

***Министерство образования и науки Украины
Национальный технический университет Украины
“Киевский Политехнический Институт”
Кафедра ТОЭ***

***Расчетно-графическая работа
“Периодические несинусоидальные токи в линейных
электрических цепях”
Вариант № 123***

Выполнил: _____

Проверил: _____

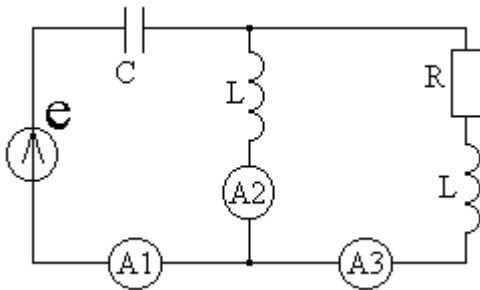
Задание

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, действует источник периодической несинусоидальной ЭДС. График ЭДС задан кривой. Нелинейный отрезок кривой представляют собой участки синусоиды. Угловая частота изменения ЭДС $\omega = 1000$ рад/с.

Требуется:

1. Разложить заданную ЭДС в ряд Фурье (ограничиться 1-ой, 3-ей и 5-ой гармониками).
2. Построить в одной системе координат временные графики составляющих и суммарную кривую ЭДС, последнюю сравнить с заданной.
3. Рассчитать мгновенные значения токов всех ветвей заданной схемы.
4. Определить показания амперметров электромагнитной системы, включенных в цепь.
5. Вычислить мощность P , Q , S , T и коэффициент мощности источника. Составить баланс активных мощностей цепи.
6. Считая заданную схему одной из фаз симметричной трехфазной цепи при соединении генератора и нагрузки звездой с нулевым проводом, необходимо:
 - а) Записать выражения мгновенных значений ЭДС во всех фазах трехфазного источника (принять заданную ЭДС в качестве ЭДС фазы А),
 - б) Определить действующие значения линейного напряжения источника и тока в нейтральном проводе,
 - в) Вычислить действующие значения напряжения между нейтральными точками генератора и приемника и токов в линейных проводах при обрыве нейтрального провода.

$$E_m := 80 \quad R := 20 \quad L := 4 \quad C := 14 \quad \omega := 1000$$



Общая схема цепи

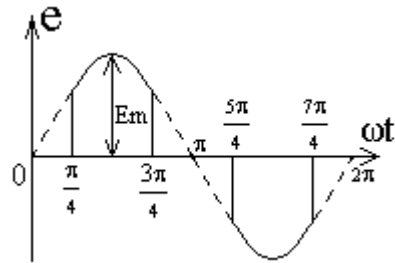


График ЭДС

Разложение заданной ЭДС в ряд Фурье.

Данная функция является симметричной относительно начала координат.

Ряд Фурье такой функции не содержит косинусных членов и постоянной составляющей. А так как функция симметрична относительно и оси абсцисс, то в разложении это функции содержатся только нечетные синусоиды:

$$f(\omega t) := \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} B_{m_k} \cdot \sin(k \cdot \omega t) \quad x = \omega t$$

Нахождение коэффициента для 1-ой гармоники

$$B_{m_1} := \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} (E_m \cdot \sin(x)) \cdot \sin(x) d(x) \quad B_{m_1} = 65.465$$

$$B_{m1}(x) := B_{m_1} \cdot \sin(x)$$

Нахождение коэффициентов для 3-ой гармоники

$$B_{m_3} := \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} (E_m \cdot \sin(x)) \cdot \sin(x \cdot 3) d(x) \quad B_{m_3} = -25.465$$

$$B_{m3}(x) := B_{m_3} \cdot \sin(3 \cdot x)$$

Нахождение коэффициентов для 5-ой гармоники

$$B_{m_5} := \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}} (E_m \cdot \sin(x)) \cdot \sin(x \cdot 5) d(x) \quad B_{m_5} = -8.488$$

$$B_{m5}(x) := B_{m_5} \cdot \sin(5 \cdot x)$$

Искомое разложение функции можно представить в виде:

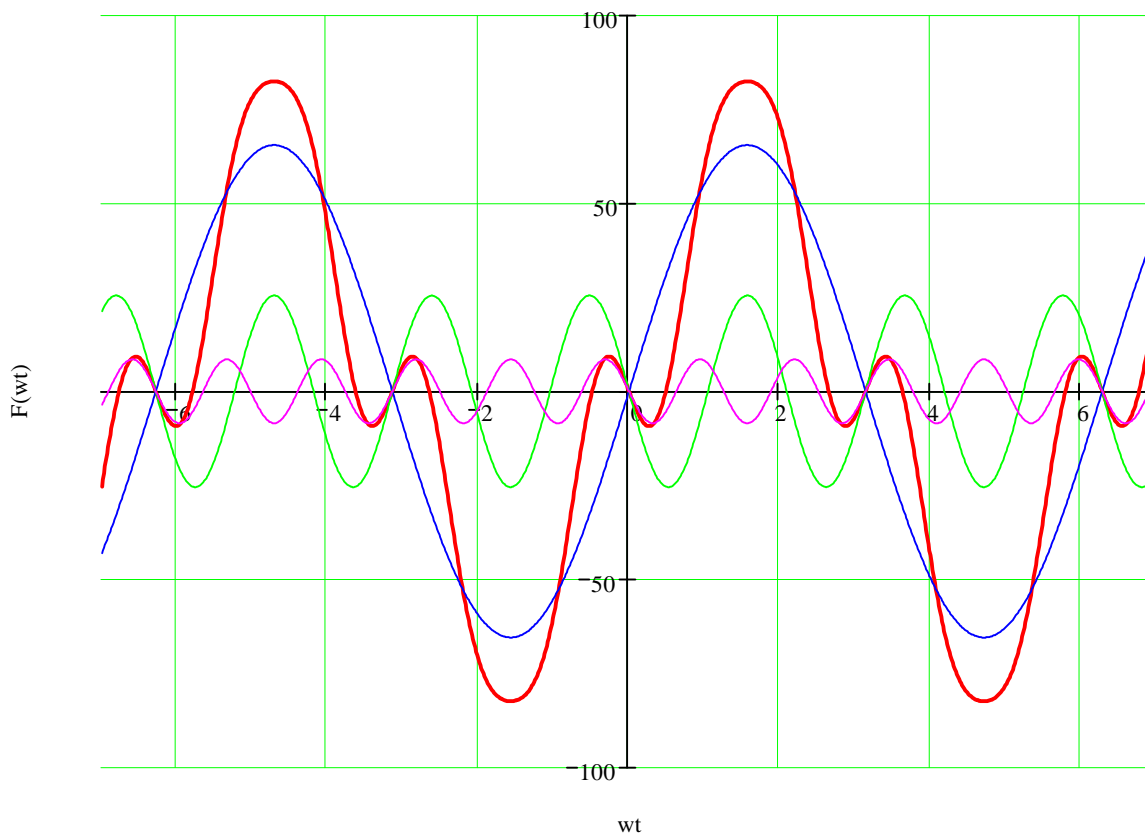
$$F(\omega t) = B_{m_1} \cdot \sin(\omega t) + B_{m_3} \cdot \sin(3\omega t) + B_{m_5} \cdot \sin(5\omega t)$$

$$F(\omega t) = 65.465 \cdot \sin(\omega t) - 25.465 \cdot \sin(3 \cdot \omega t) - 8.488 \cdot \sin(5 \cdot \omega t)$$

$$C_{m_1} := 0 \quad C_{m_3} := 0 \quad C_{m_5} := 0$$

$$\psi_1 := 0 \quad \psi_3 := 0 \quad \psi_5 := 0$$

Графики составляющих и суммарной ЭДС



Временные графики 1-ой, 3-ей, 5-ой гармоник ЭДС и их суммарная кривая

Нахождение мгновенных значений токов всех ветвей заданной схемы.

