

13.2. Вынужденные колебания. Переменный ток

13.2.1. Частота переменного тока $\nu = 50$ Гц. Определите период и циклическую частоту переменного тока.

13.2.2. Сила тока изменяется по закону $i = 8,5 \sin(314t + 0,661)$. Определите амплитудное значение силы тока, его начальную фазу и частоту.

13.2.3. Какая максимальная ЭДС наводится в контуре площадью S , вращающемся в однородном магнитном поле с индукцией B так, что угол φ между нормалью к площади рамки и силовыми линиями магнитного поля изменяется по закону $\varphi(t) = \varphi_0 + \omega t$, где φ_0 , ω — известные величины, t — время в секундах.

13.2.4. Рамку площадью $S = 200 \text{ см}^2$ вращают с частотой $\nu = 8 \text{ с}^{-1}$ в магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Напишите: а) закон изменения магнитного потока, пронизывающего рамку; б) закон изменения ЭДС индукции, возникающей в рамке. В начальный момент времени рамка перпендикулярна магнитному полю (рис. 13.2.1).

13.2.5. По графику (рис. 13.2.2) найдите амплитудное значение переменной ЭДС, ее период и частоту. Запишите закон изменения ЭДС с течением времени.

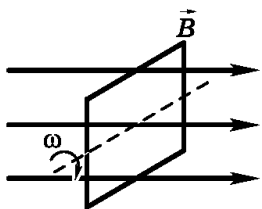


Рис. 13.2.1

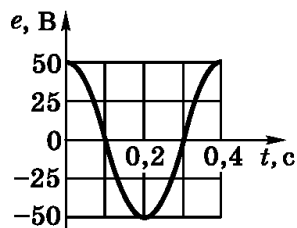


Рис. 13.2.2

13.2.6. Контур сечением $S = 400 \text{ см}^2$, состоящий из $N = 100$ витков провода, равномерно вращают в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны оси вращения. Определите максимальное значение ЭДС, возникающей в контуре, если угловая скорость контура $\omega = 1$ рад/с.

13.2.7. Рамка площадью $S = 200 \text{ см}^2$ имеет $N = 100$ витков и находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 30$ мТл. Рамка расположена в нейтральном положении¹⁾. В момент времени $t = 0$ рамку начинают вращать вокруг оси, перпендикулярной силовым линиям поля так, что амплитудное значение ЭДС индукции $\mathcal{E}_m = 6$ В. Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке, в момент времени $t = 0,02$ с.

¹⁾ В нейтральном положении нормаль к рамке совпадает с вектором магнитной индукции \vec{B} .

13.2.8. Электромотор постоянного тока, подключенный к источнику поля с ЭДС $\mathcal{E}_0 = 24$ В, делает $n_1 = 600$ об/мин при силе тока в цепи $I = 0,2$ А. Полное сопротивление цепи $R = 20$ Ом. Чему будет равна ЭДС этого мотора, если он будет работать как динамомашина, делая $n_2 = 1400$ об/мин?

13.2.9. Генератор переменного тока имеет на роторе восемь пар полюсов ($k = 8$). Чему должна быть равна частота вращения ротора, чтобы генератор вырабатывал ток стандартной частоты ($\nu = 50$ Гц)?

13.2.10. Напряжение на концах участка цепи, по которому течет переменный ток, изменяется по синусоидальному закону. Начальная фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$, период колебаний $T = 0,02$ с. В момент времени $t = \frac{T}{24}$ напряжение $u = 5$ В. Найдите: амплитуду напряжения, циклическую частоту, частоту тока. Запишите закон изменения напряжения с течением времени.

13.2.11. Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $i = 4 \sin\left(314t + \frac{\pi}{6}\right)$. Определите: действующее значение силы тока, его начальную фазу и период колебаний тока. Чему будет равна сила тока в моменты времени: $t_1 = 0,01$ с, $t_2 = 0,04$ с?

13.2.12. Определите эффективные значения силы тока и напряжения, зависимости которых от времени показаны на рисунке 13.2.3.

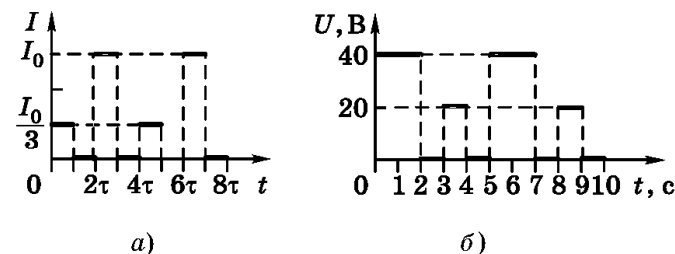


Рис. 13.2.3

13.2.13. Переменный ток в пределах одного периода изменяется по закону $i = I_m \sqrt{\frac{t}{T}}$, где I_m — максимальное значение силы тока, T — период. Определите действующее значение силы тока.

