МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-методичний посібник по розрахунку транзисторних підсилювальних каскадів у курсових та дипломних проектах для студентів спеціальності 7.091401 «Системи управління та автоматика»

Розглянуто на засіданні кафедри АТ
Протокол № 11 від 23.11.2009

Затверджено учбово-викладацькою
Радою ДонНТУ
Протокол № _ від _____

Донецьк - 2009

УДК 621.375

Навчально-методичний посібник по розрахунку транзисторних підсилювальних каскадів у курсових та дипломних проектах для студентів спеціальності 7.091401 «Системи управління та автоматика»/Константинов С.В., Найдьонова Т.В. – Донецьк, ДонНТУ, 2009 р. – 83 с.

Викладені правила спрощеного розрахунку каскадів із СЕ, СБ, СК, і ФІК по постійному струму. Надані рекомендації по розрахунку конденсаторів. Приведені приклади розрахунку каскадів.

Довідкові матеріали, приведені в додатках, дозволяють окрім підсилювальних каскадів розраховувати випрямлячі і фільтри.

Посібник призначений студентам електротехнічних спеціальностей, яким доводиться розраховувати транзисторні підсилювачі.

Автори: Константинов С.В., Найдьонова Т.В.

Рецензент: доцент кафедри ЕТ Кузнєцов Д.М.

Відповідальний за випуск: Бессараб В.І.

Зміст

Вступ 5

1. Загальні правила розробки транзисторних підсилювальних каскадів . 6

2. Розрахунок каскаду з СЕ (СБ) по постійному струму 8

3. Розрахунок каскаду з СК по постійному струму 10

3.1 Порядок розрахунку каскаду із СК 13

4. Розрахунок фазоінверсного каскаду постійному струму 15

5. Визначення ємності розділових і корегуючих конденсаторів 16

5.1 Порядок розрахунку 17

6. Приклади розрахунку транзисторних каскадів 20

6.1 Каскад із СЕ 20

6.2 Каскад із СБ 24

6.3 Каскад із СК 28

6.4 Фазоінверсний каскад 31

Висновок 35

Література 36

Довідкові матеріали

Додаток А – Транзистори 37

Додаток Б – Резистори 59

Додаток В – Конденсатори 66

Додаток Г – Діоди 72

Додаток Д – УГО 80

Додаток Е – Стандартні значення напруги у джерелах живлення 82

ВСТУП

Виконання студентами розрахункових робіт формує практичні навички проектування систем автоматичного управління і автоматики.

У посібнику викладені загальні правила розробки транзисторних підсилювальних каскадів, а також правила спрощеного розрахунку каскадів із СЕ, СБ, СК, і ФІК по постійному струму, надані рекомендації по розрахунку конденсаторів. Приведені приклади розрахунку перелічених каскадів. Даний посібник повинний допомогти студентам правильно виконати розрахунок транзисторних підсилювальних каскадів у курсових та дипломних проектах.

Правила розробки транзисторних каскадів, наведені у посібнику, дозволяють отримати максимально можливий коефіцієнт корисної дії. Це означає, що розраховані пристрої будуть вживати мінімальну кількість енергії, що дозволяє мінімізувати їх об’єм.

Посібник призначений студентам спеціальності «Системи управління і автоматика», але може бути корисним і студентам інших електротехнічних спеціальностей.

1. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА РОЗРОБКИ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ КАСКАДІВ

При розробці транзисторного каскаду необхідно:

1) вибрати схему;

2) визначити (розрахувати) номінали резисторів (R_k і R_e у схемах з СЕ і СБ, R_e у схемі з СК) і вибрати із заданого ряду;

3) визначити (вибрати) $U_{жив}$

4) визначити вимоги до транзистора (p, U_k, h_{21}) і вибрати транзистор;

5) визначити опори резисторів вхідного дільника ;

6) визначити ємність конденсаторів.

При завданні вимог до підсилювального каскаду, як правило, вводяться якісь обмеження. Найчастіше задається напруга живлення. В цьому випадку схема виходить не оптимальною.

Тут розглядається варіант розрахунку, при якому немає обмежень, і потрібно отримати оптимальне рішення, тобто побудувати каскад, коли задані тільки вхідні і вихідні параметри. В цьому випадку треба визначити (задати) критерій оптимальності. Оскільки у таких каскадів дуже низький ККД, можна вважати оптимальною схему з максимальним ККД.

Залежність ККД від відношення R_K / R_H при максимальній вихідній напрузі і без урахування втрат у допоміжних ланцюгах приведена на рис. 1.1. Максимальний ККД виходить при $R_K = \sqrt{2} \cdot R_H$, але оскільки максимум пологий, можна вибрати

$$R_K = (1...2) R_H$$

При цьому меншому R_k відповідає менша напруга живлення (див. рис. 1.2), а більшому – більше посилення струму і напруги (рис. 1.3.).

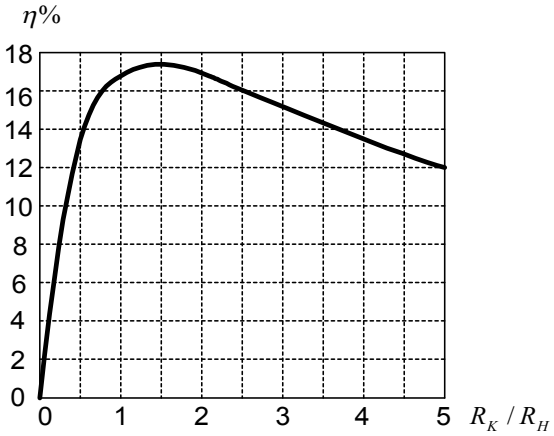


Рисунок 1.1 – Залежність ККД від відношення колекторного опору до опору навантаження без урахування втрат у вхідному ланцюгу.

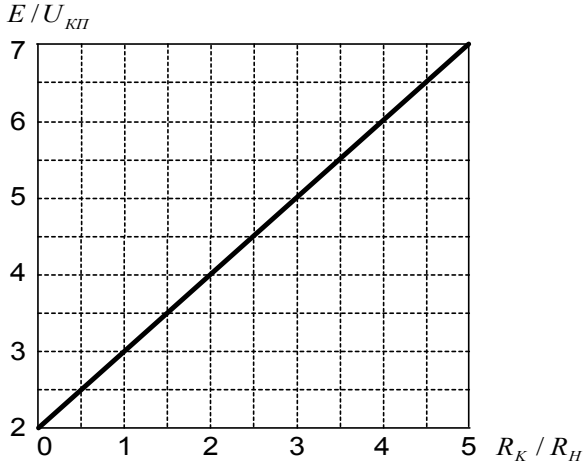


Рисунок 1.2 – Залежність напруги живлення від відношення колекторного опору до опору навантаження.

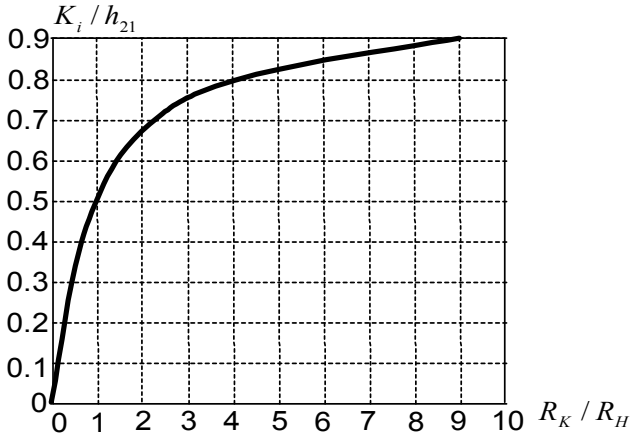


Рисунок 1.3 - Залежність посилення току від колекторного опору (без урахування втрат у вхідному ланцюгу).

2. РОЗРАХУНОК КАСКАДІВ З СЕ (СБ) ПО ПОСТІЙНОМУ СТРУМУ

Задано: $U_{вих.\max}$ (максимальна діюча напруга), $U_{сигналу\max}$, R_H, f_B, f_H, M, $R_{дж.сигналу}$, ряд резисторів (якщо $R_{дж.\,сиг.} << R_{вх}$, воно не задається).

Обираємо схему:

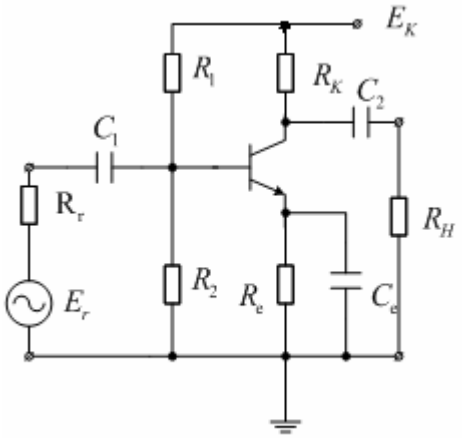


Рисунок 2.1 – Схема каскаду з СЕ.

1. Знаходимо $R_k = (1...2)\cdot R_H$, і вибираємо з ряду.
2. Визначаємо падіння напруги на R_k в стані спокою $U_{Rксп} = \frac{1.4U_{вих.\ \max}}{R_H}\cdot(R_K + R_H) + (1...2)B$
3. Визначаємо $U_{есп} = 1.4U_{вих.\max} + (1...2)B$
4. Вибираємо $U_{есп} = (1...2)B$
5. Визначаємо $E_{жив.} \geq U_{есп} + U_{кесп} + U_{R_{ксп}}$ і вибираємо згідно з додатком Е.
6. Визначаємо K_U, при $R_{іст.сиг} << R_{вх}$ $K_U = \frac{U_{вих.\max}}{U_{сиг н.\max}}$
7. Вибираємо транзистор $U_{ек} > E_{жив.}$, $i_k > \frac{E_{жив}}{R_k}$, $P_{доп} > \frac{E^2_{жив}}{4R_k}$, $f > f_B$, $h_{21} > \frac{K_U}{R_H \| R_k}$,

де R_H та R_k - опори навантаження та колекторний опір у кОмах.

8. Знаходимо $i_{ксп} = \frac{U_{Rксп}}{R_k}$

9. Знаходимо $i_{бсп} = \frac{i_{ксп}}{h_{21\min}}$

10. Вибираємо $i_Д = (3...7)i_{бсп}$

11. Знаходимо $R_e = \frac{U_{есп}}{i_{ксп}+i_{бсп}}$

12. Вибираємо, із заданого ряду, уточнюємо

$U_{есп} = (i_{ксп} + i_{бсп}) \cdot R_{евибр.}$

13. Знаходимо по вхідній характеристиці транзистора $U_{бесп}$

14. Визначаємо $U_{бсп} = U_{есп} + U_{бесп}$

15. Визначаємо $R_1 = \frac{E_{живл}-U_{бсп}}{i_д}$ і вибираємо R_1 з ряду

16. Визначаємо $R_2 = \frac{U_{бсп}}{i_д-i_{бсп}}$ і вибираємо R_2 з ряду

17. Перевіряємо $U_{бсп}$ при $h_{21\min}$ і $h_{21\max}$

18. Перевіряємо $K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k||R_H}{r_{вх}} > \frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}}$

де $U_{вх.\max} = \frac{U_{сигн.\max} \cdot R_{вх.}}{R_{дж.сигн.}+R_{вх.}}$

Розрахунок схеми з СБ по постійному струму виконується так само, як і схеми з СЕ.

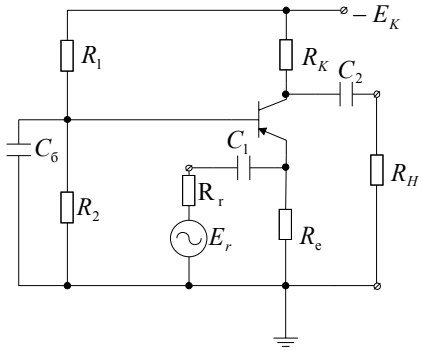


Рисунок 2.2 – Схема каскаду з СБ

Параметри конденсаторів визначаються по f_H і M (див. розділ 5).

3. РОЗРАХУНОК КАСКАДУ З СК ПО ПОСТІЙНОМУ СТРУМУ

Схема підсилювального каскаду з СК (емітерного повторювача), приклад якої показаний на рис. 3.1, має коефіцієнт підсилення напруги (K_U) близький до одиниці й порівняно великий коефіцієнт підсилення струму (K_i).

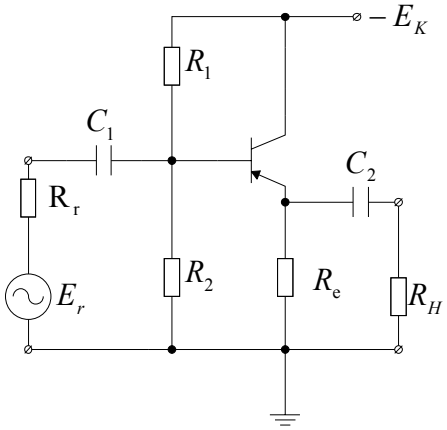


Рисунок 3.1 – Схема каскаду з СК.

Розглядаючи схему з СК як підсилювач струму, можна виділити три елементи:

1) вхідний ланцюг;
2) транзистор;
3) вихідний ланцюг.

Вхідний ланцюг складається з конденсатора C_1, дільника напруги R_1 й R_2 і ланцюга бази транзистора. Опір конденсатора C_1 в смузі пропущення малий, тому його впливом зневажаємо. Коефіцієнт передачі струму вхідного ланцюга залежить від опору дільника R_1, R_2 і вхідного опору транзистора

$$K_{івх} = \frac{i_б}{i_{вх}} = \frac{R_{вх.сх.}}{R_{вх.тр.}}.$$

Вхідний опір транзистора

$$R_{вх.тр.} = h_{21} \cdot (R_e \parallel R_H),$$

а вхідний опір схеми

$$R_{вх.сх.} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{вх.тр.}$$

Залежність коефіцієнта передачі струму вхідного ланцюга від відношення $\frac{R_e}{R_H}$ при різних значеннях струму дільника наведені на рис. 3.2.

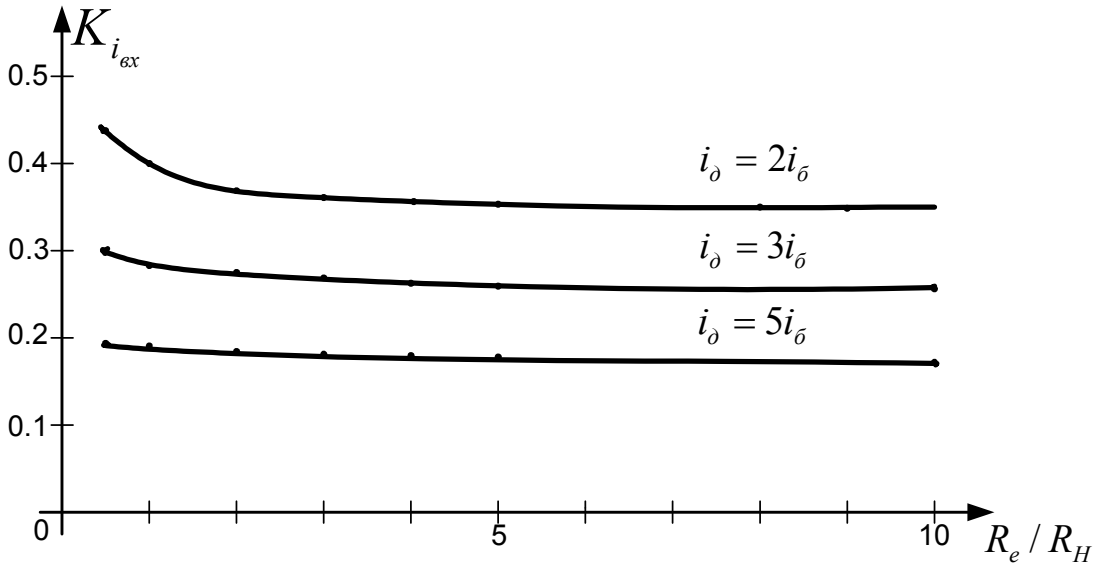


Рисунок 3.2 - Коефіцієнт передачі струму вхідного ланцюга.

Із графіків видно, що максимальний коефіцієнт передачі струму буде при мінімальному струмі дільника й мінімальному відношенні $\frac{R_e}{R_H}$. Величина його наближається до 0,5.

Менш, ніж $2i_б$, струм дільника приймати не слід через різке збільшення температурної залежності схеми, а більше, ніж $5i_б$, не треба через зменшення коефіцієнта передачі струму і збільшення напруги живлення.

Транзистор збільшує струм у h_{21e} рази.

Коефіцієнт передачі струму у вихідному ланцюзі залежить тільки від відношення $\frac{R_e}{R_H}$ (опором конденсатора теж C_2 зневажаємо). Графік залежності коефіцієнта передачі струму від співвідношення опорів наведений на рис. 3.3.

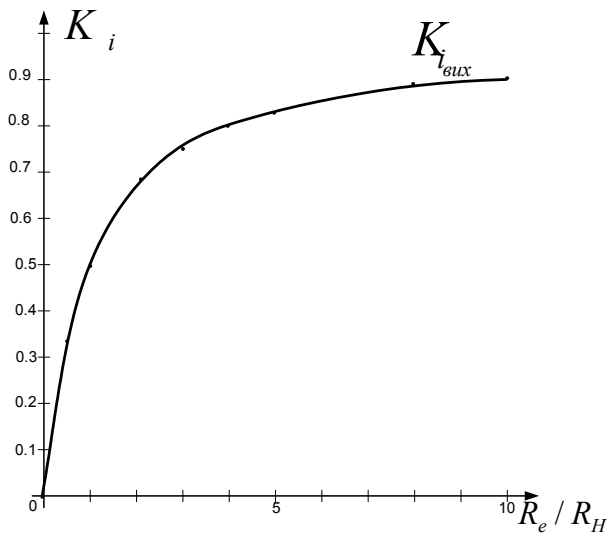


Рисунок 3.3 - Коефіцієнт передачі струму у вихідному ланцюзі.

Із графіка видно, що коефіцієнт передачі струму у вихідному ланцюзі ($K_{i_{вих.}}$) може наближатися до одиниці, але при цьому $E_{жив}$ стає занадто великим (див. рис. 1.2), тому, як правило, беруть такі значення відношення $\frac{R_e}{R_H}$, при яких $K_{i_{вих.}}$ перебуває в межах 0,5…0,8

Значення загального коефіцієнта передачі струму в схемі з СК відносно h_{21} наведено на рис. 3.4.

