

1.2.6. phân cực cho transistor lưỡng cực – BJT

1.2.6.1. giới thiệu

để transistor lưỡng cực hoạt động ta phải phân cực cho nó , nghĩa là đưa một điện áp một chiều từ bên ngoài vào chuyển tiếp emitter và collector với giá trị và cực tính phù hợp. Điện áp một chiều này sẽ thiết lập chế độ một chiều cho transistor. Khi phân cực nếu :

Chuyển tiếp emitter phân cực thuận, chuyển tiếp collector phân cực ngược transistor sẽ hoạt động trong vùng tích cực. Khi tính toán chế độ một chiều trong vùng này ta thường sử dụng các công thức :

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_E = (+1)I_B \quad I_C$$

$$I_C = I_B$$

Chuyển tiếp emitter phân cực ngược, transistor sẽ làm việc trong vùng cắt.

Chuyển tiếp emitter và collector đều phân cực thuận , transistor sẽ làm việc trong vùng bảo hòa .

Chú ý rằng, để transistor khuếch đại tín hiệu phải phân cực cho nó hoạt động ở vùng tích cực.

Điểm làm việc tĩnh

Khi phân cực cho transistor, dòng điện và điện áp một chiều sẽ thiết lập cho transistor một điểm làm việc cố định trên đặc tuyến ra, điểm này gọi là điểm làm việc tĩnh (còn gọi là điểm công tác tĩnh và thường ký hiệu là Q). Để transistor khuếch đại được tín hiệu, điểm làm việc tĩnh Q phải nằm trong vùng tích cực, nếu chọn được điểm Q thích hợp thì biên độ tín hiệu ra có thể lớn mà không bị méo (thường là giữa đặc tuyến ra)

1.2.6.2. Phân cực cố định

Sơ đồ mạch phân cực cố định được cho trên hình 1.17

Với transistor pnp, sơ đồ , các công thức và cách tính hoàn toàn tương tự , bằng cách thay đổi chiều dòng điện và cực của điện áp cung cấp .

#####18

Để phân tích chế độ một chiều ta có thể bỏ các tụ điện và sử dụng sơ đồ tương đương hình 1.17b

+ Xét vòng Base – emitter (hình 1.18)

Viết định luật kirchhoff cho vòng điện áp ta được :

$$U_{CC} - I_B R_B - U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

#####18

Theo công thức trên , điện áp U_{CC} , U_{BE} luôn không đổi, vì thế giá trị R_B sẽ quyết định giá trị dòng điện I_B , và dòng I_B này sẽ không đổi (vì vậy nên gọi là phân cực cố định).

+ Xét dòng collector – emitter (hình 1.19)

Giá trị dòng I_C chạy qua điện trở R_C được tính theo công thức

$$I_C = I_B$$

Chú ý rằng , dòng I_B phụ thuộc vào giá trị R_B , mà I_C tỷ lệ với I_B theo một hằng số , vì vậy giá trị của I_C không phụ thuộc vào điện trở R_C . Khi thay đổi R_C dòng I_B và I_C không đổi. tuy vậy ta sẽ thấy giá trị R_C quyết định giá trị U_{CE} mà U_{CE} là một tham số rất quang trọng .

Aùp dụng định luật Kirchoff cho vòng collector – emitter(hình 1.19)ta có:

$$U_{CE} + I_C R_C - U_{CC} = 0$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

$$\text{Ta có : } U_{CE} = U = - U_E$$

Với U_C, U_E lần lượt là điện thế của các cực collector và emitter

#####19

Ví dụ 1.1

Cho mạch điện như hình 1.20 Hãy tính các giá trị của chế độ một chiều $I_B, I_C, U_{CE}, U_C, U_{BE}$.

#####19

Giải

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0,7V}{240k} = 47,08 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \cdot 47,8 \mu A = 2,35mA$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 6,83V$$

$$U_B = U_{BE} = 0,7V$$

$$U_C = U_{CE} = 6,83V$$

$$U_{BC} = U_B - U_C = 0,7 - 6,83 = -6,13V$$

Trong trường hợp này : $U_E = 0V$, nên $U_{CE} = U_C$

Ngoài ra , $U_{CE} + U_B - U_E$ suy ra $U_{BE} = U_B$

+ Đường tải tĩnh

Đường tải tĩnh là đường quan hệ giữa dòng điện và điện áp ra trong chế độ một chiều . Đường tải tĩnh được vẽ trên đặc tuyến ra, điểm làm việc tĩnh Q sẽ nằm trên đường này

Đối với sơ đồ mạch như hình 1.19, quan hệ giữa dòng điện ra I_C và điện áp ra U_{CE} khi có tải R_C :

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C$$

Phương trình trên chính là phương trình đường tải tĩnh. Để vẽ đường tải tĩnh ta

cần xác định hai điểm:Điểm thứ nhất ta cho $U_{CE} = 0$ suy ra $I_C = \frac{U_{CC}}{R_C}$, điểm thứ hai

ta cho $I_C = 0$ suy ra $U_{CE} = U_{CC}$ với hai điểm này ta vẽ được đường tải tĩnh như hình 1.21

#####20

Nếu thay đổi giá trị điện trở R_B sẽ làm cho I_B thay đổi, khi đó đường tải tĩnh không đổi, nhưng điểm làm việc tĩnh Q sẽ dịch lên hoặc xuống (hình 1.21)

Khi giữ nguyên giá trị R_C và thay đổi nguồn U_{CC} thì đường tải tĩnh sẽ dịch chuyển như hình 1.22a

Trong trường hợp thay đổi giá trị điện trở R_C và giữ nguyên nguồn U_{CC} sẽ làm đường tải tĩnh thay đổi như hình 1.24b

#####21

ví dụ 1.2 cho mạch phân cực cố định có đường tải tĩnh và điểm làm việc tĩnh Q như hình 1.23. hãy tính các giá trị U_{CC} , R_B , R_C

Giải

#####21

Từ hình 1.23 ta có .