13.2.14. Тепловой амперметр, включенный последовательно в цепь переменного тока, показывает $I = 2$ А. Найдите максимальную силу тока в цепи.

13.2.15. Неоновая лампа включена в сеть переменного тока с действующим значением напряжения $U_d = 71$ В и периодом $T =$

$= 0,02$ с. Найдите промежуток времени, в течение которого горит лампа, и частоту вспышек. Напряжение зажигания и гашения лампы одинаково и составляет $U_1 = 86,7$ В.

• **13.2.16.** В сети переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц действующее значение напряжения $U_d = 120$ В. Какое время τ будет гореть неоновая лампочка при включении ее в сеть в течение $\Delta t = 1$ мин, если она зажигается и гаснет при напряжении $U_0 = 84$ В?

13.2.17. В сеть переменного тока включен тefалевый чайник сопротивлением $R = 40$ Ом. Найдите количество теплоты, выделяемое за время $t = 3$ мин, если амплитуда напряжения в сети $U_m = 311$ В.

13.2.18. На какое максимальное напряжение рассчитаны изоляторы линии электропередачи, если действующее напряжение $U_d = 230$ кВ?

13.2.19. На участке цепи с активным сопротивлением $R = 4$ Ом сила тока изменяется по закону $i = 6,4 \sin 314t$. Определите действующее значение силы тока и активную мощность, выделяющуюся на этом участке.

13.2.20. Определите частоту переменного тока, если конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ представляет для него сопротивление $X_C = 2$ Ом.

13.2.21. Конденсатор включен в цепь переменного тока стандартной частоты ($\nu_{ст} = 50$ Гц). Напряжение в сети $U = 220$ В. Сила тока в цепи $I = 2$ А. Какова емкость конденсатора?

13.2.22. В городскую сеть переменного тока с действующим напряжением $U_d = 127$ В включили лампочку от карманного фонаря и конденсатор, соединенные между собой последовательно. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом? Лампочка рассчитана на постоянное напряжение $U_d = 3,5$ В и силу тока $I = 0,28$ А.

13.2.23. К городской сети переменного тока с действующим напряжением $U_d = 127$ В присоединена цепь, состоящая из последовательно включенных активного сопротивления $R = 100$ Ом и конденсатора емкостью $C = 40$ мкФ. Определите амплитуду силы тока в цепи.

13.2.24. По участку ABD (рис. 13.2.4) цепи протекает синусоидальный ток. На участке AB действующее значение напряжения равно $U_{AB} = 20$ В, а на участке BD — $U_{BD} = 10$ В. Определите действующее значение напряжения на участке AD .

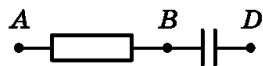


Рис. 13.2.4

13.2.25. Катушку индуктивностью $L = 35$ мГн включают в сеть переменного тока. Определите ее сопротивление при частоте тока $\nu = 50$ Гц.

13.2.26. Действующие значения напряжения и силы тока в катушке равны соответственно $U_d = 127$ В, $I_d = 0,5$ А. Определите индуктивность катушки при частоте переменного тока $\nu = 50$ Гц.

13.2.27. Сила тока в катушке индуктивностью $L = 0,5$ Гн изменяется по закону $i = 0,1 \sin 628t$. Определите зависимость напряжения на катушке от времени и реактивное сопротивление катушки.

13.2.28. Катушка индуктивностью $L = 0,02$ Гн присоединена к источнику переменного напряжения частотой $\nu = 50$ Гц. Действующее значение напряжения $U_d = 100$ В. Определите зависимость мгновенного значения силы тока от времени и сдвиг фаз между током и напряжением. Активным сопротивлением катушки пренебречь.

13.2.29. По участку ABD (рис. 13.2.5) цепи протекает синусоидальный ток. На участке AB действующее значение напряжения $U_{AB} = 30$ В, а на участке BD — $U_{BD} = 40$ В. Определите действующее значение напряжения на участке AD .