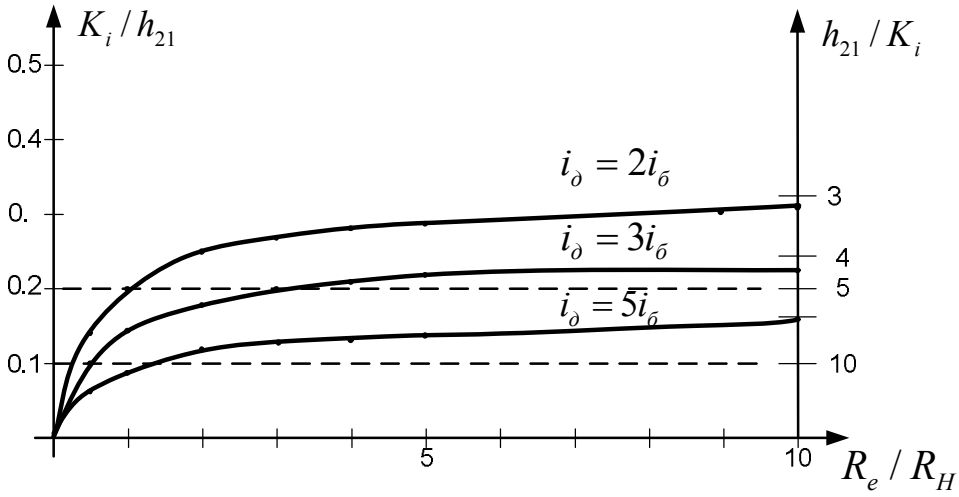


Рисунок 3.4 - Відносний коефіцієнт передачі струму схеми з СК.

Із графіків видно, що доцільно вибирати $i_д = (2...3)i_б$, а $R_e = (1...3)R_H$.

3.1 Порядок розрахунку

Задано: $U_{вих.\max}$, (максимальна діюча вихідна напруга), R_H, f_B, f_H, M, K_i ряд резисторів.

1. Обираємо схему:

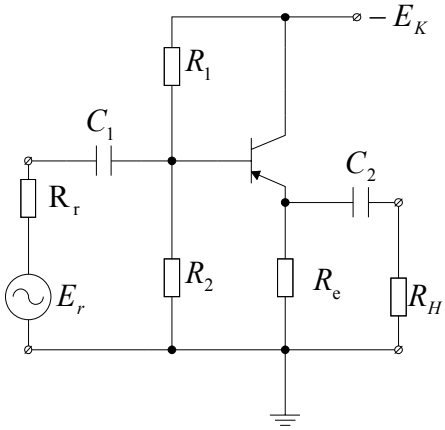


Рисунок 3.5 – Схема каскаду з СК.

2. Знаходимо $R_e = (1...5) \cdot R_H$.

3. Знаходимо $U_{есп} = \frac{1.4U_{вих.\max}}{R_H} \cdot (R_H + R_e) + (1...2)B$;

4. Визначаємо $U_{кесп} = 1.4U_{вих.\max} + (1...2)B$;

5. Знаходимо $E_{жив} \geq U_{есп} + U_{кесп}$ (вибирається із додатка Е);

6. Визначаємо $i_{е.\max} = \frac{E}{R_e} + i_{н.\max}$;

7. Знаходимо $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_e}$;

8. Вибираємо транзистор за наступними параметрами, $U_{к.доп} > E_{жив}$, $i_{к.доп} > i_{е.\max}$, $P_{доп} > P_{\max}$, $f > f_в$, $h_{21} = (3...10)K_i$ коефіцієнт в дужках визначається по графіку (рис. 3.4).

9. Визначаємо $i_{\partial} = \frac{i_{ecn}}{h_{21\min}}$; $(i_{ecn} = \frac{U_{ecn}}{R_e})$;

10. Визначаємо $i_{\partial} = (2...5)i_{б}$; зазвичай $i_{\partial} = 3i_{б}$.

11. Визначаємо $R_1 = \frac{U_{кесп} - 0.6B}{i_{\partial}}$;

12. Знаходимо $R_2 = \frac{U_{ecn} + 0.6B}{i_{\partial} - i_{б}}$;

13. Конденсатори визначаємо по f_H і M (див. розділ 5).

4. РОЗРАХУНОК ФАЗОІНВЕРСНОГО КАСАДУ ПО ПОСТІЙНОМУ СТРУМУ

Задано: $R_{H1}, R_{H2}, u_{вих.\max}$ (максимальна діюча вихідна напруга), f_B, f_H, M. Майже завжди $R_{H1} = R_{H2}$. Схему обираємо

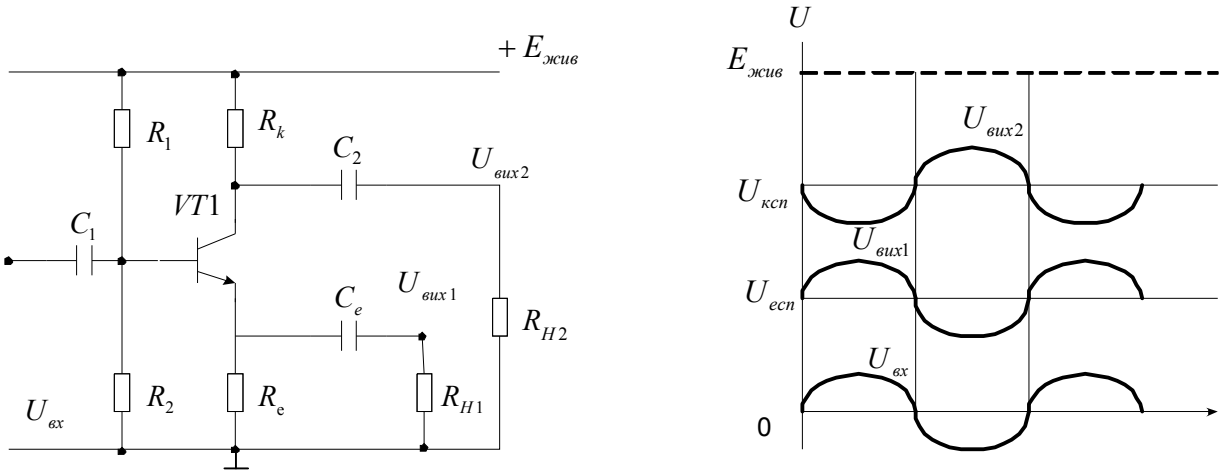


Рисунок 4.1 – а) схема фазоінверсного каскаду; б) часова діаграма.

1. Оскільки $R_{H1} = R_{H2}$, $R_к = R_е = (1...2)R_H$ (вибираються із ряду)
2. Визначаємо падіння напруги на $R_к, R_е$

   $U_{R_{есп}} = U_{R_{ксп}} = \frac{1.4U_{вих.\max}}{R_H} \cdot (R_H + R_к) + (1...2)B$.
3. Визначаємо $U_{кесп} = 2.8U_{вих.\max} + (2...3)B$.
4. Визначаємо $E_{жив} \geq U_{R_{ксп}} + U_{R_{есп}} + U_{кесп}$ (обирається з додатку Е).
5. Вибираємо транзистор $U_{ек} > E_{сп}$, $i_k > \frac{E_{жив}}{2R_к}$, $P > \frac{E^2_{жив}}{8R_к}$ (при оцінці $i_к$ та P не враховується струм навантаження, тому по цим параметрам треба мати запас).
6. Знаходимо $i_{ксп} = \frac{U_{R_{ксп}}}{R_к}$
7. Знаходимо $i_{бсп} = \frac{i_{ксп}}{h_{21\min}}$.
8. Вибираємо $i_д = (2...5)i_{бсп}$

9. Знаходимо по вхідній характеристиці транзистора $U_{бесп}$.

10. Знаходимо $U_{бсп} = U_{бесп} + U_{есп}$, ($U_{есп} = U_{R_{есп}}$).

11. Знаходимо $R_2 = \frac{U_{бсп}}{i_д - i_{бсп}}$ і вибираємо із ряду.

12. Знаходимо $R_1 = \frac{E - U_{бсп}}{i_д}$ і вибираємо з ряду так, щоб відхилення від розрахункового значення було приблизно таке ж, як у R_2.

13. Перевіряємо $U_{бсп}$, вирішуючи рівняння: $\frac{E - U_{бсп}}{R_1} = \frac{U_{бсп}}{R_2} + i_{бсп}$

5. ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ РОЗДІЛОВИХ І КОРЕГУЮЧИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Ємність розділового конденсатора визначається по опору навантаження, на який працює конденсатор, із рівняння

$\frac{X_C}{R_H} = \sqrt{M_i^{\,2} - 1}$,

де $X_C = \frac{1}{\omega_H C}$ - реактивний опір конденсатора

ω_H - нижня частота сигналу

C - ємність розділового конденсатора

M_i - допустима величина частотних спотворень даного ланцюга.

Зручно для визначення величин $\frac{X_C}{R_H}$ користуватися графіком, представленому на рисунку 5.1.

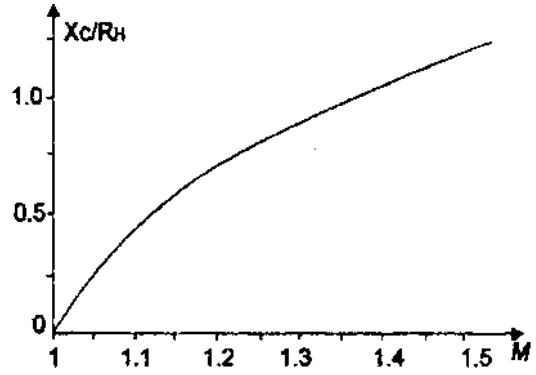


Рисунок 5.1 – Залежність $X_{пр}$ від M_i .

Визначивши (або задавши) величину M , відкладаємо її по осі абсцис, і по осі ординат знаходимо приблизне значення реактивного опору ланцюгу $\frac{X_C}{R_H} = X_{пр}$. (при $M = 1{,}1$, $X_{пр} = 0{,}46$) для $R_H = 0{,}3h$, $x_C = 0{,}46 \cdot 0{,}3 = 0{,}138$

По графіку, наданому на рисунку 5.2, можна визначити приведену величину ємкості, мкФ (при $R_H = 1$ кОм) по f_H , Гц.

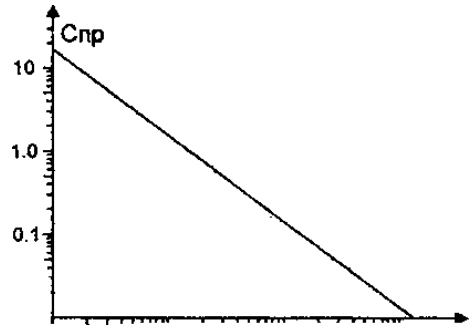


Рисунок 5.2 – Залежність наданого значення ємності від частоти

Для $f_H = 300\,\text{Гц},\ C_{пр} = 0{,}53$.

Величину даної ємності знаходимо з рівняння

$$C = \frac{C_{пр}}{x_C} = \frac{0{,}53}{0{,}138} = 3{,}84 \text{ мкФ}.$$

Із заданого ряду вибираємо найближче більше значення ємності.

5.1 Порядок розрахунку

Задані: коефіцієнт частотних спотворень схеми - M (зазвичай $M = 1.1...1.4$) f_H, f_B.

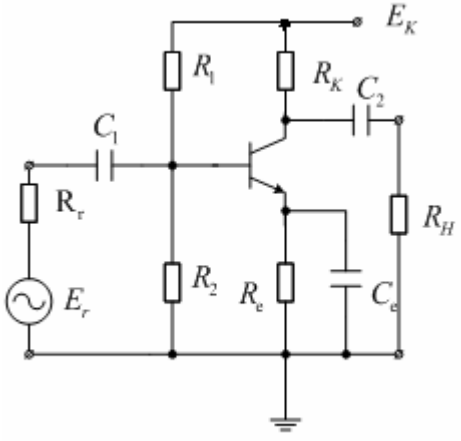


Рисунок 5.3 – Схема каскаду с СЕ

Схема відома (рис. 5.3), вибраний транзистор (з урахуванням f_B), визначені R_1, R_2, R_k і R_e (R_H - задано). Необхідно визначити мінімальні значення C_1, C_2 і C_e.

Для визначення C треба знати опори елементів, на які навантажені конденсатори.

1. Визначаємо M_i. У приведеній схемі спотворень вносять всі конденсатори, тому, вважаючи ці спотворень рівними, знаходимо $M_i = \sqrt[3]{M}$.

2. Конденсатор C_1 включений між джерелом сигналу і вхідним опором схеми. Нехтуючи опором джерелом сигналу, оскільки воно значно менше вхідного опору схеми, знаходимо $R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх}$

де $r_{вх}$ - опір переходу база-емітер (опір ланцюгу $R_e C_e$ не враховуємо)

R_1, R_2 - відомі

$r_{вх} = h_{11e}$ - знаходимо в довіднику.

3. Конденсатор C_2 включений між виходом схеми і навантаженням. Для розрахунку беремо R_H (вихідним опором схеми, зневажаємо).

4. Конденсатор C_e працює на опір $r_e \parallel R_e$. Якщо $R_e > r_e$, то для розрахунку беремо тільки

$$r_e = \frac{h_{11e}}{h_{21e}}$$

5. По графіку (рис. 5.1), знаючи M_i знаходимо значення x_C / R, і визначаємо

$$x_{c1} = (\frac{x_c}{R}) r_{вх},\ x_{ce} = (\frac{x_c}{R}) r_e,\ x_{c2} = (\frac{x_c}{R}) R_H$$

- всі опори ($r_{вх}, r_e, R_H$) – в кілоомах.

6. По графіку (рис. 5.2) знаходимо $C_{пр}$ (для навантаження $R_H = 1кОм$) і визначаємо

$$C_1 = \frac{C_{пр}}{X_{c1}},\ C_e = \frac{C_{пр}}{X_{ce}},\ C_2 = \frac{C_{пр}}{X_{c2}};$$

Конденсатори вибираємо з довідника (найближче більше).

6. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ТРАНЗИСТОРНИХ КАСКАДІВ

6.1 Каскад із СЕ

Задано: $U_{вих.\max} = 3B$ (максимальна діюча напруга), $U_{сигналу\max} = 0{,}2B$, $R_H = 4кОм$, $f_B = 20кГц$, $f_H = 300Гц$, $M = 1{,}10$, $R_{дж.сигналу} = 50Ом$. Ряд резисторів Е24.

1. Вибираємо схему каскаду з СЕ:

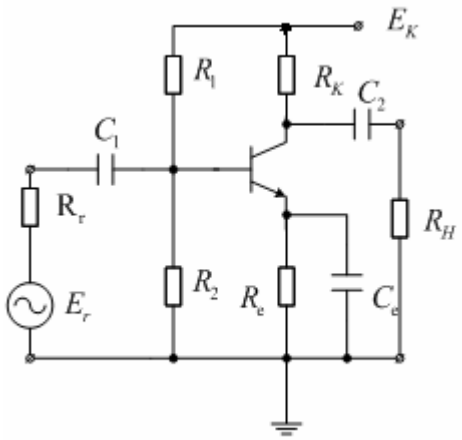


Рисунок 6.1 – Схема каскаду з СЕ.

2. Знаходимо $R_k = (1...2) \cdot R_H$.

Приймаємо $R_k = 2 \cdot 4 = 8кОм$.

Вибираємо з ряду $R_k = 7{,}5кОм$

3. Визначаємо падіння напруги на R_k в стані спокою

$$U_{R\,ксп} = \frac{1.4U_{вих.\ \max}}{R_H} \cdot (R_K + R_H) + (1...2)B$$

$$U_{R\,ксп} = \frac{3B \cdot 1{,}4}{4кОм} \cdot (7{,}5кОм + 4кОм) + 1B = 13{,}1B.$$

4. Визначаємо $U_{кесп} = 1.4U_{вих.\max} + 1B = 1{,}4 \cdot 3B + 1B = 5{,}2B$.

5. Вибираємо $U_{есп} = (1...2)B = 2B$.

6. Визначаємо

$$E_{жив.} = U_{есп} + U_{кесп} + U_{R_{ксп}} = 2B + 5{,}2B + 13{,}1B = 20{,}3B.$$

Приймаємо $E_{жив.} = 20B$.

7. Визначаємо K_U, при $R_{ist.sign} << R_{вх}$

$$K_U = \frac{U_{вих.\max}}{U_{сигн.\max}} = \frac{3B}{0,2B} = 15$$

8. Знаходимо $i_{kcn} = \frac{U_{Rkcn}}{R_k} = \frac{13,1B}{7,5кОм} = 1,75мА$

9. Вибираємо транзистор $U_{ек} > E_{жив.}$, $i_k > i_{kcn}$, $P_{доп} > \frac{E^2_{жив}}{4R_k}$, $f > f_B$, $h_{21} > \frac{K_U}{R_к \| R_H}$,

$U_{ек} > 21B$, $i_k > 1,75мА$, $P_{доп} > 13,4мВт$, $f >> 20кГц$, $h_{21} > 5,77$

Підходить КТ315И:

$U_{ек} = 60B$; $i_{k\max} = 50мА$; $P_{доп} = 100мВт$, $f = 100МГц$, $h_{21e} > 30$.

10. Знаходимо $i_{бcn} = \frac{i_{kcn}}{h_{21\min}} = \frac{1,75мА}{30} \approx 0,06мА$.

11. Вибираємо $i_Д = (3...7)i_{бcn} = 5 \cdot 0,06мА = 0,3мА$.

12. Знаходимо $R_e = \frac{U_{ecn}}{i_{kcn} + i_{бcn}} = \frac{2B}{1,75мА + 0,06мА} = 1,1кОм$.

13. Вибираємо $R_e = 1кОм$, уточнюємо

$U_{ecn} = (i_{kcn} + i_{бcn}) \cdot R_{евибр} = (1,75мА + 0,06мА) \cdot 1,1кОм \approx 2B$.

14. Знаходимо по вхідній характеристиці транзистора $U_{бecn} = 0,6B$.

15. Визначаємо $U_{бcn} = U_{ecn} + U_{бecn} = 2B + 0,6B = 2,6B$

16. Визначаємо $R_1 = \frac{E_{жив} - U_{бcn}}{i_д} = \frac{20B - 2,6B}{0,3} \approx 58кОм$ і вибираємо R_1 з ряду:

$R_1 = 56кОм$.

