



НОВОУРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра промышленной электроники

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

на тему “Анализ четырехполюсника, работающего с источниками синусоидального и несинусоидального периодического напряжения”

Исполнитель:

Руководитель:

« ____ » _____ 20 г.



Содержание.

	стр.
1. Исходные данные и формулировка задания	3
2. Приведение схемы к стандартному виду четырехполюсника относительно источника и нагрузки.....	4
3. Расчет Y-параметров.....	4
4. Расчет A,Z,H-параметров.....	5
5. Определение характеристических параметров четырехполюсника.....	5
6. Расчет токов и напряжений на входе и выходе четырехполюсника, работающего в согласованном режиме	6
7. Расчет эксплуатационных параметров четырехполюсника.....	8
8. Расчет токов и напряжений на входе и выходе четырехполюсника при работе на нагрузку. Определить КПД	9
9. Расчет аналитического выражения передаточной функции $H_1(j\omega)$	10
10. Разложение в ряд Фурье функции ЭДС	11
11. Вычисление тока и напряжения на нагрузке.....	12
12. Определение действующих значений тока и напряжения на нагрузке	13
13. Составление баланса мощности.....	13
14. Определение коэффициентов искажения и гармоник тока и напряжения источника и нагрузки, коэффициента мощности на входе и выходе четырёхполюсника.....	14
15. Построение графиков токов и напряжений на нагрузке	15
16. Приложение.....	17
17. Замечания.....	26



Исходные данные и формулировка задания.

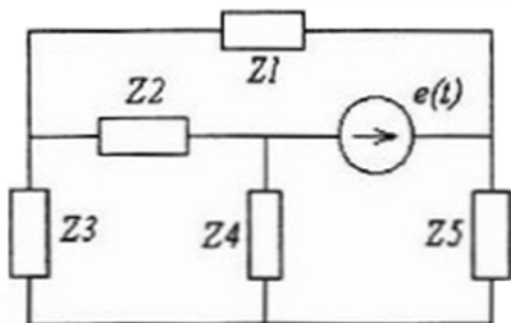


Рисунок 1. Исходная схема.

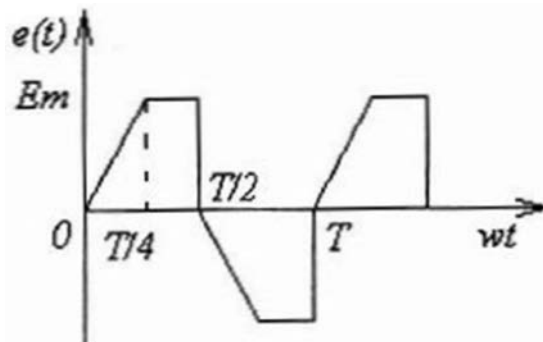


Рисунок 2. График заданной ЭДС.

Исходные данные: схема представлена на рисунке 1.

E_m	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_{vn}	Z_{ng}	Параметр	ПФ
3	$20+j30$	НГ	$20-j40$	40	$10-j15$	$40+j50$	Y	$Hi(j\omega)$

Задание.

1. Провести расчет четырехполюсника, работающего с источником синусоидального напряжения.

Для этого:

1.1. Привести схему к стандартному виду четырехполюсника относительно источника и заданной в таблице №1 нагрузки, представив в отчете обе схемы – исходную и расчетную с R, L, C элементами.

1.2. Рассчитать заданный в таблице №1 тип параметров, пользуясь любыми методами анализа цепей.

1.3. Рассчитать остальные Z, Y, A, H параметры, используя формулы пересчета.

1.4. Определить характеристические параметры – характеристические сопротивления и постоянную передачи – четырехполюсника.

1.5. Рассчитать токи и напряжения на входе и выходе четырехполюсника, работающего в согласованном режиме. Построить их совмещенную векторную диаграмму. Входное напряжение считать изменяющимся по синусоидальному закону с частотой 50 Гц, нулевой начальной фазой и амплитудным значением, заданным в таблице №1. Все расчеты проводить в действующих значениях.

1.6. Определить эксплуатационные параметры четырехполюсника – рабочие коэффициенты передачи, затухания и фазы, приведённое сопротивление; коэффициенты отражения (несогласованности) на входе и выходе.

1.7. Рассчитать токи и напряжения на входе и выходе четырехполюсника при работе на нагрузку. Построить их совмещенную векторную диаграмму. Определить КПД.

1.8. Получить аналитическое выражение заданной в таблице №1 передаточной функции, представив ее сначала через A-параметры и Z_{ng} , а после преобразований через параметры элементов схемы в общем виде. Построить АЧХ данной передаточной функции на интервале, отображающем характерные изменения кривой.

2. Провести расчет четырехполюсника, работающего с источником несинусоидального периодического сигнала, заданного графиком в соответствии с вариантом. Для этого:

2.1. Заданную графически в соответствии с вариантом в Приложении Б функцию ЭДС разложить в ряд Фурье с учетом постоянной составляющей, основной и двух высших гармоник. Частота основной гармоники 50 Гц, амплитудное значение задано в таблице №1. Построить график ЭДС, по полученному разложению и отдельные гармоники, включая постоянную составляющую. На другом рисунке совместить, полученный таким образом график ЭДС с заданным. Сравнить, сделать вывод о точности приближения с использованием в разложении только трёх высших гармоник.

2.2. Вычислить ток и напряжение на нагрузке, представив их в виде рядов Фурье. Заданные в таблице №1 величины – сопротивление элементов схемы на частоте основной гармоники.

2.3. Определить их действующие значения. Нарисовать схему подключения измерительных приборов, указав их тип, фиксирования этих величин.

2.4. Выполнить проверку расчетов, составив баланс мощности.

2.5. Определить коэффициент искажения и гармоник тока и напряжения источника и нагрузки, коэффициент мощности на входе и выходе четырехполюсника.

