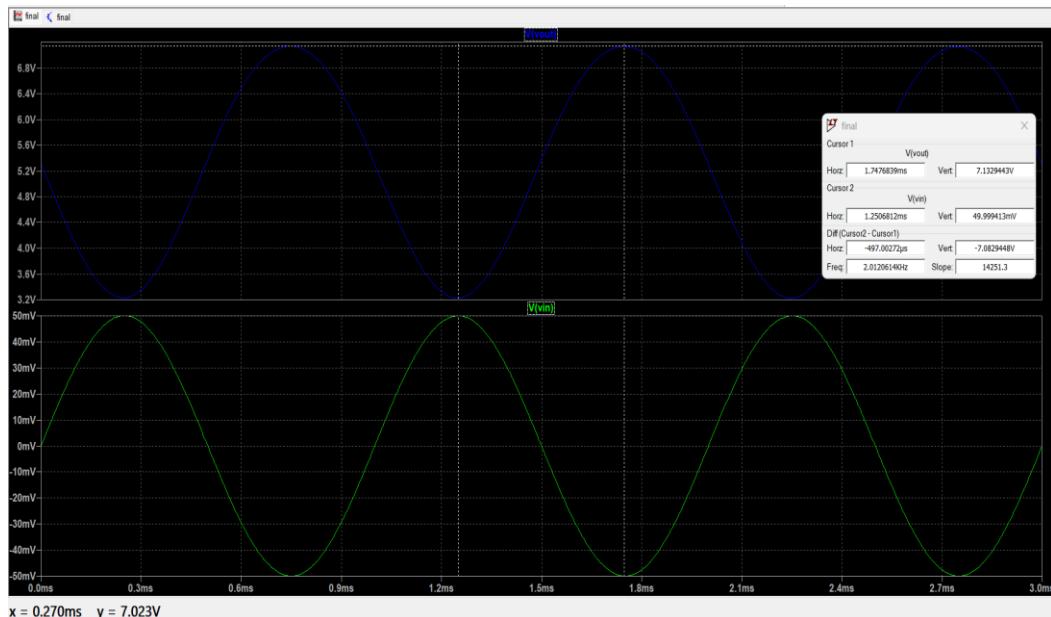
Nguồn V_{in} ta chọn sóng SINE, $V_{pp}=100mV$ nên ta đặt giá trị 0.05V cho Amplitude và tần số 1000 Hz cho Freq.



Đặt ché độ mô phỏng.

Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn Transient. Đặt Stop time bằng 3m sau đó Run để chạy.

Kết quả thu được:



Qua đó, ta đo được giá trị $V_{outpp} \approx 3,9329443V$ và $V_{inpp} = 0,099V$.

Ta có công thức độ lợi áp:

$$|A_v| = \left| \frac{V_{outpp}}{V_{inpp}} \right| = \frac{3,9329443}{0,099} = 39,7267101(V/V)$$

Do ngược pha nên : $A_v = -39,7267101(V/V)$.

Theo lý thuyết: $A_v = -40(V/V)$.

Ta tính được sai số: $\sim 0,68\%$.

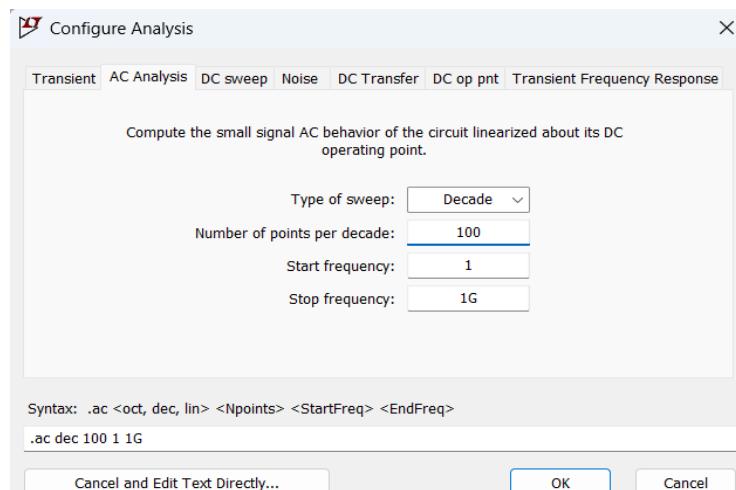
Đo tần số thấp và tần số cao:

Đặt chế độ nguồn cho V_{in} .

