

**ЗАДАЧИ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ
И ЭЛЕКТРОНИКЕ**

**РАЗДЕЛЫ: ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ,
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ, УСИЛИТЕЛИ**

Методические разработки

УДК 621.3.1 (075)
ББК 32.273

Рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор
зам. директора ВГИ по науке

М.Т. Абшаев

Составители: **Каров Б.Г., Калажоков З.Х., Калажоков Х.Х.**

Задачи по радиоэлектронике и электронике (разделы: линейные и нелинейные цепи, полупроводниковые приборы, усилители). Методические разработки. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2004. – 35 с.

В работе даны общие теоретические сведения и задачи по методам расчета линейных и нелинейных цепей, полупроводниковым приборам и усилителям электрических сигналов.

Издание предназначено для студентов физических специальностей.

Рекомендовано РИСом университета

УДК 621.3.1 (075)
ББК 32.273

© Кабардино-Балкарский государственный
университет, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Радиофизика, электроника и радиоэлектроника – бурно развивающиеся области науки и техники. Невозможно указать такую область человеческой деятельности, на которую не оказывала бы воздействие электроника. В связи с этим изучение основ и получение практических навыков решения задач по указанным направлениям представляют большой интерес.

В существующих задачниках по радиотехнике недостаточно полно освещены разделы по расчету цепей переменного тока и нелинейных цепей. В данном издании приведены необходимые знания по методам расчета линейных и нелинейных цепей, таких как метод комплексных амплитуд, графический метод аппроксимации характеристик соответствующими аналитическими функциями.

Одним из основных радиотехнических преобразований является усиление. Усилители отличаются большим разнообразием по своим характеристикам и областям применения. В работе приводятся задачи по усилительным каскадам, основанным на разных элементных базах, с разным характером нагрузок и усиливаемых величин, при отсутствии и наличии обратной связи, а также многокаскадным усилителям и другим темам.

Представленные в данной разработке материалы полностью соответствуют программам дисциплин, предусмотренных учебными планами по специальности 010400-физика и направления 510400-физика (бакалавр), и могут быть использованы и на других технических специальностях радиотехнического направления.

I. ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Основной задачей теории линейных цепей является их расчет, под которым понимается нахождение токов, напряжений и их фаз для всех элементов цепи. Такой расчет проводится в квазистационарном приближении.

Для расчета линейных цепей используются различные методы. Наиболее наглядным является метод векторных диаграмм, хотя он находит ограниченное применение для сложных цепей. Для простейших цепей этот метод предпочтителен, т.к. позволяет кратчайшим путем достигнуть результата. Приступая к построению векторных диаграмм простейших цепей, следует предварительно выбрать электрическую величину (ток или напряжение), общую для всех элементов данной цепи, и отложить её в виде произвольного вектора по оси абсцисс. Остальные электрические величины цепи откладывают на координатной оси в масштабе, учитывая фазовые соотношения между ними и общей для всей цепи электрической величины. Для сложных цепей векторная диаграмма является завершающим этапом расчета, проведенным другим методом.

Метод комплексных амплитуд является более универсальным методом расчета. Он основан на теории функции комплексного переменного. Комплексное число имеет три формы записи (алгебраическая, тригонометрическая и экспоненциальная):

$$\underline{C} = a + jb = |\underline{C}|(\cos \varphi + j \sin \varphi) = |\underline{C}|e^{j\varphi} \quad (1)$$

Здесь a – вещественная, b – мнимая составляющие комплексного числа \underline{C} ; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $c = |\underline{C}| = \sqrt{\underline{C}\overline{\underline{C}}} = \sqrt{(a + jb)(a - jb)} = \sqrt{a^2 + b^2}$ – модуль \underline{C} ; $\overline{\underline{C}} = a - jb$ – комплексно сопряженное число, отличающееся от \underline{C} только знаком мнимой составляющей; φ – угол наклона вектора \underline{C} к действительной оси:

$$\varphi = \arctg(b/a) \quad (2)$$

Если в выражении комплексного числа действительное и мнимое составляющие не выделены в явном виде, то его домножают и делят на комплексно сопряженное число знаменателя.

В соответствии с (1) синусоидально изменяющемуся напряжению $u = U_m \sin \omega t$ можно сопоставить комплексное действующее напряжение

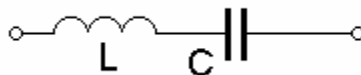
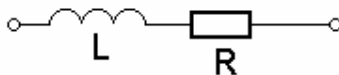
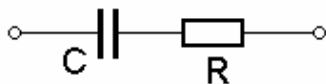
$$\underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} j = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j90^\circ}, \text{ а косинусоидальному напряжению } \underline{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j0^\circ}.$$

Линейные цепи описываются комплексной частотной характеристикой (КЧХ), определяемой как отношение двух многочленов

$$\underline{K}(j\omega) = \frac{N(j\omega)}{M(j\omega)} \quad (3)$$

В зависимости от характера многочленов N и M (ток или напряжение), комплексная частотная характеристика может быть сопротивлением, проводимостью или коэффициентом передачи по напряжению (току). Зависимость модуля $|\underline{K}| = K$ от частоты называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), а зависимость аргумента $\arg \underline{K}$ от частоты – фазо-частотной характеристикой (ФЧХ).

1. На простейшую цепь (рис.1) подано гармоническое напряжение $U=10\text{В}$. Построить векторную диаграмму напряжений и найти напряжения элементов и их фазы



a) $X_C = R$

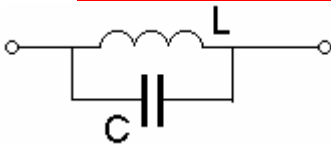
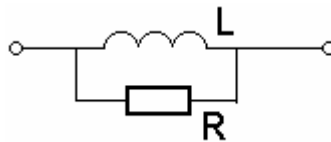
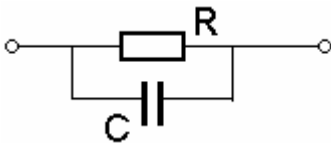
$$X_L = \frac{1}{2} X_C$$

Рис.1.

б) $R = 2X_L$

в)

2. На зажимы простейшей цепи (рис.2) подано гармоническое напряжение. Построить векторную диаграмму токов, найти в относительных величинах общий ток и токи элементов, а также их фазы.



a) $3R = 2X_C$

б) $2X_R = X_L$

в)

$X_L = 2X_C$

Рис.2.

3. Решить задачу 1 методом комплексных амплитуд, полагая $R=100 \text{ Ом}$.

4. Решить задачу 2 методом комплексных амплитуд, если дано: $U=10 \text{ В}$, $R=1 \text{ кОм}$.

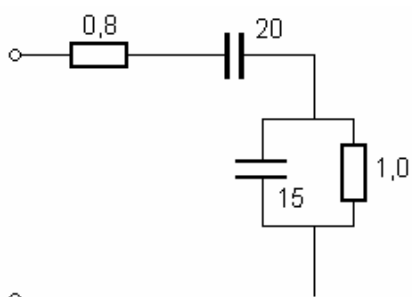
5. Вычислить токи, напряжения и их фазы для всех элементов цепи (рис.3). Построить векторные диаграммы токов и напряжений. Исходные данные: $u=10\cos 2\pi ft$, характеристики элементов даны на рисунках (активное сопротивление в килоомах, индуктивность в миллигенри, а емкость в нанофарадах).. Расчет проводить при частотах 5кГц, 10 кГц и 20 кГц.

6. Для простого последовательного контура найти аналитические выражения АЧХ и ФЧХ и построить их графики: а) входного сопротивления;

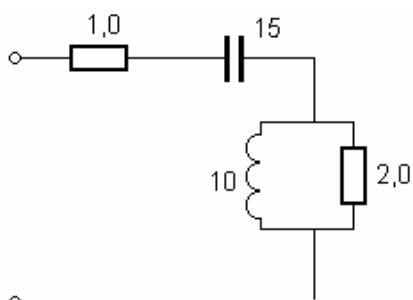
б) входной проводимости.

7. Для простого параллельного контура найти аналитические выражения АЧХ и ФЧХ и построить их графики: а) входной проводимости; б) входного сопротивления.

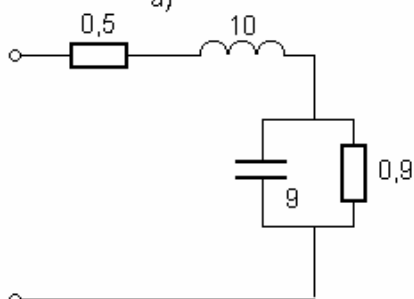
8. Рассчитать комплексный коэффициент передачи по напряжению (рис.4). Построить амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики \underline{K}_u , отложив по оси абсцисс $\lg \omega$. Исходные данные: $L=10 \text{ мГн}$, $C=10 \text{ нФ}$, $R=400 \text{ Ом}$.



