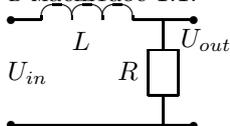


# Задачи и вопросы по курсу "Радиофизика" для подготовки к экзамену

С. П. Вятчанин

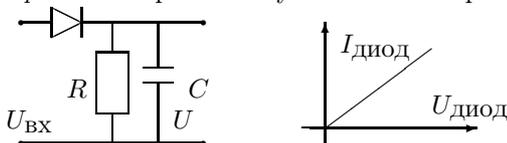
## Определения

1. Дана  $LR$  - цепочка, на вход которой подается напряжение частоты  $\omega$ . При какой *максимальной* частоте *еще* можно считать, что условие квазистационарности выполнено?  $L = 10^{-5}$  Гн,  $R = 10^2$  Ом, размеры всех элементов и соединительных проводов изображены на рисунке в масштабе 1:1.



2. Что такое добротность  $LC$  контура? Чему равны добротности последовательного контура и добротность параллельного контура?

3. Источник синусоидального напряжения  $U(t) = V_0 \cos \omega t$  подключен к выпрямителю (см. схему и ВАХ диода на рис.) так, что на выходе почти постоянное напряжение. Что называется углом отсечки  $\theta$ ? От чего зависит угол отсечки? Что изменится в выходном напряжении, если величину емкости  $C$  увеличить в 2 раза? Если сопротивление  $R$  увеличить в 2 раза? Если сопротивление диода в *прямом* направлении уменьшить в 2 раза?



4. Какие условия являются необходимыми для штатной работы трансформатора?

5. Что такое волновое сопротивление  $\rho$  длинной линии? Каков его физический смысл?

6. Фурье-преобразование сигнала  $S(t)$  имеет вид

$$S(\omega) = \begin{cases} A(\omega_0 - 5|\omega|) & \text{при } |\omega| < 2\omega_0, \\ 0 & \text{при } |\omega| > 2\omega_0, \end{cases}$$

где  $A$ ,  $\omega_0$  – постоянные, размерность  $\omega$  – рад/сек.  $C$  каким максимальным временным интервалом  $\Delta t$  можно дискретизировать сигнал (т.е. заменить его набором отсчетов  $S_n = S(n\Delta t)$ ,  $n$  – целое), чтобы потом по этим отсчетам можно было бы *точно* восстановить исходный сигнал?

7. Что такое количество информации? Какое количество информации  $I$  содержит телеграмма,

содержащая  $N$  букв алфавита, если в алфавите  $m$  знаков?

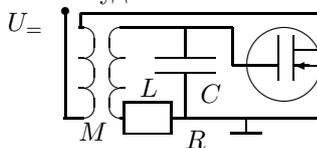
8. Что такое корреляционная функция флуктуаций и спектральная плотность? Как они связаны?

9. Корреляционная функция напряжения равна  $\langle U(t)U(t') \rangle = A e^{-|t-t'|}$  ( $A$  – постоянная). Найти спектральную плотность  $S_u(\omega)$  этих флуктуаций напряжения ( $\omega$  – частота, имеющая размерность рад/сек).

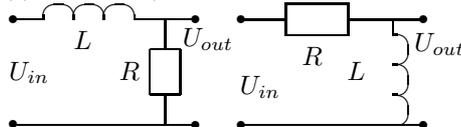
10. Дана спектральная плотность  $S_u(\omega) = A/(\omega^2 + a^2)$  флуктуаций напряжения ( $\omega$  – частота, имеющая размерность рад/сек,  $A$ ,  $a$  – постоянные). Найти корреляционную функцию напряжения  $\langle U(t)U(t') \rangle$ .

## Качественные задачи

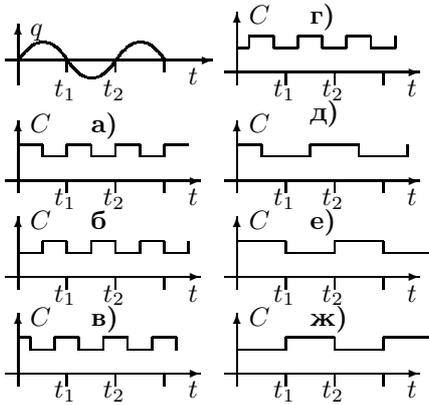
11. Дана простейшая схема  $LC$ -генератора. Что является причиной установления *стационарной* амплитуды колебаний?