Tại IC = 0

$U_{CE} = U_{CC} = 15V$

Tại UCE = 0

$$I_C = \frac{U_{CC}}{R_C} = 6mA$$

$$R_C = \frac{U_{CC}}{I_C} = \frac{15V}{6mA} = 2,5k$$

lấy $U_{BE} = 0,7V$, ta có

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_B} = \frac{15V - 0,7V}{3 F} = 4,77M$$

+ Transistor bảo hoà

Theo đặc tuyến của transistor, khi transistor bảo hoà thì $U_{CE} = 0V$ do đó dòng điện collector bảo hoà I_{cbh} sẽ là dòng I_{Cmax} và được tính theo công thức :

$$I_{cbh} = I_{Cmax} = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

Mạch phân cực ổn định cực emitter

Mạch phân cực ổn định cực emitter như hình 1.24 điện trở R_E được mắc thêm để tăng độ ổn định hơn so với mạch phân cực cố định (điều này). Trước hết xét vòng emitter – collector.

#####22

+ vòng base – collector (hình 1.25)

Theo định luật kirchhoff ta có phương trình

$$+U_{CC} - I_B R_B - U_{BE} - I_E R_E = 0$$

Ta đã biết $I_E = (+1) I_B$

Thay vào phương trình ta có :

$$+U_C - I_B R_B - U_{BE} - (+1) I_B R_E = 0$$

Rút I_B ta được :

$$I_B = \frac{U_{cc} - U_{BE}}{R + (+1) R_E}$$

#####22

Với công thức trên ta có thể vẽ một mạch nối tiếp như hình 1.26

Trong trường hợp này, điện áp U_{EB} từ base đến emitter được điện trở R_E phản hồi trở về đầu vào với hệ số (+1). Nói cách khác điện trở cực E là linh kiện trong vòng emitter – collector xuất hiện với $R_i = (+1) R_E$ trong vòng base – collector .

+ Vòng emitter – collector (hình 1.27)

Theo định luật kirchhoff ta có kết quả :

$$I_{E}R_{E} + U_{CE} + I_{C}R_{C} - U_{CC} = 0$$

Thay thế $I_E = I_C$ và nhóm các số hạng ta có :

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

Điện áp U_E được xác định bằng :

$$U_E = I_E R_E$$

#####22

Trong khi điện áp từ cực C tới mát là :

$$U_C = U_{CE} + U_E$$

$$\text{Hoạt : } U_C = U_{CC} - I_C R_C$$

Điện áp tại cực B có thể xác định từ : $U_B - I_B R_B$ hoặc $U_B = U_{BE} + U_E$

Ví dụ 1.3 với mạch phân cực emitter 1.28 xác định: $U_{CE}, U_{BE}, U_B, U_E, U_C, I_B, I_E$

#####23

giải

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + (1)R_E} = \frac{20V - 0,7V}{430k + 51k} = 40,1 \mu A$$

$$I_C = I_B = (50) \cdot (40,1 \mu A) = 2,01 \text{mA}$$

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

$$= 20V - (2,01 \text{mA})(2k + 1K) = 13,97V$$

$$U_C = U_{CC} - I_C R_C = 20V - (2,01 \text{mA})(2K) = 20V - 4,02V = 15,98V$$

$$U_E = U_C - U_{CE} = 15,98V - 13,97V = 2,01V \text{ hoặc ta có thể tính theo công thức:}$$

$$U_E = U_{CC} - I_C R_C = (2,01 \text{mA})(1K) = 2,01V$$

$$U_B = U_{BE} + U_E = 0,7V + 2,01V = 2,71V$$

$$U_{BE} = U_B - U_C = 2,71V - 15,98V = -13,27V$$

+ Mức bảo hoà

mức bảo hoà cực C hoạt động cực C cực đại với mạch phân cực emitter có thể xác định tương tự như mạch phân cực cố định :

$$I_{C_{bh}} = I_{C_{max}} = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$

+ Đường tải tĩnh xác định giống phương pháp xác định đường tải tĩnh ở mục 1.2.6.2

1.2.6.3. mạch phân áp

Trong các mạch phân cực trước, sự phân cực dòng điện I_{CQ} và điện áp U_{CEQ} là một hàm số của hệ số khiếch đại dòng điện (β). Trong khi đó, β là nhạy cảm với nhiệt độ, đặt biệt là chất silicon, giá trị thực tế của β thường không được xác định chính xác. Vì thế, xây dựng được một mạch phân cực mà ít phụ thuộc, hoạt động lập với β là vô cùng quang trọng. Với sơ đồ của mạch phân áp như hình 1.29, nếu chọn được các tham số của mạch hoàn hảo thì dòng điện I_{CQ} và điện áp U_{CEQ} có thể hoàn toàn độc lập với β .

Hình 1.29

+ Tính toán các tham số trong mạch

Đầu vào của sơ đồ hình 1.29 có thể vẽ lại như hình 1.30
 Sử dụng định lý Thevenin ta có thể tính được dòng I_B như sau:
 Ngắn mạch nguồn cấp U_{CC} (hình 1a) ta có:

$$R_{td} = R_1 // R_2$$

Nguồn tương đương U_{td} (hình 1b):

$$U_{td} = U_{R_2} = \frac{R_2 \cdot U_{CC}}{R_1 + R_2}$$

Hình 1.31

Từ sơ đồ tương đương thevenin (hình 1.32)

$$U_{td} - I_B \cdot R_{td} - U_{BE} - I_E \cdot R_E = 0$$

$$I_B = \frac{U_{td} - U_{BE}}{R_{td} + (1 + \beta) R_E}$$

Hình 1.32

Với I_B ta có thể xác định được I_C , từ đó xác định được U_{CE} theo công thức:

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

+ Phân tích gần đúng

Đầu vào của mạch phân áp có thể được vẽ như hình 1.33. trở kháng giữa base và emitter là $R_i = (1 + \beta) R_E$. Nếu $R_i \gg R_2$ thì dòng $I_B \ll I_1$, khi đó $I_2 \approx I_1$ và $I_B \approx 0$.