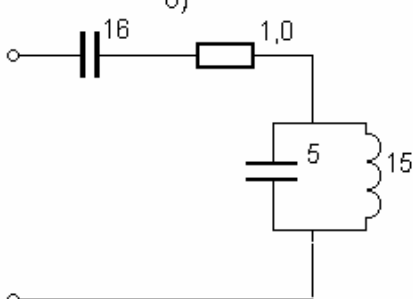
a)



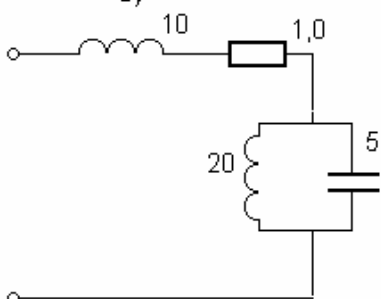
б)



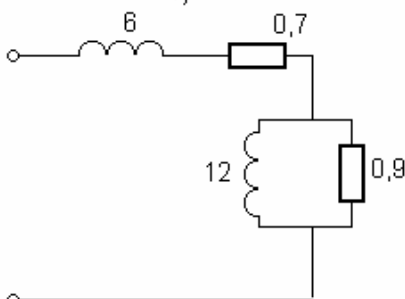
в)



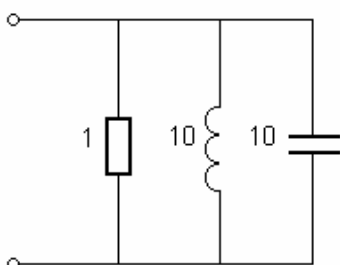
г)



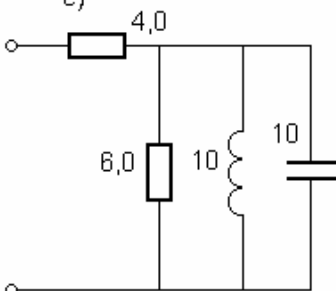
д)



е)



ж)



з)

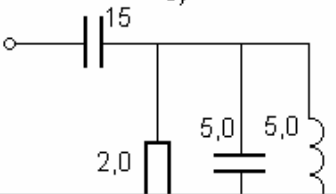
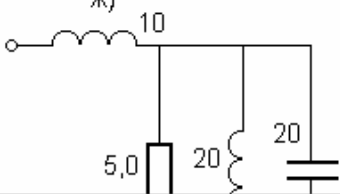


Рис.3.

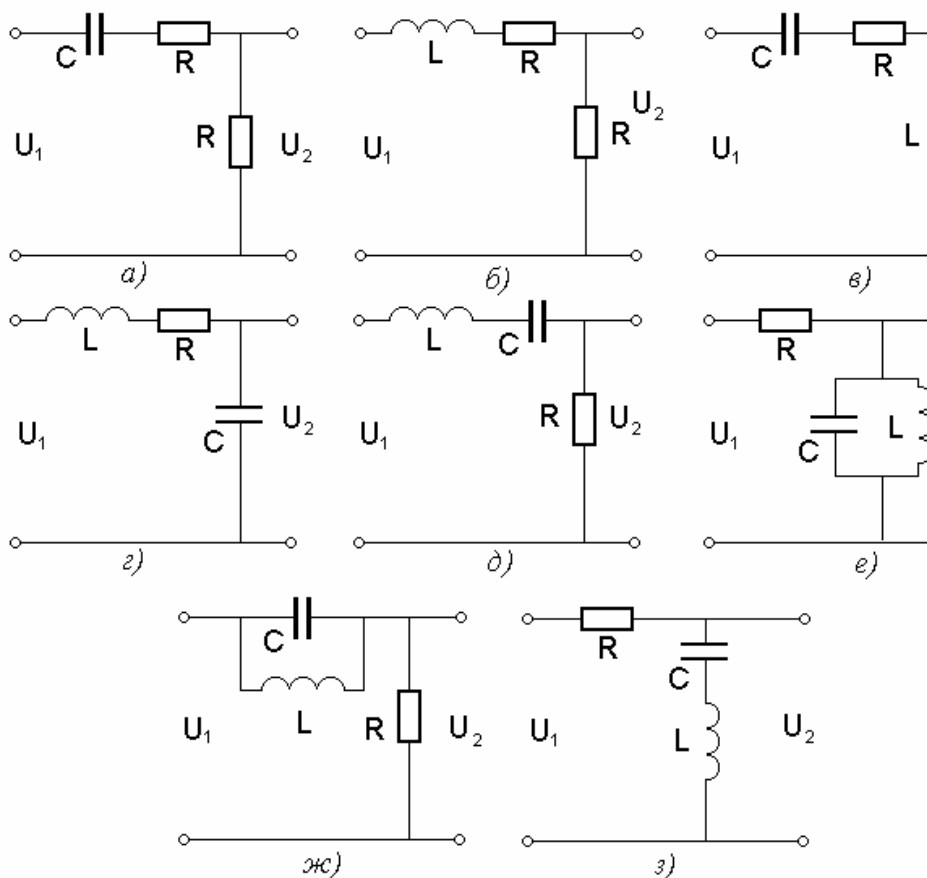


Рис.4.

9. Найти общее выражение для коэффициента передачи по напряжению в последовательном контуре, если нагрузочное сопротивление R_H подключено к емкости (рис.5).

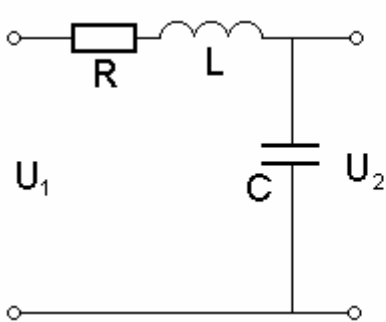


Рис.5.

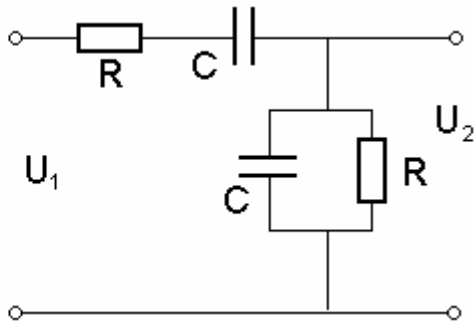


Рис.6.

10. В RC-автогенераторах в качестве положительной обратной связи используют RC – цепи (рис.6). Найти комплексное выражение для передачи напряжения (U_2/U_1) в зависимости от ω/ω_0 ($\omega_0 = 1/RC$). Построить АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению.

11. Каким должно быть резонансное сопротивление параллельного контура, чтобы получить на нем напряжение 40 В, если ЭДС генератора 50 В, а его внутреннее сопротивление 10 кОм?

12. Найти амплитуду тока в последовательном контуре под действием синусоидального напряжения $u=10 \sin \cdot 10^4 t$, если дано: $R=100$ Ом; $L=0,03$ Гн; $C=0,5$ мкФ.

13. Во сколько раз уменьшится ток настроенного в резонанс последовательного контура с $\omega_p=10^7 \text{ с}^{-1}$ и добротностью 100, если его расстроить на $50\,000 \text{ с}^{-1}$?

14. Найти напряжения на всех элементах последовательного контура при резонансе, если э.д.с. генератора, питающего цепь, равна 2В, а добротность контура 50. Внутреннее сопротивление генератора $R_i=0$.

15. На какой диапазон длин волн настроен колебательный контур, если его индуктивность равна 620 мкГн, а емкость меняется от 36 до 400 пФ?

16. Определить волновое сопротивление последовательного контура, если известно, что на некоторой частоте $X_C=360$ Ом, $X_L=250$ Ом.

17. Сопротивление контура при резонансе напряжения равно 4 Ом, а при резонансе токов – 90 кОм. Определить индуктивность контура, если емкость равна 1000 пФ.

18. Какова добротность параллельного контура, если его резонансное сопротивление равно 10 кОм, а волновое – 500 Ом?

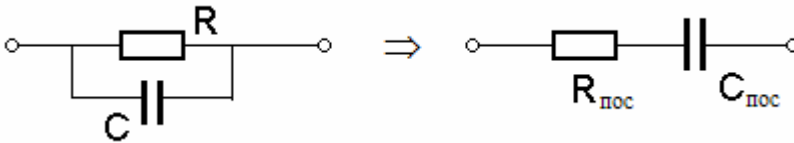
19. Найти добротность контура, если дано: абсолютная полоса пропускания 50 кГц; $C=159,2$ пФ; $L=0,1592$ мГн.
20. Индуктивность контура 1 мГн, добротность 16. Определить полное сопротивление контура при последовательном и параллельном резонансе, если контур настроен на волну 6 м.
21. Параллельный контур на резонансной частоте $\omega_p=10^7\text{с}^{-1}$ имеет сопротивление 14 кОм, а на частоте $1,07\cdot 10^7\text{с}^{-1}$ модуль полного сопротивления равен 1 кОм. Найти параметры контура (R , L , C).
22. Каким сопротивлением нужно шунтировать контур, имеющий индуктивность 9 мГн, емкость 36 пФ, сопротивление потерь 2 Ом, чтобы его полоса пропускания увеличилась в 1,5 раза?
23. Волновое сопротивление параллельного контура 400 Ом, а добротность 80. Каким сопротивлением нужно шунтировать его, чтобы добротность уменьшилась в 4 раза?
24. Последовательный контур имеет параметры: $L=70$ мГн, $C=70$ пФ, сопротивление потерь 10 Ом. Определить ток в контуре при относительной расстройке 5% и частоты генератора, соответствующие этой расстройке. Напряжение генератора 10 В, а его внутреннее сопротивление $R_i=0$.
25. К последовательному контуру подключен генератор с частотой 75 МГц и при этом ток в контуре 6 мА, напряжение на индуктивности 17,5 В, а на емкости 2,5В. Определить собственную частоту и волновое сопротивление контура.
26. Определить добротность контура, если известно, что его сопротивление при параллельном резонансе больше, чем при последовательном в 10000 раз.
27. Частота генератора внешней ЭДС равна 1МГц. При значениях емкости 140 пФ и 145 пФ амплитуда тока в последовательном контуре одна и та же. Рассчитать индуктивное сопротивление контура.
28. Рассчитать активное сопротивление контура предыдущей задачи, если амплитуда тока контура составляет 60% от максимальной амплитуды.
29. Какого соотношение между активным сопротивлением R последовательного контура и внутренним сопротивлением R_i генератора, если при резонансе в контуре выделяется максимальная мощность?
30. В последовательном контуре с активным сопротивлением $R=10$ Ом напряжение конденсатора составляет 100 В, если на входе напряжение равно 1 В. Рассчитать напряжение конденсатора, если параллельно к нему подсоединили вольтметр с внутренним сопротивлением 100 кОм.