17. Визначаємо $R_2 = \frac{U_{бcn}}{i_д - i_{бcn}} = \frac{2,6B}{0,3мА - 0,06мА} \approx 10,8кОм$ і вибираємо R_2 з ряду

$R_2 = 10кОм$.

18. Перевіряємо $U_{бcn}$ при $h_{21\min}$ і $h_{21\max}$:

Для $h_{21\min}$ $i_б(h_{21\min}) = \frac{i_{kcn}}{h_{21\min}} = \frac{1,75мА}{30} \approx 0,058мА$,

$U_{бcn} = (i_д - i_б) \cdot R_2 = (0,3мА - 0,058мА) \cdot 10кОм = 2,42B$.

Для $h_{21\max}$ $i_б(h_{21\max}) = \frac{i_{kcn}}{h_{21max}} = \frac{1,75мА}{60} \approx 0,029мА$,

$U_{бсп} = (i_д - i_б) \cdot R_2 = (0{,}3мА - 0{,}029мА) \cdot 10кОм = 2{,}71В$, при цьому

19. Перевіряємо $K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} > \frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}}$

де $U_{вх.\max} = \frac{U_{сигн.\max} \cdot R_{вх}}{R_{дж.сигн.} + R_{вх}}$

$R_{вх} = R_1 \| R_2 \| h_{11}$

$R_1 \| R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{56кОм \cdot 10кОм}{56кОм + 10кОм} = \frac{560кОм}{66кОм} = 8{,}5кОм$

$R_{вх} = R_1 \| R_2 \| h_{11} = \frac{R_1 \| R_2 \cdot h_{11}}{R_1 \| R_2 + h_{11}} = \frac{8{,}5кОм \cdot 0{,}4кОм}{8{,}5кОм + 0{,}4кОм} = \frac{3{,}4кОм}{8{,}9кОм} = 0{,}38кОм$

$U_{вх.\max} = \frac{U_{сигн.\max} \cdot R_{вх.}}{R_{дж.сигн.} + R_{вх.}} = \frac{0{,}2В \cdot 0{,}39кОм}{0{,}05кОм + 0{,}39кОм} = 0{,}18В$

$K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} = 30 \cdot \frac{\frac{7{,}5 \cdot 4}{7{,}5+4}}{0{,}4} = \frac{30 \cdot 2{,}61}{0{,}4} = 196$

$\frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}} = \frac{3В}{0{,}18В} = 16{,}7$

$K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} > \frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}}$

Розрахунок виконаний вірно, тому що $196 > 16{,}7$ (див. п. 19)*.

***Примітка.**

Якщо треба одержати підсилення у задане число разів, то резистор R_e треба зробити з двох частин R_{e1} та R_{e2}. R_{e2} зашунтувати конденсатором C_e.

При цьому $K_U = \frac{R_k \| R_H}{R_{e1}}$.

Звідси $R_{e1} = \frac{R_k \| R_H}{K_U} = \frac{2{,}61}{15} = 0{,}17$ кОм.

Приймаємо $R_{e1} = 0{,}16$ кОм,

$R_{e2} = R_e - R_{e1} = 1кОм - 0{,}16кОм = 0{,}84кОм$.

Приймаємо $R_{e2} = 0{,}82кОм$

20. Необхідно розрахувати мінімальні значення C_1, C_2 і C_e. Для визначення C треба знати опори елементів, на які навантажені конденсатори.

Визначаємо M_i. У приведеній схемі спотворень вносять всі конденсатори, тому, вважаючи ці спотворень рівними, знаходимо $M_i = \sqrt[3]{M}$.

$M_i = \sqrt[3]{1{,}1} = 1{,}04$

21. Конденсатор C_1 включений між джерелом сигналу і вхідним опором схеми. Нехтуючи опором джерела сигналу, оскільки воно значно менше вхідного опору схеми, знаходимо $R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх}$

де $r_{вх}$ - опір переходу база-емітер (опір ланцюгу $R_e C_e$ не враховуємо)

R_1, R_2 , $r_{вх} = h_{11e}$ - відомі.

Тоді $R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{56кОм \cdot 10кОм}{56кОм + 10кОм} = \frac{560кОм}{66кОм} = 8{,}5кОм$

$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх} = \frac{R_1 \| R_2 \cdot r_{вх}}{R_1 \| R_2 + r_{вх}} = \frac{8{,}5кОм \cdot 0{,}4кОм}{8{,}5кОм + 0{,}4кОм} = \frac{3{,}4кОм}{8{,}9кОм} = 0{,}038кОм$

22. Конденсатор C_2 включений між виходом схеми і навантаженням. Для розрахунку беремо R_H (вихідним опором схеми, зневажаємо).

23. Конденсатор C_e працює на опір $r_e \parallel R_e$. Якщо $R_e > r_e$, то для розрахунку беремо тільки

$$r_e = \frac{h_{11e}}{h_{21e}} = \frac{0{,}4кОм}{30} = 0{,}013кОм .$$

24. По графіку (рис. 5.1), знаючи M_i знаходимо значення $x_C / R = 0{,}2$, і визначаємо

$$x_{c1} = (\tfrac{x_c}{R}) r_{вх} = 0{,}2 \cdot 0{,}4кОм = 0{,}08кОм ,$$

$$x_{ce} = (\tfrac{x_c}{R}) r_e = 0{,}2 \cdot 0{,}013кОм = 0{,}0026кОм ,$$

$$x_{c2} = (\tfrac{x_c}{R}) R_H = 0{,}2 \cdot 4кОм = 0{,}8кОм ,$$

- всі опори ($r_{вх}, r_e, R_H$) – в кілоомах.

25. По графіку (рис. 5.2) знаходимо $C_{пр}$ (для навантаження $R_H = 1кОм$) і визначаємо: для $f_H = 300\,Гц$, $C_{пр} = 0{,}53$.

$$C_1 = \frac{C_{пр}}{x_{c1}} = \frac{0{,}53}{0{,}08} = 6{,}6мкФ ,$$

$$C_e = \frac{C_{пр}}{x_{ce}} \frac{0{,}53}{0{,}0026} \approx 20{,}4мкФ ,$$

$$C_2 = \frac{C_{пр}}{X_{c2}} = \frac{0{,}53}{0{,}8} = 0{,}66мкФ .$$

Конденсатори вибираємо з довідника (найближче більше).

C_1 вибираємо К50-6, 10мкФ, 6,3В (табл. В.2).

C_e вибираємо К50-6, 22мкФ, 6,3В (табл. В.2).

C_2 вибираємо К73-16, 0,68мкФ, 63В (табл. В.1).

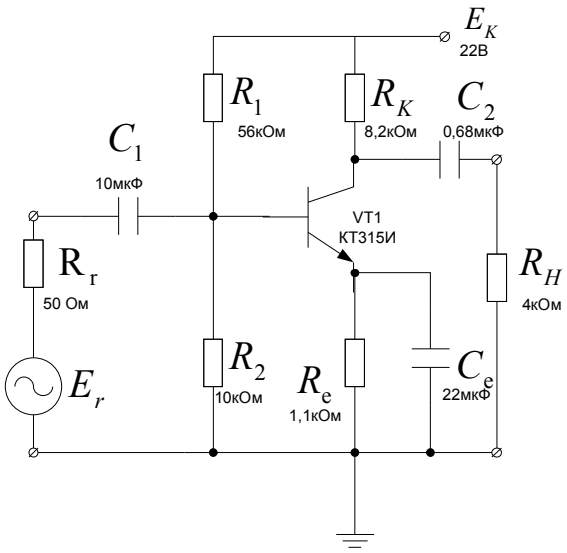


Рисунок 6.4 - Повна схема розрахованого каскаду із СЕ

6.2 Каскад з СБ

Задано: $U_{вих.\max} = 3В$ (максимальна діюча напруга), $U_{сигналу\max} = 0{,}2В$, $R_H = 4кОм$, $f_B = 20кГц$, $f_H = 300Гц$, $M = 1{,}10$, $R_{дж.сигналу} = 50Ом$. Ряд резисторів Е24.

1. Вибираємо схему каскаду з СБ:

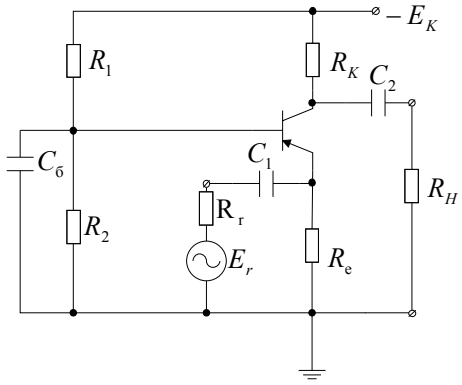


Рисунок 6.5 – Схема каскаду зі СБ

2. Знаходимо $R_k = (1...2) \cdot R_H$.

Приймаємо $R_k = 2 \cdot 4 = 8кОм$.

Вибираємо з ряду $R_k = 7{,}5кОм$

3. Визначаємо падіння напруги на R_k в стані спокою

$$U_{R\,ксп} = \frac{1.4U_{вих.\ \max}}{R_H} \cdot (R_K + R_H) + (1...2)B$$

$$U_{R\,ксп} = \frac{1.4 \cdot 3B}{4кОм} \cdot (7{,}5кОм + 4кОм) + 1B = 13B\,.$$

4. Визначаємо $U_{кесп} = 1.4U_{вих.\max} + 1B = 1{,}4 \cdot 3B + 1B = 5{,}2B\,.$

5. Вибираємо $U_{есп} = (1...2)B = 2B\,.$

6. Визначаємо

$$E_{жив.} = U_{есп} + U_{кесп} + U_{\mathrm{R_{kcn}}} = 2B + 5{,}2B + 13B = 20{,}2B\,.$$

Приймаємо $E_{жив.} = 20B\,.$

7. Визначаємо K_U, при $R_{ість.сиг} << R_{вх}$

$$K_U = \frac{U_{вих.\max}}{U_{сиг.\max}} = \frac{3B}{0{,}2B} = 15$$

8. Знаходимо $i_{ксп} = \frac{U_{Rксп}}{R_k} = \frac{13B}{7{,}5кОм} = 1{,}73мА$

9. Вибираємо транзистор $U_{ек} > E_{жив.}$, $i_k > i_{ксп}$, $P_{доп} > \frac{E^2_{жив}}{4R_k}$, $f > f_B$, $h_{21} > K_U$

$U_{ек} > 21B$, $i_k > 1{,}7мА$, $P_{доп} > 13{,}4мВт$, $f >> 20кГц$, $h_{21} > 15$

Підходить КТ361В:

$U_{ек} = 40B$; $i_{k\max} = 50мА$; $P_{доп} = 150мВт$, $f = 100МГц$, $h_{21e} = (40...160)$.

10. Знаходимо $i_{бсп} = \frac{i_{ксп}}{h_{21\min}} = \frac{1{,}73мА}{40} = 0{,}043мА\,.$

11. Вибираємо $i_д = (3...7)i_{бсп} = 5 \cdot 0{,}04 = 0{,}2мА\,.$

12. Знаходимо $R_e = \frac{U_{есп}}{i_{ксп} + i_{бсп}} = \frac{2B}{1{,}73мА + 0{,}043мА} = \frac{2B}{1{,}77} = 1{,}13кОм\,.$

13. Вибираємо R_e із заданого ряду, уточнюємо

$R_e = 1{,}1кОм$,

$U_{есп} = (i_{ксп} + i_{бсп}) \cdot R_{евибр} = (1{,}73мА + 0{,}043мА) \cdot 1{,}1кОм = 1{,}95B\,.$

14. Знаходимо по вхідній характеристиці транзистор $U_{бесп} = 0{,}6B$.

15. Визначаємо $U_{бсп} = U_{есп} + U_{бесп} = 1{,}95B + 0{,}6B = 2{,}55B$

16. Визначаємо $R_2 = \frac{U_{бсп}+U_{есп}}{i_д} = \frac{2{,}55B+1{,}95B}{0{,}2мА} = 22{,}5кОм$ і вибираємо R_2 з ряду $R_2 = 22кОм$.

17.Визначаємо $R_1 = \frac{E_{жив}-i_д \cdot R_2}{i_д+i_{бсп}} = \frac{20B-0{,}2мА \cdot 22кОм}{0{,}2мА+0{,}04мА} = \frac{15{,}6}{0{,}24} = 65кОм$ і вибираємо R_1 з ряду: $R_1 = 62кОм$.

18.Перевіряємо $U_{бсп}$ при $h_{21\min}$ і $h_{21\max}$:

Для $h_{21\min}$ $i_б(h_{21\text{mii}}) = \frac{i_{ксп}}{h_{21\min}} = \frac{1{,}7мА}{40} \approx 0{,}042мА$,

$U_{бсп} = (i_д - i_б) \cdot R_2 = (0{,}2мА - 0{,}042мА) \cdot 22кОм = 3{,}48B$.

Для $h_{21\max}$ $i_б(h_{21\max}) = \frac{i_{ксп}}{h_{21max}} = \frac{1{,}73мА}{160} \approx 0{,}011мА$,

$U_{бсп} = (i_д - i_б) \cdot R_2 = (0{,}2мА - 0{,}011мА) \cdot 22кОм = 4{,}16B$, при цьому $i_{есп} = \frac{2{,}12B}{1кОм} = 2{,}1мА$.

19. Перевіряємо $K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} > \frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}}$

де $U_{вх.\max} = \frac{U_{сигн.\max} \cdot R_{вх}}{R_{дж.сигн.}+R_{вх}}$

$R_{вх} = R_1 \| R_2 \| h_{11}$

$R_1 \| R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} = \frac{62кОм \cdot 22кОм}{62кОм+22кОм} = \frac{1496кОм}{90кОм} = 16{,}24кОм$

$R_{вх} = R_1 \| R_2 \| h_{11} = \frac{R_1 \| R_2 \cdot h_{11}}{R_1 \| R_2 + h_{11}} = \frac{16{,}24кОм \cdot 0{,}4кОм}{16{,}24кОм+0{,}4кОм} = 0{,}39кОм$

$U_{вх.\max} = \frac{U_{сигн.\max} \cdot R_{вх}}{R_{дж.сигн.}+R_{вх}} = \frac{0{,}2B \cdot 0{,}39кОм}{0{,}05кОм+0{,}39кОм} = 0{,}177B$

$K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} = 40 \cdot \frac{\frac{7{,}5 \cdot 4}{7{,}5+4}}{0{,}4} = 260$

$\frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}} = \frac{3B}{0{,}18B} = 16{,}7$

$K_U = h_{21\min} \cdot \frac{R_k \| R_H}{r_{вх}} > \frac{U_{вих.\max}}{U_{вх.\max}}$

Розрахунок виконаний вірно, тому що $270 > 16{,}7$ (див. п. 19)*.

***Примітка.**

Якщо треба одержати підсилення у задане число разів, то резистор R_e треба зробити з двох частин R_{e1} та R_{e2}. R_{e2} зашунтувати конденсатором C_e.

При цьому $K_U = \frac{R_k \| R_H}{R_{e1}}$.

Звідси $R_{e1} = \frac{R_k \| R_H}{K_U} = \frac{2,6}{15} = 0,17$ кОм.

Приймаємо $R_{e1} = 0,16$ кОм.

$R_{e2} = R_e - R_{e1} = 1кОм - 0,16кОм = 0,84кОм$,

Приймаємо $R_{e2} = 0,82$ кОм,

Щоб розрахувати мінімальні значення C_1, C_2 і $C_б$ для схеми 6.5 треба знати опори елементів, на які навантажені конденсатори та M_i.

20. Визначаємо M_i. У приведеній схемі спотворення вносять всі конденсатори, тому, вважаючи ці спотворень рівними, знаходимо $M_i = \sqrt[3]{M}$.

$M_i = \sqrt[3]{1,1} = 1,04$

21. Конденсатор C_1 включений між джерелом сигналу і вхідним опором схеми. Нехтуючи опором джерелом сигналу, оскільки воно значно менше вхідного опору схеми, знаходимо $R_{вх} = R_1 \| R_2 \| r_{вх}$

де $r_{вх}$ - опір переходу база-емітер (опір ланцюгу $R_e C_e$ не враховуємо)

R_1, R_2 , $r_{вх} = h_{11б}$ - відомі.

Тоді $R_1 \| R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{68кОм \cdot 22кОм}{68кОм + 22кОм} = \frac{1496кОм}{90кОм} = 16,6кОм$

$R_{вх} = R_1 \| R_2 \| r_{вх} = \frac{R_1 \| R_2 \cdot r_{вх}}{R_1 \| R_2 + r_{вх}} = \frac{16,6кОм \cdot 0,4кОм}{16,6кОм + 0,4кОм} = \frac{6,64кОм}{17кОм} = 0,39кОм$

Приймаємо $R_{вх} = 0,39кОм$

22. Конденсатор C_2 включений між виходом схеми і навантаженням. Для розрахунку беремо R_H (вихідним опором схеми, зневажаємо).

23. Конденсатор C_e працює на опір $r_e \| R_e$. Якщо $R_e > r_e$, то для розрахунку беремо тільки

$$r_e = \frac{h_{11e}}{h_{21e}} = \frac{0,4кОм}{40} = 0,01кОм.$$

24. По графіку (рис. 5.1), знаючи M_i знаходимо значення $x_C / R = 0{,}2$, і визначаємо

$$x_{c1} = (\tfrac{x_c}{R}) r_{вх} = 0{,}2 \cdot 0{,}4 кОм = 0{,}08 кОм,$$

$$x_{ce} = (\tfrac{x_c}{R}) r_e = 0{,}2 \cdot 0{,}01 кОм = 0{,}002 кОм,$$

$$x_{c2} = (\tfrac{x_c}{R}) R_H = 0{,}2 \cdot 4 кОм = 0{,}8 кОм,$$

- всі опори ($r_{вх}, r_e, R_H$) – в кілоомах.

23. По графіку (рис. 5.2) знаходимо $C_{пр}$ (для навантаження $R_H = 1 кОм$) і визначаємо: для $f_H = 300\,\text{Гц}$, $C_{пр} = 0{,}53$.

$$C_1 = \frac{C_{пр}}{x_{c1}} = \frac{0{,}53}{0{,}08} = 6{,}6 мкФ,$$

$$C_б = \frac{C_{пр}}{x_{cб}} \frac{0{,}53}{0{,}002} \approx 265 мкФ,$$

$$C_2 = \frac{C_{пр}}{X_{c2}} = \frac{0{,}53}{0{,}8} = 0{,}66 мкФ.$$

Конденсатори вибираємо з довідника (найближче більше).