12. На вход цепочки подается прямоугольный импульс длительностью  $\tau$ . Какой формы будет выходное напряжение? Рассмотреть все возможные случаи для обеих цепочек.

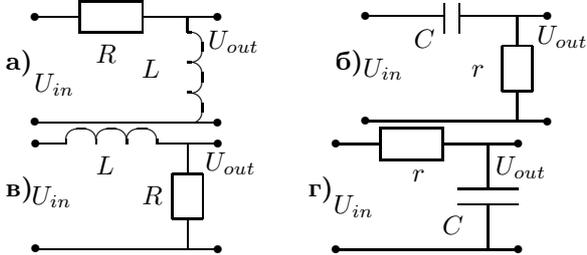


13. В колебательном контуре без потерь возбуждены свободные колебания, так что заряд на конденсаторе изменяется как показано на рисунке. Выберите, по какому закону надо изменять емкость, чтобы амплитуда колебаний в контуре *увеличивалась*.

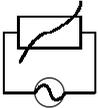


### Простые задачи

14. При каких условиях и какие цепочки имеют идентичные частотные характеристики? Какая из этих цепочек и при каком условии является дифференцирующей, а какая интегрирующей, если  $U_{in} = U_0 \cos \omega t$ ?

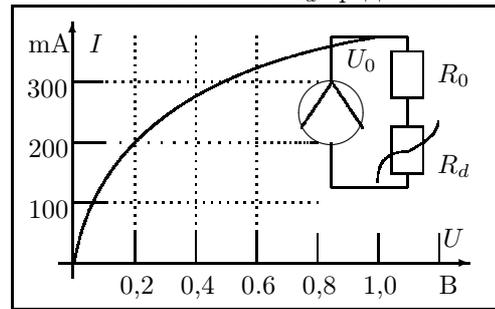


15. Источник синусоидального напряжения  $U(t) = U_0 \cos \omega t$  подключен к нелинейному элементу, ток  $I$  через который зависит от приложенного напряжения  $U$  по закону  $I = G_0 U + G_3 U^3$ . Какие частоты будут присутствовать в токе, протекающем через элемент?



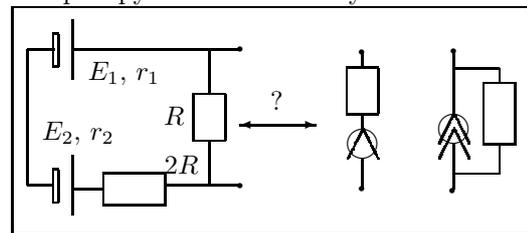
16. Во сколько раз изменилась мощность излучения, поступающая на вход приемной телевизионной сферической антенны со спутника, если диаметр излучающей антенны на спутнике увеличился в  $n$  раз, длина волны излучения уменьшилась в  $m$  раз, диаметр принимающей антенны уменьшился в  $k$  раз? Мощность передатчика на спутнике не изменилась.
17. Во сколько раз изменится дальность обнаружения цели радиолокатором, если диаметр и радиус кривизны излучающей (и принимающей) антенны увеличить в  $n$  раз, длину волны излучения уменьшить в  $k$  раз, а мощность передатчика не изменять? Считать эффективное сечение отражения цели неизменным.
18. Найти ток  $I$  в цепи, если  $U_0 = 0,6$  В, сопротивление  $R_0 = 2$  Ом, а вольт-амперная характеристика

нелинейного элемента  $R_d$  представлена на графике.

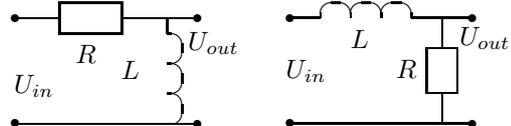


### Обычные задачи

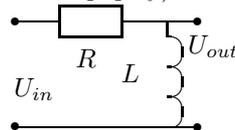
19. Дана схема из двух батарей и дополнительного сопротивления. Найти, какому эквивалентному генератору напряжения и какому эквивалентному генератору тока соответствует эта схема.