2.6. Построить графики тока и напряжения на нагрузке – суммарные кривые тока и напряжения на нагрузке, указав сдвиг фаз между ними.



1 Расчет ЧП, работающего с источником синусоидального напряжения.

1.1. Приведение схемы к стандартному виду четырехполюсника относительно источника и нагрузки.

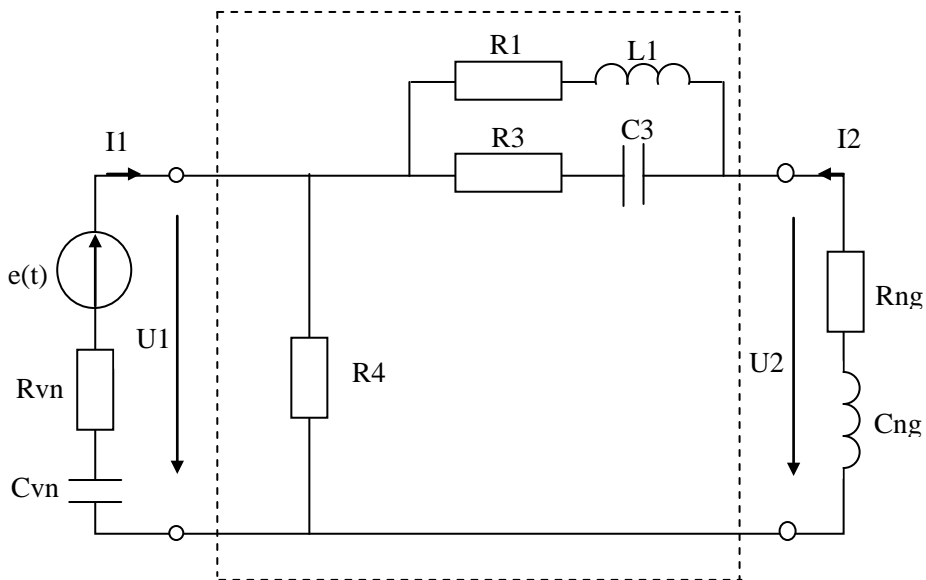


Рисунок 3. Схема с R,L,C элементами.

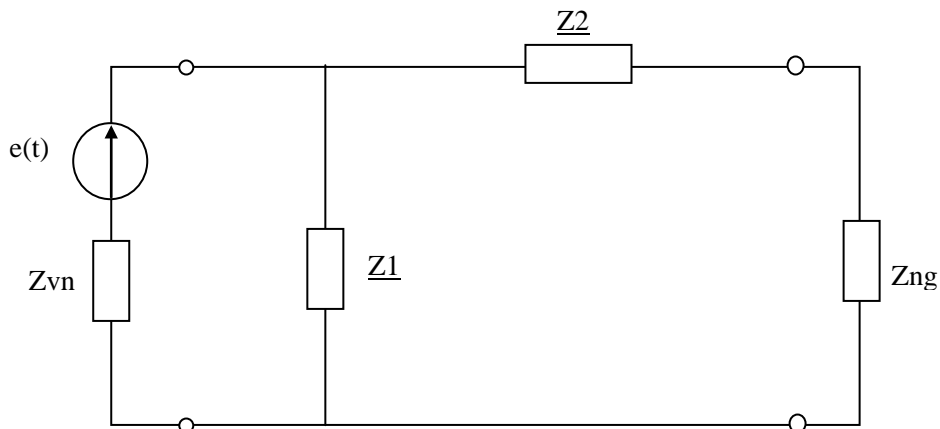


Рисунок 4. Расчетная схема.

$$\underline{Z1} = Z_4, \quad \underline{Z2} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_1 + Z_3}$$

1.2. Расчет Y-параметров.

Y параметры рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \underline{Y}_{11} \cdot \dot{U}_1 + \underline{Y}_{12} \cdot \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = \underline{Y}_{21} \cdot \dot{U}_1 + \underline{Y}_{22} \cdot \dot{U}_2 \end{cases}$$

Коэффициенты \underline{Y}_{11} и \underline{Y}_{21} определим в режиме короткого замыкания на 22' когда $\dot{U}_2 = 0$

$$\underline{Y}_{11} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1}, \quad \underline{Y}_{21} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}$$



$$i_1 = \frac{\dot{U}_1}{\frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1}}, \quad i_2 = -i_1 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Коэффициенты \underline{Y}_{12} и \underline{Y}_{22} определим в режиме короткого замыкания на 11' когда $\dot{U}_1 = 0$

$$\underline{Y}_{12} = \frac{i_1}{\dot{U}_2}, \quad \underline{Y}_{22} = \frac{i_2}{\dot{U}_2}$$

$$i_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_2}, \quad i_1 = -i_2$$

Расчет Y-параметров производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.2)

$$\underline{Y}_{11} = 0.05 - j0.003$$

$$\underline{Y}_{12} = -0.025 + j0.003$$

$$\underline{Y}_{21} = -0.025 + j0.003$$

$$\underline{Y}_{22} = 0.025 - j0.003$$

1.3. Расчет A,Z,H-параметров.

Формулы пересчета:

$$\text{Матрица A параметров } A = \begin{bmatrix} \frac{-Y_{22}}{Y_{21}} & \frac{-1}{Y_{21}} \\ \frac{-\Delta Y}{Y_{21}} & \frac{-Y_{11}}{Y_{21}} \end{bmatrix}$$

$$\text{Матрица Z параметров } Z = \begin{bmatrix} \frac{Y_{22}}{\Delta Y} & \frac{-Y_{12}}{\Delta Y} \\ \frac{-Y_{21}}{\Delta Y} & \frac{Y_{11}}{\Delta Y} \end{bmatrix}$$

$$\text{Матрица H параметров } H = \begin{bmatrix} \frac{1}{Y_{11}} & \frac{-Y_{12}}{Y_{11}} \\ \frac{Y_{21}}{Y_{11}} & \frac{\Delta Y}{Y_{11}} \end{bmatrix}$$

где $\Delta A = A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}$, $H_{12} = -H_{21}$

Расчет производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.3)

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 38.824 + j4.706 \\ 0.025 & 1.971 + j0.118 \end{pmatrix}$$

$$Z = \begin{pmatrix} 40 & 40 \\ 40 & 78.824 - j4.706 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 19.774 + j1.208 & 0.506 - j0.03 \\ -0.506 + j0.03 & 0.013 - j0.001 \end{pmatrix}$$

1.4. Определение характеристических параметров четырехполюсника.