Do đó:

$$U_B = \frac{R_2 \cdot U_{CC}}{R_1 + R_2}$$

Vì $R_i = (1 + \beta) R_E \gg R_E$ khi phân tích gần đúng R_E phải thỏa mãn điều kiện:

$$R_E \gg 10 R_2$$

Điện áp và dòng điện cực E được tính:

$$U_E = U_B - U_{BE} = \frac{U_B}{1 + \beta} \approx \frac{U_B}{\beta}$$

Từ đó, điện áp U_{CE} được tính như sau:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Với cách tính như trên, rõ ràng I_{CQ} và U_{CEQ} hoàn toàn độc lập với β .

1.2.6.4. Mạch phân cực hoà tiếp âm điện áp

Mạch phân cực hoà tiếp âm điện áp có trên hình 1.35. một đường hồi tiếp từ cực C về cực B làm cho mạch đạt được sự ổn định đáng kể. Tuy nhiên điểm làm việc

Q (được xác định bởi I_{CQ} và U_{CEQ}) không hoàn toàn độc lập với β , nhưng ổn định hơn so với mạch phân cực cố định hoặc phân cực emitter.

Hình 1.35

+ Vòng base – emitter (hình 1.36)

Theo định luật Kirchhoff ta có kết quả sau:

$$U_{CC} - I_C R_C - I_B R_B - U_{BE} - I_E R_E = 0$$

Mặt khác: $I_C = IC + IB$. tuy nhiên, dòng IC và I_C quá lớn so với IB nên $I_C \approx IC$.

Thay thế $I_C \approx IC$ và $IE \approx IC$ sẽ có kết quả là:

$$U_{CC} - I_C R_C - I_C R_E - U_{BE} = 0$$

Rút gọn ta có

$$U_{CC} - U_{BE} - I_C(R_C + R_E) = 0$$

Vậy dòng IB là :

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_C + R_E}$$

Kết quả trên cho ta thấy phản hồi của điện trở RC trở lại đầu vào, tương đương với sự phản hồi của RE

Chú ý : với cách phân cực trên ta có một phương trình tổng quát tính IB như sau :

$$I_B = \frac{U' - U_{BE}}{R_B + R_C + R_E}$$

$$U' = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$\text{Và } U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Bạn đọc có thể tự chứng minh biểu thức trên

Ví dụ 1.5: Xác định IC và UCE trong hình 1.37.

#####27

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{9,3V}{250k + 53k} = 11,91 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = (90)(11,91 \mu A) = 1,07 mA$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10V - (1,07 mA)(4,7k + 1,2k) = 10V - 6,3V = 3,69V$$

Chế độ bảo hoà

Lấy xấp xỉ $I_C \approx IC$, phương trình dòng bảo hoà giống như mạch phân áp và phân cực emitter đó là:

$$I_{C_{bh}} = I_{C_{max}} = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$

Đường tải tĩnh

Nếu $I_C \approx IC$, đường tải tĩnh của mạch hồi tiếp điện áp được xác định tương tự như mạch phân áp và mạch phân cực emitter.

1.3.KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ DÙNG TRANSISTOR

Các kiểu phân cực đã được giới thiệu ở phần trước sẽ được sử dụng để phân tích tín hiệu xoay chiều nhỏ, các mạch được phân tích sau đây là những mạch điện thực tế thường được sử dụng. Để phân tích độ khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng BJT người ta dùng sơ đồ tương đương để phân tích. Khi vẽ sơ đồ tương đương đối với tín hiệu xoay chiều cần chú ý hai điểm sau:

Thiết lập tất cả các nguồn cấp một chiều ở mức điện thế 0V.(ngắn mạch nguồn cấp);

Ngắn mạch tất cả các tụ điện.

1.3.1.1. sơ đồ tương đương của mạch CB

Trên hình 1.38a là sơ đồ các mạch CB của transistor npn. Như phần trên chúng ta đã biết transistor được cấu tạo bởi ba lớp bán dẫn, tạo nên hai chuyển tiếp PN, vì thế ta coi chuyển tiếp emitter (giữa cực B và E) là một diode, ngoài ra vì $I_C = I_E$ nên giữa cực B và cực C được thay thế bằng một nguồn dòng có giá trị là I_E . Với sự thay thế đó ta có thể vẽ được sơ đồ tương đương như hình 1.38b.

#####28

Khi transistor được phân cực và hoạt động ở vùng tích cực thì chuyển tiếp emitter được phân cực thuận, khi đó diode D1 (trong sơ đồ tương đương) tương đương với một điện trở có giá trị bằng điện trở thuận của diode, điện trở này được ký hiệu là r_e và được tính theo công thức:

$$r_e = \frac{U_T}{I_E}$$

Với U_T là điện thế nhiệt, ở nhiệt độ bình thường $U_T = 26\text{mV}$

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E}$$

Như vậy sơ đồ tương đương của mạch BC được vẽ lại như hình 1.39. với sơ đồ tương đương như hình 1.39 ta có thể tính được trở kháng vào và ra của mạch như sau:

$$Z_V = r_e$$

Giá trị r_e rất nhỏ, tối đa là 50

Trở kháng ra được tính khi cho tín hiệu vào bằng không, vì thế $I_E = 0$ nên $I_C = I_E = 0$, nghĩa là đầu ra của hình 1.39 hở mạch, do đó:

$$Z_r =$$

Thực tế trở kháng ra của mạch CB cỡ vài M.

1.3.1.2. sơ đồ tương đương của mạch CE

Tương tự với cách mắc CB, ta có thể vẽ được sơ đồ tương đương của mạch CE như hình 1.40.

#####29

Theo sơ đồ ta có:

$$Z_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{U_{BE}}{I_B} = \frac{I_B r_e}{I_B} = r_e$$

#####29

Sơ đồ tương đương hình 1.40b không xác định được trở kháng ra, thực tế trở kháng ra được xác định theo độ dốc của đường đặc tuyến ra (hình 1.41).