C_1 вибираємо К71-4, 6,8мкФ, 160В (табл. В.1).

$C_б$ вибираємо К50-7, 330мкФ, 160В (табл. В.2).

C_2 вибираємо К73-17, 0,68мкФ, 63В (табл. В.1).

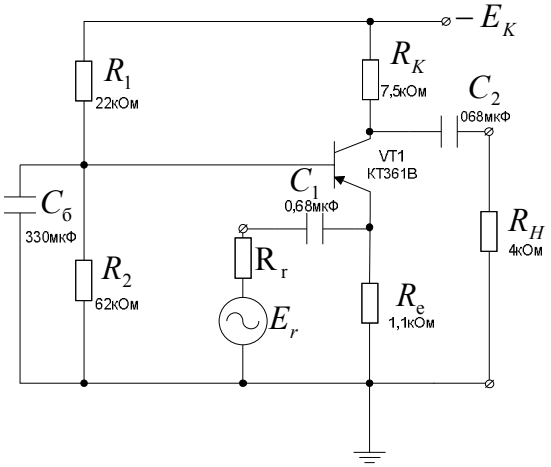


Рисунок 6.6 - Повна схема розрахованого каскаду із СБ

6.3 Каскад із СК

Задано: $U_{вих.\max} = 3B$, (максимальна діюча вихідна напруга), $R_H = 2кОм$, $f_B = 20кГц$, $f_H = 300Гц$, $M = 1{,}10$, $K_i = 10$, ряд резисторів Е24.

1. Обираємо схему:

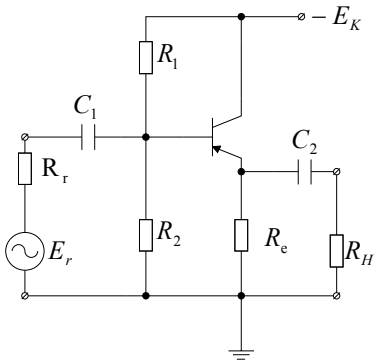


Рисунок 6.7 - Каскад з СК.

2. Знаходимо $R_e = (1...5) \cdot R_H$,

   Приймаємо $R_e = 2 \cdot R_H = 2 \cdot 2кОм = 4кОм$

   Вибираємо з ряду $R_e = 3{,}9кОм$

3. Знаходимо

$$U_{есп} = \frac{1.4U_{вих.\max}}{R_H} \cdot (R_H + R_e) + (1...2)B$$

$$U_{есп} = \frac{3B \cdot 1{,}4}{2кОм} \cdot (2кОм + 3{,}9кОм) + 1B \approx 13{,}4B$$

4. Визначаємо $U_{кесп} = 1.4U_{вих.\max} + 1B = 1{,}4 \cdot 3B + 1B = 5{,}2B$;

5. Знаходимо $E_{жив} \geq U_{есп} + U_{кесп} = 13{,}4B + 5{,}2B = 18{,}6B$ (вибирається із ряду);

   Приймаємо $E_{жив} = 20B$, $U_{кесп} = 5{,}6B$, $U_{есп} = 14{,}4B$ (Добавку 1,4В розподіляємо пропорційно).

6. Визначаємо $i_{е.\max} = \frac{E}{R_e} + i_{н.\max}$, де $i_{н.\max} = \frac{1.4U_{вих.\max}}{R_H} = \frac{1{,}4 \cdot 3B}{2кОм} = 2{,}1мА$,

$$i_{е.\max} = \frac{E}{R_e} + i_{н.\max} = \frac{20B}{3{,}9кОм} + 2{,}1мА = 7{,}23мА$$

7. Знаходимо $P_{\max} = \frac{E^2}{4R_e} = \frac{400B}{3{,}9кОм \cdot 4} = 25{,}6мВт$;

8. Вибираємо транзистор за наступними параметрами, $U_{к.доп} > 20В$, $i_{к.доп} > 6{,}46мА$, $P_{доп} > 25{,}6мВт$, $f > 20кГц$, $h_{21} = (4...10)K_i = 40$ коефіцієнт в дужках визначається по графіку (рис. 6.8).

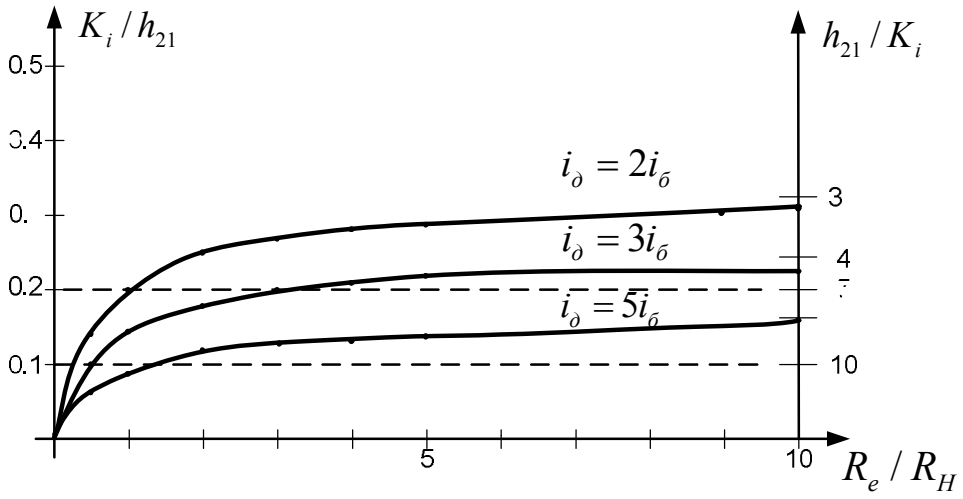


Рисунок 6.8 - Залежність коефіцієнта посилення струму від співвідношення R_e від R_H

Підходить КТ357Г: $U_{к.доп} = 20В$, $i_{к.доп} = 40мА$, $P_{доп} = 100мВт$, $h_{21} = (60...300)$

9. Визначаємо $i_б = \frac{i_{еcп}}{h_{21\min}}$; $(i_{еcп} = \frac{U_{еcп}}{R_e})$;

$i_{еcп} = \frac{U_{еcп}}{R_e} = \frac{14{,}4В}{3{,}9кОм} \approx 3{,}7мА$;

$i_д = \frac{i_{еcп}}{h_{21\min}} = \frac{3{,}7мА}{60} = 0{,}06мА$

10. Визначаємо з рис. 6.8, так як $R_к = 2R_H$ і $h_{21} = 6K_i$, приймаємо $i_д = 3i_б$,

$i_б = \frac{i_д}{3} = \frac{0{,}06мА}{3} = 0{,}02мА$;

11. Визначаємо $R_1 = \frac{U_{кесп} - 0.6В}{i_д} = \frac{5{,}6В - 0{,}6В}{0{,}06мА} \approx 83{,}3кОм$;

Вибираємо зряду $R_1 = 82кОм$

12. Знаходимо $R_2 = \frac{U_{еcп} + 0.6В}{i_д - i_б} = \frac{14{,}4В + 0{,}6В}{0{,}06мА - 0{,}02мА} = 375кОм$;

Вибираємо з ряду $R_2 = 360кОм$

Далі необхідно розрахувати мінімальні значення C_1 і C_2. Для визначення C треба знати опори елементів, на які навантажені конденсатори.

Визначаємо M_i. У приведеній схемі спотворень вносять всі конденсатори, тому, вважаючи ці спотворень рівними, знаходимо $M_i = \sqrt{M}$.

$$M_i = \sqrt{1{,}1} = 1{,}048$$

13. Конденсатор C_1 включений між джерелом сигналу і вхідним опором схеми. Нехтуючи опором джерела сигналу, оскільки він значно менше вхідного опору схеми, знаходимо $R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх}$

де $r_{вх}$ - опір переходу база-емітер (опір ланцюгу R_eC_e не враховуємо)

R_1, R_2 - відомі, $r_{вх} = (R_e \parallel R_H)h_{21}$

$r_{вх} = \frac{R_e \cdot R_H}{R_e + R_H} \cdot h_{21} = \frac{3{,}9кОм \cdot 2кОм}{3{,}9кОм + 2кОм} \cdot 60 = \frac{7{,}8}{5{,}9} \cdot 60 = 79{,}2кОм$

Тоді $R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{82кОм \cdot 368кОм}{82кОм + 368кОм} = \frac{30176кОм}{450кОм} \approx 67{,}05кОм$

$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх} = \frac{R_1 \parallel R_2 \cdot r_{вх}}{R_1 \parallel R_2 + r_{вх}} = \frac{67{,}05кОм \cdot 75кОм}{67{,}05кОм + 75кОм} = \frac{5028{,}75кОм}{142{,}05кОм} \approx 34{,}67кОм$

14. Конденсатор C_2 включений між виходом схеми і навантаженням. Для розрахунку беремо R_H (вихідним опором схеми, зневажаємо).

14. По графіку (рис. 5.1), знаючи M_i знаходимо значення $x_C / R = 0{,}2$, і визначаємо

$$x_{c1} = (\tfrac{x_c}{R})R_{вх} = 0{,}2 \cdot 35кОм = 7кОм,$$

$$x_{c2} = (\tfrac{x_c}{R})R_H = 0{,}2 \cdot 2кОм = 0{,}4кОм,$$

- всі опори ($r_{вх}, r_e, R_H$) – в кілоомах.

17. По графіку (рис. 5.2) знаходимо $C_{пр}$ (для навантаження $R_H = 1кОм$) і визначаємо: для $f_H = 300\,Гц$, $C_{пр} = 0{,}53$.

$$C_1 = \frac{C_{пр}}{x_{c1}} = \frac{0{,}53}{7} \approx 0{,}076мкФ,$$

$$C_2 = \frac{C_{пр}}{X_{c2}} = \frac{0{,}53}{0{,}4} = 1{,}3мкФ.$$

Конденсатори вибираємо з довідника (найближче більше).

C_1 вибираємо К73-21, 0,075мкФ, 63В (табл. В.1).

C_2 вибираємо К71-4, 1,5мкФ, 160В (табл. В.1).

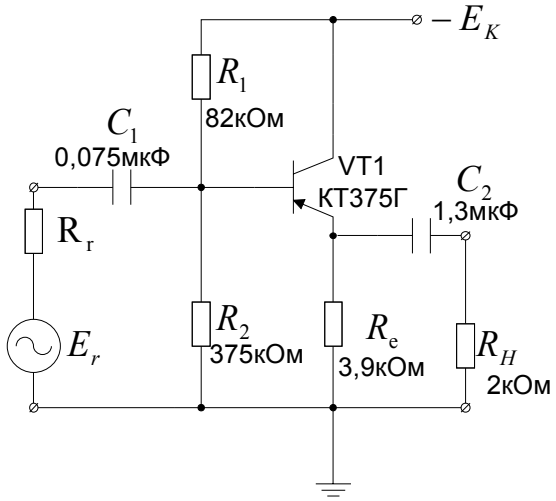


Рисунок 6.9 – Повна схема розрахованого каскаду із СК

6.4 Фазоінверсний каскад

Завдання: Розробити ФІК з вихідною напругою 2,5В на навантаженнях $R_{H1} = R_{H2} = 510\,\text{Ом}$ (резистори вибирати з ряду Е24), $f_в$, f_H, M .

1. Вибираємо схему і тип транзистора.

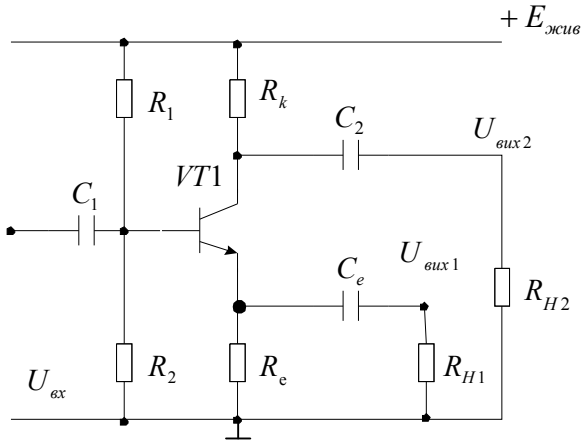


Рисунок 6.6 – Вибір схеми ФІК.

2. Визначаємо $R_к = R_e = 1{,}4 \cdot 510 = 714$ Ом. Вибираємо $R_к = R_e = 750\,\text{Ом}$.

3. Визначаємо $U_{R_{есп}} = \frac{1.4 \cdot 2,5}{510} \cdot (510 + 750) + 2 = 10,6B$.

4. Визначаємо $U_{кесп} = 2.8 \cdot 2,5 + 2 = 9B$, тоді $R_к = R_е = 510Ом$.

5. Визначаємо $E_{жив} = 10,6 \cdot 2 + 9 = 30B$ (вибираємо з додатку Е), приймаємо $E_{жив} = 27B$.

6. Вибираємо транзистор.

Визначаємо вимоги: $U_{ек} > 27B$, $i_k > 53мА$, $P > 182мВ$т.

Підходить КТ3102А:, $U_{ек} > 50B$, $i_{k\max} = 100мА$, $P = 250мВ$т, $h_{21е} = (100...250)$, $f = 100МГц$.

7. Знаходимо $i_{кп} = \frac{9}{0,51} \approx 18мА$.

8. Знаходимо $i_{бсп} = \frac{18мА}{100} = 0,18мА$.

9. Вибираємо $i_д = 3i_{бсп} = 3 \cdot 0,18 = 0,54мА$

10. Знаходимо по вхідній характеристиці транзистора (довідник під ред. Б.Л. Перельмана, стор. 206) $U_{бесп} = 0,5B$.

11. Знаходимо $U_{бсп} = 9 + 0,5 = 9,5B$.

12. Знаходимо $R_2 = \frac{U_{бсп}}{i_д - i_{бсп}} = \frac{9,5}{0,36} = 126,4$ кОм.

Приймаємо $R_2 = 27кОм$.

13. Знаходимо $R_1 = \frac{E - U_{бсп}}{i_д} = \frac{27 - 9,5}{0,54} = 32,4$ кОм.

Приймаємо $R_1 = 33кОм$.

14. Перевіряємо $U_{бсп}$, вирішуючи рівняння $\frac{E_{жив} - U_{бсп}}{R_1} = \frac{U_{бсп}}{R_2} + i_{бсп}$;

$U_{бсп} = \left[\frac{E_{жив}}{R_1} - i_{бсп}\right](R_1 \parallel R_2) = \left[\frac{27}{33} - 0,18\right](\frac{27 \cdot 33}{27+33}) = 9,504B$.

Розрахунок виконаний вірно, оскільки $9,504 \approx 9,5$ (див. п. 11).

15. Необхідно розрахувати мінімальні значення C_1, C_2 і C_3. Для визначення C треба знати опори елементів, на які навантажені конденсатори.

Визначаємо M_i. У приведеній схемі спотворень вносять всі конденсатори, тому, вважаючи ці спотворень рівними, знаходимо $M_i = \sqrt{M}$.

$$M_i = \sqrt{1{,}1} = 1{,}05$$

16. Конденсатор C_1 включений між джерелом сигналу і вхідним опором схеми. Нехтуючи опором джерелом сигналу, оскільки воно значно менше вхідного опору схеми, знаходимо $R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх}$

де $r_{вх}$ - вхідний опір транзистора, емітер якого містить R_e, R_H.

$r_{вх} = (R_e \parallel R_H) \cdot h_{21} = (0{,}51 \parallel 0{,}51) \cdot 100 = 25{,}5кОм$.

R_1, R_2 - відомі,

Тоді $R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{27кОм \cdot 33кОм}{27кОм + 33кОм} = 9{,}504кОм$;

$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх} = \frac{R_1 \| R_2 \cdot r_{вх}}{R_1 \| R_2 + r_{вх}} = \frac{9{,}5кОм \cdot 25{,}5кОм}{9{,}5кОм + 25{,}5кОм} = 6{,}92кОм$.

17. Конденсатор C_2 включений між виходом схеми і навантаженням. Для розрахунку беремо R_H (вихідним опором схеми, зневажаємо).

19. По графіку (рис. 5.1), знаючи M_i знаходимо значення $x_C / R = 0{,}2$, і визначаємо

$$x_{c1} = (\tfrac{x_c}{R}) R_{вх} = 0{,}2 \cdot 6.9кОм = 1.38кОм,$$

$$x_{c2} = (\tfrac{x_c}{R}) R_H = 0{,}2 \cdot 0{,}51кОм = 0{,}102кОм,$$

- всі опори ($r_{вх}, r_e, R_H$) – в кілоомах.

20. По графіку (рис. 5.2) знаходимо $C_{пр}$ (для навантаження $R_H = 1кОм$) і визначаємо: для $f_H = 300\,Гц$, $C_{пр} = 0{,}53$.

$$C_1 = \frac{C_{пр}}{x_{c1}} = \frac{0{,}53}{1.38} = 0{,}38мкФ,$$

$$C_2 = \frac{C_{пр}}{X_{c2}} = \frac{0{,}53}{0{,}1} = 5{,}3мкФ.$$

Конденсатори вибираємо з довідника (найближче більше).

C_1 вибираємо К73-16, 0,1мкФ, 63В (табл. В.1).

C_2 вибираємо К50-16, 5,1мкФ, 50В (табл. В.1).

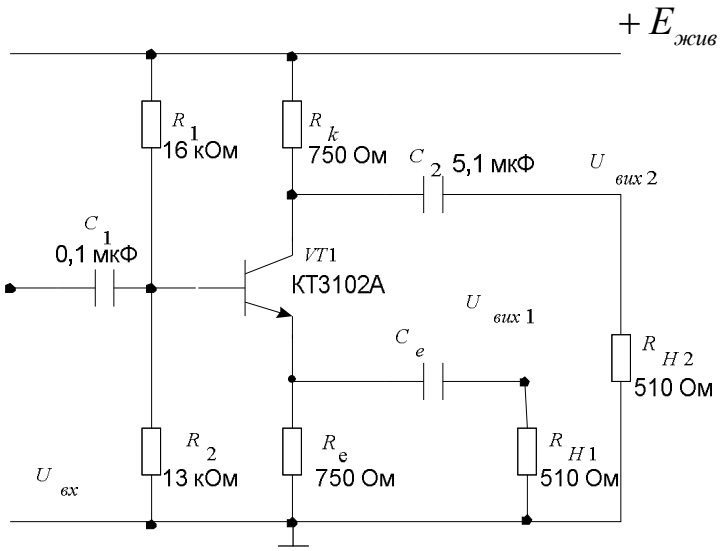


Рисунок 6.7 – Повна схема розрахованого фазоінверсного каскаду

Висновок

Даний посібник допомагає студентам спеціальності «Системи управління і автоматика» здобувати практичні навички проектування систем автоматичного управління.