Характеристические сопротивления:

$$Z_{1C} = \sqrt{\frac{A_{11} \cdot A_{12}}{A_{21} \cdot A_{22}}}, \quad Z_{2C} = \sqrt{\frac{A_{22} \cdot A_{12}}{A_{21} \cdot A_{11}}}$$

Постоянную передачи четырехполюсника:

$$\gamma = \text{Ln}(\sqrt{A_{11} \cdot A_{22}} + \sqrt{A_{12} \cdot A_{21}})$$

Расчет производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.4)

$$\underline{Z}_{1C} = 28.137 + j0.858 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{2C} = 55.345 + j5.002 \text{ Ом}$$

$$\gamma = 0.873 + j0.042$$

Постоянная затухания: $\alpha = 0.873$

Постоянная фазы: $\beta = 0.042$

1.5. Расчет токов и напряжений на входе и выходе четырехполюсника, работающего в согласованном режиме.

$$U_1(t) = 3 \cdot \sin(314t)$$

$$U_1 = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot e^{j0^\circ} = 2.121 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cdot \sqrt{\frac{Z_{2C}}{Z_{1C}}} \cdot e^{-\gamma} \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1C}} \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_1 \cdot \sqrt{\frac{Z_{1C}}{Z_{2C}}} \cdot e^{-\gamma}$$

Выразим U_1 через E и $Z_{\text{ПР}}$:

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{U}_1 + \dot{I}_1 Z_{\text{ВН}} \\ \dot{U}_1 &= \dot{E} - \dot{I}_1 Z_{\text{ВН}} = \dot{E} - (A_{21} \dot{U}_2 + A_{22} \dot{I}_2) Z_{\text{ВН}} = \left\langle \dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1 - A_{12} \dot{I}_2}{A_{11}} \right\rangle = \dot{E} - (A_{21} \frac{\dot{U}_1 - A_{12} \dot{I}_2}{A_{11}} + A_{22} \cdot \dot{I}_2) Z_{\text{ВН}} = \\ &= \dot{E} - \left(\frac{A_{21} \dot{U}_1}{A_{11}} - \frac{A_{21} A_{12} \dot{I}_2}{A_{11}} + A_{22} \dot{I}_2 \right) Z_{\text{ВН}} = \dot{E} - \frac{A_{21} \dot{U}_1 Z_{\text{ВН}}}{A_{11}} + \frac{A_{21} A_{12} \dot{I}_2 Z_{\text{ВН}}}{A_{11}} - A_{22} \dot{I}_2 Z_{\text{ВН}} \\ \dot{U}_1 + \frac{A_{21} \dot{U}_1 Z_{\text{ВН}}}{A_{11}} &= \dot{E} + \frac{A_{21} A_{12} \dot{I}_2 Z_{\text{ВН}}}{A_{11}} - A_{22} \dot{I}_2 Z_{\text{ВН}} = \left\langle \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}}{Z_{\text{ПР}}} \right\rangle = \dot{E} + \frac{A_{21} A_{12} \dot{E} Z_{\text{ВН}}}{A_{11} Z_{\text{ПР}}} - \frac{A_{22} Z_{\text{ВН}} \dot{E}}{Z_{\text{ПР}}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \frac{\dot{E} + \frac{A_{21}A_{12}\dot{E}Z_{BH}}{A_{11}Z_{PP}} - \frac{A_{22}Z_{BH}\dot{E}}{Z_{PP}}}{1 + \frac{A_{21}Z_{BH}}{A_{11}}} = \frac{(\dot{E}A_{11}Z_{PP} + A_{21}A_{12}\dot{E}Z_{BH} - A_{11}A_{22}Z_{BH}\dot{E})A_{11}}{A_{11}Z_{PP}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})} = \\ &= \frac{\dot{E}(A_{11}Z_{PP} + (A_{21}A_{12} - A_{11}A_{22})Z_{BH})}{Z_{PP}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})} = \\ &= \dot{E} \frac{A_{11}^2 Z_{HG} + A_{11}A_{12} + A_{11}A_{21}Z_{HG}Z_{BH} + A_{11}A_{22}Z_{BH} + A_{21}A_{12}Z_{BH} - A_{11}A_{22}Z_{BH}}{Z_{PP}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})} = \\ &= \dot{E} \frac{A_{11}^2 Z_{HG} + A_{11}A_{12} + A_{11}A_{21}Z_{HG}Z_{BH} + A_{21}A_{12}Z_{BH}}{Z_{PP}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})} = \dot{E} \frac{A_{11}Z_{HG}(A_{11} + A_{21}Z_{BH}) + A_{12}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})}{Z_{PP}(A_{11} + A_{21}Z_{BH})} \\ &= \dot{E} \frac{A_{11}Z_{HG} + A_{12}}{Z_{PP}} \\ \dot{U}_1 &= \dot{E} \frac{A_{11}Z_{HG} + A_{12}}{Z_{PP}} \end{aligned}$$

$$\gamma = \ln(\sqrt{A_{11}A_{22}} + \sqrt{A_{12}A_{21}}) \Rightarrow e^\gamma = \sqrt{A_{11}A_{22}} + \sqrt{A_{12}A_{21}}$$