Giả sử trở kháng ra của mạch CE là $Z_r = r_0$.

Với trở kháng vào là r_e , trở kháng ra là r_0 ta vẽ lại được sơ đồ tương đương của CE như hình 1.42.

#####29

1.3.1.3. sơ đồ tương đương của mạch CC

Tương tự như cách mắc CE, ta sẽ có sơ đồ tương đương của mạch CC. sơ đồ tương đương này sẽ được vẽ trong mạch cụ thể ở phần sau.

1.3.2. các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ thông dụng dùng BJT

1.3.2.1. mạch phân cực cố định mắc E chung.

Sơ đồ mạch như hình 1.43

#####30

Tín hiệu vào UV được đưa đến cực B của transistor trong khi đầu ra Ur lấy ra từ cực C. để dàng nhận ra dòng IV là dòng nguồn không phải dòng cựcB, trong khi dòng ra Ir lại là dòng cực C.

Với tín hiệu AC, ta có thể vẽ lại sơ đồ như hình 1.44.

#####30

Đây là mạch mắc theo kiểu CE nên ta có thể vẽ sơ đồ tương đương như hình 1.45.

#####30

Chú ý rằng, hệ số β_0, r_e được tra từ bản các thông số kỹ thuật hoặc đặc tuyến ra.

Như vậy β_0, r_e, r_0 coi như đã biết

Từ hình 1.45 cho thấy:

Trở kháng vào của mạch:

$$Z_v = R_B // r_e$$

Với giá trị RB thường lớn hơn 10 lần r_e , do đó cho phép tính gần đúng:

$$Z_v = r_e$$

Trở kháng ra Zr được xác định khi cho UV = 0. trên hình 1.45 khi UV = 0, IV = IB = 0, với mạch hở nguồn dòng ta có:

$$Z_v = R_C // r_0$$

Nếu $r_0 \geq 10R_C$ thì $Z_r = R_C$

Hệ số khuếch đại điện áp KU được tính như sau:

$$U_r = I_b(R_C // r_0) \text{ nhưng } I_b = \frac{U_v}{r_e}$$

$$U_r = \frac{U_v}{r_e} (R_C // r_0)$$

$$K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{(R_C // r_0)}{r_e} \text{ nếu } r_0 \geq 10R_C \text{ thì } K_u = \frac{R_C}{r_e}$$

Trong phương trình trên, không có β_0 , tuy nhiên giá trị của β_0 được dùng để xác định r_e , dấu trừ thể hiện điện áp ra ngược chiều điện áp vào.

Hệ số khuếch đại dòng điện được xác định theo cách sa:

Theo luật phân dòng cho đầu vào và đầu ra.

$$I_r = \frac{(r_0)(I_b)}{r_0 + R_C} \text{ nên } \frac{I_r}{I_b} = \frac{r_0}{r_0 + R_C}$$

$$I_b = \frac{(R_B)(I_v)}{R_B + r_e} \text{ nên } \frac{I_b}{I_v} = \frac{R_B}{R_B + r_e}$$

Kết quả:

$$K_i = \frac{I_r}{I_b} \cdot \frac{I_b}{I_v} = \frac{r_0}{r_0 + R_C} \cdot \frac{R_B}{R_B + r_e} = \frac{R_B r_0}{(r_0 + R_C)(R_B + r_e)}$$

Nếu $r_0 \geq 10R_C$ và $R_B \geq 10 r_e$ thì:

$$K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{R_B r_0}{(r_0)(R_B)}$$

Quan hệ giữa K_u và K_i được thể hiện qua công thức sau:

$$K_i = K_u \frac{Z_v}{R_C}$$

Ví dụ 1.9. với sơ đồ 1.46.

1 xác định r_e

2 tìm Z_v, Z_r, K_u, K_i với $r_0 =$

3 tìm Z_v, Z_r, K_u, K_i với $r_0 = 50k$ rồi so sánh kết quả

#####32

Giải

1 phân tích DC

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0,7V}{470k} = 24,04 \text{ A}$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = (101)(24,04 \text{ A}) = 2,428mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2,428mA} = 10,71k$$

$$2 \text{ } r_e = (100)(10,71) = 1,071k$$

$$Z_v = R_B // r_e = 470k // 1,071k = 1,069k$$

$$Z_r = R_C = 3k$$

$$Z_u = \frac{R_C}{r_e} = \frac{3k}{10,71k} = 280,11$$

$$\text{Vì } R_B = 10 r_e = 470k > 10,71k$$

$$K_i = 100$$

$$3. Z_r = r_0 // R_C = 50k // 3k = 2,83k \text{ so sánh với } 3k$$

$$K_u = \frac{r_0 // R_C}{r_e} = \frac{2,83k}{10,71} = 264,24 \text{ so sánh với } -281,11$$

$$K_i = \frac{R_B r_0}{(r_0 + R_C)(R_B + r_e)} = \frac{100 \cdot 470k \cdot 50k}{50k \cdot 30k + 470k \cdot 1,071k}$$

Kiểm tra:

$$K_i = K_u \frac{Z_v}{R_C} = \frac{264,24 \cdot 1,0069k}{3k} = 94,16$$

Qua ví dụ này cho thấy việc lấy $r_0 =$ và $r_0 = 5k$ để tính Z_v, Z_r, K_u, K_i sai lệch nhau không đáng kể. Vì vậy khi tính toán mạch cho đơn giản có thể coi $r_0 =$ để tính các tham số.

1.3.2.2. Mạch phân áp

Mạch phân áp như hình 1.47.