Выполнив разложение периодической несинусоидальной ЭДС в ряд Фурье, заменяем её приближенно суммой постоянной и нескольких синусоидальных составляющих:

$$e := E_0 + E_{m1} \cdot \sin\{\omega_1 \cdot t + \psi_1\} + E_{m3} \cdot \sin\{\omega_3 \cdot t + \psi_3\} + E_{m5} \cdot \sin\{\omega_5 \cdot t + \psi_5\}$$

Обозначим реактивные сопротивления цепи для К-ой гармоники:

$$X_C := \frac{1}{\omega \cdot C \cdot k \cdot 10^{-6}} \quad X_L := \omega \cdot L \cdot k \cdot 10^{-3}$$

Расчет токов, обусловленных каждой из составляющих ЭДС, выполним в комплексной форме. Комплексное сопротивление цепи для К-ой гармоники равно:

$$Z_k := -i \cdot X_C \cdot k + \frac{i \cdot X_L \cdot k \cdot (i \cdot X_L \cdot k + R)}{i \cdot X_L \cdot k + (i \cdot X_L \cdot k + R)}$$

Для основной гармоники ЭДС (K=1):

$$E_1 := \frac{Bm_1}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\psi_1} \quad E_1 = 46.291 \quad F(E_1) = (46.291 \ 0)$$

Комплексное сопротивление цепи для 1-ой гармоники равно:

$$Z_1 := -i \cdot X_C + \frac{i \cdot X_L \cdot (i \cdot X_L + R)}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad Z_1 = 0.69 - 67.704i$$

За законом Ома находим ток I1:

$$I_{1_1} := \frac{E_1}{Z_1} \quad I_{1_1} = 6.964 \times 10^{-3} + 0.684i \quad F(I_{1_1}) = (0.684 \ 89.416)$$

Остальные токи находим за формулами чужого сопротивления:

$$I_{2_1} := I_{1_1} \cdot \frac{i \cdot X_L + R}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{2_1} = 0.124 + 0.635i \quad F(I_{2_1}) = (0.647 \ 78.925)$$

$$I_{3_1} := I_{1_1} \cdot \frac{i \cdot X_L}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{3_1} = -0.117 + 0.048i \quad F(I_{3_1}) = (0.127 \ 157.615)$$

Для третьей гармоники ЭДС(K=3):

$$E_3 := \frac{Bm_3}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\psi_3} \quad E_3 = -18.006 \quad F(E_3) = (18.006 \ 180)$$

Комплексное сопротивление цепи для 3-ой гармоники равно:

$$Z_3 := -i \cdot X_C + \frac{i \cdot X_L \cdot (i \cdot X_L + R)}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad Z_3 = 2.951 - 15.351i$$

За законом Ома находим ток I1:

$$I_{1_3} := \frac{E_3}{Z_3} \quad I_{1_3} = -0.217 - 1.131i \quad F(I_{1_3}) = (1.152 \ -100.881)$$

Остальные токи находим за формулами чужого сопротивления:

$$I_{2_3} := I_{1_3} \cdot \frac{i \cdot X_L + R}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{2_3} = -0.431 - 0.744i \quad F(I_{2_3}) = (0.86 \ -120.112)$$

$$I_{3_3} := I_{1_3} \cdot \frac{i \cdot X_L}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{3_3} = 0.214 - 0.387i \quad F(I_{3_3}) = (0.442 \ -61.076)$$

Для пятой гармоники ЭДС(K=5):

$$E_5 := \frac{Bm_5}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\psi_5} \quad E_5 = -6.002 \quad F(E_5) = (6.002 \ 180)$$