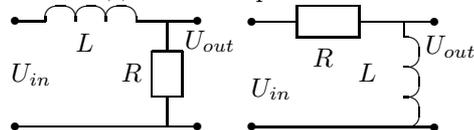
20. Найдите амплитуду  $A$  и фазу  $\phi$  выходного напряжения  $U_{out} = A \cos(\omega t + \phi)$ , если входное напряжение равно  $U_{in} = U_0 \cos \omega t$ .



21. При каком условии АМ сигнал  $U_{in} = U_0(1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t$  ( $\Omega \leq \omega$ ) пройдет через цепочку с малыми искажениями (т.е. на выходе он сохранит свою форму)?

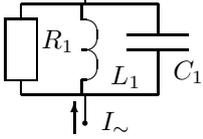


22. На вход цепочки подается прямоугольный импульс длительностью  $\tau$  сек и напряжением  $U_0$ . Какова будет величина *максимального* напряжения  $U_{max}$  на выходе? Рассмотреть все возможные случаи

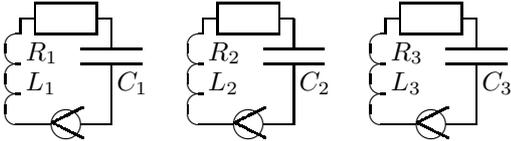


23. Синусоидальный генератор тока с постоянной амплитудой действует на добротный параллельный контур. При изменении частоты генератора максимум тока через сопротивление в параллельном контуре достигается при частоте  $\omega_R$ , максимум тока через индуктивность и емкость — соответственно на частотах  $\omega_L$  и  $\omega_C$ . Как

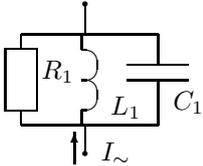
соотносятся эти частоты?



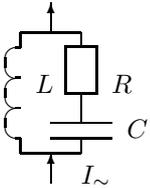
24. Даны три добротных контура, в которых действуют одинаковые источники напряжения на резонансной частоте. Как соотносятся амплитуды напряжения на емкостях  $U_{C1}$ ,  $U_{C2}$  и  $U_{C3}$ ?  $R_1 = R$ ,  $R_2 = 2R$ ,  $R_3 = R/2$ ,  $L_1 = L$ ,  $L_2 = 2L$ ,  $L_3 = L/4$ ,  $C_1 = C$ ,  $C_2 = C/3$ ,  $C_3 = 3C$ .



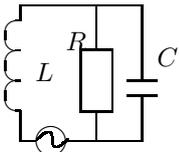
25. Найти токи, текущий через сопротивление  $R_1$ , индуктивность  $L_1$  и емкость  $C$ , если ток источника равен  $I_{\sim} = I_0 \cos \omega t$ , а  $\omega = 1/\sqrt{L_1 C_1}$ .



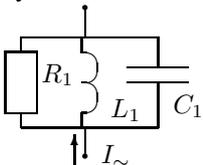
26. Найти амплитуду  $I_L$  тока, текущего через индуктивность  $L$ , если ток источника равен  $I_{\sim} = I_0 \sin \omega t$ ,  $\omega = 1/\sqrt{LC}$ .



27. Найти амплитуду  $U_L$  напряжения на индуктивности  $L$ , если напряжение источника равно  $U_{\sim} = U_0 \sin \omega t$ ,  $\omega = 1/\sqrt{LC}$ .



28. Найти амплитуду тока  $I_L$ , текущего через индуктивность  $L_1$ , если известно, что ток через нее отличается по фазе на  $\pm\pi/4$  от тока источника  $I_{\sim} = I_0 \sin \omega t$ . Считать, что добротность контура  $Q \gg 1$ .



29. Какие из представленных сигналов являются фазово-модулированными?