Из уравнений А параметров для \dot{U}_1 выразим отношение $\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}$

$$\dot{U}_1 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\dot{I}_2, \text{ где } \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_{C2}}$$

$$\dot{U}_1 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\frac{\dot{U}_2}{Z_{C2}}$$

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = A_{11} + A_{12}\sqrt{\frac{A_{21}A_{11}}{A_{22}A_{12}}} = \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}} \cdot (\sqrt{A_{11}A_{22}} + \sqrt{A_{12}A_{21}})$$

$$\frac{Z_{C1}}{Z_{C2}} = \sqrt{\frac{A_{11}A_{12}}{A_{21}A_{22}}} \cdot \sqrt{\frac{A_{21}A_{11}}{A_{22}A_{12}}} = \frac{A_{11}}{A_{22}}$$

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}}e^\gamma = \sqrt{\frac{Z_{C1}}{Z_{C2}}}e^\gamma \Rightarrow \dot{U}_2 = \dot{U}_1 \sqrt{\frac{Z_{C2}}{Z_{C1}}}e^{-\gamma}$$

Из уравнения А параметра выразим отношение $\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}$

$$\dot{I}_1 = A_{21}\dot{U}_2 + A_{22}\dot{I}_2, \text{ где } \dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_{C2}$$

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = A_{21}Z_{C2} + A_{22} = A_{21}\sqrt{\frac{A_{22}A_{12}}{A_{21}A_{11}}} + A_{22} = \sqrt{\frac{A_{22}}{A_{11}}} \cdot (\sqrt{A_{11}A_{22}} + \sqrt{A_{12}A_{21}})$$

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \sqrt{\frac{A_{22}}{A_{11}}}e^\gamma = \sqrt{\frac{Z_{C2}}{Z_{C1}}}e^\gamma \Rightarrow \dot{I}_2 = \dot{I}_1 \sqrt{\frac{Z_{C1}}{Z_{C2}}}e^{-\gamma}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot Z_{C1}, \Rightarrow \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{C1}}$$



Расчет токов и напряжений производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.5).

$$\dot{U}_2 = 1.546 - j0.003 = 1.546 \cdot e^{-j0.12^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{I}_1 = 0.075 - j0.002 = 0.075 \cdot e^{-j1.75^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_2 = 0.028 - j0.003 = 0.028 \cdot e^{-j5.28^\circ} \text{ А}$$

Построение графиков производилось в программе Advanced Grapher V 2.11

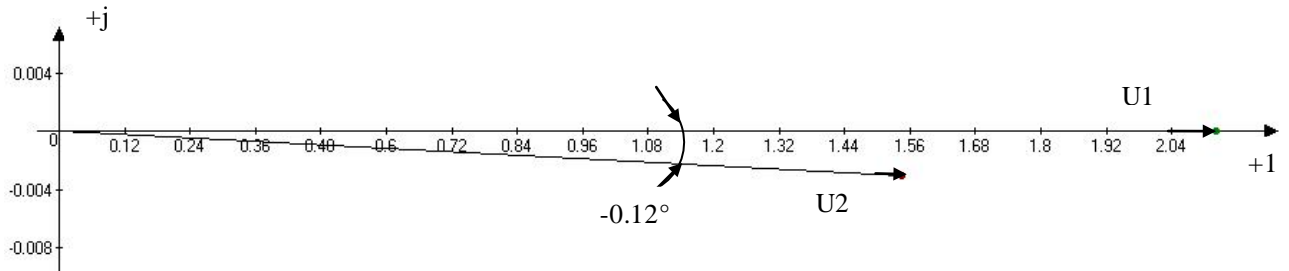


Рисунок 5. Векторная диаграмма напряжений

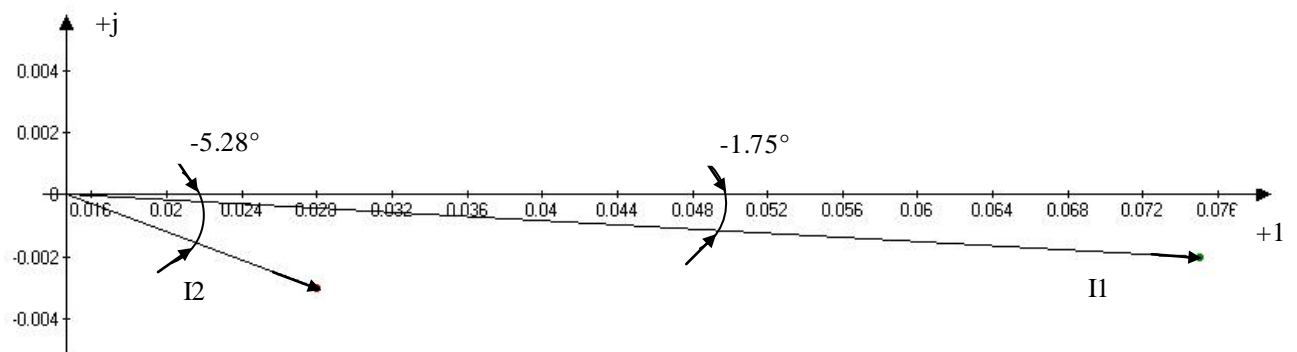


Рисунок 6. Векторная диаграмма токов

1.6. Расчет эксплуатационных параметров четырехполюсника.