31. Определить резонансную частоту последовательного контура, если параллельно емкости подсоединено сопротивление R_2 .

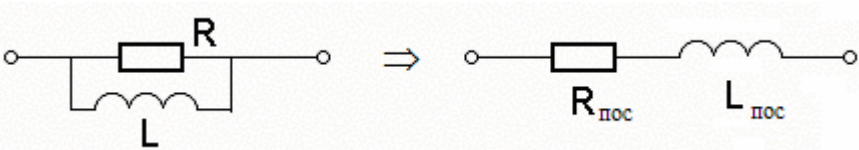
32. Найти среднюю мощность, выделяющуюся в простом параллельном контуре, если известно, что при резонансе его сопротивление $z_p=40$ кОм, а амплитуда тока в контуре равна 0,6 А. Добротность контура $Q=30$.

33. К параллельному контуру подводится напряжение $u=3000 \cdot \cos t 10^6$ В. Действующее значение тока, поступающего в контур равно 0,05А, а его добротность 100. Определить L и C , если контур настроен в резонанс.

34. Преобразовать параллельную RC цепь в эквивалентную последовательную схему, выразив $R_{\text{пос}}$ и $C_{\text{пос}}$ через R и C .



35. Преобразовать параллельную RL-цепь в эквивалентную последовательную схему, выразив $R_{\text{пос}}$ и $L_{\text{пос}}$ через L и R .



36. В последовательном контуре с активным сопротивлением R и добротностью Q , емкость зашунтирована внешним сопротивлением $R_{\text{вн}}$. Найти коэффициент передачи (U_2/U_1) на резонансной частоте, полагая, что внешнее сопротивление значительно больше волнового. Выходное напряжение снимается с емкости.

37. Параллельный контур с добротностью Q_1 и активным сопротивлением в индуктивной ветви R , зашунтирован внешним сопротивлением $R_{\text{вн}}$. Выразить добротность Q_2 через указанные величины, если внешнее сопротивление значительно больше волнового сопротивления контура.

II. Нелинейные резистивные элементы (НРЭ) и нелинейные цепи

Для изучения нелинейных элементов и цепей используются графические и аналитические методы. Графическим способом можно найти вольтамперную характеристику простейших цепей, содержащих линейные и нелинейные элементы. Для этого на одном рисунке строят вольтамперные характеристики всех элементов цепи. Если они соединены последовательно, то выбирают определенные значения тока, являющиеся общим для всех элементов. Графически складывая напряжения на линейном и нелинейном сопротивлениях при определенном значении тока, легко найти полное напряжение цепи. Поступив аналогичным способом и при других значениях тока, легко построить ВАХ цепи. Таким же образом можно найти ВАХ цепи, если элементы соединены параллельно, учтя, что при одном и том же напряжении складываются токи.

При подаче к НРЭ постоянного напряжения U_0 через него устанавливается ток I_0 . Оно определяет рабочую точку и называется напряжением и током смещения. Величина $U_0/I_0=R_0$ называется статическим сопротивлением НРЭ в рабочей точке. При изменении величины постоянного напряжения статическое сопротивление тоже изменяется. Статическое сопротивление является сопротивлением НРЭ в цепях постоянного тока. Если наряду с постоянным напряжением к НРЭ приложено переменное напряжение, то его можно характеризовать дифференциальным сопротивлением, определяемым

$$\text{как } \lim_{\Delta I \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{dU}{dI} = R_i = r.$$

Дифференциальное сопротивление определяют вблизи рабочей точки и в соответствии с геометрическим смыслом производной оно равно тангенсу или котангенсу касательной, проведенной к ВАХ в рабочей точке. В случае, когда амплитуда переменного напряжения значительно меньше напряжения смещения, НРЭ в переменных цепях можно считать линеаризованным. При этом элемент остается сугубо нелинейным. Дифференциальное сопротивление НРЭ является его сопротивлением в цепях переменного тока.

В цепях с нелинейным элементом нахождение рабочей точки осуществляют по точке пересечения ВАХ нелинейного элемента и нагрузочной линии. Если нелинейный элемент соединен последовательно с сопротивлением нагрузки R_n , то напряжение на НРЭ $U=E-IR$, где E – э.д.с. источника питания. Это уравнение соответствует прямой линии и называется нагрузочной линией (Рис.7.). Ее строят по двум точкам: а) при $U=0$ $I=I_{\max}=E/R_n$; б) при $I=0$, $U=E$.

Графический способ позволяет найти форму реакции цепи (тока) нелинейного элемента на некоторое воздействие (в виде напряжения). Для этого сначала строят ВАХ нелинейного элемента, под ней строят график зависимости воздействия от времени, направив ось времени вниз. Разбива-

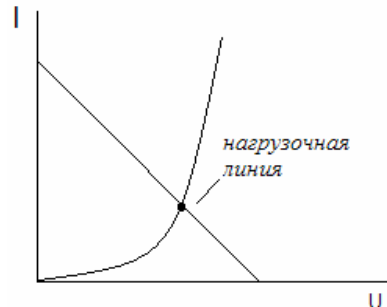


Рис.7.

ют период воздействия на определенное количество отрезков (если воздействие гармоническое, то их число не должно быть меньше 16 на период). Напряжения воздействия, соответствующие выбранным отрезкам, проектируют на ВАХ и находят соответствующие им токи. Полученные токи переносят на третий график, располагающийся справа от ВАХ, и представляющий график зависимости реакции (ток) от времени.

Аналитический способ изучения нелинейных цепей основан на представлении вольтамперных характеристик нелинейных элементов в виде аналитических функций, называемых аппроксимирующими.

Наибольшее распространение в радиоэлектронике нашли кусочно-линейная аппроксимация и аппроксимация в виде многочлена по степеням воздействия.

При кусочно-линейной аппроксимации реальная ВАХ (пунктирная линия) заменяется двумя отрезками (рис.8).

Тогда, аналитически ВАХ описывается функцией

$$i = \begin{cases} 0, & \text{при } u < U_n \\ Su, & \text{при } u > U_n \end{cases}.$$

При подаче гармонического напряжения к НРЭ, характеристика которого состоит из двух линейных отрезков, ток имеет вид усеченных синусоид. Половина периода, в течение которого ток проходит через НРЭ, называется углом отсечки θ . Он определяется из выражения:

$$\cos \theta = \frac{U_n - U_0}{U_m},$$

где U_m – амплитуда переменного напряжения, приложенного к НРЭ.

Спектральные составляющие тока при кусочно-линейной аппроксимации определяются выражением

$$I_i = \gamma_i S U_m,$$

где S – крутизна характеристики. Для постоянной составляющей

$\gamma_0 = \frac{1}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta)$. Для первой (основной) гармонической состав-

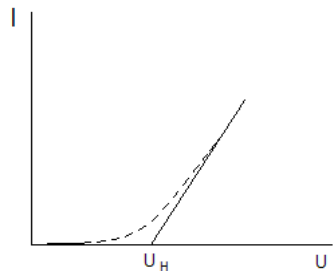


Рис.8

ляющей $\gamma_1 = \frac{1}{\pi}(\theta - \sin \theta \cos \theta)$. Для второй гармонической составляющей

$$\gamma_2 = \frac{1}{\pi}(\sin \theta \cos \theta - 2 \cos 2\theta \sin \theta).$$

При аппроксимации НРЭ степенным рядом (полиномом) разложение тока по напряжению осуществляют вблизи рабочей точки U_0 в виде:

$$i = a_0 + a_1(u - U_0) + a_2(u - U_0)^2 + \dots, \quad \text{где } a_1 = \left(\frac{di}{du} \right)_{u=U_0}, \quad a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{d^2i}{du^2} \right)_{u=U_0},$$

$a_3 = \frac{1}{6} \left(\frac{d^3i}{du^3} \right)_{u=U_0}$ и т.д. Нахождение коэффициентов разложения в приведен-

ном уравнении можно осуществить, применив его для нескольких значений напряжения и соответствующих им экспериментально найденных токов. Составив уравнения по количеству коэффициентов разложения и решая эту систему, можно найти значения a_0, a_1, a_2, \dots .

38. На рис.9 даны вольтамперные характеристики линейного (1) и нелинейного (2) резистивных элементов. Графическим способом построить характеристику участка цепи, содержащего последовательно соединенные линейное и нелинейное резистивные сопротивления.

39. Линейный и нелинейный резистивные элементы, характеристики которых приведены на рис.9, соединены параллельно. Построить характеристику цепи.

40. Нелинейный элемент с известной характеристикой (рис.10), соединенный последовательно с нагрузочным сопротивлением $R_n = 1 \text{ кОм}$, питается источником э.д.с. 12 В. Построить линию нагрузки и найти рабочую точку.

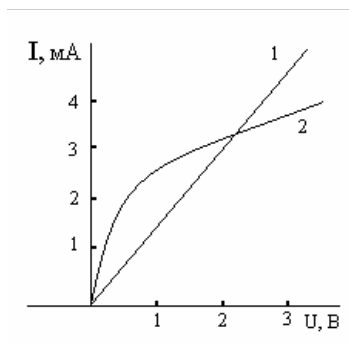


Рис.9.

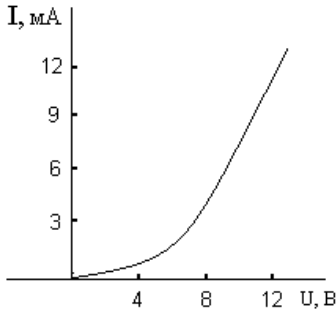


Рис.10.