1)  $U(t) = A_0 (\cos \omega_0 t + m \cos(\omega_0 + \Omega)t + m \cos(\omega_0 - \Omega)t)$ ,

$\Omega)t)$ ,

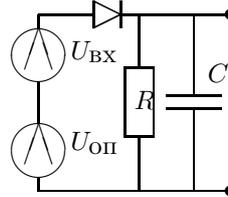
2)  $U(t) = A_0 (\cos \omega_0 t + m \cos(\omega_0 + \Omega)t - m \cos(\omega_0 - \Omega)t)$ ,

3)  $U(t) = A_0 (\cos \omega_0 t + m \sin(\omega_0 + \Omega)t + m \sin(\omega_0 - \Omega)t)$ ,

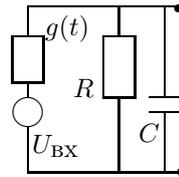
4)  $U(t) = A_0 (\cos \omega_0 t + m \sin(\omega_0 + \Omega)t - m \sin(\omega_0 - \Omega)t)$ ,

$A_0, \omega_0, \Omega, m$  — константы. Принять, что  $\Omega \ll \omega_0$ ,  $m \ll 1$ .

30. На рис. представлена схема фазового детектирования фазово-модулированного сигнала  $U_{ВХ} = U_0 \cos(\omega t + m \cos \Omega t)$ . Принимая, что  $m \ll 1$ ,  $\Omega \ll \omega$ , определить, при каких условиях сигнал на выходе будет пропорционален  $m \cos \Omega t$ ?

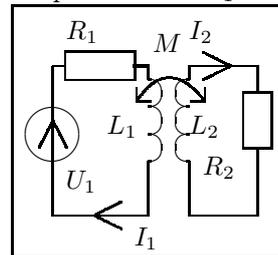


31. На рис. представлена схема синхронного детектирования фазово-модулированного сигнала  $U_{ВХ} = U_0 \cos(\omega t + m \cos \Omega t)$ .  $g(t)$  — зависящая от времени проводимость. Принимая, что  $m \ll 1$ ,  $\Omega \ll \omega$ , определить, при каких условиях сигнал на выходе будет пропорционален  $m \cos \Omega t$ ?



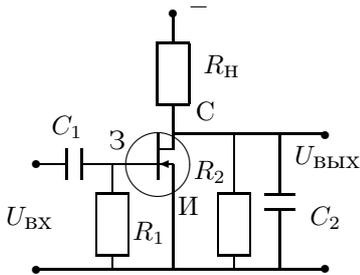
32. Представьте фазово-модулированный сигнал  $A(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + 2m \cos \Omega t)$  в виде суммы гармоник в приближении  $m \ll 1$ .

33. На вход трансформатора (коэффициент трансформации  $n = \sqrt{L_2/L_1}$ ) подается переменное напряжение амплитуды  $U_0$ . Какая средняя мощность  $P_2$  выделяется на сопротивлении  $R_2$ ? на сопротивлении  $R_1$ ?

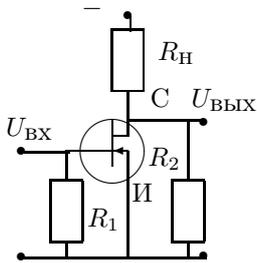


34. Дана упрощенная схема широкополосного усилителя на полевом транзисторе. Найдите нижнюю частоту  $\omega_H$  и верхнюю частоту  $\omega_B$  пропускания усилителя. Считать, что сопротивление сток-исток  $R_{СИ} = R_2$ , сопротивление затвор-исток считать бесконечным. Влиянием собственных емкостей транзистора пренебречь. Внутренним сопротивлением

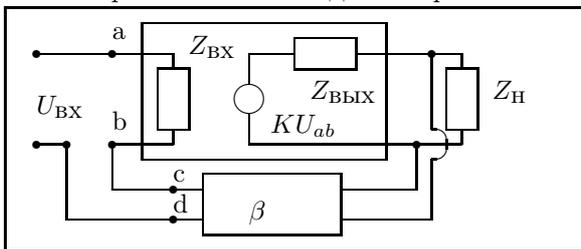
источника входного напряжения пренебречь.