Рабочий коэффициент передачи:

$$\gamma_P = \frac{1}{2} \operatorname{Ln} \left(\frac{U_0 \cdot I_0}{U_2 \cdot I_2} \right)$$

Рабочий коэффициент затухания:

$$\alpha_P = \operatorname{Re}(\gamma_P)$$

Рабочий коэффициент фазы:

$$\beta_P = \operatorname{Im}(\gamma_P)$$

Приведённое сопротивление:

$$\underline{Z}_{\text{ПРИВ}} = \frac{\dot{E}}{\dot{I}_2}$$



$$\dot{E} = \dot{U}_1 + \dot{I}_1 \underline{Z}_{BH} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 = A_{11} \dot{U}_2 + A_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = A_{21} \dot{U}_2 + A_{22} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \dot{I}_2 \underline{Z}_{HG} \end{bmatrix} = A_{11} \dot{I}_2 \underline{Z}_{HG} + A_{12} \dot{I}_2 + \left(A_{21} \dot{I}_2 \underline{Z}_{HG} + A_{22} \dot{I}_2 \right) \cdot \underline{Z}_{BH} =$$

$$= \dot{I}_2 \cdot \left(A_{11} \underline{Z}_{HG} + A_{12} + \left(A_{21} \underline{Z}_{HG} + A_{22} \right) \underline{Z}_{BH} \right) = \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{ПРИВ}$$

$$\underline{Z}_{ПРИВ} = A_{12} + A_{11} \underline{Z}_{HG} + A_{22} \underline{Z}_{BH} + A_{21} \cdot \underline{Z}_{HG} \cdot \underline{Z}_{BH}$$

Коэффициенты отражения на входе и выходе:

$$\rho_{вх} = \frac{Z_{вн} - Z_{1C}}{Z_{вн} + Z_{1C}}$$

$$\rho_{вых} = \frac{Z_{нг} - Z_{2C}}{Z_{нг} + Z_{2C}}$$

Расчет производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.6).

$$\gamma_p = 0.415 - j0.651$$

$$\alpha_p = 0.415$$

$$\beta_p = 0.651$$

$$\underline{Z}_{np} = 94.169 + j9.708 \text{ Ом}$$

$$\rho_{вх} = -0.283 - j0.521$$

$$\rho_{вых} = 0.084 + j0.424$$

1.7. Расчет токов и напряжений на входе и выходе четырехполюсника при работе на нагрузку. Определить КПД.

$$U_1 = \frac{3}{\sqrt{2}} = 2.12 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{A}_{11} \cdot \underline{Z}_{нг} + \underline{A}_{12}}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{нг}$$

$$\dot{I}_1 = \underline{A}_{21} \cdot \dot{U}_2 + \underline{A}_{22} \cdot \dot{I}_2$$

Расчет производился в программе MathCAD 11 (см. Приложение 1.7).

$$\dot{U}_2 = 1.357 + j0.404 = 1.416 \cdot e^{j16.56^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{I}_2 = 0.018 - j0.013 = 0.022 \cdot e^{-j34.76^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_1 = 0.071 - j0.013 = 0.072 \cdot e^{-j10.04^\circ} \text{ А}$$

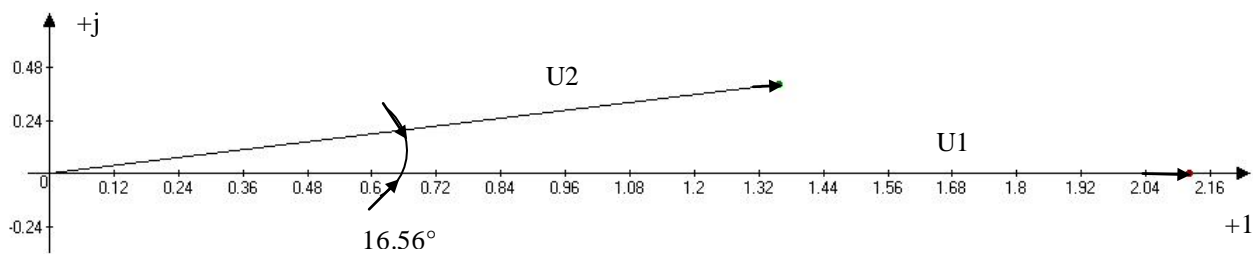


Рисунок 7. Векторная диаграмма напряжений

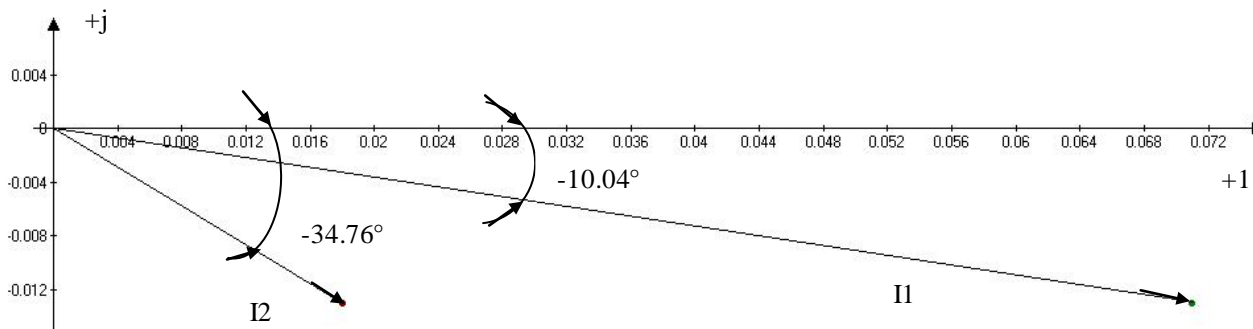


Рисунок 8. Векторная диаграмма токов

Определим КПД по формуле: $\eta = \frac{P_{\text{полез}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{\dot{U}_2 \cdot \dot{I}_2 \cdot \cos \varphi_2}{\dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{\dot{U}_2 \cdot \dot{I}_2 \cdot \cos(\psi_{U_2} - \psi_{I_2})}{\dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1 \cdot \cos(\psi_{U_1} - \psi_{I_1})}$

$$\eta = \frac{1.416 \cdot 0.022 \cdot \cos(16.5^\circ - 34.7^\circ)}{2.121 \cdot 0.072 \cdot \cos(0^\circ - 10^\circ)} = 0.129 \Rightarrow 12.9\%$$