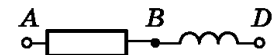


Рис. 13.2.5

13.2.30. На участке AD (см. рис. 13.2.5) сдвиг фаз между током и напряжением $\phi_1 = 20^\circ$. Как изменится эта величина, если частота тока станет в $n = 3$ раза больше?

13.2.31. Спираль электрического чайника имеет индуктивность $L = 30$ мГн и активное сопротивление $R = 30$ Ом. В каком случае и во сколько раз быстрее закипит вода в чайнике: а) при включении в цепь переменного напряжения $U = 311 \cos \omega t$, где $\omega = 314$ рад/с; б) при включении в цепь постоянного напряжения $U = 311$ В?

13.2.32. Электрический кипятильник со спиралью индуктивностью $L = 30$ мГн и активным сопротивлением $R = 10$ Ом помещен в ведро с водой и включен в цепь переменного напряжения $u = U_0 \sin \omega t$, где $U_0 = 179$ В, $\omega = 628$ рад/с. При этом вода объемом $V = 10$ л закипает за время $t_1 = 40$ мин. За какое время закипит и полностью испарится вода, если два таких кипятильника соединить последовательно и подключить к источнику постоянного напряжения, величина которого равна действующему значению напряжения в первом случае? Начальная температура воды в обоих случаях одинакова. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, удельная теплота парообразования $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

13.2.33. Для неразветвленной цепи переменного тока (рис. 13.2.6) сопротивления равны: $R = 3$ Ом, $X_L = 6$ Ом, $X_C = 2$ Ом. Определите полное сопротивление цепи и коэффициент мощности.

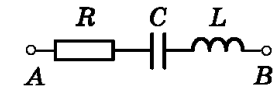


Рис. 13.2.6

• **13.2.34.** Катушка с активным сопротивлением $R = 15$ Ом и индуктивностью $L = 52$ мГн включена в сеть переменного тока с частотой $\nu = 50$ Гц последовательно с конденсатором емкостью $C =$

$= 120$ мкФ. Действующее значение напряжения в сети $U_d = 220$ В. Определите амплитудное и действующее значения силы тока в цепи, а также среднюю за период мощность тока.

13.2.35. В цепь переменного тока частотой $\nu = 400$ Гц включена катушка индуктивностью $L = 0,1$ Гн. Какой емкости конденсатор надо включить в эту цепь, чтобы осуществился резонанс?

13.2.36. Резонансная частота колебательного контура $\nu = 4,2$ кГц. Определите индуктивность катушки, если емкость конденсатора $C = 2,2$ мкФ. Активным сопротивлением контура пренебречь.

13.2.37. По участку ABD (рис. 13.2.7) цепи протекает синусоидальный ток. Индуктивность катушки $L = 0,25$ Гн, емкость конденсатора $C = 100$ мкФ. Пренебрегая активным сопротивлением участка, определите частоту тока, при которой сопротивление участка будет равно нулю.

13.2.38. Для колебательного контура с конденсатором емкостью $C = 10$ мкФ резонансная частота $\nu_1 = 4$ кГц. Когда параллельно данному конденсатору подключают конденсатор неизвестной емкости C_x , то резонансная частота становится $\nu_2 = 1$ кГц. Определите неизвестную емкость C_x и индуктивность контура. Активным сопротивлением контура пренебречь.

• **13.2.39.** В схеме на рисунке 13.2.8 активное сопротивление $R = 2$ Ом, индуктивность катушки $L = 50$ мГн, емкость конденсатора $C = 25$ мкФ. Определите полное сопротивление цепи и сдвиг фаз между током и напряжением при частоте переменного тока $\nu = 50$ Гц. При какой частоте сопротивление цепи минимально? Чему оно равно?

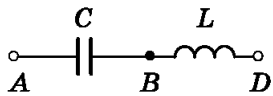


Рис. 13.2.7

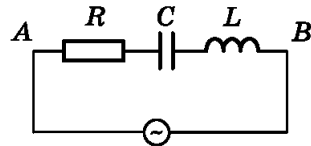


Рис. 13.2.8

13.2.40. Последовательно соединенные элементы R, L, C подключены к источнику переменного напряжения $U = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 179$ В. Сила тока в цепи максимальна при частоте $\nu = 10$ кГц. Найдите индуктивность цепи и мощность, выделяющуюся в этом случае на активном сопротивлении, если $R = 50$ Ом, $C = 0,05$ мкФ.

Ответы:

13.2.1. $T = \frac{1}{\nu} = 0,02$ с; $\omega = 2\pi\nu = 314$ с⁻¹.