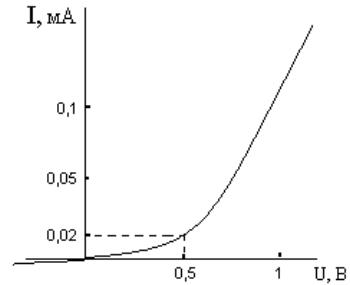
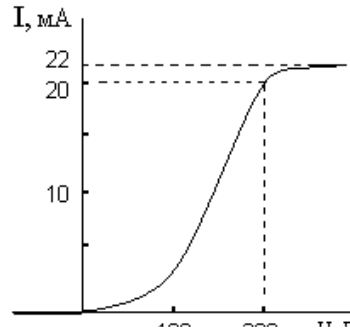


Рис.11.

41. На полупроводниковый диод, характеристика которого дана на рис.11, оказывает воздействие напряжение, состоящее из постоянной составляющей (смещение) U_0 и гармонической переменной $U_m \sin \omega t$. Построить график зависимости тока (реакция) диода от времени при:

а) $u = \sin \omega t$ б) $u = 0,5 + 0,5 \sin \omega t$



42. На рис.12 дана вольтамперная характеристика лампового диода. Построить график зависимости тока диода при напряжении смещения, близком к току насыщения $u = 200 + 150 \sin \omega t$

43. Вольтамперная характеристика туннельного диода имеет вид (рис.13). Какова форма тока диода при разных напряжениях смещения и малых амплитудах переменной составляющей ($U_m < U_{см}$).

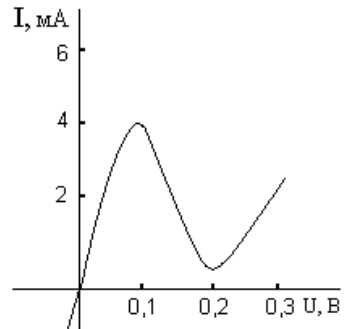


Рис.13.

- а) $u = 0 + 0,08 \sin \alpha t$
- в) $u = 0,2 + 0,08 \sin \alpha t$
- д) $u = 0,15 + 0,05 \sin \alpha t$

- б) $u = 0,1 + 0,08 \sin \alpha t$
- е) $u = 0,3 + 0,08 \sin \alpha t$

44. Найти постоянный ток и действующее значение первой и второй гармоник переменного тока нелинейного сопротивления с характеристикой $I = 0,1U^2$, если к нему приложено напряжение $u = 1 + 0,283 \cos \omega t$.

45. Определить действующее значение переменного тока через диод, если на него подано напряжение $u = 10 + 5 \sin \omega t$, а вольт-амперная характеристика диода имеет вид (рис.14).

46. Если к нелинейному элементу приложить положительное напряжение, то начиная с 0 до 2В ток возрастает линейно, затем с 2 В ток постояен. Найти форму тока через него при приложении к нему косинусоидального напряжения амплитудой 4 В.

47. Через нелинейный элемент проходит постоянный ток величиной 0,5 А. Вычислить сопротивление этого элемента для постоянного и переменного тока, если его вольтамперная характеристика выражается полиномом второй степени $u = 2 + 3I + 2I^2$

48. Характеристика нелинейного элемента аналитически описывается формулой $i = 2\sqrt{u}$,мА. Каким дифференциальным сопротивлением обладает этот элемент при напряжении смещения 4В?

49. К полупроводниковому диоду с характеристикой $i = 0,2u^2$, А приложено напряжение $u = 1 + U_m \sin \omega t$, В. Вычислить сопротивление диода для постоянного и переменного тока, если $U_m \ll 1$ В.

50. Вычислить статическое и дифференциальное сопротивление нелинейного элемента при напряжениях 4 и 12 В, если его вольтамперная характеристика имеет вид (рис.15).

51. Найти сопротивление коллекторного перехода (с общим эмиттером) для постоянного и переменного тока при напряжении 4В, если коллекторная характеристика имеет вид (рис.16)

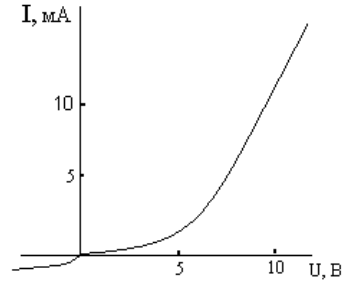


Рис.14.

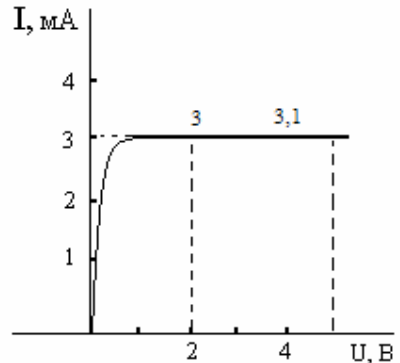
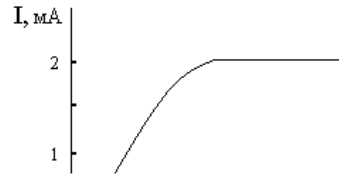


Рис.16.

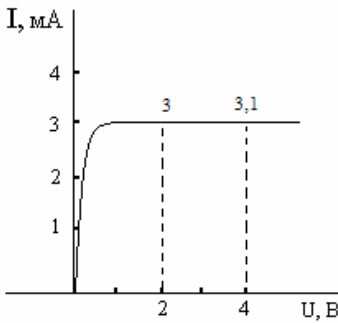


Рис. 17.

53. Вычислить сопротивление тиристора для постоянного и переменного тока при напряжении 10 В, если его характеристика имеет вид (рис. 18). В рабочем состоянии значения тока выражены в амперах. До переключения тиристора (нижняя кривая) ток измеряется в микроамперах.

54. У нелинейного элемента ток пропорционален $\sqrt[3]{U}$. Как и во сколько раз изменится дифференциальное сопротивление элемента при увеличении напряжения смещения в $2\sqrt{2}$ раза?

55. Найти статическое и дифференциальное сопротивления нелинейного элемента при напряжениях 0,5 и 2 В, обладающего нижеследующей вольтамперной характеристикой (рис. 19)

56. Найти амплитуду переменного тока через нелинейный элемент, если к нему приложено переменное напряжение $u = 0,5 \sin \omega t$ В. Характеристику нелинейного элемента считать квадратичной ($I : U^2$), а статическое сопротивление равным 100 Ом.

57. Вычислить действующее значение переменного тока через нелинейное резистивное сопротивление к которому подведено напряжение $u = 2,5 + 0,5 \sin \omega t$. Вольтамперная характеристика НРЭ представлена на рис. 20.

58. Вольтамперная характеристика нелинейного элемента аппроксимирована полиномом $i = a_0 + a_1 u + a^3 u^3$. Найти частоты всех гармонических

52. Найти величину постоянного тока и амплитуду переменного тока, создаваемого идеальным источником ЭДС $e = 2,5 + 0,5 \sin \omega t$

В, через нелинейный элемент с характеристикой (рис. 17)

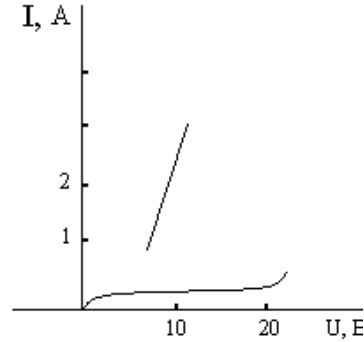


Рис. 18

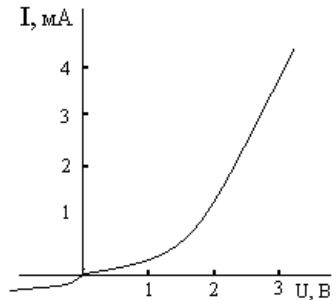
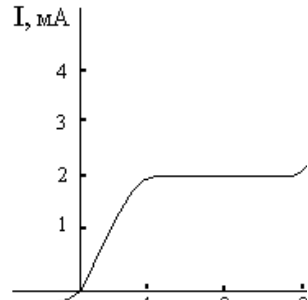


Рис. 20.

составляющих тока, если к элементу приложено напряжение $u = U_0 + U_m \cos \omega t$.

59. Нелинейный элемент имеет статическое сопротивление 100 Ом, а его вольтамперная характеристика квадратична ($I : U^2$). Найти дифференциальное сопротивление этого элемента при увеличении приложенного напряжения смещения в 4 раза.

60. Ток в нелинейном резисторе i связан с приложенным напряжением u кусочно-линейной зависимостью $i = \begin{cases} 0, & u < U_H \\ S(u - U_0), & u \geq U_H \end{cases}$, где

$S=20 \text{ mA/B}$, $U_H=0,5 \text{ B}$. Чему равна постоянная составляющая и амплитуда первой гармоники тока I_{m1} , если приложенное к диоду напряжение $u = 0,5 + 0,4 \cos \omega t$?

61. К промежутку база-эмиттер транзистора подключен источник напряжения $u_6=0,6+0,5\cos\omega t\text{B}$. Входная характеристика аппроксимируется двумя линейными участками с параметрами: $S=50 \text{ mA/B}$, $U_H=0,7\text{B}$. Определить входное сопротивление цепи по первой (ω) гармонике.

62. Найти аппроксимацию характеристики полевого транзистора $i_c(u_3)$ в виде многочлена второй степени на интервале изменения напряжения затвора от $-1,5 \text{ B}$ до $-0,5 \text{ B}$, если из опыта найдено:

U_3, B	-0,5	-1	-1,5
I_c, mA	2,5	1	0,5

63. Вольтамперная характеристика нелинейного двухполюсника приведена на рис.20а. Найти аппроксимацию характеристики двух-полюсника в виде многочлена 3-ей степени в окрестности рабочей точки $U_0=10 \text{ B}$.