1.8. Расчет аналитического выражения передаточной функции $H_i(j\omega)$.

$$H_i(j\omega) = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{I}_2}{A_{21} \cdot \dot{U}_2 + A_{22} \cdot \dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_2}{A_{21} (\underline{Z}_{нз} \cdot \dot{I}_2) + A_{22} \cdot \dot{I}_2} = \frac{1}{A_{21} \cdot \underline{Z}_{нз} + A_{22}}$$

$$A_{21} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_4}; \quad \dot{U}_2 = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_4 = \frac{\dot{U}_1 \cdot \underline{Z}_4}{\underline{Z}_4} = \dot{U}_1$$

$$A_{21} = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_4 \cdot \dot{U}_1} = \frac{1}{\underline{Z}_4}$$

$$A_{22} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}}; \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_4}{\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}} = \frac{\dot{U}_1 \cdot \underline{Z}_4}{\left(\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \right)^2}$$



$$A_{22} = \frac{\dot{U}_1 \cdot \left(\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \right)^2}{\left(\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \right) \cdot \underline{Z}_4 \cdot \dot{U}_1} = \frac{\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}}{\underline{Z}_4}$$

$$H_i(j\omega) = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{I}_2}{A_{21} \cdot \dot{U}_2 + A_{22} \cdot \dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_2}{A_{21}(\underline{Z}_{нг} \cdot \dot{I}_2) + A_{22} \cdot \dot{I}_2} = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_4} \cdot \underline{Z}_{нг} + \underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}}$$

Построение АЧХ производилось в программе MathCAD (см. Приложение 1.8)

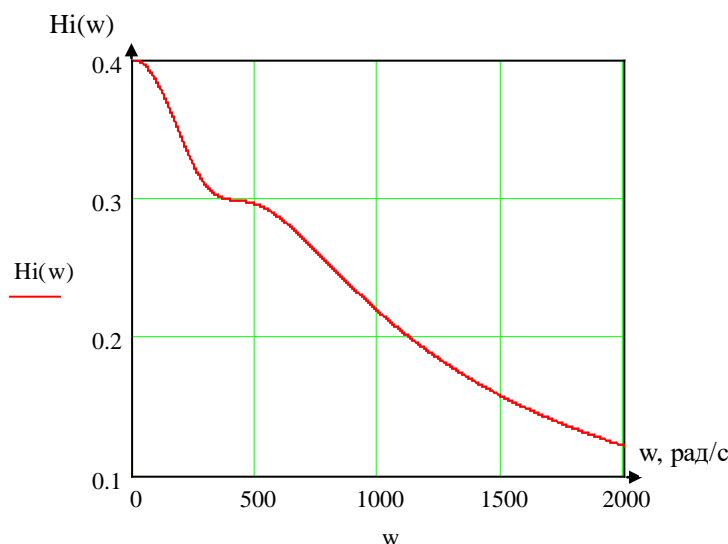


Рисунок 9. АЧХ данной ПФ.

2 Расчет ЧП с источником несинусоидального периодического сигнала.

2.1 Разложение в ряд Фурье функции ЭДС.

Заданная функция ЭДС (рис.2) на интервале $[0; T/4]$ имеет вид:

$e(t) = \frac{4 \cdot E_m}{T} \cdot t$, на интервале $[T/4; T/2]$ имеет вид: $e(t) = E_m$, на интервале $[T/2; 3T/4]$ имеет вид:

$e(t) = \frac{-E_m}{\left(\frac{3 \cdot T}{4} - \frac{T}{2}\right)} \cdot \left(t - \frac{T}{2}\right)$, на интервале $[3T/4; T]$ имеет вид: $e(t) = -E_m$.

Постоянная составляющая: $A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) dt$

Амплитуда n-ого косинусоидального члена ряда: $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T e(t) \cos(n\omega t) dt$

Амплитуда n-ого синусоидального члена ряда: $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T e(t) \sin(n\omega t) dt$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cdot \varphi_n = \operatorname{tg} \left(\frac{a_n}{b_n} \right)$$

Разложение сигнала и построение графиков выполнялось в программе MathCad 11 (см. приложение 2.1).

Полученный ряд Фурье:



$$e(t) = 0 + 3.354 \cdot \sin(\omega t - 22^\circ) + 0.519 \cdot \sin(3\omega t - 15^\circ) + 0.433 \cdot \sin(3\omega t - 6^\circ)$$

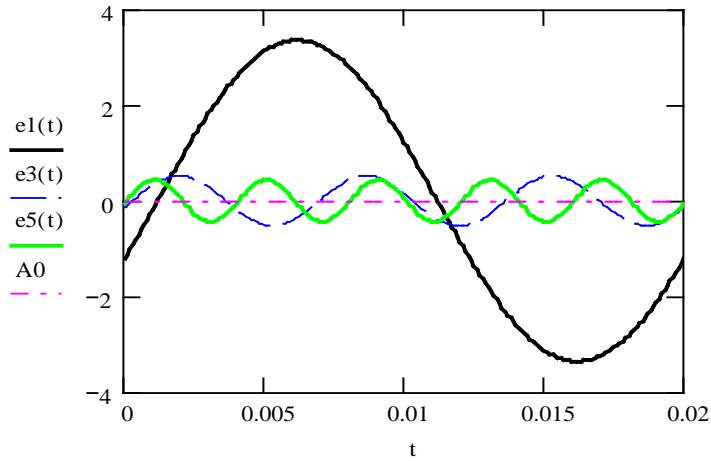


Рисунок 10. График ЭДС и отдельные гармоники.