#####33

Sơ đồ tương đương như hình 1.4. chú ý, trong sơ đồ tương đương không có RE là do ở tần số hoạt động của transistor, giá trị dung kháng rất nhỏ nên ta coi ngắn mạch RE đối với tín hiệu AC ,

Trở kháng vào ZV:

$$Z_v = R' // r_e$$

#####33

$$\text{Với } R' = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Trở kháng ra:

$$Z_r = R_C // r_0$$

$$r_0 = 10R_C \quad Z_r = R_C$$

Hệ số khuếch đại điện áp K_u được tính như sau:

$$U_r = I_b R_C // r_0$$

$$\text{Vì } I_b = \frac{U_v}{r_e} \text{ do đó } U_r = \frac{U_v}{r_e} R_C // r_0$$

$$\text{Nếu } r_0 \geq 10R_C \text{ thì } K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_C}{r_e}$$

Hệ số khuếch đại dòng điện K_i

Sơ đồ hình 1.48 giống với 1.45 nếu ta coi $R' = R_1 // R_2 = R_B$ do đó ta có:

$$K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{R' r_0}{r_0 R_C + R' r_e}$$

Nếu $r_0 \geq 10R_C$ thì

$$K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{R' r_0}{R' r_e} = \frac{R'}{r_e}$$

$$\text{Và nếu } R' \geq 10 r_e \text{ thì } K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{R'}{R'}$$

$$\text{Quan hệ giữa } K_u \text{ và } K_i \quad K_u = \frac{Z_v}{R_C}$$

Ví dụ 1: cho sơ đồ hình 1.49, xác định :

a) r_e, Z_v, Z_r, K_u, K_i với $r_0 =$

b) với $r_0 = 50k$ xác định các tham số trên và so sánh kết quả ra.

#####34

a) DC: Kiểm tra $R_E = 10R_2$

$$90 \text{ k} > 10 \cdot 8.2 \text{ k}$$

135k > 82k thỏa mãn

$$U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} = \frac{8.2K}{56k + 8.2K} \cdot 22V = 2.81V$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2.81 - 0.7 = 2.11V$$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2.11V}{1.5K} = 1.41mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{1.4mA} = 18.44$$

$$R' = R_1 // R_2 = 56k // 8,2k = 7,15k$$

$$Z_v = R' // r_e = 7,15k // 90 = 18,44$$

$$Z_r = R_C = 6,8k$$

$$K_u = \frac{R_C}{r_e} = \frac{6,8k}{18,44} = 368,76$$

Điều kiện $R' \geq 10 r_e$ ($7,15k \geq 10 \cdot 18,44 = 184,4$) không thỏa mãn. Nên

$$K_i = \frac{R'}{R' + r_e} = \frac{7,15k}{7,15k + 18,44} = 73,04$$

b) $Z_V = 1,35k$

$$Z_r = R_C // r_0 = 68k // 50k = 32,4k \text{ so sánh với } 6,8k$$

$$K_u = \frac{R_C // r_0}{r_e} = \frac{32,4k}{18,44} = 1759,22 \text{ so sánh với } 368,76$$

Điều kiện $r_0 \geq 10 R_C$ ($50k \geq 10 \cdot 6,8k = 68k$) không thỏa mãn, nên:

$$K_i = \frac{R' r_0}{r_0 R_C + R' r_e} = \frac{90 \cdot 7,15k \cdot 50k}{50k \cdot 6,8k + 7,15k \cdot 18,44} = 64,3 \text{ so sánh với } 73,04$$

Vì điều kiện $r_0 \geq R_C$ không thỏa mãn do đó K_i, K_u, Z_r có sai khác.

1.3.2.3. Mạch phân cực emitter

Sơ đồ mạch được cho trên hình 1.50

#####35

Sơ đồ tương đương như hình 1.51 sơ đồ này có điện trở cực E, không thể bỏ qua được đối với thành phần AC.

Trên sơ đồ không có mặt r_0 . ảnh hưởng của r_0 làm cho việc phân tích rất phức tạp, nên trong thực tế hầu hết các trường hợp có thể bỏ qua.

Áp dụng định luật kirchhoff với đầu vào hình 1.51 ta có :

#####36

$$U_V = I_b r_e + I_e R_E$$

$$U_V = I_b r_e + 1 I_b R_E$$

$$Z_b = \frac{U_V}{I_b} = r_e + 1 R_E$$

Vì thường lớn hơn 1 do đó phương trình được rút gọn

$$Z_b = r_e + R_E$$

Vì R_E thường lớn hơn r_e rất nhiều nên : $Z_b \approx R_E$

Trở kháng vào: $Z_V = Z_b // R_b$

Trở kháng ra $Z_r: U_v = 0, I_b = 0$ và $I_b = 0$ sơ đồ 1.15 có thể thay thế bằng một mạch tương đương hở mạch. Kết quả là:

$$Z_r = R_C$$

Hệ số khuếch đại điện áp K_U được tính như sau:

$$I_b = \frac{U_V}{Z_b}$$

$$U_r = U_r R_C + I_b R_C = \frac{U_v}{Z_b} R_C$$

$$\text{Nên } k_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_C}{Z_b}$$

Tại thế $Z_b = (r_e + R_E)$ ta có

$$K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_C}{r_e + R_E}$$

Lấy xấp xỉ $Z_b \approx R_E$

$$K_u \approx \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_C}{R_E}$$

Hệ số khuếch đại dòng K_i :

Giá trị R_B thường chọn gần với Z_b nên cho phép xấp xỉ $I_b = I_v$. Theo luật phân dòng với mạch vào ta sẽ có kết quả:

$$I_b = \frac{R_B I_v}{R_B + Z_b} \text{ nên } \frac{I_b}{I_v} = \frac{R_B}{R_B + Z_b}$$

$$\text{Hơn nữa: } \frac{I_r}{I_b}$$

$$\text{Do đó: } K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{I_r}{I_b} \cdot \frac{I_b}{I_v} = \frac{R_B}{R_B + Z_b}$$

$$\text{Quan hệ giữa } k_i \text{ và } k_u: k_i = k_u \frac{Z_b}{R_C}$$

Ví dụ 1.18: cho sơ đồ hình 1.52 khi không có CE xác định:

#####37

- a) r_e
- b) Z_v
- c) Z_r
- d) K_u
- e) K_i

áp dụng công thức đã dẫn trên, bạn đọc tự tính với cả trường hợp có CE.