64. К нелинейному резистору с характеристикой вида $i=15+0,8(u-2,5)+0,16(u-2,5)^2+0,07(u-2,5)^3 \text{ mA}$ приложено напряжение $u=2,5+0,6\cos\omega t$. Найти амплитуды гармонических составляющих тока I_0 , I_1 и I_3 .

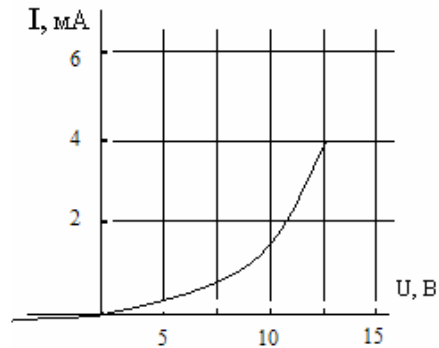


Рис.20а

III. Полупроводниковые приборы

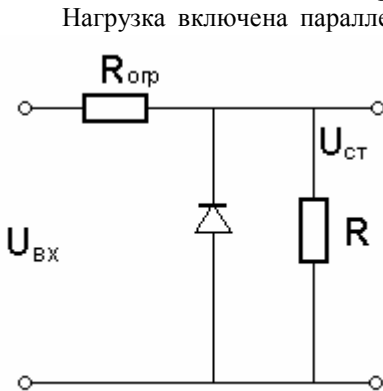
Полупроводниковые диоды. Полупроводниковый прибор с р-п-переходом, имеющий два омических вывода, называют полупроводниковым диодом. Одна из областей р-п-структуры (p^+), на-

зывается эмиттером, имеет большую концентрацию основных носителей заряда чем другая область, называемая базой. Статическая вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода определяется соотношением:

$$I = I_0 \left(e^{mU/\varphi_T} - 1 \right), \quad (4)$$

где e – основание натурального логарифма, I_0 – обратный ток насыщения, U – напряжение на p-n-переходе, $\varphi_T = kT/q$ – температурный потенциал (k – постоянная Больцмана, T – температура, q – заряд электрона), m – поправочный коэффициент: $m=1$ для германиевого диода и 2 – для кремниевого.

Стабилизаторы. Простейшим видом электронного стабилизатора напряжения на стабилитроне является параметрический стабилизатор. Простейшая схема такого стабилизатора приведена на рис.21.



Нагрузка включена параллельно стабилитрону. Поэтому напряжение на нагрузке равно напряжению на стабилитроне, которое постоянно в режиме стабилизации. Все изменения напряжения источника E при его нестабильности почти полностью поглощаются ограничительным резистором. Его значение можно вычислить при

Рис.21.

изменении напряжения от $E_{мин}$ до $E_{макс}$ по следующей формуле

$$R_{огр} = (E_{ср} - U_{см}) / (I_{ср} + I_{н}), \quad (5)$$

где $E_{ср} = 0,5(E_{мин} + E_{макс})$ – среднее значение напряжения источника; $I_{ср} = 0,5(I_{мин} + I_{макс})$ – среднее значение тока стабилитрона; $I_{н} = U_{н}/R_{н}$. Если входное напряжение меняется на ΔE , то стабилизация будет осуществляться только при соблюдении условия.

$$\Delta E \leq (I_{макс} - I_{мин}) R_{огр} \quad (6)$$

Для получения более высоких стабильных напряжений, чем напряжение стабилизации стабилитрона, применяется схема последовательного включения стабилитронов. При этом: $U_{ст} = U_{ст1} + U_{ст2} + \dots + U_{стn}$.

Выпрямители. Для преобразования переменного напряжения в постоянное применяются выпрямители на полупроводниковых диодах. Простейшим выпрямителем является однополупериодный (см. рис.22а). Выпрямленное напряжение для однополупериодного выпрямителя вычисляется по фор-

муле:

$$U_0 = U_{2m} / \pi,$$

где U_{2m} – амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора;

Наиболее часто, ввиду малости пульсаций, используются двухполупериодные выпрямители. Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой приведена на рис. 22б

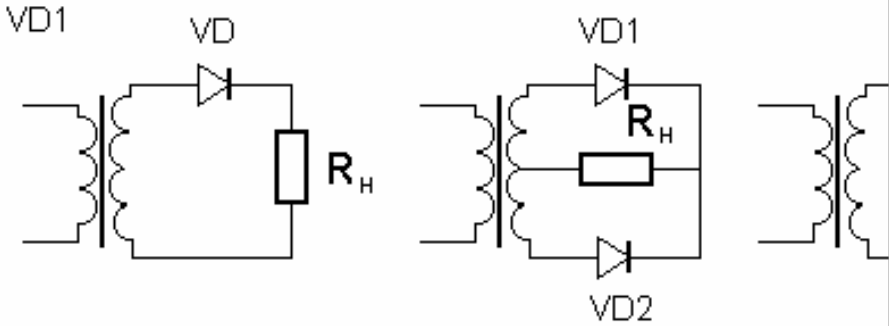


Рис.22

а)

б)

в)

Для такой схемы выпрямленное напряжение определяется выражением

ем

$$U_0 = 2U_{2m} / \pi, \quad (7)$$

где U_{2m} – половина амплитуды напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$k_{П} = U_{1m} / U_0, \quad (8)$$

где U_{1m} – амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке.

Коэффициент сглаживания

$$Q_{П} = k_{П\text{ вх}} / k_{П\text{ вых}}, \quad (9)$$

где $k_{П\text{ вх}}$ $k_{П\text{ вых}}$ – коэффициенты пульсаций на входе и выходе сглаживающего фильтра.

65. Для p-n перехода определить напряжение, при котором обратный ток будет достигать 90% значения тока насыщения при $T=300\text{K}$.

66. Германиевый диод имеет обратный ток насыщения 1мкА , а кремниевый 10^{-8}А . Вычислить и сравнить прямые напряжения на переходах при $T=293\text{K}$, если через каждый диод протекает ток равный 100мА .

67. При увеличении тока полупроводникового диода в 2,718 раз напряжение изменяется от $U_1=0,1В$ до U_2 . Найти разность U_2-U_1 при $T=300К$.

68. На p-n переходе обратный ток насыщения равен $10^{-14} А$ при $T=300К$ и $10^{-9} А$ при $t=125^{\circ}С$. Определить напряжения в обоих случаях, если прямой ток равен 1 мА.

69. При напряжении 0,2В пропускной ток диода равен 4 мА. Чему равен ток полупроводникового диода при напряжении 0,275В? Температура постоянная и равна 300К.

70. При $T=300К$ и напряжении 50 мВ в пропускном направлении ток равен 1 мА. Найти ток насыщения полупроводникового диода.

71. Чему равен ток насыщения германиевого полупроводникового диода, если при напряжении $U=75 мВ$ пропускного направления и температуре 300К ток диода равен 2 мА?

72. Найти изменение напряжения на полупроводниковом диоде при $T=250К$, если при этом изменении прямой ток возрастает в e^2 раз (e - основание натурального логарифма).

73. Для идеального p-n перехода определить напряжение, при котором обратный ток будет достигать 75% значения тока насыщения при $T=293К$.

74. Найти прямой ток полупроводникового диода при напряжении 0,575В, если известно, что при напряжении 0,5В ток равен 2мА. Температуру принять равной 300К.

75. При $T=300К$ и напряжении 0,1В пропускной ток полупроводникового диода равен 10мА. Чему равен ток насыщения диода?

76. При напряжении 0,3В ток полупроводникового диода в пропускном направлении равен 3мА. Найти ток диода при напряжении 0,375В. Температуру считать постоянной и равной 300К.

77. Стабилитрон имеет напряжение стабилизации $U_{ст.мин}=102 В$, $U_{ст.макс}=110 В$ при токе $I_{ст.мин}=5 мА$, $I_{ст.макс}=30 мА$. Определить допустимые пределы изменения напряжения источника питания в режиме стабилизации напряжения на нагрузке, если известно, что сопротивление нагрузки $R_n=12 кОм$, сопротивление ограничительного резистора $R_{огр}=3,9 кОм$.

78. Для стабилизации напряжений на нагрузке $R_n=15 кОм$ используют стабилитрон, у которого напряжение стабилизации $U_{ст}=106 В$, средний ток $I_{ст.ср}=17,5 мА$. Определить сопротивление ограничительного резистора, если среднее значение напряжения источника питания $U_{ср}=250 В$.

79. Два одинаковых стабилитрона включены последовательно в схему параметрического стабилизатора для стабилизации напряжения 210 В. Определить сопротивление ограничительного резистора, если через каждый стабилитрон проходит ток 25 мА; сопротивление нагрузки 21 кОм. Напряжение на входе схемы равно 280 В.

80. Определить, насколько изменится прямое сопротивление опорного диода Д814А, если при токе стабилизации 5 мА напряжение стабилизации изменяется от 7 до 8,5 В.

81. Какое напряжение можно стабилизировать на нагрузке при последовательном включении двух опорных диодов Д814Г, каждый из которых имеет напряжение стабилизации $10 \div 12$ В?

82. Как можно включить в электрическую цепь два однотипных полупроводниковых диода, рассчитанных на максимально допустимый ток 100 мА каждый, если в цепи проходит ток 150 мА?

83. Для диодов КД103А наибольшее обратное напряжение равно 50 В. Как можно включить такие диоды в цепь, в которой имеется напряжение 80 В?

84. Определить частоту пульсаций первой гармоники напряжения на нагрузке двухполупериодного выпрямителя, если напряжение первичной обмотки трансформатора имеет частоту 400 Гц.