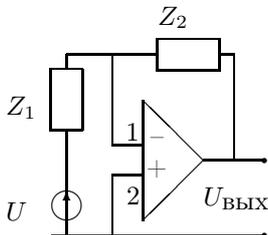
35. Дана упрощенная схема усилителя постоянного напряжения на полевом транзисторе, в котором  $R_H = R_2 = R_{СИ}$ , где  $R_{СИ}$  – сопротивление между стоком и истоком. Во сколько раз изменится коэффициент усиления  $K$ , если сопротивление  $R_2$  увеличить в 5 раз? Сопротивление затвор-исток считать бесконечным.



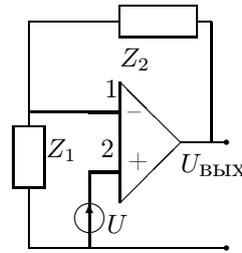
36. К усилителю с коэффициентом усиления  $K$  и входным сопротивлением  $Z_{ВХ} = R$  подключили цепь обратной связи с коэффициентом передачи  $\beta$ . Каким при этом стало входное сопротивление  $R_{\beta}$ ?



37. Найти коэффициент усиления  $K_{\beta}$  операционного усилителя с цепью обратной связи. Считать, что коэффициент усиления без обратной связи  $\rightarrow \infty$ . Сопротивлением генератора входного сопротивления пренебречь.

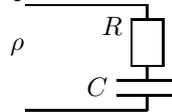


38. Найти коэффициент усиления  $K_{\beta}$  операционного усилителя с цепью обратной связи. Считать, что коэффициент усиления без обратной связи  $\rightarrow \infty$ . Сопротивлением генератора входного сопротивления пренебречь.

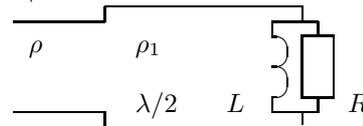


39. Гармоническая волна напряжения амплитуды  $U_0$  и частоты  $\omega$  отражается от закороченного конца длинной линии с волновым сопротивлением  $\rho$ . Найти амплитуду тока  $I_0$ , протекающего через закороченный конец длинной линии.

40. Найдите мощность  $W_r$  потока энергии гармонической волны отраженной от конца длинной линии (см. рис.), если  $R = \rho = 2/\omega C$ , где  $\omega$  – частота волны, а мощность падающей волны равна  $W$ .

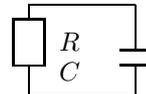


41. Найдите мощность  $W_r$  потока энергии отраженной гармонической волны частоты  $\omega$ , если мощность падающей волны  $W$ ,  $R = \rho$ , индуктивность  $L$  известна. Длина отрезка линии с  $\rho_1 = 2\rho$  равна  $\lambda/2$ .



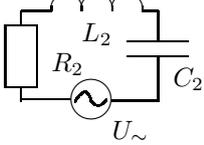
42. Гармоническая волна напряжения амплитуды  $U_0$  и частоты  $\omega$  отражается от конца длинной линии с волновым сопротивлением  $\rho$ , нагруженной на индуктивность  $L$ . Найти амплитуду тока  $I_0$ , протекающего через эту индуктивность на конце длинной линии.

43. Найти спектральную плотность  $S_u(\omega)$  флуктуаций напряжения на емкости  $C$ , если сопротивление  $R$  находится при температуре  $T$ .  $k$  – постоянная Больцмана,  $\omega$  – частота, имеющая размерность рад/сек. Использовать "одностороннее" определение спектральной плотности, при котором дисперсия напряжения  $\langle U^2 \rangle$  определяется через спектральную плотность  $S_u(\omega)$  по формуле  $\langle U^2 \rangle = \int_0^{\infty} \frac{d\omega}{2\pi} S_u(\omega)$ .