13.2.2. $I_0 = 8,5$ А; $\varphi_0 = 0,661$ рад $\approx 40^\circ$; $\nu = 50$ Гц.

13.2.3. $\mathcal{E}_m = BS\omega$.

13.2.4. $\Phi = BS \cos 2\pi\nu t = 4 \cdot 10^{-3} \cos 16\pi t$;
 $e = BS \sin 2\pi\nu t = 0,2 \sin 16\pi t$.

13.2.5. $\mathcal{E}_m = 50$ В; $T = 0,4$ с;
 $\nu = 2,5$ Гц; $e = 50 \cos 5\pi t$.

13.2.6. $\mathcal{E}_{im} = NBS\omega = 0,04$ В.

13.2.7. $e = \mathcal{E}_m \sin\left(\frac{\mathcal{E}_m t}{SBN}\right) = 5$ В.

13.2.8. $\mathcal{E} = \frac{n^2}{n_1} (\mathcal{E}_0 - IR) \approx 46,67$ В.

13.2.9. $n = \frac{\nu}{k} = 375$ об/мин.

13.2.10. $U_m = \frac{U}{\sin \frac{5\pi}{12}} \approx 5,18$ В;

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 314$ с⁻¹; $\nu = 50$ Гц;

$u = 5,18 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right)$.

13.2.11. $I_A = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 2,8$ А; $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$ рад;

$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,02$ с; $i_1 = -2$ А; $i_2 = 2$ А.

13.2.12. См. в условии рис. 13.2.3:

a) $I_{\Delta\Phi} = \frac{I_0 \sqrt{10}}{6}$; б) $U_{\Delta\Phi} = 26,8$ В.

13.2.13. $I_A = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

13.2.14. $I_m = I \sqrt{2} \approx 2,83$ А.

13.2.15. $\Delta t = 3,3$ мс; $n = 100$ с⁻¹.

13.2.17. $Q = \frac{U^2}{2R} t \approx 217,8$ кДж.

13.2.18. $U_m = U_A \sqrt{2} \approx 325,27$ кВ.

13.2.19. $I_A \approx 4,5$ А; $P = 82$ Вт.

13.2.20. $\nu = \frac{1}{2\pi X_C C} = 7,96$ кГц.

13.2.21. $C = \frac{I}{2\pi\nu_{cr} U} = 2,89 \cdot 10^{-5}$ Ф.

13.2.22. $C = \frac{I}{2\pi\nu_{cr} \sqrt{U_A^2 - U_A^2}} \approx 7$ мкФ.

13.2.23. $I = \frac{2\sqrt{2}\pi U_A \nu_{cr} C}{\sqrt{1 + (2\pi\nu_{cr} CR)^2}} \approx 1,4$ А.

13.2.24. $U_{AD} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BD}^2} = 22,4$ В.

13.2.25. $X_L = 2\pi\nu_{cr} L \approx 11$ Ом.

13.2.32. $t_2 = \frac{4R^2 t_1}{R^2 + (\omega L)^2} + r\rho V \frac{4R}{U_0^2} \approx 8,42$ ч.

13.2.33. $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 5$ Ом;
 $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = 0,6$.

13.2.35. $C = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 L} = 1,58$ мкФ.

13.2.36. $L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C} = 650$ мкГн.

13.2.37. $\nu = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \approx 31,8$ Гц.

13.2.38. $C_x = C_1 \left(\left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^2 - 1 \right) = 150$ мкФ;

$L = \frac{1}{4\pi^2 \nu_1^2 C_1} = 1,58$ мГн.

13.2.40. $L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C} = 5 \cdot 10^{-3}$ Гн;

$P = \frac{U_0^2}{2R} = 320,4$ Вт.

13.2.26. $L = \frac{U_A}{2\pi\nu_{cr} I_A} \approx 0,81$ Гн.

13.2.27. $u = 31,4 \sin\left(628t + \frac{\pi}{2}\right)$;
 $X_L = 314$ Ом.

13.2.28. $i = \frac{U_A}{\sqrt{2}\pi\nu L} \sin 2\pi\nu t =$

$= 22,5 \sin 314t$; $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$.

13.2.29. $U_{AD} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BD}^2} = 50$ В.

13.2.30. $\varphi_2 = \arctg(n \operatorname{tg} \varphi_1) \approx 47,5^\circ$.

13.2.31. Быстрее в случае б) в $2\sqrt{\frac{R^2 + (\omega L)^2}{R}} \approx 2,1$ раза.