Методи розрахунку, викладені у посібнику, не стандартні, дозволяють отримати результат, близький до отриманого, з максимальним коефіцієнтом корисної дії.

У посібнику приведені правила розрахунку усіх каскадів, що значно спрощує роботу студентів, особливо заочної форми навчання.

При необхідності, посібник можна буде доповнити прикладами розрахунку більш складних каскадів (з джерелами струму, на декількох транзисторах та інш.).

Література

1. Забродин Ю.С. Промышленная электронника: Учебник для вузов – М.: В.Ш., 1982 – 496 с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электронника: Учебное пособие для студентов приборостроительных специальностей вузов, изд. 2-е. М.: В.Ш., 1991 – 622 с.
3. Схемотехніка електронних схем. Жуйков В.О., Бойко В.І., Зорі А.А. та інш., Т.1 – Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. К.: Аверс, 2002 – 364 с.
4. Расчет электронних схем. Учебное пособие для вузов/Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, В.А. Терехов и др. – М.: В.Ш., 1987 - 335с.
5. Прянишников В.А., Электронника: Полный курс лекций – 3-е изд. – С.Пб.: Учитель и ученик: Корона принт. 2003 -416 с.
6. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник/К.М. Брежнева, Е.И. Гонтман, Т.Н. Давыдова и др. Под ред. Б.Л. Перельмана – М.: Радио и связь, 1981 – 656 с.
7. В помощь радиолюбителю: сборники. Вып. 109, 110, 111 (Сост. И.Н. Алексеева – М.: Патриот, 1991).

ДОДАТОК А. Транзістори

Біполярний транзистор – напівпровідниковий прилад з двома взаємодіючими переходами і трьома або більш виводами, підсилювальні властивості якого обумовлені явищами інжекції, і екстракції не основних носіїв зарядів робота біполярного транзистора залежить від носіїв обидві полярностей.

Польовий транзистор - напівпровідниковий прилад, підсилювальні властивості якого обумовлені потоком основних носіїв, що протікає через провідний канал, і керований електричним полем. Дія польового транзистора обумовлена носіями заряду однієї полярності.

Основні параметри транзисторів приведені нижче. Буквені позначення параметрів надані відповідно до ГОСТ 20003-74 „Транзистори биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров" і ГОСТ 19095-73 „Транзистори полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров".

1. ГРАНИЧНО ДОПУСТИМІ ПАРЕМТРИ РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

$I_{k\max}$ (I_k і max) – максимально допустимий постійний (імпульсний) струм колектора;

$P_{k\max}$ (P_k і max) – максимально допустима постійна (імпульсна) розсіювана потужність колектора;

$P_{\max}$ - максимально допустима постійна розсіювана потужність польового транзистора;

U_{ke} - постійна напруга коллектор–эмиттер;

U_{keR} - постійна напруга коллектор–эмиттер при визначеному опору в ланцюзі база-емітер;

$U_{кеОгр}$ - гранична напруга біполярного транзистора;

$U_{к\text{б}\max}$ - максимально допустима постійна напруга колектор-база;

$U_{е\text{б}\max}$ - максимально допустима постійна напруга емітер-база;

$U_{СИ\max}$ - максимально допустима напруга стік-витік;

$U_{ЗИ\max}$ - максимально допустима напруга затвор-витік;

$U_{ЗС\max}$ - максимально допустима напруга затвор-стік;

$I_{С\max}$ - максимально допустимий постійний струм стоку.

2. СТАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТРАНЗИСТОРІВ

$I_{кб0}$ - постійний зворотній струм колектора;

$I_{к\text{e}R}$ - постійний зворотній струм коллектор-эметтер при певному опорі в ланцюзі база-емітер;

$I_{еб0}$ - постійний зворотній струм емітера;

$I_{Зут}$ - постійний струм витоку затвора;

$I_{Снач}$ - постійний початковий струм стоку;

$U_{кенас}$ - напруга насичення колектор-емітер;

$U_{бенас}$ - напруга насичення база-емітер;

$U_{ЗИотс}$ - напруга відсічення польового транзистора;

$h_{21е}$ - статичний коефіцієнт передачі струму біполярного транзистора в схемі із загальним емітером: відношення постійного струму колектора до постійного струму бази.

3. ПАРАМЕТРИ В РЕЖИМІ МАЛОГО СИГНАЛУ

h_{21e} - коефіцієнт передачі струму біполярного транзистора в режимі малого сигналу в схемі із спільним емітером;

h_{11e} - вихідний опір біполярного транзистора в режимі малого сигналу в схемі із спільним емітером;

h_{22e} - повна вихідна провідність біполярного транзистора в режимі малого сигналу при холостому ході в схемі із зспільним емітером;

S - крутизна характеристики польового транзистора: відношення струму стоку до зміни напруги на затворі при короткому замиканні по змінному струму на вході транзистора в схемі із загальним витоком;

C_K - ємність коллекторного переходу. При збільшенні зворотної напруги ємкість зменшується;

C_e - ємність емітерного переходу. При збільшенні зворотного зсуву на емітері ємність зменшується;

C_{11u} - ємкість польового транзистора: ємність між затвором сполученими разом витоком і стоком;

C_{12u} - ємність польового транзистора: ємність між стоком і затвором;

C_{22u} - вихідна ємність польового транзистора.

4. ЧАСТОТНІ ПАРАМЕТРИ

f_{21} - гранична частота коефіцієнта передачі струму біполярного транзистора: частота, на якій модуль коефіцієнта передачі струму $|h_{21e}|$ зменшується на 3 дБ, тобто до 07;

$f_{гр}$ - гранична частота коефіцієнта передачі струму в схемі із спільним емітером: частота, на якій $|h_{21e}|$ транзистора, включеного в схемі із спільним емітером, рівний одиниці;

$K_{Ш}$ - коефіцієнт шуму біполярного (польового) транзистора;

$K_{УР}$ - коефіцієнт посилення по потужності біполярного (польового) транзистора;

$E_{Ш}$ - електродвижуча сила шуму польового транзистора;

$P_{ВИХ}$ - вихідна потужність біполярного (польового) транзистора.

Параметри транзисторів в табл. 1.8 приведені при нормальній температурі навколишнього середовища (250С).

Приложение А.1 - Транзисторы маломощные высокочастотные

Таблица А.1

Тип	I_{kmax}, мА	I_k, и max, мА	P_{kmax}, мВт	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$), В	$U_{Эбmax}$, В	f_{21}, МГц	h21э	$I_{КБ0}$, мкА	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭнас}$, В	$R_{Т п-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
n-p-n												
КТ301Г	10	20	58	30	3	60	(10...32)	10	3	2,5	600	ТР24
КТ301Д	10	20	58	0	3	60	(20...60)	10	3	2,5	600	ТР24
КТ301Е	10	20	58	30	3	60	(40... 120)	10	3	2,5	600	ТР24
КТ301Ж	10	20	58	30	3	60	(80.300)	10	3	2,5	600	ТР24
КТ339А	25		260	25	4	100	25					ТР3
КТ312А	30	60	225	20	4	80	(10...100)	10	0,8	1,1	400	ТР25
КТ312Б	30	60	225	35	4	120	(25.100)	10	0,8	1,1	400	ТР25
КТ312В	30	60	225	20	4	120	(50.280)	10	0,8	1,1	400	ТР25
КТ358А	30	60	100	15	4	80	(10.100)	10	0,8	1,1	700	ТР26
КТ358Б	30	60	100	30	4	120	(25... 100)	10	0,8	1,1	700	ТР26
КТ358В	30	60	100	15	4	120	(50.280)	10	0,8	1,1	700	ТР26
КТ601А	30		250	100	2	40	(16)	500				ТР2
КТ601АМ	30		250	100	2	40	(16)	500				ТР12
КТ315Ж	50		100	15	6	100	30.250	1	0,5	0,9		ТР27
КТ315И	50		100	60	6	100	>30	1				ТР27

КТ340А	50	200	150	15	5	300	100...150	1	0,2			ТР3
КТ340Б	50	200	150	20	5	300	>100	1	0,25			ТР3
КТ340В	50	200	150	15	5	300	>35	1	0,4			ТР3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КТ340Д	50	200	150	15	5	300	>40	1	0,3			ТР3
КТ342А	50	300	250	30	5	100	25.250	1	0,1	0,9		ТР3
КТ342Б	50	300	250	25	5	100	50.500	1	0,1	0,9		ТР3
КТ342В	50	300	250	10	5	100	I00...I000	1	0,1	0,9		ТР3
КТ373А	50	200	150	30	5	100	I00...250	0,05	0,1	0,9		ТР28
КТ373Б	50	200	150	25	5	100	200...600	0,05	0,1	0,9		ТР28
КТ373В	50	200	150	10	5	100	500...1000	0,05	0,1	0,9		ТР28
КТ373Г	50	200	150	60	5	100	50...125	0,05	0,1	0,9		ТР28
КТ340Г	75	500	150	15	5	300	>16	1	0,6			ТР3
КТ602А	75	500	650	100	5	150	20...80	70	3	3	150	ТР29
КТ602Б	75	500	650	100	5	150	>50	70	3	3	150	ТР29
КТ315А	100		150	25	6	100	20...90	1	0,4	1,1		ТР27
КТ315Б	100		150	20	5	100	50...350.	1	0,4	1,1		ТР27
КТ315В	100		150	40	6	100	90	1	0,4	1,1		ТР27
КТ315Г	100		150	35	6	100	50...350	1	0,4	1,1		ГР27
КТ315Д	100		150	40	6	100	20...90	1	1	1,5		ТР27
КТ315Е	100		150	35	6	100	50..350	1	1	1,5		ТР27
КТ375А	100	200	200	60		100	10…100	1	0,4	1		ТР30
КТ375Б	100	200	200	30		100	50...280	1	0,4	1		ТР30
КТ3102А	100	200	250	50	5	100	I00...250	0,05			400	ТР3

Тип	I_{kmax}, мА	$I_{k,и\ max}$, мА	P_{kmax}, мВт	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$U_{эбmax}$, В	f_{21}, МГц	$h21_э$	$I_{кб0}$, мкА	$U_{кэнас}$, В	$U_{бэнас}$, В	$R_{тп-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
КТ3102Б	100	200	250	50	5	100	200....500	0,05			400	ТР3
КТ3102В	100	200	250	30	5	100	200...500	0,05			400	ТР3
КТ3102Г	100	200	250	20	5	100	400...1000	0,05			400	ТР3
КТ3102Д	100	200	250	30	5	100	200.500	0,05			400	ТР3
КТ3102Е	100	200	250	50	5	100	400... 1000	0,05			400	ТР3
КТ605А	100	200	400	250	5	40	10.40	20	8		300	ТР2
КТ605АМ	100	200	400	250	5	40	10...40	20	8		300	ТР12
КТ605Б	100	200	400	250	5	40	30... 120	20	8		300	ТР2
КТ605БМ	100	200	400	250	5	40	30... 120	20	8		300	ТР12
КТ618А	100		500	250	5		30	50			300	ТР31
КТ603А	300	600	500	30	3	200	10...80	10	1	1,5	200	ТР2
КТ603Б	300	600	500	30	3	200	>60	10	1	1,5	200	ТР2
КТ603В	300	600	500	15	3	200	10...80	5	1	1,5	200	ТР2
КТ603Г	300	600	500	15	3	200	>60	5	1	1,5	200	ТР2
КТ603Д	300	600	500	10	3	200	20...80	1	1	1,5	200	ТР2
КТ603Е	300	600	500	10	3	200	60...200	1	1	1,5	200	ТР2
КТ3117А	400	800	300	50	4	200	40...200	10	0,6	1,2		ТР3
КТ608А	400	800	500	60	5	200	20...60	10	1	2	200	ТР2

КТ608Б	400	800	500	60	5	200	40.160	10	1	2	200	ТР2
КТ616А	400	600	300	20	4		40	15	0,6	2	260	ТР31
КТ616Б	400	600	300	20	4		25	15	0,6	2	260	ТР31
КТ617А	400	600	500	20	4	200	30	15	0,7		215	ТР31
КТ646А	500	700	1000	50	4		40...200	10	1	1,2		ТР12
КТ630А	1000	2000	800	120	7	50	40...120	1	0,3	1,1		ТР32
КТ630Б	1000	2000	800	120	7	50	80...240	1	0,3	1,1		ТР32
КТ630В	1000	2000	800	150	7	50	40..120	1	0,3	1,1		ТР32
КТ630Г	1000	2000	800	100	7	50	40..	1	0,3	1,1		ТР32
КТ630Е	1000	2000	800	60	7	50	160...460	1	0,3	1,1		ТР32
p-n-p												
ГТ309А	10		50	10		120	20...70	5			100	ТР1
ГТ309Б	10		50	10		120	60...180	5			100	ТР1
ГТ309В	10		50	10		80	20...70	5			100	ТР1
ГТ309Г	10		50	10		80	60... 180	5			100	ТР1
ГТ309Д	10		50	10		40	20...70	5			100	ТР1
ГТ309Е	10		50	10		40	60..180	5			100	ТР1
ГТ310А	10		20	10		10	(20...70)				200	ТР8
ГТ310Б	10		20	10		10	(60...180)				200	ТР8
ГТ310В	10		20	10		10	(20...70)				200	ТР8
ГТ310Г	10		20	10		10	(60...180)				200	ТР8
ГТ310Д	10		20	10		10	(20...70)				200	ТР8
ГТ310Е	10		20	10		10	(60... 180)				200	ТР8
ГТ322А	10		50	10			30...100	4			700	ТР33

Тип	I_{kmax}, мА	I_k, и max, мА	P_{kmax}, мВт	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$U_{эбmax}$, В	f_{21}, МГц	h21э	$I_{кб0}$, мкА	$U_{кэнас}$, В	$U_{бэнас}$, В	$R_{тп-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
ГТ322Б	10		50	10			50...12	4			700	ТР33
ГТ322В	10		50	10			20... 120	4			700	ТР33
П414	10	30	100	10	1	(60)	(25... 100)	4				ТР34
П414А	10	30	100	10	1	(60)	(60.120)	4				ТР34
П414Б	10	30	100	10	1	(60)	(100...200)	4				ТР34
П415	10	30	100	10	1	(120)	(25...100)	4				ТР34
П415А	10	30	100	10	1	(120)	(60...120)	4				ТР34
П415Б	10	30	100	10	1	(120)	(100...200)	4				ТР34
П422	20		100	10		60	(24...100)	5				ТР35
П423	20		100	10		120	24...10)	5				ТР35
П416	25	120	100	12	3		(25...80)	5	2	0,5		ТР36
П416А	25	120	100	12	3		(60...125)	5	1,7	0,5		ТР36
П416Б	25	120	100	12	3		(90...200)	5	1,7	0,5		ТР36
КТ357А	40	80	100	(6)	3,5		20...100	5	0,3	1		ТР26
КТ357Б	40	80	100	6,0	3,5		60...301	5	0,3	1		ТР26
КТ357В	40	80	100	20	3,5		20...100	5	0,3	1		ТР26
КТ357Г	40	80	100	20	3,5		60...300	5	0,3	1		ТР26
ГТ308А	50	120	150	12	3		25...75	5	1,5	0,45		ТР36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ГТ308Б	50	120	150	12	3		50...120	5	1,2	0,45		ТР36
ГТ308В	50	120	150	12	3		80...150	5	1,2	0,45		ТР36
КТ343А, Б	50	150	150	17	4		30...50	1	0,3			ТР2
КТ343В	50	150	150	9	4		30	1	0,3			ТР2
КТ361А	50		150	25	4		20...90	1				ТР27
КТ361Б	50		150	20	4		50...350	1				ТР27
КТ361В	50		150	40	4		40...160	1				ТР27
КТ361Г	50		150	35	4		50...350	1				ТР27
КТ361Д	50		150	40	4		20...90	1				ТР27
КТ361Е	50		150	35	4		50...350	1				ТР27
КТ3107А	100	200	300	(45)	5	200	70...140	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Б	100	200	300	(45)	5	200	120...220	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107В	100	200	300	(25)	5	200	70...140	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Г	100	200	300	(25)	5	200	120...220	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Д	100	200	300	(25)	5	200	180...460	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Е	100	200	300	(20)	5	200	120...220	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Ж	100	200	300	(20)	5	200	180...460	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107И	100	200	300	(45)	5	200	180...460	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107К	100	200	300	(25)	5	200	380...800	0,1	0,5	1	420	ТР37
КТ3107Л	190	200	300	(20)	5	200	380...800	0,1	0,5	1	420	ТР37
ГТ320А	150	300	200	12	3	80	20...80	10	2	0,5	200	ТР36
ГТ320Б	150	300	200	12	3	120	50...120	10	2	0,5	200	ТР36
ГТ320В	150	300	200	10	3	200	80...250	10	2	0,5	200	ТР36

Тип	I_{kmax}, мА	$I_{k,и\ max}$, мА	P_{kmax}, мВт	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$U_{Эбmax}$, В	f_{21}, МГц	h21э	$I_{кб0}$, мкА	$U_{кЭнас}$, В	$U_{бЭнас}$, В	$R_{Тп-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
ГТ321А	200	2000	160	50	4	60	20...60	500	2,5	1,3	250	ТР36
ГТ321Б	200	2000	160	40	4	60	40...120	500	2,5	1,3	250	ТР36
ГТ321В	200	2000	160	50	4	60	80…250	500	2,5	1,3	250	ТР36
ГТ321Г	200	2000	160	40	4	60	20…60	500	2,5	1,3	250	ТР36
ГТ321Д	200	2000	160	40	4	60	40...120	500	2,5	1,3	250	ТР36
ГТ321Е	200	2000	160	40	4	60	80...200	500	2,5	1,3	250	ТР36
КТ345А	200	300	100	(20)	4	350	20...60	500	0,3	1,1	1100	ТР38
КТ345Б	200	300	100	(20)	4	350	50...85	1	0,3	1,1	1 100	ТР38
КТ345В	200	300	100	(20)	4	350	70...105	1	0,3	1,1	1100	ТР38
КТ351А	200	400	300	15	5	200	20...80	1	0,6	1,2	400	ТР37
КТ351Б	200	400	300	15	5	200	50...200	1	0,9	1,1	400	ТР37
КТ352А	200	200	300	15	5	200	25...120	1	0,6	1,1	400	ТР37
КТ352Б	200	200	300	15	5	200	70...300	1	0,6	1,1	400	ТР37
КТ3108А	200		300	60	5	250	50...150	1	0,25	1	500	ТР3
КТ3108Б	200		300	45	5	250	50...150	0,2	0,25	1	500	ТР3
КТ3108В	200		300	45	5	300	100...300	0,2	0,25	1	500	ТР3
КТ620А	200		225	20	3		100	0,2	1	1,8	400	ТР2
КТ620Б	200		225	20	3		30...100	5	1	1,8	150	ТР2