85. Для схемы двухполупериодного выпрямителя определить выпрямленное напряжение на нагрузке U_0 , если действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_2=120$ В.

86. В схему однополупериодного выпрямителя включен емкостной сглаживающий фильтр. Определить емкость конденсатора фильтра, если сопротивление нагрузки 820 Ом, частота сети 50 Гц, коэффициент сглаживания $q=10$.

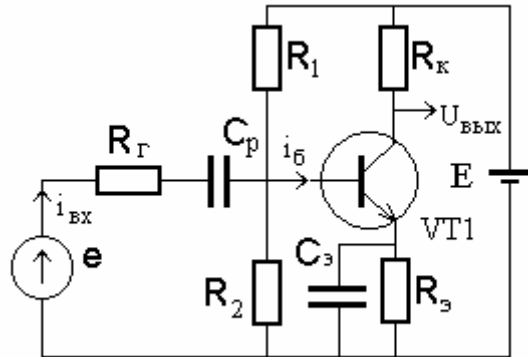
IV. Усилители

Расчет характеристик усилителей на биполярных транзисторах можно провести по данным их внутренних или h -параметров. К внутренним параметрам относятся дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода $r_{э}$, дифференциальное сопротивление коллекторного перехода $r_{к}$, сопротивление базы $r_{б}$. Дифференциальное

Рис.23.

сопротивление коллекторного перехода в схеме с общей базой значительно больше, чем сопротивление в схеме с общим эмиттером. Как правило $r_{к}$ с ОЭ составляет десятки кОм, с ОБ сотни тысяч и миллионы Ом. Поскольку в данной разработке отсутствуют усилители с ОБ, то под $r_{к}$ будем понимать дифференциальное сопротивление коллекторного перехода в схеме с ОЭ.

Основная схема однокаскадного усилителя напряжения на биполярном транзисторе с ОЭ представлена на рис.23. Разделительная емкость C_p имеет на самой низкой частоте усиливаемого сигнала сопротивление, значительно меньшее сопротивления элементов схемы, поэтому её влиянием пре-



небрегается. Ёмкость C_3 шунтирует сопротивление R_3 по переменному току, поэтому потенциал эмиттера равен потенциалу земли.

Входное сопротивление транзистора

$$r_{ex} = r_{\sigma} + r_{\epsilon}(\beta + 1). \quad (10)$$

Входное сопротивление усилителя

$$R_{ex} = r_{ex} // R_1 // R_2 = r_{ex} // R_6 = \frac{r_{ex} R_6}{R_6 + r_{ex}}, \quad (11)$$

где
$$R_6 = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Выходное сопротивление усилителя $R_{вых} = R_H // r_K = \frac{R_H r_K}{R_H + r_K}$. С уче-

том соотношения между r_K и R_H ($r_K \gg R_H$), имеем $R_{вых} \approx R_H$.

Коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{i_{вых}}{i_{ex}} = \frac{i_K}{i_{\sigma} + i_1} = \beta \frac{R_{\sigma}}{r_{ex} + R_{\sigma}}, \quad (12)$$

где i_1 – ток, ответвляющийся по сопротивлениям делителя R_1 и R_2 .

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{вых}}{e} = K_i \frac{R_K}{R_{\Gamma} + R_{ex}}, \quad (13)$$

где R_{Γ} – сопротивление генератора источника усиливаемого сигнала. В задачах, где не указано значение R_{Γ} , им пренебрегается.

При использовании h-параметров применяют приближенные соотношения

$$h_{1э} \approx r_{ex}; \quad h_{1э} \approx \frac{1}{r_{ex}}; \quad h_{21э} \approx \beta$$

(14)

В схемах, в которых отсутствует шунтирующая емкость C_3 , к сопротивлению r_3 добавляется внешнее сопротивление R_3 , поэтому

$$r_{ex} = r_{\sigma} + (\beta + 1) \cdot (r_3 + R_3). \quad (15)$$

Учитывая обычные значения величин, входящих в последнюю форму-

лу, можно пользоваться приближенной формулой:

$$r_{вх} \approx (\beta + 1) \cdot R_3 \text{ или даже } r_{вх} \approx \beta \cdot R_3 \quad (16)$$

В схемах усилителей с общим коллектором (эмиттерный повторитель) нагрузка полностью переносится в эмиттерную часть. Тогда $R_{н} = R_3$ и

$$r_{ex} \approx \beta \cdot R_3$$

(17)

$$R_{ex} = r_{ex} // R_6 \approx \beta \frac{R_3 R_6}{R_6 + \beta R_3}$$

(18)

$$K_i = \frac{i_3}{i_{вх}} = \frac{(\beta + 1)i_6}{i_6 + i_6 \frac{r_{вх}}{R_6}} = \frac{(\beta + 1)i_6}{1 + \frac{\beta R_3}{R_6}} \approx \beta \frac{R_6}{R_6 + \beta R_3}$$

19)

$$K_U = K_i \frac{R_3}{R_{г} + R_{ex}}$$

(20)

Усилители на полевых транзисторах подобны ламповым усилителям, т.к. они, в отличие от биполярных транзисторов, являются устройствами, управляемыми напряжением.

Основная схема однокаскадного усилителя напряжения с общим истоком представлена на рис.24.

Рис.24.

Входное сопротивление транзистора

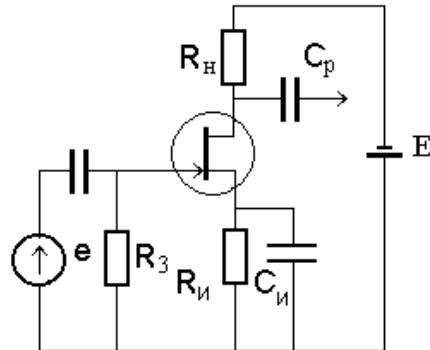
$$r_{ex} = \left(\frac{\partial U_3}{\partial I_3} \right)_{U_C}$$

составляет $10^8 - 10^{10}$ Ом.

Дифференциальное сопротивление выходной характеристики, называемое внут-

ренним сопротивлением $R_i = r_c = \left(\frac{\partial U_C}{\partial I_C} \right)_{U_3}$, в общем является комплекс-

ной величиной. На низких частотах и высоких, вплоть до десятков мегагерц, его можно считать активным и по порядку величины составляет $10^5 - 10^7$ Ом.



Крутизна характеристики $S = \left(\frac{\partial I_c}{\partial U_3} \right)_{U_c}$ составляет от нескольких десятых долей до 3 mA/B . Тогда: $R_{\text{вх}} \approx R_3$.

$$K_U = SR_i \frac{R_H}{R_H + R_i}$$

(21)

При условии $R_H \ll R_i$, $K_U \approx SR_H$.

Если в схеме усилителя отсутствует шунтирующая емкость C_U , то

$$K_U \approx \frac{R_C}{R_U} = \frac{R_H}{R_U}$$

(22)

Усилитель (рис.23) с автоматическим смещением, обеспечиваемым сопротивлением R_U , обладает невысокой стабильностью. Поэтому, чаще на практике, находят применение усилители с внешним источником напряжения постоянного смещения, создаваемого, как и в варианте с биполярным транзистором, делителем R_1 и R_2 .

В этом случае

$$K_U \approx \frac{R_H}{R_U + \frac{1}{S}} \quad (23)$$

При отсутствии емкости C_U

$$K_U \approx \frac{R_H}{R_U}$$

(24)

Для истокового повторителя $R_H = R_U$, поэтому

$$K_U \approx \frac{R_U}{R_U + \frac{1}{S}}$$

(25)

Обратная связь в усилителях. Обратную связь вводят для того, чтобы улучшить показатели усилителя или придать ему некоторые специфические свойства. В общем случае обратная связь в усилителе осуществляется подачей части сигнала с выхода на вход. Обратная связь может увеличить или уменьшить усиление. Соответственно говорят о положительной или отрицательной ОС. Влияние обратной связи на средних частотах на общий коэффициент усиления описывается формулой

$$K_{OC} = \frac{K}{1 + \gamma K} = \frac{K}{F},$$

(26)

где K - собственный коэффициент усиления усилителя без ОС, γ - коэффициент обратной связи, F - глубина обратной связи.

Введение обратной связи влияет на АЧХ усилителя, изменяя его коэффициент частотных искажений $M(\omega) = K_0 / K(\omega)$, где K_0 - значение коэффициента усиления в области средних частот. Коэффициент частотных искажений усилителя с обратной связью можно определить по формуле

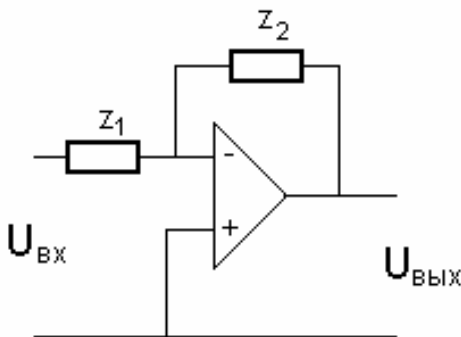
$$M_{OC}(\omega) = 1 + \frac{M_{BC}(\omega) - 1}{F},$$

(27)

где $M_{BC}(\omega)$ - коэффициент частотных искажений в усилителе без обратной связи.

Операционные усилители: В операционных усилителях (ОУ) усиливаемое напряжение может быть подано на неинвертирующий вход (рис.24) или инвертирующий вход (рис.25)

Инвертирующий усилитель. (Рис.24) представляет собой ОУ, охваченный цепью параллельной отрицательной обратной связи на резисторах Z_1 и Z_2 . Входной сигнал подается на инвертирующий вход, при этом неинвертирующий вход заземляется. Для инвертирующего ОУ коэффициент усиления определяется выражением $K_U = -\frac{Z_2}{Z_1}$



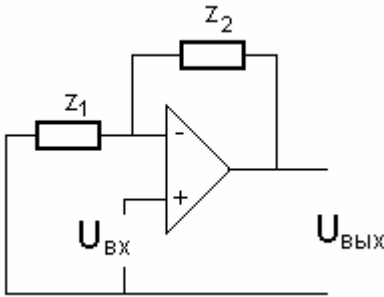


Рис.25.