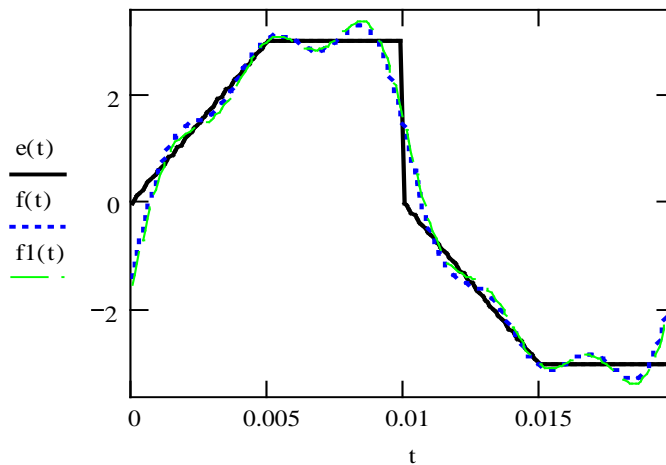


Рисунок 11. Совмещенные графики ЭДС.

2.2. Вычисление тока и напряжения на нагрузке.

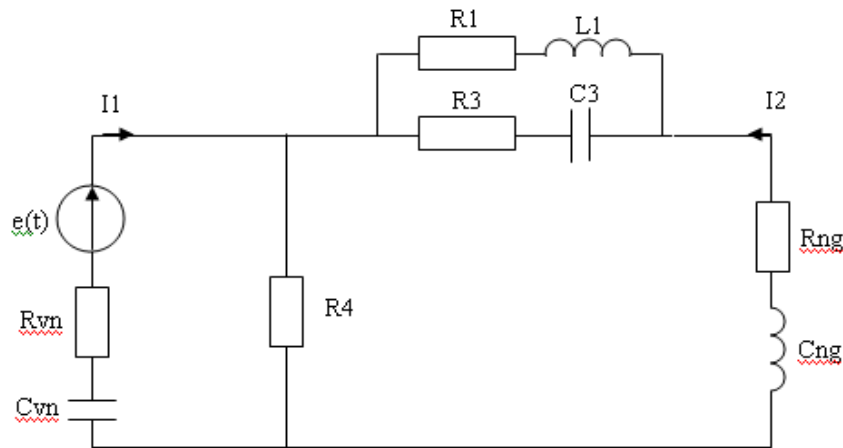


Рисунок 12. Расчетная схема.

В режиме постоянного тока конденсатор представляет собой разрыв, поэтому постоянные составляющие в значениях токов и напряжения на нагрузке отсутствуют.

Найдем эквивалентное сопротивление цепи; общая формула для основной, второй и четвертой гармоники имеет вид:



$$\underline{Z}_{\text{экв}}(n \cdot \omega) = \frac{R4 \cdot \left(\frac{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) \cdot \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)}{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) + \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)} + (Rng + j \cdot n \cdot \omega \cdot Lng) \right)}{R4 + \left(\frac{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) \cdot \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)}{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) + \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)} + (Rng + j \cdot n \cdot \omega \cdot Lng) \right)} - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot Cvn} + Rvn$$

Формула для определения значения тока $I_1(t)$ на n -ной гармонике: $\dot{I}_{1(n)} = \frac{\dot{E}_{(n)}}{\underline{Z}_{\text{экв}}(n \cdot \omega)}$

Тогда значение тока $I_2(t)$ на n -ной гармонике на нагрузке найдем по формуле:

$$\dot{I}_{2(n)} = \dot{I}_{1(n)} \frac{R4}{R4 + \left(\frac{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) \cdot \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)}{(R1 + j \cdot n \cdot \omega \cdot L1) + \left(R3 - j \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C3} \right)} + (Rng + j \cdot n \cdot \omega \cdot Lng) \right)}$$

Напряжение на нагрузке найдем по закону Ома: $\dot{U}_{2(n)} = \dot{I}_{2(n)} \cdot Rng$

Определение тока и напряжения выполнялось в программе MathCad 11 (см. приложение 2.2)

Полученные значения:

$$I_1(t) = 0.059 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 104^\circ) + 0.008 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 87^\circ) + 0.006 \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + 87^\circ)$$

$$I_2(t) = 0.018 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 79.5^\circ) + 0.002 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 33^\circ) + 0.001 \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + 19^\circ)$$

$$U_2(t) = 1.157 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 131^\circ) + 0.29 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 108^\circ) + 0.245 \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + 100^\circ)$$

2.3. Определение действующих значений тока и напряжения на нагрузке.

Действующие значения тока и напряжения на нагрузке определим по формуле:

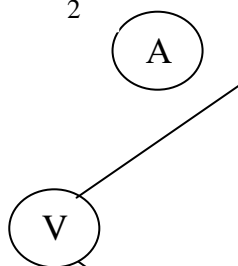
$$I = \sqrt{I_{(1)}^2 + I_{(3)}^2 + I_{(5)}^2} \quad U = \sqrt{U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2 + U_{(5)}^2}$$