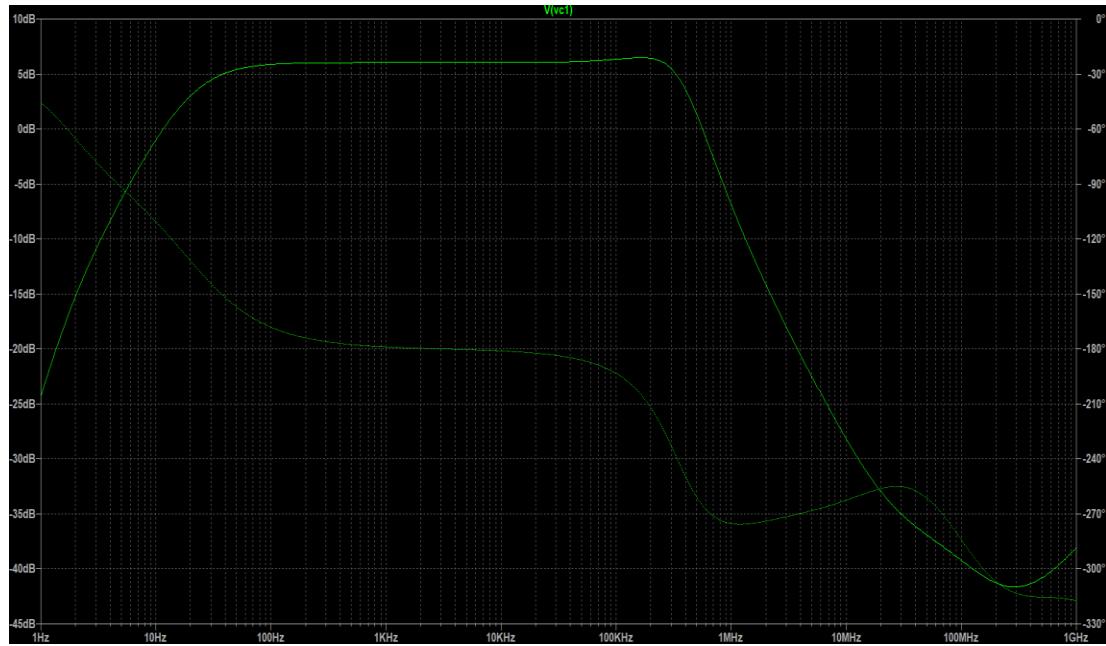
Ta chỉnh nguồn áp ở chế độ Small signal analysis (AC) với Amplitude là 0.05.

Đặt chế độ mô phỏng.

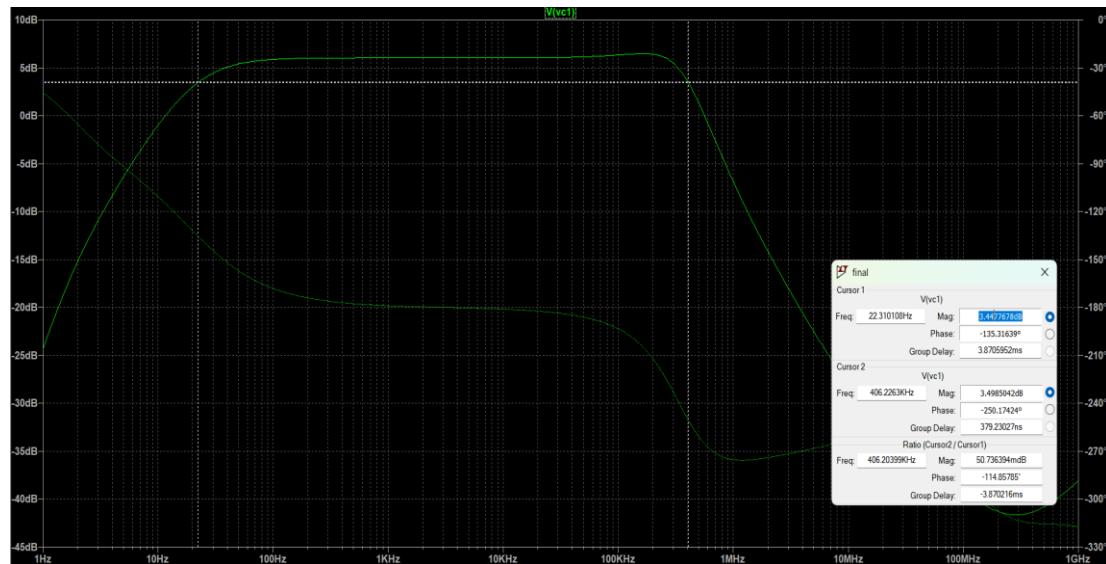
Ta chọn Simulate sau đó chọn Configure Analysis rồi chọn AC Analysis:



Ta thu được đồ thị như sau:



Đọc giá trị của đỉnh và trừ đi $3dB$, ta thu được tần số cắt thấp và tần số cắt cao:



Đọc giá trị từ cursor1 và cursor2 ta có: $f_L = 22,310108Hz$ và $f_H = 406,2263KHz$. Qua đó, theo mô phỏng ta có được bảng thông trong khoảng $15Hz-500KHz$, đạt yêu cầu của đề tài.

C. Tài liệu tham khảo

- [1]. TechSound-<https://www.techsound.vn>
- [2]. Electronics-tutorials-<https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/class-ab-amplifier.html>
- [3]. WikiPedia-https://en.wikipedia.org/wiki/Power_amplifier_classes
- [4]. Dbacousticvn-<https://dbacoustic.vn/>
- [5]. Điện tử tương lai-<https://vinafe.com/>
- [6]. Hatech-<https://linhkienhatech.com/blogs/news/tai-lieu-ve-mach-khuech-dai-su-dung-transistor>
- [7]. Nisshinbo-microdevices-<https://www.nisshinbo-microdevices.co.jp/en/design-support/basic-opamp/>
- [8]. Cửu chưong thần công-https://cuuduongthancong.com/sjdt/mach-dien-tu-nang-cao/nguyen-thanh-tuan/dh-bach-khoa-hcm#google_vignette

LỜI KẾT THÚC

Trong quá trình thực hiện bài tập lớn môn Mạch điện tử, nhóm chúng em đã có cơ hội tiếp cận sâu hơn với các phần mềm mô phỏng, linh kiện điện tử cũng như quy trình tính toán và thiết kế mạch. Dưới sự hướng dẫn tận tình của thầy, nhóm đã từng bước xây dựng kế hoạch rõ ràng và phân công công việc hợp lý cho từng thành viên, từ đó phối hợp hiệu quả để hoàn thành đề tài.

Sau nhiều nỗ lực nghiên cứu và thử nghiệm, nhóm đã thu được kết quả khả quan: đạt được độ lợi khuếch đại điện áp xấp xỉ 40; ngõ ra công suất được khuếch đại đến 2W; băng thông từ 15 – 500kHz. Thành quả này là kết tinh của sự cố gắng, tinh thần học hỏi không ngừng và sự đoàn kết giữa các thành viên trong nhóm. Dẫu vậy, trong quá trình thực hiện, nhóm cũng gặp không ít khó khăn và thử thách bất ngờ, giúp chúng em rèn luyện thêm bản lĩnh và kinh nghiệm thực tiễn.

Thông qua bài báo cáo này, nhóm rất mong nhận được những nhận xét và góp ý quý báu từ thầy để có thể hoàn thiện hơn không chỉ về sản phẩm bài tập lớn này, mà còn nâng cao kiến thức và kỹ năng chuyên môn trong lĩnh vực mạch điện tử.

Cuối cùng, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến thầy vì đã luôn tận tâm chỉ dẫn và hỗ trợ chúng em trong suốt quá trình học tập và thực hiện đề tài. Kính chúc thầy dồi dào sức khỏe, hạnh phúc và thành công trong sự nghiệp.