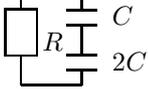


44. Найти спектральную плотность  $S_u(\omega)$  флуктуаций напряжения на емкости  $C_2$ , если спектральная плотность флуктуаций напряжения генератора  $U_{\sim}$  равна  $D(\omega)$ , а сопротивление  $R_2$  находится при температуре  $T$ .  $k$  – постоянная Больцмана,  $\omega$  – частота, имеющая размерность рад/сек. Использовать "одностороннее" определение спектральной плотности, при котором дисперсия напряжения  $\langle U^2 \rangle$  определяется через

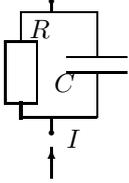
спектральную плотность  $S_u(\omega)$  по формуле  $\langle U^2 \rangle = \int_0^\infty \frac{d\omega}{2\pi} S_u(\omega)$ .



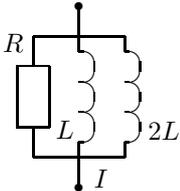
45. Найти дисперсию  $U_C^2$  тепловых флуктуаций напряжения на емкости  $C$ , если сопротивление  $R$  находится при температуре  $T$ .



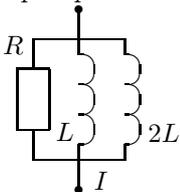
46. Найти дисперсию  $U_C^2$  флуктуаций напряжения на емкости  $C$  из-за дробовых шумов при протекании постоянного тока  $I$ .



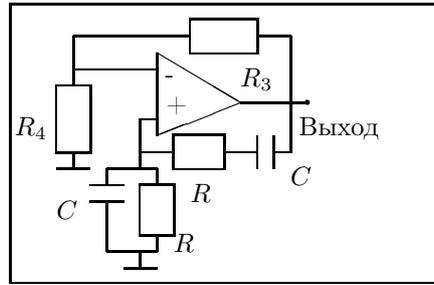
47. Найти спектральную плотность  $S_I(\omega)$  флуктуаций тока через индуктивность  $L$ , вызванных дробовыми шумами при протекании тока  $I$ . Использовать "одностороннее" определение спектральной плотности, при котором дисперсия тока  $\langle I^2 \rangle$  определяется через спектральную плотность  $S_I(\omega)$  по формуле  $\langle I^2 \rangle = \int_0^\infty \frac{d\omega}{2\pi} S_I(\omega)$ .



48. Найти дисперсию  $I_L^2$  флуктуаций тока на индуктивности  $L$ , вызванных дробовым эффектом при протекании тока  $I$ .



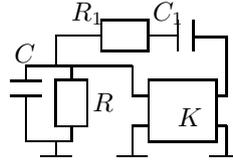
49. Дана схема  $RC$ -генератора на операционном усилителе. Каковы должны быть сопротивления  $R_3$  и  $R_4$  для возникновения синусоидальных автоколебаний (т.е. выполнения условия  $K\beta \geq 1$ ) и какова будет частота  $\omega_0$  этих автоколебаний?



50. Каков среднеквадратичный уход фазы  $\langle \varphi^2 \rangle$   $LC$ -генератора за время  $t$ , если частота  $LC$ -контура  $\omega_0$ , добротность  $Q$ , амплитуда колебаний тока  $I_0$  через индуктивность  $L$ ? Принять, что единственным источником флуктуаций являются тепловые флуктуации (температура  $T$ , постоянная Больцмана  $\kappa$ ).

51. Дан сигнал  $F(t)$ . Его фурье-образ (спектр) есть  $f(\omega)$ . Найти фурье-образ  $f_\alpha(\omega)$  сигнала  $F(\alpha t)$ ,  $\alpha$  – постоянная.

52. Дана простейшая схема  $RC$ -генератора на неинвертирующем усилителе, Генерация возникает на частоте  $\omega$  при минимальном коэффициенте усиления  $K$ . Определить  $K$  и  $\omega$ .



53. В последовательном колебательном контуре без потерь возбуждены свободные колебания, так что напряжение  $U$  на конденсаторе изменяется по закону  $U(t) = U_0 \cos \omega_0 t$ . Емкость  $C$  начинает меняться по закону  $C(t) = C_0[1 + mf(t)]$ ,  $m \ll 1$ . Укажите вид функции  $f(t)$ , при котором амплитуда колебаний в контуре будет *увеличиваться*. Возможные ответы:  $f(t) = \pm \sin n\omega_0 t$ ,  $\pm \cos n\omega_0 t$ ,  $n$  - целое.