1.2.3.4. Mạch khuếch đại tải cực E (mắc CC)

#####37

Khi đầu ra được lấy từ cực E của transistor như hình 1.53. Sơ đồ mắc cực C chung.

Điện áp ra luôn nhỏ hơn tín hiệu vào chút ít bởi vì tiêu hao trên cực B tới cực E, do đó

$K_u < 1$ không giống như điện áp cực C, điện áp cực E cùng pha với U_v và điện áp U_r

U_v .

#####38

Với trở kháng vào lớn và trở kháng ra nhỏ, sơ đồ này thường được sử dụng để phối

hợp trở kháng. Hiệu quả của mạch có thể đạt được tương đương với một biến áp.

Bỏ qua ảnh hưởng của r_0 ta vẽ được mạch tương đương như hình 1.54. ảnh hưởng của r_0 sẽ được xét sau.

$$Z_v = R_b // Z_b$$

$$Z_b = r_e + (1 + \beta) R_E \quad R_E Z_r:$$

Trở kháng vào được xác định thông qua phương trình dòng điện I_b .

$$I_b = \frac{U_v}{Z_b}$$

Sau đó nhân với $(\beta + 1)$ để có I_e . Ta có:

$$I_e = (1 + \beta) I_b = (1 + \beta) \frac{U_v}{Z_b}$$

Thay $Z_b = R_E + (1 + \beta) r_e$

$$I_e = \frac{(1 + \beta) U_v}{R_E + (1 + \beta) r_e} = \frac{U_v}{\frac{R_E}{1 + \beta} + r_e}$$

Nhưng $(\beta + 1) = \frac{r_e}{r_e}$ và $\frac{r_e}{1} = r_e$

$$\text{Do đó } I_e = \frac{U_v}{r_e + R_E}$$

#####38

Với dòng I_e được xác định theo công thức trên ta có thể vẽ được mạch như hình 1.55.

Trở kháng ra được xác định khi $U_v = 0$ nên $Z_r = R_E // r_e$

Vì R_E thường lớn hơn r_e do đó:

$$Z_r \approx r_e$$

Hệ số khuếch đại điện áp K_u được tính :

$$U_r = \frac{R_E U_v}{R_E + r_e}$$

Do đó

$$K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

Vì R_E thường lớn hơn r_e nên $R_E + r_e \approx R_E$

$$K_u \approx \frac{U_r}{U_v} \approx 1$$

Hệ số khuếch đại dòng điện K_i :

$$I_b = \frac{R_B I_v}{R_B + Z_b} \text{ nên } \frac{I_b}{I_v} = \frac{R_B}{R_B + Z_b}$$

Và $I_r = R_E (\beta + 1) I_b$ nên $\frac{I_r}{I_b} = (\beta + 1) \frac{R_E R_B}{R_B + Z_b}$

$$\text{Do đó } K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{I_r I_b}{I_b I_v} = (\beta + 1) \frac{R_B R_E}{R_B + Z_b}$$

Vì $(\beta + 1) \frac{R_E R_B}{R_B + Z_b} \approx \frac{R_B R_E}{R_B + Z_b}$

Quan hệ giữa K_i và K_u : $K_i = K_u \frac{Z_v}{R_E}$

Xét ảnh hưởng của r_0 : Bằng việc tính toán chi tiết ta có:

$$Z_b = r_e \frac{1 + R_E}{1 + \frac{R_E}{r_0}}$$

Nếu điều kiện $r_0 \geq 10R_E$ được thỏa mãn nên có thể coi $1 + \frac{R_E}{r_0} \approx 1$:

$$Z_b = r_e \frac{1 + R_E}{1 + \frac{R_E}{r_0}} \approx r_e (1 + R_E)$$

$$Z_r = r_0 // R_E // \frac{r_e}{1}$$

Coi $+1 = Z_r = r_0 // R_E // r_e$ và vì $r_0 \gg r_e$, $Z_r = R_E // r_e$

$$K_u = \frac{1 + R_E / Z_b}{1 + \frac{R_E}{r_0}}$$

Nếu điều kiện $r_0 \geq 10R_E$ được thỏa mãn và coi $+1 = 1$

$$K_u = \frac{R_E}{Z_b}$$

Nhưng $Z_b = r_e (1 + R_E)$

$$\text{Do đó } K_u = \frac{R_E}{r_e (1 + R_E)} = \frac{R_E}{r_e R_E} = \frac{1}{r_e}$$

Ví dụ 1.9 cho sơ đồ hình 1.56 xác định

R_E, Z_v, Z_r, K_u, K_i , khi bỏ qua r_0 , khi $r_0 = 25k$ và so sánh kết quả

#####40

Giải:

Khi bỏ qua r_0 :

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + R_E} = \frac{12V - 0,7V}{220k + 101,3k}$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = 101 \cdot 20,42 \mu A = 2,062mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2,062mA} = 12,61 \Omega$$

$$Z_b = r_e (1 + R_E) = 100 \cdot 12,61 \Omega + 101,3k \approx R_E$$

$$Z_v = R_B // Z_b = 220k // 334,56k = 132,72k$$

$$Z_r = R_E // r_e = 3,3k // 12,61 \Omega = 12,56 \Omega$$

$$K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{3,3k}{3,3k + 12,61} = 0,996 \approx 1$$

$$K_i = \frac{R_B}{R_B + Z_b} = \frac{100 \cdot 220k}{220k + 334,56k} = 39,67$$

$$K_i = K_u \frac{Z_v}{R_E} = 0,996 \frac{132,72k}{3,3k} = 40,06$$

Khi $r_0 = 25k$

Điều kiện $r_0 \geq 10R_E$ không thỏa mãn nên:

$$Z_b = r_e \frac{1 + \frac{R_E}{r_0}}{\frac{R_E}{r_0}} = 100 \frac{1 + 12,61}{12,61} = \frac{100 \cdot 13,3k}{25k} = 295,7k$$

Với $Z_v = R_B // Z_b = 220k // 295,7k = 126,15k$ so sánh với $132,72k$ có được trước đó.