КТ644А	600	1000	1000		5		20	5	0,4	1,3	115	ТР 12
КТ644Б	600	1000	1000		5		100	0,1	0,4	1,3	115	ТР 12
КТ644В	600	1000	1000		5		40	0,1	0,4	1,3	115	ТР 12
КТ644Г	600	1000	1000		5		100	0,1	0,4	1,3	115	ТР 12
КТ639А	1500	2000	1000		5	80	40...100	0,1	0,5	1,25	115	ТР 12
КТ639Б	1500	2000	1000		5	80	63...160	0,1	0,5	1,25	115	ТР 12
КТ639В	1500	2000	1000		5	80	100...250	0,1	0,5	1,25	115	ТР12
КТ639Г	1500	2000	1000		5	80	40...100	0,1	0,5	1,25	115	ТР 12
КТ639д	1500	2000	1000		5	80	63...160	0,1	0,5	1,25	115	ТР 12

Приложение А.2 - Транзисторы мощные низкочастотные

Таблица А.2

Тип	I_{kmax}, А	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$R_{бэ}$, кОм	$P_к$, Вт	$I_б$ ($I_э$), А	$h_{21э}$	f_{21}, МГц	$I_{кб0}$ ($I_{кэR}$), мкА	$U_{кэнас}$, В	$U_{бэнас}$, В	$R_{т-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
n-p-n												
КТ807А	0,5	100	1	10	0,2	15...45	5	(5)	1		8	ТР10
КТ807АМ	0,5	100	1	10	0,2	15...45	5	(5)	1		8	ТР10
КТ807Б	05	100	1	10	0,2	30...100	5	(5)	1		8	ТР10
КТ807БМ	0,5	100	1	10	0,2	30...100	5	(5)	1		8	ТР10
КТ826А, В	1	700	0,01	15	0,75	5...300		(2)	2,5	2		ТР11
КТ826Б	1	700	0,01	15	0,75	5...300		(2)	2,5	2		ТР11
КТ815А	1,5	40	0,1	10	0,5	40...70	3	0,05				ТР12
КТ815Б	1,5	50	0,1	10	0,5	40...70	3	0,05				ТР12
КТ815В	1,5	70	0, 1	10	0,5	40...70	3	0,05				ТР12
КТ815Г	1,5	100	0.1	10	0,5	30...70	3	0,05				ТР12
КТ801А	2	80	0,1	5	0,4	13...50	10	(10)	2			ТР13
КТ801Б	2	60	0,1	5	0,4	30...150	10	(10)	2			ТР13
КТ704А	2,5	500	0,01	15	2	10...100	1	(5)	5	3		ТР14
.КТ704Б	2,5	400	0,01	15	2	10...100	1	(5)	5	3		ТР14

КТ704В	2,5	400	0,01	15	2	10...100	1	(5)	5	3		ТР14
КТ8О9А	3	400	0,01	40	1,5	15...100	3	(3)	1,5	2,3	2,5	ТР15
КТ817А	3	40	1	25	1	30	0,1		1,5			ТР12
КТ817Б	3	45	1	25	1	30	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
КТ817В	3	60	1	25	1	30	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
КТ817Г	3	100	1	25	1	30	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
КТ802А	5			50	1	15	10	60	5		2,5	ТР15
КТ805А	5		0,01	30	2	15		(60)	2,5	2,5	3,3	ТР15
КТ805АМ	5		0,01	30	2	15		(60)	2,5	2,5	3,3	ТР16
КТ805Б	5		0,01	30	2	15		(70)	5	5	3,3	ТР15
КТ805БМ, ВМ	5		0,01	30	2	15		(70)	5	5	3,3	ТР16
КТ828А	5	800	0,01	50		4	1	5	3	3		ТР11
КТ8 28Б	5	600	0,01	50		4	1	5	3	3		ТР11
КТ838А	5		0,01	12,5	0,1		1		5	1,5		ТР11
КТ840А	6	400	0,1	60	2	10...100	1	3	3	1,6		ТР11
КТ840Б	6	350	0,1	60	2	10...100	1	3	3	1,6		ТР11
ТК435-10	6	600...800	0,01			8		20	2,5	3	1	ТР17
КТ812А	8	700	0,01	50	3	10...125		5	2,5	2,5		ТР11
КТ812Б	8	500	0,01	50	3	10...125		5	2,5	2,5		ТР11
КТ812В	8	300	0,01	50	3	10...125		5	2,5	2,5		ТР11
КТ829А	8	(100)	1	60	0,2	750		(1,5)	2	2,5		ТР18
КТ829Б	8	(80)	1	60	0,2	750		(1,5)	2	2,5		ТР18
КТ829В	8	(60)	1	60	0,2	750		(1,5)	2	2,5		ТР18

Тип	I_{kmax}, А	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$R_{бэ}$, кОм	$P_к$, Вт	$I_б$ ($I_э$), А	$h_{21э}$	f_{21}, МГц	$I_{кб0}$ ($I_{кэR}$), мкА	$U_{кэнас}$, В	$U_{бэнас}$, В	$R_{п-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
КТ829Г	8	(45)	1	60	0,2	750		(15)	2	2,5		ТР18
КТ803А	10	60	0,1	60		10	10	100	2,5			ТР15
КТ808А	10	120	0,01	50	4	10...150	30,5	(3)		2,5		ТР15
КТ819А	10	40	0,1	60	3	15...30	12	1	5	5		ТР16
КТ819Б	10	50	0,1	60	3	20…30	12	1	5	5		ТР16
КТ819В	10	70	0,1	60	3	15…30	12	1	5	5		ТР16
КТ819Г	10	100	0,1	60	3	12...30	12	1	5	5		ТР16
ТК135-16	10	45…540	0,01	50	3,5	10…100	6	10	0,6	1,8		ТР11
ТК335 16	10	300. . .600	0,01		5	8		20	2,5	3	1,25	ТР17
ТК435-16	10	600. . .800	0,01		5	8		20	2,5	3	1	ТР17
ТК335-20	12,5	300. ..600	0,01		5	8		20	2,5	3	1,25	ТР17
ТК435-20	12,5	600.. .800	0,01		5	8		20	2,5	3	1	ТР17
КТ819АМ	15	40	0,1	100	3	15...30	12	1	2	3		ТР11
КТ819БМ	15	50	0,1	100	3	20...30	12	1	2	3		ТР11
КТ819ВМ	15	70	0,1	100	3	15...30	12	1	2	3		ТР11
КТ819ГМ	15	100	0,1	100	3	12...30	12	1	2	3		ТР11
КТ834А	15	500	0,1	100	3,5	60...1250		(3)	2			ТР11
КТ834Б	15	450	0,1	100	3,5	60...1250		(3)	2			ТР11

КТ834В	15	400	0,1	100	3,5	60...1250		(3)	2			ТР11
ТК135-25	16	45...540	0,01	50	5	10...100	6	10	0,6…2	1,8…2	1,5	ТР11
ТК335-25	16	300...600	0,1		5	8		20	2,5	3	0,625	ТР17
ТК435-25	16	600...800	0,01		7,5	8		20	2,5	3	0,65	ТР17
КТ827А	20	100	1	125	0.5	750...18 000	10	(3)	2	4		ТР11
КТ827Б	20	80	1	125	0,5	750...18000	10	(3)	2	4		ТР11
КТ827В	20	60	1	125	0,5	750...18000	10	(3)	2	4		ТР11
ТК235-32	20	45...540	0,01	68	6,5	10...100	4	10	0,6…2	1,8…2	1,1	ТР11
ТК335-32	20	300...600	0,01		5	8		20	2,5	3	0,625	ТР17
ТК435-32	20	600...800	0,01		10	8		20	2,5	3	0,65	ТР17
ТК235-40	32	45...540	0,01	68	8	10...100	4	10	0,6…2	1,8…2	1,1	ТР11
ТК335-40	32	300...600	0,01		12	8		20	2,5	3	0,625	ТР17
ТК235-50	32	45...540	0,01	100	10	10...100	4	10	0,6…2	1,8…2	0,7	ТР11
ТК235-63	40	45...540	0,01	170	13	10…100	4	10	0,6…2	1,8…2	0,5	ТР11
p-n-p												
КТ626А	0,5	(45)	0,1	6,5		40...250	45	0,01	1			ТР19
КТ626Б	0,5	(60)	0,1	6,5		30...100	75	0,15	1			ТР19
КТ626В	0,5	(80)	0,1	6,5		15...45	45	0,15	1			ТР19
КТ626Г	0,5	(20)	0,1	6,5		15...60	45	0,15	1			ТР19
КТ626Д	0,5	(20)	0,1	6,5		40...250	45	0,15	1			ТР19
ГТ403А	1	(30)			0.4	(20...60)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Б	1,25	(30)			0,4	(50...150)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20

Тип	$I_{к max}$, А	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$), В	$R_{БЭ}$, кОм	$P_К$, Вт	$I_Б$ ($I_Э$), А	$h_{21Э}$	f_{21}, МГц	$I_{КБ0}$ ($I_{КЭR}$), мкА	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭнас}$, В	$R_{Т п-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
ГТ403В	1,25	(45)			0,4	(20...60)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Г	1,25	(45)			0,4	(50...150)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Д	1,25	(45)			0,4	(50...150)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Е	1,25	(45)			0.4	30	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Ж	1,25	(60)			0,4	(20...60)	0,008	0,07	0,5	0,8		ТР20
ГТ403И	1.25	(60)			0,4	30	0,008	0,07	0,5	0,8		ТР20
ГТ403Ю	1,25	(30)			0,4	(30...60)	0,008	0,05	0,5	0,8		ТР20
КТ814А	1,5	(40)	0,1	10	0,5	40	3	0,05	0,6	1,2		ТР12
КТ814 Б	1	(50)	0,1	10	0,5	40	3	0,05	0,6	1.2		ТР12
КТ814В	1,5	70	0,1	10	0,5	40	3	0,05	0,6	1,2		ТР12
КТ814Г	1,5	100	0,1	10	0.5	30	3	0,05	0,6	1,2		ТР12
КТ816А	3	40	1	25	1	25	3	0,1	0,6	1.5		ТР12
КТ816Б	3	45	1	25	1	25	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
КТ816В	3	60	1	25	1	25	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
КТ816Г	3	100	1	25	1	25	3	0,1	0,6	1,5		ТР12
ГТ703А	3,5	20	0,05	15		30...70	0,01	0,5	0,6	1		ТР21
ГТ703Б	3,5	20	0,05	15		50	0,01	0,5	0,6	1		ТР21
ГТ703В	3,5	30	0,05	15		30...70	0,01	0,5	0,6	1		ТР21

ГТ703Г	3,5	30	0,05	15		50....10	0,01	0,5	0,6	1		ТР21
ГТ703Д	3,5	40	0,05	15		20...45	0,01	0,5	0,6	1	3	ТР21
КТ837А	7	70	0,05	30	1	10...40		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Б	7,5	70	0,05	30	1	20...80		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837В	7,5	70	0,05	30	1	50...150		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Г	7,5	55	0,05	30	1	10...40		0,15	0,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Д	7,5	55	0,05	30	1	20...80		0,15	0,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Е	7,5	55	0,05	30	1	50..150		0,15	0.5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Ж	7,5	40	0,05	30	1	10...40		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837И	7,5	40	0,05	30	1	20...80		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837К	7,5	40	0,05	30	1	50...150		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Л	7,5	70	0,05	30	1	10...40		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837М	7,5	70	0,05	30	1	20...80		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Н	7,5	70	0,05	30	1	50...150		0,15	2,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837П	7,5	55	0,05	30	1	10...40		0,1	0,9	1,5	3,33	ТР16
КТ837Р	7.5	55	0,05	30	1	20...80		0,15	0,9	1,5	3,33	ТР16
КТ837С	7,5	55	0,05	30	1	50...150		0,15	0,9	1,5	3,33	ТР16
КТ837Т	7,5	40	0,05	30	1	10...40		0,15	0,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837У	7,5	40	0,05	30	1	20...80		0,15	0,5	1,5	3,33	ТР16
КТ837Ф	7,5	40	0,05	30	1	50...150		0,15	0,5	1,5	3,33	ТР16
КТ810А	10	200	0,1	15	1,5	15		20	0,7	0,8	2,5	ТР22
КТ818А	10	40	0,1	60	3	15	7	1	1,5	3		ТР16
КТ818Б	10	50	0,1	60	3	20	7	1	2	3		ТР16
КТ818В	10	70	0,1	60	3	15	7	1	2	3		ТР16

Тип	$I_{к max}$, А	$U_{КЭR}$ ($U_{кэ}$), В	$R_{БЭ}$, кОм	$P_к$, Вт	$I_б$ ($I_э$), А	$h_{21э}$	f_{21}, МГц	$I_{КБ0}$ ($I_{КЭR}$), мкА	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭнас}$, В	$R_{т-с}$, С/Вт	Корпус (рис.1)
КТ818Г	10	90		60	3	12	7	1	2	3		ТР16
ГТ806А	15	(75)		30	3	10...100	10	15	0,6	1	2	ТР23
ГТ806Б	15	(100)		30	3	10...100	10	15	0,6	1	2	ТР23
ГТ806В	15	(120)		30	3	10...100	10	15	0,6	1	2	ТР23
ГТ806Г	15	(50)		30	3	10...100	10	15	0,6	1	2	ТР23
ГТ806Д	15	(140)		30	3	10...100	10	15	0,6	1	2	ТР23
КТ818АМ	15	40	0,1	100	3	15	7	1	2	3		ТР11
КТ818БМ	15	50	0,1	100	3	20	7	1	2	3		ТР11
КТ818ВМ	15	70	0,1	100	3	15	7	1	2	3		ТР11
КТ818ГМ	15	90	0,1	100	3	12	7	1	2	3		ТР11
КТ825Г	20	90	1	125	0,5	750			2	3		ТР11
КТ825Д	20	60	1	125	0,5	750			2	3		ТР11
КТ825Е	20	30	1	125	0,5	750			2	3		ТР11

Приложение А.3 - Транзисторы мощные высокочастотные

Таблица А.3

Тип	$I_{кmax}$, А	$P_{кmax}$, Вт	$U_{кэR}$ ($U_{кэ}$), В	$U_{Эбmax}$, В	$R_{вых}$, Вт	f_{h21}, МГц	$h_{21Э}$	$I_{кб0}$, мкА(мА)	$U_{Кэнас}$, В	$U_{бЭнас}$, В	$R_{Тп-с}$ ($R_{Тп-к}$), С/Вт	Корпус (рис.1)
n-p-n												
КТ940А	0,1	1,2	300	5		90	25	0,05	1		104	ТР12
КТ940Б	0,1	1,2	250	5		90	25	0,05	1		104	ТР12
КТ940В	0,1	1,2	160	5		90	25	0,05	1		104	ТР12
КТ969А	0,1	6	250	5		60	50...250	0,05	1		125	ТР12
КТ920А	0,5	5	36	4	2	40	10...100	250	0,75		(20)	ТР39
КТ922А	0,8	8	65	4	5	30	10.150	(5)	0,6		(15)	ТР39
КТ928А	0,8	2	60	5		25	20...100	1	1	1,5		ТР40
КТ928Б	0,8	2	60	5		25	50...250	1	1	1,5		ТР40
КТ929А	0,8	6	30	3	2	40	25….50	(5)			(20)	ТР39
КТ920Б	1	10	36	4	5	40	10…100		0,75		(20)	ТР39
КТ922Б	1,5	20	65	4	20	30	10...150	(40)	0,7		(6)	ТР39
КТ922Г	1,5	20	65	4	17	30	10...150	(40)	0,7		(6)	ТР39
КТ961А	1,5	12,5	100	5		50	40...100	10	0,5		(10)	ТР12
КТ961Б	1,5	12,5	80	5		50	63…160	10	0,5		(10)	ТР12
КТ961В	1,5	12,5	60	5		50	100...250	10	0,5		(10)	ТР12

Тип	I_{kmax}, А	P_{kmax}, Вт	$U_{кэк}$ ($U_{кэ}$), В	$U_{эбmax}$, В	$R_{вых}$, Вт	f_{h21}, МГц	$h_{21э}$	$I_{кб0}$, мкА(мА)	$U_{кэнас}$, В	$U_{бэнас}$, В	$R_{тп-с}$($R_{тп-к}$), С/Вт	Корпус (рис.1)
КТ943А	2	25	45	5		30	40...200	100	0,6			ТР12
КТ943Б	2	25	60	5		30	40...160	100	0,6			ТР12
КТ943В	2	25	80	5		30	40...120	100	0,6			ТР12
КТ943Г	2	25	80	5		30	20...60	(1)	1,2			ТР12
КТ943Д	2	25	60	5		30	30...100	(1)	1,2			ТР12
КТ903А	3	30	80	4	10	120	15...70	(10)	2,5	2		ТР15
КТ903Б	3	30	80	4	10	120	40...180	(10)	2,5	2		ТР15
КТ920В	3	25	36	4	20	400	10...100	(7)	0,81		(10)	ТР39
КТ920Г	3	25	36	4	15	350	10...100	(7)	0,9		(10)	ТР39
КТ922В	3	40	65	4	40	300	10...150	(40)	0,6		(3)	ТР39
КТ922Д	3	40	65	4	35	250	10...150	(40)	0,6		(3)	ТР39
КТ921А	3,5	12,5	65	4	12,5	100	10...80	(10)			(6)	ТР41
КТ921Б	3,5	12,5	65	4	12,5	100	10...80	(10)			(6)	ТР41
КТ902А	5	30	110	5	20	35	15	(10)	2	2	(4)	ТР15
КТ908А	10	50	(100)	5		30	8...60	(25)	1,5	2,3		ТР15
КТ908Б	10	50	(60)	5		30	20	(50)	1	2,3		ТР15
КТ927А	10	83	(70)	3,5	75	100	15...20	(40)	0,7		(1,5)	ТР42
КТ927Б	10	83	(70)	3,5	75	100	25...75	(40)	0,7		(1,5)	ТР42
КТ927В	10	83	(70)	3,5	75	100	40...100	(40)	0,7		(1,5)	ТР42

КТ958А	10	85	36	4	40	300	10...250	(28)	0,15		(1,4)	ТР43
КТ944А	12,5	55	100	5	100	100	10...80	(80)	2,5		(1,7)	ТР44
КТ926А	15	50	150	5		50	10...60	(25)	2,5	2,5	(2)	ТР45
КТ926Б	15	50	150	5		50	10...60	(25)	2,5	2,5	(2)	ТР45
КТ931А	15	120	60	4	80	250	5...100	(30)	0,16		(0,8)	ТР43
КТ945А	15	50	150	5		50	10...60	(25)	2,5	3		ТР11
КТ956А	15	50	100	4	100	100	10...80	(80)			(1,7)	ТР46
КТ967А	15	100	36	4	90	200	10...100	(20)			(1,7)	ТР46
КТ912А	20	35	70	5	70	100	10..50	(75)			(1,4)	ТР47
КТ912Б	20	35	70	5	70	100	20...100	(75)			(1,4)	ТР47
КТ935А	20	60	80	6		50	20...100	(30)				ТР45
КТ947А	20	200	100	5	250	100	10...80	(100)			(0,8)	ТР44
КТ957А	20	100	60	4	125	100	10...80	(100)			(1,4)	ТР46
p-n-p												
КТ933А	0,5	5	(80)	4,5		75	15...80	500	1,5		125	ТР15
КТ933Б	0,5	5	(60)	4,5		75	30...120	500	1,5		125	ТР15
КТ932А	2	20	(80)	4,5		80	15...80	(80)	1,5		42	ТР11
КТ932Б	2	20	(60)	4,5		80	30...120	(60)	1,5		42	ТР11
КТ932В	2	20	(40)	4,5		80	40	(4)	1,5		42	ТР11
ГТ905А	3	6	75			75	35...100	(2)	0,5	0,7	50	ТР48
ГТ905Б	3	6	60			75	35...100	(2)	0,5	0,7	50	ТР48
ГТ906А	6	15	(75)				30...150	(8)	0,5	0,7	50	ТР49
ГТ906АМ	6	15	(75)				30...150	(8)	0,5	0,7	50	ТР48

ДОДАТОК Б. Резистори

Б.1 СИСТЕМА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Відповідно до нової діючої системи скорочене позначення складається з трьох елементів (табл.1).