Комплексное сопротивление цепи для 3-ой гармоники равно:

$$Z_5 := -i \cdot X_C + \frac{i \cdot X_L \cdot (i \cdot X_L + R)}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad Z_5 = 4 - 2.286i$$

За законом Ома находим ток I1:

$$I_{1_5} := \frac{E_5}{Z_5} \quad I_{1_5} = -1.131 - 0.646i \quad F(I_{1_5}) = (1.303 \ -150.255)$$

Остальные токи находим за формулами чужого сопротивления:

$$I_{25} := I_{15} \cdot \frac{i \cdot X_L + R}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{25} = -0.808 - 0.162i \quad F(I_{25}) = (0.824 \quad -168.69)$$

$$I_{35} := I_{15} \cdot \frac{i \cdot X_L}{i \cdot X_L + (i \cdot X_L + R)} \quad I_{35} = -0.323 - 0.485i \quad F(I_{35}) = (0.583 \quad -123.69)$$

Мгновенные значения токов ветвей:

$$i_2 = 0.684 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 89.416) + 1.152 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega t - 100.881) + 1.303 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(5 \cdot \omega t - 150.255)$$

$$i_2 = 0.647 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 78.925) + 0.86 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega t - 120.112) + 0.824 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(5 \cdot \omega t - 168.69)$$

$$i_3 = 0.127 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 157.615) + 0.442 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega t - 61.076) + 0.583 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(5 \cdot \omega t - 123.69)$$

Определение показаний амперметров электромагнитной системы, включенных в цепь.

$$I_1 := \sqrt{(|I_{11}|)^2 + (|I_{13}|)^2 + (|I_{15}|)^2} \quad I_1 = 1.869$$

$$I_2 := \sqrt{(|I_{21}|)^2 + (|I_{23}|)^2 + (|I_{25}|)^2} \quad I_2 = 1.356$$

$$I_3 := \sqrt{(|I_{31}|)^2 + (|I_{33}|)^2 + (|I_{35}|)^2} \quad I_3 = 0.743$$

Вычисление мощности P, Q, S, T и коэффициента мощности источника. Баланс активных мощностей цепи.

Активная мощность источника (на входе цепи):

$$P := |E_1| \cdot |I_{11}| \cdot \cos(\arg(I_{11}) - \arg(E_1)) + |E_3| \cdot |I_{13}| \cdot \cos(\arg(I_{13}) - \arg(E_3))$$

$$P := P + |E_5| \cdot |I_{15}| \cdot \cos(\arg(I_{15}) - \arg(E_5)) \quad P = 11.027$$

Реактивная мощность источника:

$$Q := |E_1| \cdot |I_{11}| \cdot \sin[-(\arg(I_{11}) - \arg(E_1))] + |E_3| \cdot |I_{13}| \cdot \sin[-(\arg(I_{13}) - \arg(E_3))]$$

$$Q := Q + |E_5| \cdot |I_{15}| \cdot \sin[-(\arg(I_{15}) - \arg(E_5))] \quad Q = -55.895$$

Полная мощность источника:

$$E := \sqrt{(|E_1|)^2 + (|E_3|)^2 + (|E_5|)^2} \quad S := E \cdot I_1 \quad S = 93.488$$

Мощность искажения на входе цепи:

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad T = 74.122$$

Мощность, поступающая в активные сопротивления цепи:

$$P_a := I_3^2 \cdot R \quad P_a = 11.027$$

Считем заданную схему одной из фаз симметричной трехфазной цепи при соединении генератора и нагрузки звездой с нулевым проводом.

Выражения мгновенных значений ЭДС во всех фазах трехфазного источника (принимая заданную ЭДС в качестве ЭДС фазы А).