$Z_r = R_E // r_e = 12,56$ như có được trước đó.

$$K_u = \frac{1 + \frac{R_E}{Z_b}}{1 + \frac{R_E}{r_0}} = \frac{100 \cdot 13,3k / 295,7k}{1 + \frac{3,3k}{25k}} = 0,996 \approx 1$$

Phù hợp với kết quả trước.

Tuy nhiên với điều kiện $r_0 \geq 10R_E$ không thỏa mãn, kết quả Z_r, K_u như nhau, Z_v giảm không đáng kể. Từ đó ta thấy, thực tế có thể bỏ qua ảnh hưởng của r_0 với sơ đồ này.

1.3.2.5. MẠCH BASE CHUNG

#####41

Mạch base chung đặc trưng là trở kháng vào, trở kháng ra lớn và hệ số khuếch đại dòng nhỏ hơn mạch EC, trong khi hệ số khuếch đại điện áp rất lớn. Sơ đồ như hình 1.57.

Sơ đồ tương đương hình 1.58.

#####42

Theo sơ đồ hình 1.58

Trở kháng vào: $Z_v = R_E // r_e$

Trở kháng ra: $Z_r = R_C$

Hệ số khuếch đại điện áp được tính như sau:

$$U_r = I_r R_C = I_c R_C = I_e R_C$$

$$\text{Mà } I_e = \frac{U_v}{r_e}$$

$$\text{Do đó } U_r = \frac{U_v}{r_e} R_C$$

$$\text{Suy ra } K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_C}{r_e}$$

Hệ số khuếch đại dòng điện K_i :

Vì $R_E \gg r_e$ nên $I_V \approx -I_e$

Mặt khác $I_r = I_e = I_V$

$$\text{Suy ra } K_i = \frac{I_r}{I_v} = 1$$

1.3.2.6. MẠCH HỒI TIẾP AC TỪ CỰC C

#####42

Mạch hồi tiếp từ cực C về cực B như hình 1.59 để tăng độ ổn định của mạch.
 Với sơ đồ tương đương như hình 1.60. các bước thực hiện sau đây là kết quả của kinh nghiệm làm việc với mạch điện này.

Tính trở kháng vào Z_v :

#####42

$$I' = \frac{U_r - U_v}{R_F}$$

Với $U_r = I_r R_C$

Và $I_r = I_b = I'$

Vì I_b thường lớn hơn I'

$$I_r = I_b$$

$$U_r = I_b R_C = I' R_C$$

Nhưng $-I_b \frac{U_v}{r_e}$ nên

$$U_r = \frac{U_v}{r_e} R_C = \frac{R_C U_v}{r_e}$$

$$\text{Vì thế } I' = \frac{U_r - U_v}{R_F} = \frac{R_C U_v}{r_e R_F} - \frac{U_v}{R_F} = \frac{1}{R_F} \left(1 - \frac{R_C}{r_e} \right) U_v$$

Mặt khác $U_v = I_b r_e = I' r_e = I_v r_e = I' r_e$

$$U_v = I_v r_e = \frac{1}{R_F} \left(1 - \frac{R_C}{r_e} \right) r_e U_v$$

$$\text{Nên } U_v \left(1 - \frac{r_e}{R_F} \left(1 - \frac{R_C}{r_e} \right) \right) = I_v r_e$$

$$\text{Từ đó suy ra: } Z_v = \frac{U_v}{I_v} = \frac{r_e}{1 - \frac{r_e}{R_F} \left(1 - \frac{R_C}{r_e} \right)}$$

Nhưng R_C thường lớn hơn r_e nên $1 - \frac{R_C}{r_e} < 0$

$$\text{Do đó } Z_v = \frac{r_e}{1 - \frac{R_C}{R_F}} = \frac{r_e}{1 - \frac{R_C}{R_F}}$$

Trở kháng ra Z : Khi đầu vào $U_v = 0$ hình 1.60 được vẽ lại như hình 1.61. nếu bỏ qua ảnh hưởng của r_e thì:

$$Z_r = R_C // R_F$$

#####43

Hệ số khuếch đại điện áp được tính như sau:

Tại cực C (hình 1.60)

$$I_r = I_b = I'$$

Với giá trị $IB \gg I'$ và $I_r = I_b$

$$U_r = I_r R_C = I_b R_C$$

Thay $I_b = \frac{U_V}{r_e}$ ta có:

$$U_r = \frac{U_V}{r_e} R_C$$

$$\text{Do đó: } K_U = \frac{U_R}{U_V} = \frac{R_C}{r_e}$$

Hệ số khuếch đại dòng điện K_i :

Àp dụng định luật Kirchhoff cho vòng ra.

$U_V - U_{R_F} - U_r = 0$ tương đương với:

$$I_b r_e + (I_b + I_V) R_F - I_r R_C = 0$$

Với $I_r = I_b$ ta có $I_b r_e + I_b R_F + I_V R_F - I_b R_C = 0$

Nên $I_b r_e + R_F + R_C = I_V R_F$

Thay $I_b = \frac{I_r}{r_e}$ từ $I_r = I_b$ ta có:

$$\frac{I_r}{r_e} + R_F + R_C = I_V R_F$$

$$\text{Suy ra } I_r = \frac{R_F I_V}{r_e + R_F + R_C}$$

r_e rất nhỏ so với $R_F + R_C$, có thể bỏ qua nên:

$$K_i = \frac{I_r}{I_V} = \frac{R_F}{R_F + R_C}$$

Với $R_C \gg R_F$, thì

$$K_i = \frac{I_r}{I_V} = \frac{R_F}{R_C}$$

Ảnh hưởng của r_0

$$\text{ZV: tính chi tiết sẽ có kết quả } Z_V = \frac{1 + \frac{R_C // r_0}{R_F}}{\frac{1}{r_e} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_C // r_0}{R_F r_e}}$$

Thường R_F rất lớn nên $\frac{1}{R_F} \approx 0$ và điều kiện $R_0 \geq 10R_C$ thỏa mãn thì:

$$Z_V = \frac{1 + \frac{R_C}{R_F}}{\frac{1}{r_e} + \frac{R_C}{R_F r_e}}$$

Thường $\frac{R_C}{R_F} \ll 1$ nên:

$$Z_V \approx \frac{1}{\frac{1}{r_e} + \frac{R_C}{R_F r_e}} \approx \frac{r_e}{\frac{R_C}{R_F} + 1}$$

Giống kết quả trước:

$$Z_r \approx r_e \parallel R_C \parallel R_F$$

Với $r \geq 10R_C$

$Z_r \approx R_C \parallel R_F$ giống kết quả trước.