Таблиця 1

Система умовних позначень

Елемент			Приклад позначення
перший	другий	третій	
Р - резистори постійні; РП – резистори змінні	1 – недротяні; 2 – дротяні, метало-фольгові	Порядковий номер розробки конкрет-ного типу резистора	Р1-26 (постійний недротяний резистор з порядковым номером разработки 26)
ТР – терморезисори з негативним ТКС; ТРП – терморезисори з позитивним ТКС	Напівпровідникові матеріали не позначаються	Порядковий номер розробки	ТР-7 (терморезистор з негативним ТКС з порядковим номером розробки 7)
ВР – варистори постійні; ВРП – варистори змінні	Напівпровідникові матеріали не позначаються	Порядковий номер розробки	ВРП-14 (варистор змінний з порядковим номером розробки 14)

У старій системі перший елемент позначався інакше (С – резистори постійні; СП – резистори змінні; СТ – терморезистори; СН - варисторы). Другий елемент, як і в новій системі, був цифровим, але з докладнішою деталізацією по вигляду матеріалу резистивного елементу (1 – вуглеродні і боровуглеродні; 2 – металодиелектричні і металоокисні; 3 – композиційні об'ємні; 4 - композиційні об'ємні; 5 - дротяні).

На резистори наноситься буквено-цифрова маркіровка. Вона містить: номінальну потужність, номінальний опір, допуск і дату виготовлення. Номінальний опір позначається цифрами з указанием одиниці вимірювання: Ом (R або Е по-старому або взагалі без букви) – Оми, кОм (К-колооми), МОм (М - мегаомі), ГОм (G - гігаоми), ТОм (Т - тераоми). Наприклад: 220 Ом, 680 кОм,

3,3 МОм, 4,7 ГОм, 1 ТОм, або 220R, 680 K, 3 M3, 4G7, 1 ТОм (в цьому випадку буква позначає множник 1, 103, 106,109,1012 і визначається положення коми десяткового знаку). Повне позначення допуску складається з цифр, а кодоване – з букв. Для найбільш поширених допусків використовується наступне кодування: ±20% - M; ±10% - K; ±5% - 1; ±2% - G; ±1% - F; ±0,5 – D; ±0,25% - C; ±0,1% - B.

Б.2 ПАРАМЕТРИ РЕЗИСТОРІВ

Номінальна потужність і гранична напруга. Під номінальною потужністю (P_H) розуміється найбільша потужність, яку резистор може розсіювати в заданих умовах протягом гарантованого терміну служби (напрацювання) при збереженні параметрів у встановлених межах. Потужність розсіювання залежить від конструкції резисторів, фізичних властивостей матеріалів і температури навколишнього середовища. Зазвичай для кожного конкретного типу резистора приводять залежність допустимої потужності від температури середовища (рис. 2), по якому вибирається електричне навантаження.

Конкретні значення номінальних потужностей рассеяния у ватах встановлюються згідно ДСТУ 24013-80 і ДСТУ 10318-80 і вибираються з ряду: 0,01; 0,025; 0,05; 0,062;, 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 250; 500.

Робоча напруга резистора не повинна перевищувати значення, розрахованого виходячи з номінальної потужності P_H і номінального опору $R_H U \le \sqrt{P_H \cdot R_H}$. Проте при великих номінальних опорах ця напруга може досягати таких значень, при яких можливий пробій. Тому для кожного типу резистора, з урахуванням його конструкції, встановлюється гранична робоча напруга $U_{ПРЕД}$.

Номінальний опір і допуск. Номінальний опір (R_H) – електричний опір, значення якого позначене на резисторі або вказане в нормативній документації не є початковим для рахунку відхилень від цього значення.

Номінальні опори резисторів стандартизовані. Для постійних резисторів згідно ДСТУ 2825-67 встановлено шість рядів: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192, а для змінних резисторів відповідно до ДСТУ 10318-80 встановлений ряд Е6. цифра після букви Е вказує число номінальних значень в кожному десятичному інтервалі (табл. 2).

Таблиця 2 – Номінальні опори по рядах

Ряд	Числові коефіцієнти
Е6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
Е12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2
Е24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

Номінальні опори в кожній декаді відповідають вказаним в таблиці числам або числам, отриманим множенням або діленням їх на 10n, де n – ціле позитивне або негативне число.

Дійсні значення опорів резисторів унаслідок погрішностей виготовлення можуть відрізнятися від номінальних. Різниця між номінальними і дійсними опорами, виражена у відсотках по відношенню до номінального опору, називається відхиленням від номінального опору або, стисло, допуском, що допускається. Згідно ДСТУ 9664-74 встановлений ряд допусків: $\pm$0,001; $\pm$0,002; $\pm$0,005; $\pm$0,01; $\pm$0,02; $\pm$0,05; $\pm$0,1; $\pm$0,25; $\pm$0,5; $\pm$1; $\pm$2; $\pm$5; $\pm$10; $\pm$20; $\pm$30%.

Температурний коефіцієнт опору. Температурним коефіцієнтом опору (ТКО) називається величина, що характеризує відносну зміну опору на один градус Кульвіна або Цельсія. ТКО характеризує оборотну зміну опору резистивного елементу внаслідок зміни температури навколишнього середовища або зміни електричного навантаження. Чим менше ТКО, тим кращою температурною стабільністю володіє резистор. Значення ТКО

прецизійних резисторів лежать в межах від одиниці до $\pm 100 \cdot 10^{-6} 1/^0 C$, а резисторів загального призначення – від десятків до $\pm 2000 \cdot 10^{-6} 1/^0 C$.

Шуми резисторів. Розрізняють власні шуми і шуми скальжіння.

Власні шуми резисторів складаються з теплових і струмових шумів. Їх виникнення пов'язане з тепловим рухом вільних електронів і проходженням електричного струму. Власні шуми резисторів чим вище, тим більше температура і напруга. Високий рівень шумів резисторів обмежує чутливість електронних схем і створює перешкоди при відтворенні корисного сигналу.

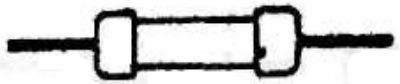
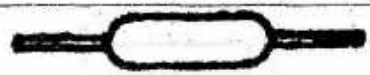
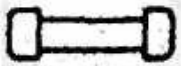
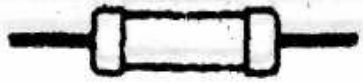
Власні шуми резисторів вимірюють діючим значенням, ЕДС шумів і виражають в мікровольтах на вольт прикладеної напруги. Значення ЕДС шумів більшості типів недротяних резисторів від долей одиниць до десятків мікровольт на вольт. Виняток становлять лакопленочные і об'ємні композиційні резистори, у яких ЕДС шумів може досягати сотень мікровольт на вольт.

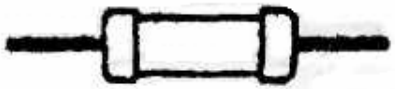
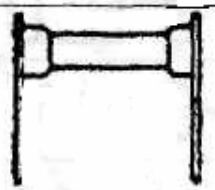
Шуми скальжений (обертання) властиві змінним резисторам. Вони виникають в динамічному режимі при русі рухомого контакту по резистивному елементу у вигляді напруги перешкод. У приймальних пристроях ці перешкоди приводять до різних шорохів і тріскам. Рівень шумів переміщення значно перевищує рівень теплових і струмових шумів. Навіть для порівняно хороших недротяних змінних резисторів напруга шумів обертання може досягати десятків мілівольт (15.50 мВ).

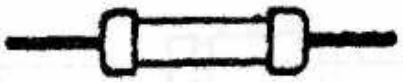
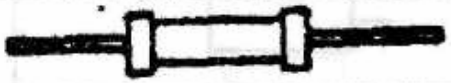
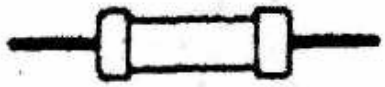
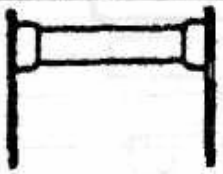
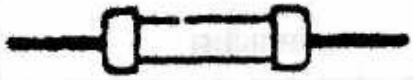
Функціональна характеристика. Вона визначає залежність опору змінного резистора від положення рухомого контакту. Найбільш поширені залежності – лінійна А, логарифмічна Б і обратнологарифмічна В (рис.3).

Приложение Б.3 - Постоянные непроволочные резисторы

Таблица Б.3

Тип	Номинальная мощность, В (при t С)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточніх значений, допуск	Внешний вид
1	2	3	4	5
Общего назначения				
С2-33Н	0,125 (85) 0,25 (85) 0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	1 Ом...3 МОм 1 Ом...5,1 МОм 1 Ом...5,1 МОм 1 Ом...10 МОм 1 Ом...10 МОм	Е24, Е96 с допусками ±1; ±2; ±5; ±10%	
МЛТ	0,125 (70) 0,25 (70) 0,5 (70) 1(70) 2 (70)	8,2 Ом...3 МОм 8,2 Ом...5,1 МОм 1 Ом...5,1 МОм 1 Ом...10 МОм 1 Ом...10 МОм	Е24, Е96 с допусками ±2; ±5; ±10%	
Р1-4	0,25 (70) 0,5 (85)	10 Ом...1 МОм 1 Ом...10 МОм	Е24, Е96 с допусками ±1; ±2; ±5%	
Р1-11	0,25 (70)	1 Ом...3 МОм	Е24 с доп. ±1; ±2; ±5; ±10%	
Р1-12	0,125 (70)	1 Ом...6,8 МОм	Е24 с доп. ±5; ±10; ±20%	
С1-4	0,125 (70) 0,25 (70) 0,5 (70)	10 Ом...2 МОм 10 Ом...МОм 10 Ом...10 МОм	Е24, Е48 с допусками ±2; ±5; ±10%	

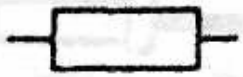
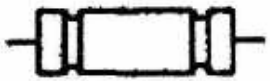
1	2	3	4	5
ВСа	0,125 (70) 0,25 (70) 0,5 (70)	10 Ом...2 МОм 27 Ом...2,2 МОм 27 Ом...10 МОм	Е24 с допусками ±5; ±10; ±20%	
ВС	1 (40) 2 (40) 5 (40) 10 (40)	47 Ом...10 МОм 47 Ом...10 МОм 47 Ом...10 МОм 75 Ом...10 МОм	Е24, Е48 с допусками ±5; ±10; ±20%	
С4-2	0,25 (85) 0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	10 кОм...5,1 МОм 10 кОм...10 МОм 10 кОм...10 МОм 10 кОм...10 МОм	Е24 с допусками ±5; ±10; ±20%	
ТВО	0,125 (85) 0,25 (85) 0,5 (85) 1 (85) . 2 (85) 5 (85) 10(85) 20(85) 60 (85)	1 Ом...100 кОм 1 Ом...510 кОм 1 Ом...1 МОм 1 Ом...1 МОм 1 Ом...1 МОм 27 Ом...1 МОм 27 Ом...1 МОм 24 Ом...100 кОм 24 Ом...100 кОм	Е24 с допусками ±5; ±10; ±20%	

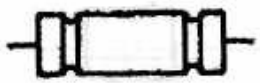
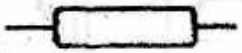
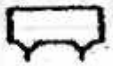
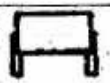
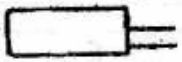
1	2	3	4	5
Прецизионные				
С2-29В	0,062 (85) 0,125 (85) 0,25 (85) 0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	10 Ом...511 кОм 1 Ом...1 МОм 1 Ом...2,2 МОм 1 Ом...3 МОм 1 Ом...8,5 МОм 1 Ом...20 МОм	Е24, Е192 с допусками ±0,05; ±0,1; ±0,25; ±0,5; ±1%	
С2-36	0,125 (70)	10 Ом...2,2 МОм	Е192 с доп. ±0,5; ±1%	
С2-14	0,125 (85) 0,25 (85) 0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	10 Ом...1 МОм 1 Ом...1 МОм 1 Ом...2,2 МОм 1 Ом...3 МОм 1 Ом...5,1 МОм	Е192 с допусками ±0,1; ±0,25; ±0.5; ±1%	
БЛП	0,1 (70) 0,25 (70) 0,5 (70) 1 (70)	1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм	Е192 с допусками ±0.5; ±1%	
БЛПа	0,1 (70) 0,25 (70) 0,5 (70) 1 (70)	1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм 1 Ом...100 кОм	Е192 с допусками ±0,5; ±1%	

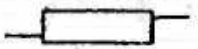
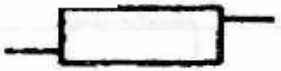
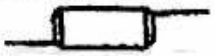
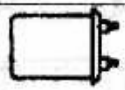
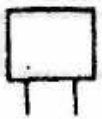
Приложение В.1

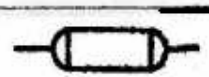
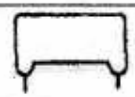
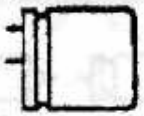
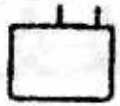
Таблица В.1

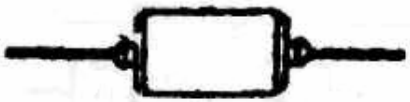
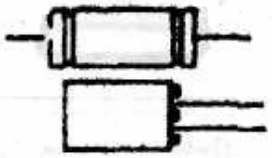
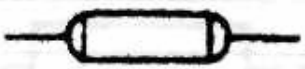
Конденсаторы с ограническим диэлектриком

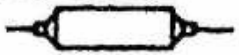
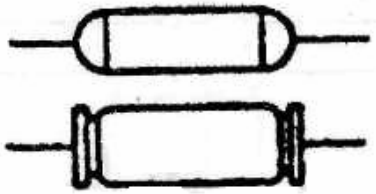
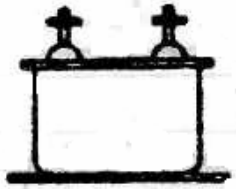
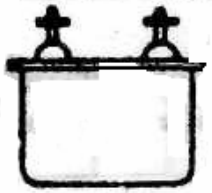
Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Внешний вид
1	2	3	4	5
Полиэтилентерефталатные низковольтные				
К73-5	250	0,001...0,22	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-9	100 200 400 630	0,001...0,47 0,0027...0,33 0,001...0,15 0,00047...0,1	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-11	63 160 250 400 630	0,1...2,2 0,068…6,8 0,00047...0,22 0,022…1 0,001...0,47	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-15	100 160 250 400 630	0,015…0,47 0,0047...0,33 0,0033...0,22 0,0022...0,22 0,00047...0,15	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	

К73-16	63 100 160 250	0,1...22 0,1...12 0,047…6,8 0,047...10	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-16	400 630 1000 1600	0,022...1 0,01...0,47 0,01...0,22 0,0047...0,1		
К73-17	63 160 250 400 630	0,22...4,7 1,5...2,2 0,047...1 0,022...1 0,01...0,47	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-20	630	0,0051	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-22	630	0,01...0,047	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К73-24	100 250	0,033...0,27 0,001...0,027	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
	100 250	0,01...0,27 0,001...0,0068		
К73-26	63 100	33... 150 15...100	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	

1	2	3	4	5
Полиэтилентерефталатные высоковольтные				
К73-12	10000 30000	0,0047...0,022 0,003	±10	
К73-13	10000	2200		
К73-14	4000 10000	0,0033...0,1 0,0022...0,022	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
	16000 25000	0,00047...0,01 0,00047...0,0033		
К74-7	16000	0,00015...0,00039	±20 (ряд Е6)	
Полистирольные				
ПМ-1	63	0,0001.,.0,01	±10; ±20 (ряд Е12)	
ПМ-2	63	0,0001.,.0,01	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	
К70-6	35 65	0,018…0,1 0,000022…0,015	±1; ±2; ±5 (ряд Е12)	
К70-7	100 250	0,001…0,5 0,001…0,134	±0,25; ±0,5; ±1; ±2 (заданная емкость)	
	100 250 350	0,001...0,5 0,001...0,134 0,00015...0,175		