Рис.26.

Неинвертирующий усилитель (Рис.26) представляет собой ОУ, охваченный цепью последовательной отрицательной обратной связи по напряжению на резисторах Z_1 и Z_2 . Входной сигнал подается на неинвертирующий вход, при этом инвертирующий вход заземляется. Для неинвертирующего ОУ коэффициент усиления определяется выражением

$$K_U = \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)$$

(28)

87. В схеме (рис.27) смещение задается фиксированным током базы. Рассчитать сопротивление резистора $R_б$, если известно, что ток базы $I_{б0}=250$ мкА, а напряжение $E_к=10$ В.

88. Для схемы на рис.28 определить сопротивления резисторов R_1 и R_2 , если известно: $E_к=10$ В, $U_б=0,5$ В, $I_{б0}=250$ мкА, $R_1=10 R_2$.

89. Для транзистора КТ339А, включенного по схеме с общей базой, при изменении тока эмиттера на 10 мА ток коллектора изменяется на 9,7 мА. Определить коэффициент усиления по току для транзистора в схеме с общим эмиттером.

90. Для транзистора ГТ403А, включенного по схеме с общим эмиттером, ток коллектора изменяется на 140 мА, а ток базы на 5

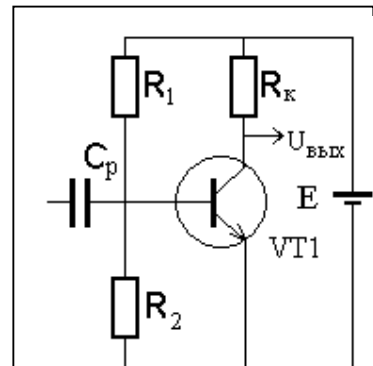
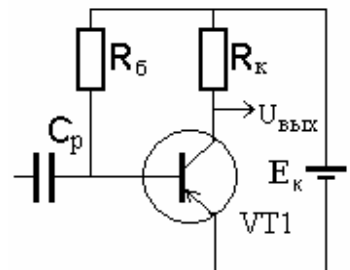


Рис.28.

мА. Определить коэффициент усиления по току.

91. Вычислить входной постоянный ток и амплитуду входного переменного тока транзисторного каскада с ОЭ, схема которого дана на рис.29. Исходные данные: $R_1=27 \text{ кОм}$, $R_2=12 \text{ кОм}$, $R_3=500 \text{ Ом}$, $R_r=1100 \text{ Ом}$, $E=10 \text{ В}$, $e_m=1 \text{ В}$. Параметры транзистора: $r_0=1000 \text{ Ом}$, $\beta=40$, $r_3=10 \text{ Ом}$.

92. На рис.30 дана схема транзисторного усилителя с распределенной нагрузкой, что вызывает уменьшение усиления сигнала, но одновременно увеличение устойчивости. Показать, что при пренебрежении сопротивлением генератора, коэффициент усиления по напряжению приблизительно определяется отношением R_K/R_3 .

93. Вычислить для постоянного и переменного тока входное сопротивление усилительного каскада с ОЭ (рис.30), если известно: плечи делителя для создания смещения на базу имеют сопротивления $R_1=80 \text{ кОм}$ и $R_2=20 \text{ кОм}$, коэффициент усиления транзистора по току 49, сопротивление в эмиттерной части $0,4 \text{ кОм}$.

94. Вычислить входной постоянный ток и амплитуду входного переменного тока транзисторного усилительного каскада с ОЭ (рис.30), если известны параметры схемы: $R_1=40 \text{ кОм}$, $R_2=20 \text{ кОм}$, $R_3=400 \text{ Ом}$, $R_r=2 \text{ кОм}$, $e_m=200 \text{ мВ}$, $E=10 \text{ В}$, коэффициент усиления транзистора по току $\beta=49$.

95. Резистивный усилитель напряжения с ОЭ на биполярном транзисторе (рис.28) имеет входное напряжение $0,1 \text{ В}$ и выходное 5 В . Вычислить величину нагрузочного сопротивления и сопротивление генератора сигнала, если ЭДС этого сигнала равна $0,2 \text{ В}$. Чему равны коэффициенты усиления по току и напряжению? В рабочей точке транзистор имеет следующие параметры: $r_{вх}=1000 \text{ Ом}$; $\beta=40$. Для создания постоянного смещения на базу используется делитель с сопротивлениями $R_1=80 \text{ кОм}$ и $R_2=20 \text{ кОм}$.

96. Резистивный усилитель на транзисторе с общим эмиттером (рис.28) усиливает по току в 40 раз, а по напряжению в 20 раз. Найти входное

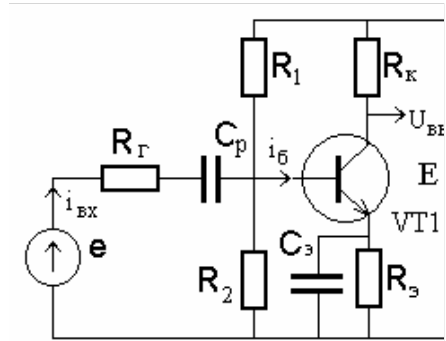
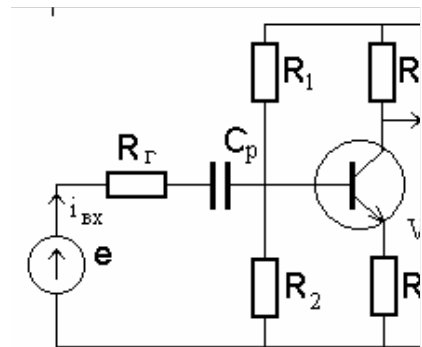


Рис.29.



дифракционное сопротивление транзистора и его коэффициент усиления по току, если известно: сопротивление нагрузки 1 кОм; внутреннее сопротивление генератора сигнала 1 кОм; сопротивления делителя, обеспечивающие необходимое смещение на базу, 40кОм и 10 кОм. Начертить схему.

97. На рис.31 дана схема резистивного усилителя низкой частоты на транзисторе с коэффициентом усиления по току $\beta=40$. Найти коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности. Номиналы внешних элементов: $R_1=80\text{кОм}$, $R_2=8\text{кОм}$, $R_K=3\text{кОм}$, $R_3=0,5\text{ кОм}$. Сопротивлением генератора сигнала пренебречь.

98. Резистивный усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером обеспечивает усиление по напряжению в 10 раз, а по мощности в 90 раз (рис.31). Найти номиналы резисторов нагрузочного сопротивления R_H и делителя постоянного смещения R_1 и R_2 , если $\beta=39$, $R_3=500\text{ Ом}$, а $R_1=4R_2$.

99. На рис.32 дана схема одного из вариантов создания постоянного смещения на базу транзисторного усилителя с ОЭ. Найти входное дифференциальное сопротивление, постоянный и переменный (действующее значение) токи базы, если дано $e_c = 0,01\sin \omega t$, $R_1=1000\text{ Ом}$, $R_2=20\text{кОм}$, входное дифференциальное сопротивление транзистора $r_{вх}=500\text{ Ом}$, а коэффициент усиления транзистора по току $\beta=50$, $E=10\text{В}$, $R_3=0$.

100. Найти коэффициент усиления по напряжению усилителя на транзисторе с ОЭ (рис.31) и сравнить его с приближенным значением коэффициента усиления, вычисленным только по данным R_H и R_3 . Исходные данные: $\beta=40$, $R_1=80\text{ кОм}$, $R_2=8\text{ кОм}$, $R_H=2\text{ кОм}$, $R_3=400\text{ Ом}$, $r_{вх}=10\text{ Ом}$, $r_6=600\text{ Ом}$.

101. Найти входное дифференциальное сопротивление, коэффициенты усиления по току и напряжению усилителя (рис.30), если дано: $R_1=40\text{ кОм}$; $R_2=8\text{ кОм}$; $\beta=60$; $R_K=2\text{ кОм}$; $R_3=400\text{ Ом}$, $R_T=0$.

102. Найти коэффициенты усиления по току и напряжению усилителя с ОЭ, схема которого дана на рис.32. Исходные данные: $R_T=1\text{ кОм}$; $R_6=20\text{кОм}$, $R_K=2\text{кОм}$; $r_{вх}=500\text{ Ом}$; $\beta=60$, $R_3=0$.

103. Двухкаскадный усилитель, имеющий коэффициенты усиления

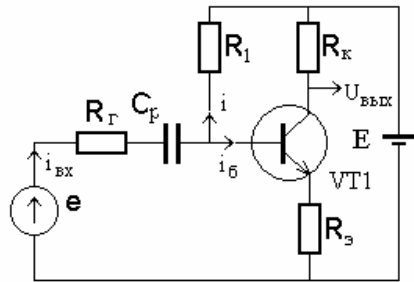
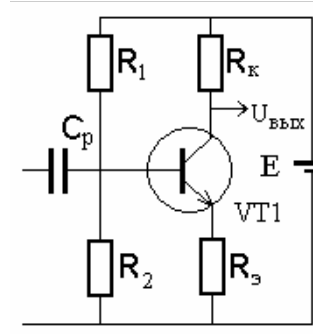


Рис.32

ния отдельных каскадов $K_1=20$ и $K_2=15$, охвачен отрицательной обратной связью. Определить усиление усилителя, если коэффициент ООС равен 0,01.