Với điều kiện chung $R_F \gg R_C$,

$$Z_r \approx R_C$$

$$K_u \approx \frac{\frac{1}{R_F} + \frac{1}{r_e} \parallel r_0 \parallel R_C}{1 + \frac{r_0 \parallel R_C}{R_F}}$$

Vì $R_F \gg r_e$:

$$K_u \approx \frac{\frac{r_0 \parallel R_C}{R_F} + \frac{r_e}{r_0 \parallel R_C}}{1 + \frac{r_0 \parallel R_C}{R_F}}$$

Với $r_0 \geq 10R_C$:

$$K_u \approx \frac{\frac{R_C}{r_e} + \frac{r_e}{R_C}}{1 + \frac{R_C}{R_F}}$$

Vì $\frac{R_C}{R_F} \ll 1$ thường nhỏ hơn 1 rất nhiều, nên:

$$K_u \approx \frac{R_C}{r_e}$$

Ví dụ 1.10: cho sơ đồ 1.62 xác định:

- a) r_e .
- b) Z_V .
- c) Z_r .
- d) K_u .
- e) K_i .
- f) Lặp lại từ b e với $r_0 = 20k$ và so sánh kết quả.

#####46

Bạn tự làm và cho nhận xét

1.3.2.7 Mạch hồi tiếp DC từ cực C

Sơ đồ mạch được cho trên hình 1.63, mạch có điện trở hồi tiếp một chiều để tăng độ ổn định, tụ C3 sẽ thay đổi tỷ lệ điện trở hồi tiếp từ đầu ra về thành phần đầu vào của mạch đối với thành phần xoay chiều.

Với tín hiệu xoay chiều tụ C3 coi như ngắn mạch thành phần xoay chiều xuống mát.

Do đó ta có sơ đồ tương đương như hình 1.64.

#####46

Trở kháng vào

$$Z_v = R_{F1} // r_e$$

Trở kháng ra

$$Z_r = R_C // R_{F2} // r_0$$

Với $r_0 \geq 10RC$:

$$Z_r = R_C // R_{F2}$$

#####47

Hệ số khuếch đại điện áp K_u được tính :

$$\text{Đặc } R' = r_0 // R_{F2} // R_C \text{ thì } U_r = I_b R'$$

$$\text{Nhưng } I_b = \frac{U_v}{r_e} \text{ nên } U_r = \frac{U_v}{r_e} R'$$

$$\text{Do đó } K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{r_0 // R_{F2} // R_C}{r_e}$$

$$\text{Với } r_0 \geq 10RC \text{ thì: } K_u = \frac{U_r}{U_v} = \frac{R_{F2} // R_C}{r_e}$$

Hệ số khuếch đại dòng điện K_i được tính như sau:

$$I_b = \frac{R_{F1} I_v}{R_{F1} + r_e} \text{ nên } \frac{I_r}{I_b} = \frac{R_{F1}}{R' + r_e}$$

Và với đầu ra sử dụng $R' = r_0 // R_{F2}$

$$I_r = \frac{R' I_b}{R' + R_C} \text{ nên } \frac{I_r}{I_b} = \frac{R'}{R' + R_C}$$

$$\text{Do đó } K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{I_r}{I_b} \cdot \frac{I_b}{I_v} = \frac{R'}{R' + R_C} \cdot \frac{R_{F1}}{R_{F1} + r_e} = \frac{R_{F1} R'}{R_{F1} + r_e + R' R_C}$$

Vì R_{F1} thường lớn hơn r_e , nên $\frac{R_{F1}}{R_{F1} + r_e} \approx \frac{R_{F1}}{R_{F1}}$

$$\text{Vì thế } K_i = \frac{I_r}{I_v} = \frac{R_{F1} r_0 // R_{F2}}{R_{F1} r_0 // R_{F2} + R_C} \approx \frac{R_C}{r_0 // R_{F2}}$$

$$\text{Hoặc } K_i = \frac{I_r}{I_v} = K_u \frac{Z_v}{R_C}$$

Ví dụ 1.1: với sơ đồ 1.65 xác định

#####48

a) r_e

b) Z_v

c) Z_r

d) K_u :

e) K_i :

giải:

$$a) I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_F + R_C} = \frac{12V - 0,7V}{120k + 68k + 140k} = 18,6 \mu A$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = 141 \cdot 18,6 \mu A = 2,62 mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2,62mA} = 9,92 \Omega$$

$$b) r_e = 140 \cdot 9,92 \Omega = 1,39 k\Omega$$

$$Z_V = R_F \parallel r_e = 120k \parallel 1,39k = 1,37 k\Omega$$

c) Để đảm bảo thấy điều kiện $r_0 \geq 10R_C$ thỏa mãn, nên:

$$Z_r = R_C \parallel R_{F2} = 3k \parallel 68k = 2,87 k\Omega$$

$$d) r_0 \geq 10R_C \text{ nên } K_u = \frac{R_{F2} \parallel R_C}{r_e} = \frac{68k \parallel 3k}{9,92} = 283,3$$

$$e) \text{Điều kiện } R_{F1} \gg r_e \text{ thỏa mãn nên: } K_i = \frac{1}{1 + \frac{R_C}{r_0 \parallel R_{F2}}}$$

sau khi thay số, tính được $K_i = 122,8$