В симметричных трёхфазных электрических цепях кривые напряжения (тока) во второй и третьей фазах аналогичны кривой напряжения (тока) первой фазы со сдвигом на треть периода:

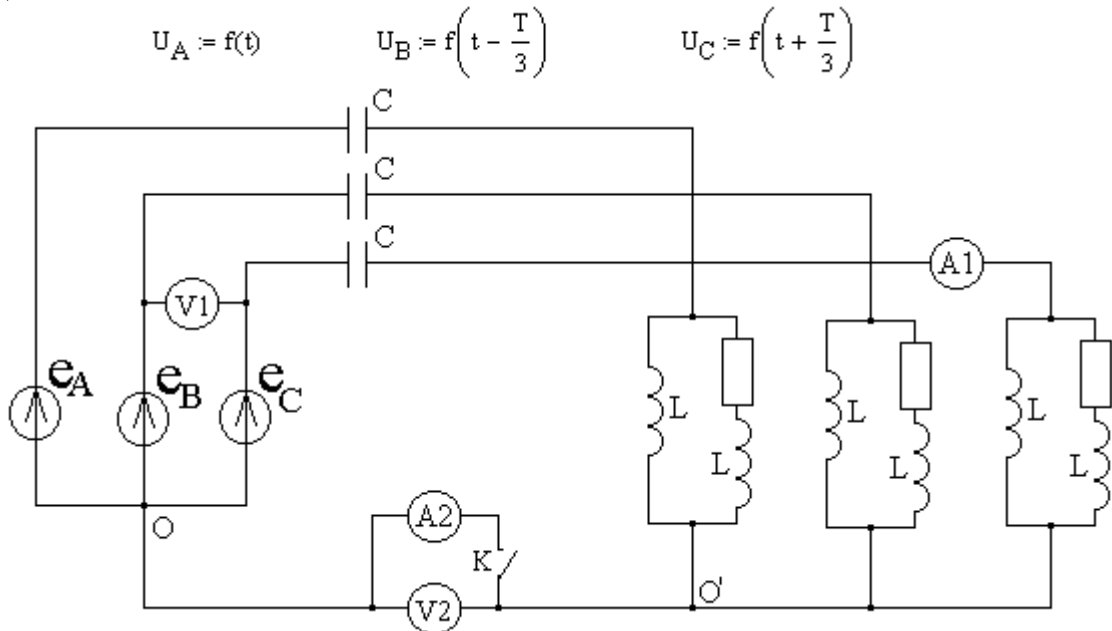


Схема трехфазной цепи

$$e_A = 65.465 \cdot \sin(\omega t) - 25.465 \cdot \sin(3 \cdot \omega t) - 8.488 \cdot \sin(5 \cdot \omega t)$$

$$e_B = 65.465 \cdot \sin(\omega t) - 25.465 \cdot \sin(3 \cdot \omega t) - 8.488 \cdot \sin(5 \cdot \omega t - 240)$$

$$e_C = 65.465 \cdot \sin(\omega t) - 25.465 \cdot \sin(3 \cdot \omega t) - 8.488 \cdot \sin(5 \cdot \omega t + 240)$$

Определение действующего значения линейного напряжения источника и тока в нейтральном проводе.

Действующее значение линейного напряжения источника (показание вольтметра V1):

$$U_L := \sqrt{3} \cdot \sqrt{(|E_1|)^2 + (|E_5|)^2} \quad U_L = 80.849$$

Действующее значение тока в линейном проводе (показания амперметра A2 при замкнутом ключе K):

$$I_N := 3 \cdot \sqrt{(|I_{13}|)^2} \quad I_N = 3.456$$

Определение действующего значения напряжения между нейтральными точками генератора и приемника и токов в линейных проводах при обрыве нейтрального провода.

Действующее значение напряжения между нейтральными точками генератора O и приемника O' при размыкании ключа K (показания вольтметра V2):

$$U_N := |E_3| \quad U_N = 18.006$$

Действующее значение токов в линейных проводах при обрыве нейтрального провода (показание амперметра A1):

$$I_1 := \sqrt{(|I_{11}|)^2 + (|I_{15}|)^2} \quad I_1 = 1.471$$