104. В двухкаскадном транзисторном усилителе с общим коэффициентом усиления по току, равным 3000, использованы транзисторы с коэффициентом $\beta=100$. В схему включена ООС с коэффициентом $\gamma=0,01$. Определить изменение общего коэффициента усиления (%) при наличии обратной связи и без нее, если изменение напряжения питания приводит к уменьшению параметра β до 50.

105. Усилитель низкой частоты имеет усиление на нижней, средней и верхней частотах соответственно 20, 35 и 50. Определить коэффициенты усиления на указанных частотах спектра при введении ООС с коэффициентом обратной связи 0,1. Определить коэффициент частотных искажений (М) на нижней и верхней частотах при отсутствии и наличии обратной связи.

106. На высоких частотах, при которых влияние межкаскадной ёмкости на усиление пренебрежимо мало, эквивалентная схема двухкаскадного транзисторного усилителя может быть изображена в виде рис.33. Показать, что отношение

$$\frac{K_0}{K} = \sqrt{1 + (\omega R_2 C_2)^2}.$$

Здесь K -коэффициент усиления по напряжению при частоте ω ; K_0 -коэффициент усиления на средних частотах, при которых R_2 -активное входное сопротивление второго каскада.

107. На низких частотах на усиление пренебрежимо мало, эквивалентная схема двухкаскадного транзисторного усилителя может быть изображена в виде рис.34. Показать, что отношение

$$\frac{K_0}{K} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega R_2 C_1)^2}}.$$

Здесь K - коэффициент усиления по напряжению при частоте ω , K_0 - коэффициент усиления на средних частотах, при которых C_1 - емкость связи между каскадами.

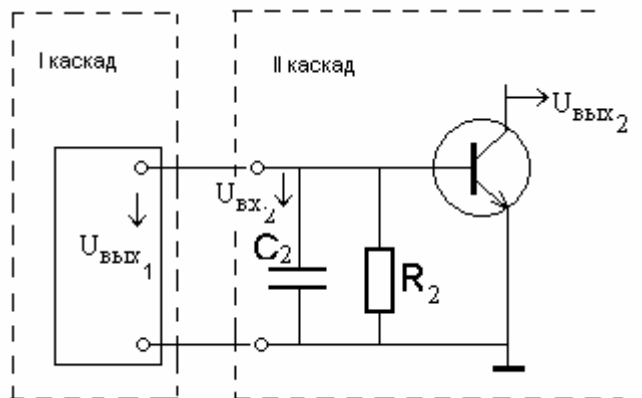


Рис.33.

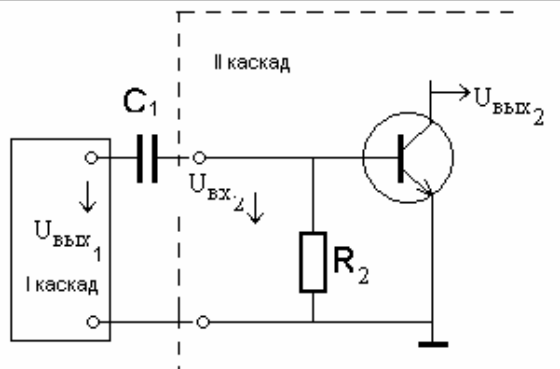


Рис.34.

влияют на усиление ($K_0 \neq K_0(\omega)$); C_1 -межкаскадная емкость; R_2 -активное входное сопротивление второго каскада.

108. Усилитель с коэффициентом усиления по напряжению, равным 10, имеет на некоторой частоте ω_1 коэффициент частотных искажений $M(\omega_1)=2$. Рассчитать необходимый коэффициент передачи цепи частотно-независимой обратной связи, при которой коэффициент частотных искажений $M(\omega_1)$ уменьшится до значения $\sqrt{2}$.

109. В двухкаскадном усилителе с коэффициентом усиления по напряжению 100, напряжение с выхода первого каскада через конденсатор емкостью 0,10 мкФ подается на вход второго каскада. Вычислить нижнюю граничную частоту усилителя, определяемую по уровню 3 дБ, до и после введения ООС с частотно-независимым коэффициентом $\gamma=0,02$. Входное сопротивление второго каскада $R=10$ кОм.

110. Усилитель с коэффициентом усиления по напряжению 100, и выходным сопротивлением 1кОм, работает на чисто емкостную нагрузку $C_n=100$ пФ. Вычислить верхнюю граничную частоту усилителя, определяемую по уровню 3дБ, до и после введения ООС с частотно-независимым коэффициентом $\gamma=0,01$.

111. На рис.35 дана схема одного из вариантов одновременного создания постоянного смещения на базу и отрицательной обратной связи по напряжению в транзисторном усилительном каскаде с ОЭ. Найти входное дифференциальное сопротивление усилителя. Исходные данные: $\beta=50$, $R_K=2$ кОм, $R_1=20$ кОм, $R_3=500$ Ом. Сопротивлением генератора и входным сопротивлением транзистора пренебречь, а усиление по напряжению вычислить по приближенной формуле.

112. Найти коэффициенты усиления по напряжению и току усилительного каскада (рис.35) по данным предыдущей задачи.

113. Найти коэффициент усиления по напряжению резонансного усилителя с ОЭ, если в качестве нагрузки использован параллельный колебательный контур с $C=200$ пФ, $L=80$ мкГн, $r=40$ (активное сопротивление катушки индуктивности). В эмиттер-

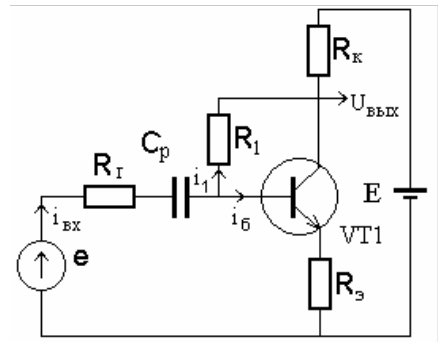


Рис.35

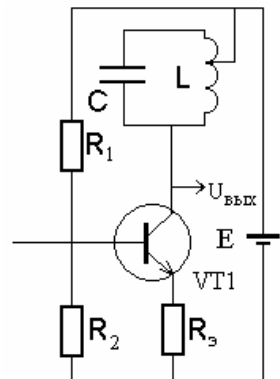


Рис.36.

ной части внешнее сопротивление $R_э=400$ Ом не шунтировано емкостью. Усиливаемое напряжение гармоническое с частотой, равной резонансной частоте контура. Шунтирующим влиянием транзистора на колебательный контур пренебречь.

114. На вход усилителя (рис.36) подано гармоническое напряжение $U_{вх} = 0,01 \sin 2\pi 10^6 t$ В. Чему равно действующее выходное напряжение усилителя, если дано: $R_э=600$ Ом, $C=200$ пФ, $L=127$ мкГн, $r_0=10$ Ом (активное сопротивление катушки индуктивности), коэффициент включения катушки $p=0,3$. Шунтирующим влиянием транзистора на контур и внутренним сопротивлением генератора сигнала пренебречь.

115. Определить входное сопротивление эмиттерного повторителя (рис.37) с учетом и без учета внутренних сопротивлений транзистора, если дано: $r_б=800$ Ом; $r_э=20$ Ом; $\beta=60$; $R_1=40$ кОм; $R_2=8$ кОм; $R_э=400$ Ом;

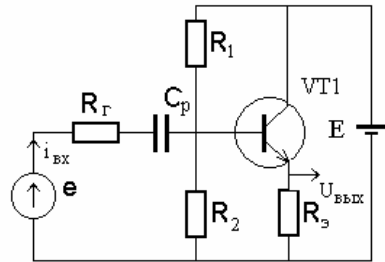


Рис.37.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

u – мгновенное напряжение.

i – мгновенный ток.

U – действующее напряжение.

Y – действующий ток.

U_m – амплитудное или максимальное напряжение.

Y_m – амплитудный или максимальный ток.

\underline{U} – комплексное действующее напряжение

\underline{Y} – комплексный действующий ток.

$X_L = \omega L$ – модуль реактивного сопротивления индуктивности.

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – модуль реактивного сопротивления емкости.

$z = |\underline{Z}|$ – модуль полного сопротивления (ципеданс).

$y = |\underline{Y}|$ – модуль полной проводимости.

$j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

γ – коэффициент обратной связи.

M – коэффициент частотных искажений.

ω_b или f_b – верхняя частота диапазона пропускания.

ω_n или f_n – нижняя частота диапазона пропускания.

R_j или r – дифференциальное сопротивление.

S – крутизна характеристики.

Содержание

1. Введение.....	3
2. Линейные цепи.....	4
3. Нелинейные резистивные элементы (НРЭ) и нелинейные цепи.....	10
4. Полупроводниковые приборы.....	16
5. Усилители.....	19
6. Ответы.....	30
Литература.....	32
Обозначения.....	33

Учебное издание
Каров Борис Галимович
Калажоков Замир Хамидбиевич
Калажоков Хамидби Хажисмелович

ЗАДАЧИ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

(разделы: линейные и нелинейные цепи,
полупроводниковые приборы, усилители)
Методические разработки

Для специальностей 010400-физика
Литература:

Редактор ***М.П. Машукова***
Компьютерная верстка ***Е.Х. Гергоковой***
Корректор ***Е.Г. Скачкова***

Изд. лиц. Серия ИД 06202 от 01.11.2001.
В печать 19.05.2004. Формат 60x84 ¹/₁₆. Печать трафаретная.
Бумага газетная. 2.09 усл.п.л. 2.0 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 4119 .

Кабардино-Балкарский государственный университет.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Полиграфическое подразделение КБГУ.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.