К71-4	160 250	1,2…10 0,01…1	±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10 (ряд Е24 вар."а", Е192 вар. "б")	
	250 300	0,00033…0,01 0,0000051…0,0003		
К71-6	200 250 300	0,0121...0,2 0,000612...0,012 0,0001...0,00064	±0,5; ±1; ±2; ±5 (заданная емкость)	
К71-7	250	0,001...0,5		
Полипропиленовые				
К78-2	250 300 1000 1600 2000	0,068...2,2 0,01...0,1 0,001...0,1 0,001...0,056 0,001...0,015	±5; ±10: ±20 (ряд Е6)	
К78-3	630	0,27...0,56	±5; ±10: ±20 (ряд Е6)	
К78-4	160 250 500	3,3...68 2,2...33 0,47...10	±10; ±20 (ряд Е6)	
К78-5	2000	0,00047...0,047	±5; ±10: ±20 (ряд Е6)	

1	2	3	4	5
К76-24	400 630 1000 1600	0,1.4,7 0,1...4,7 0,1...2,2 0,1.1,5	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
Поликарбонатные				
К77-1	63 100 200 400	0,22...22 0,1...3,9 0,022...3,9 0,001...1	±5; ±10; ±20 (до 0,82 мкФ) ±2; ±5; ±10; ±20 (от 1 до 4,7 мкФ) ±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10; ±20 (более 5,6 мкФ)(ряд Е12)	
К77-2	63 100 63 100	0,056...0,33 0,01...0,047 0,056...2,2 0,01...0,047	±5; ±10; ±20 (до 0,39 мкФ) ±2; ±5; ±10; ±20 (более 0,39 мкФ) (ряд Е12)	
Бумажные				
БМ-2	160 200 300	0,033...0,047 0,0033...0,022 0,00047...0,0022	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	

К40П-2	400	0,001…0,01 0,015…0,047	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	
К40У-9	200 400 630 1000	0,00047... 1 0,0047…68 0,00047... 0,47 0,001…0,22	±10; ±20 (ряд Е6)	
Металлобумажные				
МБМ	160 250 500 750 1000 1500	0,05; 0,1; 0,25 0,5; 1 0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,25 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,0051; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1	±10; ±20	
МБГО	160 300 400 500 630	2; 4; 10; 20; 30 1; 2; 4; 10; 20; 30 1; 2; 4; 10; 20 0,5; 1; 2; 4; 10; 20 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10	±10; ±20	
МБГП (одно-секцион-ные)	200 400 630 1000 1600	0,5; 1; 2; 4; 10; 20 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10 0,5; 1; 2; 4; 10 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 20	±10; ±20	

Приложение Г - Выпрямительные диоды

Таблица Г.1

Тип	$I_{пр.ср}$, А	$U_{обр.и.п}$ $U_{обр.max}$), В	$I_{пр.и}$ ($I_{пр}$; $I_{пр.ср.}$), А	$I_{обр.и}$ ($I_{обр}$; $I_{обр.ср.}$), мА	f_{max} (f_{max}) - без снижения электрического режима, кГц	Корпус (рис. 1)
Маломощные (на ток до 1 А)						
АД110А	0,01	50	(0,01)	(0,005)	(1000)	Д2
КД104А	0,01	300	(0,01)	(0,003)	(10)	Д3
ГД113А	0,15	115	(0,03)	(0,25)		Д1
ГД107А	0,02	(15)	(0,01)	(0,02)		Д1
ГД107Б	0,02	(20)	(0,0015)	(0,1)		Д1
Д106	0,03	30	(0,002)	(0,005)	(150)	Д4
Д106А	0,03	30	(0,001)	(0,005)	(150)	Д4
Д105	0,03	75	(0,002)	(0,005)	(150)	Д4
Д105А	0,03	75	(0,001)	(0,005)	(150)	Д4
Д104	0,03	100	(0,02)	(0,005)	(150)	Д4
Д104А	0,03	100	(0,001)	(0,005)	(150)	Д4
Д223	0,05	(50)	(0,05)	(0,001)		Д4
Д223А	0,05	(100)	(0,05)	(0,001)		Д4
Д223Б	0,05	(150)	(0,05)	(0,001)		Д4
КД103А	0,1	(50)	(0,05)	(0,001)	(20)	Д3
КД103Б	0,1	(50)	(0,05)	(0,001)	(20)	Д3
КД102А	0,1	(250)	(0,05)	(0,0001)	5	Д3
КД102Б	0,1	(300)	(0,05)	(0,001)	5	Д3

Тип	$I_{пр.ср}$, А	$U_{обр.и.п}$ ($U_{обр.max}$), В	$I_{пр.и}$ ($I_{пр}$; $I_{пр.ср.}$), А	$I_{обр.и}$ ($I_{обр}$; $I_{обр.ср.}$), мА	f_{max} (f_{max}) - без снижения электрического режима, кГц	Корпус (рис. 1)
Д273В	0,1	600	(0,1)	(0,05)	(1)	Д5
МД217	0,1	800	(0,1)	(0,05)	(1)	Д5
МД218	0,1	1000	(0,1)	(0,05)	(1)	Д5
МД218А	0,1	1200	(0,1)	(0,05)	(1)	Д5
АД112А	0,3	(50)	(0,3)	(0,1)		Д6
КД106А	0,3	(100)	(0,3)	(0,01)	(30)	Д7
КД109А	0,3	100	(0,3)	(0,1)		Д8
МД226Е	0,3	200	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
Д226Е	0,3	200	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
Д237А	0,3	200	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
МД226А	0,3	300	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
Д226А	0,3	300	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
КД109Б	0,3	300	(0,3)	(0,1)		Д8
МД226	0,3	400	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
Д226	0,3	400	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
Д237Б	0,3	400	(0,3)	(0,05)	(1)	Д5
КД105Б	0,3	400	(0,3)	(0,1)	(1)	Д9
КД221В	0,3	400	(0,3)	(0,1)	(1)	Д10
КД205Е	0,3	500	(0,3)	(0,1)	(5)	Д11
КД105В	0,3	600	(0,3)	(0,1)	(1)	Д9
КД109В	0,3	600	(0,3)	(0,1)		Д8

КД221Г	0,3	600	(0,3)	(0,15)	(1)	Д10
КД205И	0,3	700	(0,3)	(0,1)	(5)	Д11
КД105Г	0,3	800	(0,4)	(0,1)	(1)	Д9
Д229В	0,4	100	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д229А	0,4	200	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д229Г	0,4	200	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д237Е	0,4	200	(0,4)	(0,05)	(1)	Д5
Д229Д	0,4	300	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д229Б	0,4	400	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д229Е	0,4	400	(0,4)	(0,05)	(1)	Д12
Д237Ж	0,4	400	(0,6)	(0,05)	(1)	Д5
КД204А	0,4	400	(0,5)	(0,15)	50	Д13
КД205Д	0,5	100	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД205Г	0,5	200	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД221Б	0,5	200	(0,5)	(0,05)	(1)	Д10
КД205В	0,5	300	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД205Б	0,5	400	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД205А	0,5	500	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД205Ж	0,5	600	(0,5)	(0,1)	(5)	Д11
КД209Б	0,5	600	(0,5)	(0,1)	(1)	Д9
КД209В	0,5	800	(0,6)	(0,1)	(1)	Д9
КД204Б	0,6	200	(0,7)	(0,1)	50	Д13
Д229Ж	0,7	100	(0,7)	(0,05)	(1)	Д12
КД205К	0,7	100	(0,7)	(0,1)	(5)	Д11
КД221А	0,7	100	(0,7)	(0,05)	(1)	Д10

Тип	$I_{пр.ср}$, А	$U_{обр.и.п}$ ($U_{обр.max}$), В	$I_{пр.и}$ ($I_{пр}$; $I_{пр.ср.}$), А	$I_{обр.и}$ ($I_{обр}$; $I_{обр.ср.}$), мА	f_{max} (f_{max}) - без снижения электрического режима, кГц	Корпус (рис. 1)
КД205Л	0,7	200	(0,7)	(0,1)	(5)	Д11
Д229И	0,7	200	(0,7)	(0,05)	(1)	Д12
Д229К	0,7	300	(0,7)	(0,05)	(1)	Д12
Д229Л	0,7	400	(0,7)	(0,05)	(1)	Д12
КД209А	0,7	400	(0,7)	(0,1)	(1)	Д9
Средней мощности (на ток от 1 до 10 А)						
КД204В	1	50	2	(0,05)	50	Д13
КД212В	1	100	(1)	(0,05)	(100)	Д14
КД2I2Г	1	100	(1)	(0,1)	(100)	Д14
Д302	1	200	(1)	(0,8)	(5)	Д15
КД212А	1	200	(1)	(0,05)	(100)	Д14
КД212Б	1	200	(1)	(0,1)	(100)	Д14
КД208А	1,5	100	(1)	(0,1)	(1)	Д9
КД226А	1,7	100	(1,7)	(0,05)	35	Д10
КД226Б	1,7	200	(1,7)	(0,05)	35	Д10
КД226В	1,7	400	(1,7)	(0,05)	35	Д10
КД226Г	1,7	600	(1,7)	(0,05)	35	Д10
КД226Д	1,7	800	(1,7)	(0,05)	35	Д10
Д303	3	150	(3)	(1)	(5)	Д15
КД202А	5	50	(5)	(0,8)	5	Д16
КД202В	5	100	(5)	(0,8)	5	Д16

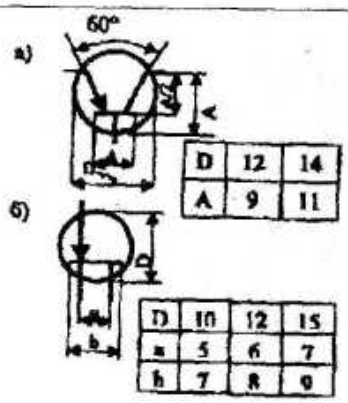
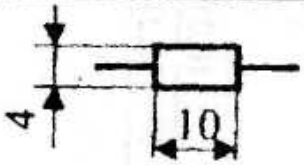
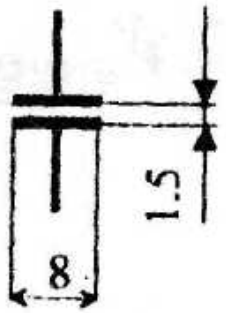
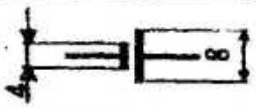
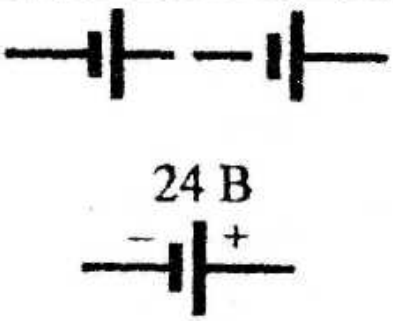
Д214В	5	100	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д242Б	5	100	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д304	5	100	(5)	(2)	(5)	Д15
Д215Б	5	200	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д243Б	5	200	(5)	(3)	(1,1)	Д17
КД202Д	5	200	(5)	(0,8)	5	Д16
КД202Ж	5	300	(5)	(0,8)	5	Д16
Д231Б	5	300	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д245Б	5	300	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д232Б	5	400	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д246Б	5	400	(5)	(3)	(1,1)	Д17
КД202К	5	400	(5)	(0,8)	(5)	Д16
Д233Б	5	500	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д247Б	5	500	(5)	(3)	(1,1)	Д17
КД202М	5	500	(5)	(0,8)	5	Д16
Д234Б	5	600	(5)	(3)	(1,1)	Д17
Д248Б	5	600	(5)	(3)	(1,1)	Д17
КД202Р	5	600	(5)	(0,8)	5	Д16
КД210А	5	800	(10)	(1,5)	5	Д13
КД210Г	5	1000	(10)	(1,5)	5	Д13
Д305	10	50	(10)	(2,5)	(5)	Д15
Д214	10	100	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д214А	10	100	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д242	10	100	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д242А	10	100	(10)	(3)	(1,1)	Д17

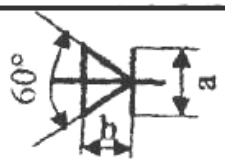
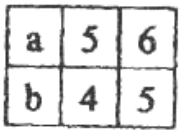
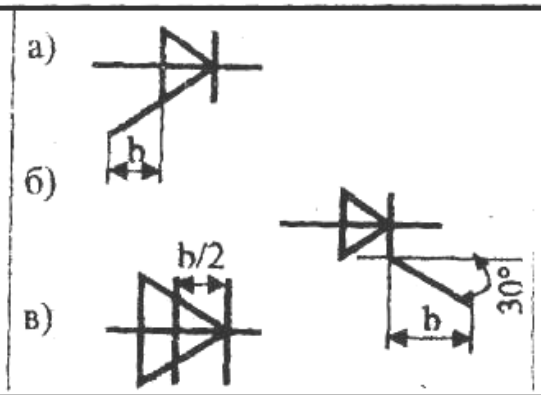
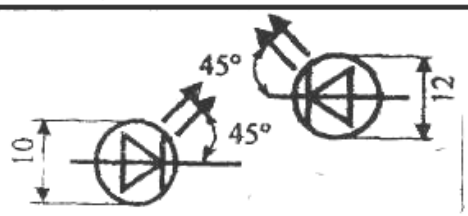
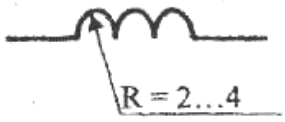
Тип	$I_{пр.ср}$, А	$U_{обр.и.п}$ ($U_{обр.max}$), В	$I_{пр.и}$ ($I_{пр}$; $I_{пр.ср.}$), А	$I_{обр.и}$ ($I_{обр}$; $I_{обр.ср.}$), мА	f_{max} (f_{max}) - без снижения электрического режима, кГц	Корпус (рис. 1)
КД213Г	10	100	(10)	(0,2)	(100)	Д18
Д104-10	10	100	31,4	1	1,3	Д19
Д204-10	10	100	31,4	1	1,3	Д20
Д112-10-1...14	10	100...1400	31,4	0,4	2	Д21
Д215	10	200	(10)	(3)	1,1)	Д17
Д215А	10	200	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д243	10	200	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д243А	10	200	(10)	(3)	(1,1)	Д17
КД213А	10	200	(10)	(0,2)	(100)	Д18
КД213Б	10	200	(10)	(0,2)	(100)	Д18
КД213В	10	200	(10)	(0,2)	(100)	Д18
Д231	10	300	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д231А	10	300	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д245	10	300	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д245А	10	300	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д232	10	400	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д232А	10	400	(10)	(3	(1,1)	Д17
Д246	10	400	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д246А	10	400	(10)	(3)	(1,1)	Д17
КД206А	10	400	(1)	(0,7)	20	Д13
ДЛ112-10-4...15	10	400...1500	31,4	0,4	2	Д21

Д233	10	500	(10)	(3)	(1,1)	Д17
Д247	10	500	(10)	(3)	(1,1)	Д17
КД206Б	10	500	(1)	(0,7)	20	Д13
КД203А	10	600	(10)	(1,5)	5	Д17
КД206В	10	600	(1)	(0,7)	20	Д13
КД203Б	10	800	(10)	(1,5)	5	Д17
КД203В	10	800	(10)	(1,5)	5	Д17
КД210Б	10	800	(10)	(1.5)	5	Д13
КД203Г	10	1000	(10)	(1,5)	5	Д17
КД203Д	10	1000	(10)	(1,5)	5	Д17
КД210Г	10	1000	(10)	(1,5)	5	Д13
Мощные (на ток более 10 А)						
Д104-16	16	100	50,2	0,5	1,3	Д19
Д204-16	16	100	50,2	0,5	1,3	Д20
Д112-16-1..14	16	100...1400	50,2	0,4	2	Д21
ДЛ112-16-4..15	16	400...1500	50,2	0,4	2	Д21
КД2999В	20	100	(20)	(0,2)	100	Д18
КД2999Б	20	200	(20)	(0,2)	100	Д18
Д104-20	20	200	62,8	0,5	1,3	Д19
Д204-20	20	200	62,8	0,5	1,3	Д20
КД2999А	20	250	(20)	(0,2)	100	Д18
Д410-20	20	200	62,8	0,5	1,5	Д22
Д112-25-1..14	25	100…1400	78,5	0,4	2	Д21
ДЛ112-25-4..15	25	400…1500	78,5	0,4	2	Д21
КД2997В	30	100	(30)	(0,2)	100	Д18

Тип	$I_{пр.ср}$, А	$U_{обр.и.п}$ ($U_{обр.max}$), В	$I_{пр.и}$ ($I_{пр}$; $I_{пр\ ср.}$), А	$I_{обр.и}$ ($I_{обр}$; $I_{обр.ср.}$), мА	f_{max} (f_{max}) - без снижения электрического режима, кГц	Корпус (рис. 1)
КД2997Б	30	200	(30)	(0,2)	100	Д18
КД2997А	30	250	(30)	(0,2)	100	Д18
Д122-32-1..14	32	100…1400	102	0,4	2	Д23
ДЛ122-32-4..15	32	400…1500	102	0,4	2	Д23

ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Условные графические обозначения электрических элементом (УГО)

Наименование	Обозначение
1	2
1. Транзистор	
2. Резистор	
3. Конденсатор постоянной емкости Примечания: 1. выводы электролитических конденсаторов обозначаются «+» и «-» 2. выводы металлопленочных и металлобумажных конденсаторов обозначается 11-12…81-82	
3. Элемент гальванический Общее обозначение	
5. Батарея из гальванических или аккумуляторных элементов. Примечание. Батарею из гальванических или аккумуляторных элементов допускается обозначать как элемент гальванический. При этом над обозначением проставляется величина напряжения батареи, например, 24В.	

6. Батарея с отводами	
7. Диод	 
8. Стабилитрон: односторонний	
двухсторонний	
9. Тиристоры	
10. Светодиоды	
11. Катушка индуктивности	

ДОДАТОК Е – Стандартні значення напруги у джерелах живлення

Номінальні значення вихідної напруги живлення постійного струму
0,25; 0,4; 0,6; 1,2; 2,4; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 (6,3); 9,0(10); 12,0 (12,6); 15; 20; 24; 27; 30; 40; 48; 60; 80; 100 (125); 150; 200; 250(300); 400(500); 600; 800; 1000В…(максимальне значення 25кВ)

Практично у пристроях автоматики та телекомунікацій частіше за все використовується напруга: 5; 6; 9; 12; 15; 20; 27; 40 В.

Навчальне видання

Навчально-методичний посібник
по розрахунку транзисторних підсилювальних каскадів
у курсових та дипломних проектах
для студентів спеціальності 7.091401
«Системи управління та автоматика»

Автори:
Константинов С.В.,
Найдьонова Т.В.