$$I_2 = \sqrt{0.018^2 + 0.002^2 + 0.001^2} = 0.018 \text{ A}$$

$$U_2 = \sqrt{1.157^2 + 0.29^2 + 0.245^2} = 1.218 \text{ B}$$

1

2



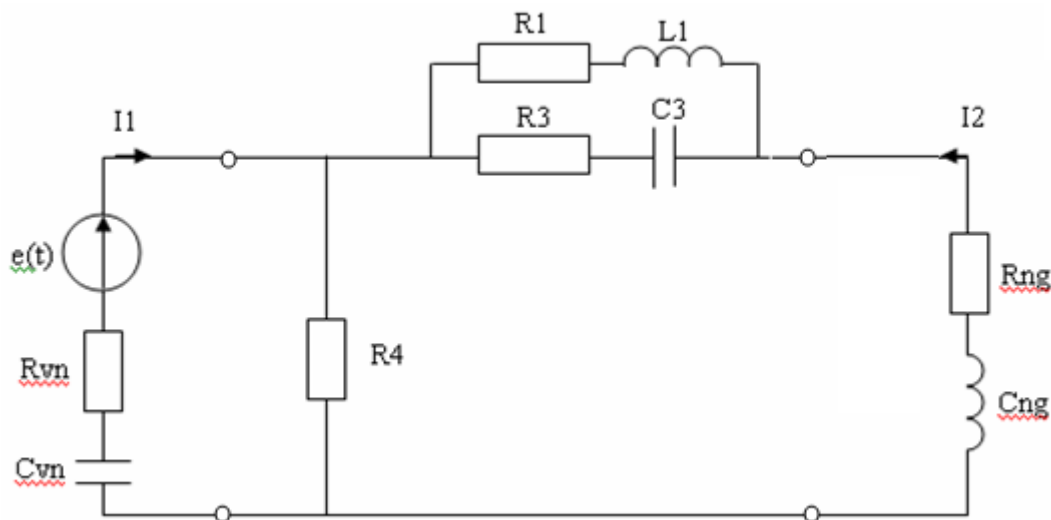


Рисунок 13. Схема подключения измерительных приборов.

В схеме используются электромагнитные вольтметр и амперметр, которые измеряют действительные значения.

2.4. Составление баланса мощности.

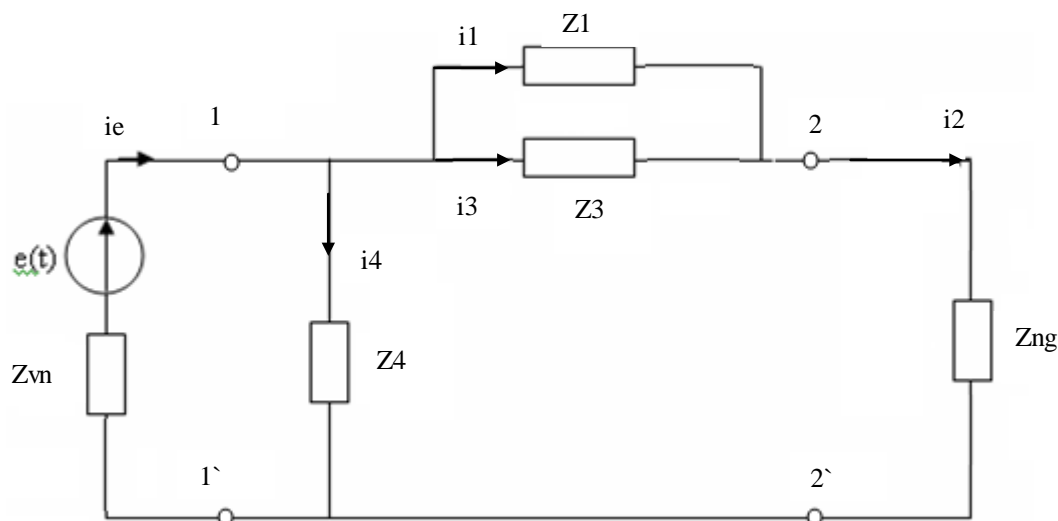


Рисунок 14. Исходная схема с указанием направлений токов.

Рассчитаем мощность источника для схемы на рис.14 по формуле:

$$P_{\text{ист}} = \sum_{n=1}^5 (\dot{E}_{(n)}) \cdot (i_{e(n)}) \cdot \cos(\varphi_{(n)}),$$

где $\dot{E}_{(n)}$ – действующее значение напряжения на источнике на n-ной гармонике (п.2.1)

$i_{e(n)}$ – действующее значение тока в ветви с источником на n-ной гармонике

$\varphi_{(n)}$ – разность фаз напряжения и тока на n-ной гармонике

Рассчитаем мощность потребителя для схемы на рис.14 по формуле:

$$P_{\text{потр}} = \sum_{i=1}^5 \sum_{n=1}^5 (i_{i(n)})^2 \cdot (Z_{i(n)}) \cdot \cos(\varphi_{i(n)})$$

где $i_{i(n)}$ – действующее значение i-того тока на n-ной гармонике (п.3.1)

$Z_{i(n)}$ – модуль комплексного сопротивления Z_i на n-ной гармонике

$\varphi_{i(n)}$ – фаза сопротивления Z_i на n-ной гармонике



Причем $i e_{(n)} = \dot{I}_{1(n)}$ и $i 2_{(n)} = \dot{I}_{2(n)}$, где $\dot{I}_{1(n)}$ и $\dot{I}_{2(n)}$ – токи на входе и выходе ЧП, найденные в п.2.2

Определение мощностей выполнялось в программе MathCad 11 (см. Приложение 2.4).

Полученные значения:

$$P_{\text{ист}} = 0.141 \text{ Вт} \quad P_{\text{потр}} = 0.141 \text{ Вт}$$

2.5. Определение коэффициентов искажения и гармоник тока и напряжения источника и нагрузки, коэффициента мощности на входе и выходе четырёхполосника.

Все расчеты выполнялись в программе MathCad 11 (см. Приложение 2.5).

Определим коэффициенты искажения токов и напряжений по формулам:

$$K_{II}(I) = \frac{I^{(1)}}{I}, \quad K_{II}(U) = \frac{U^{(1)}}{U}$$

$$K_{II}(I_1) = 0.985$$

$$K_{II}(I_2) = 0.993$$

$$K_{II}(U_1) = 0.95$$

$$K_{II}(U_2) = 0.994$$

Определим коэффициенты гармоник токов и напряжений по формулам:

$$K_{r}(I) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^5 I_n^2}}{I^{(1)}}, \quad K_{r}(U) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^5 U_n^2}}{U^{(1)}}$$

$$K_{r}(I_1) = 0.176$$

$$K_{r}(I_2) = 0.116$$

$$K_{r}(U_1) = 0.107$$

$$K_{r}(U_2) = 0.328$$

Определим коэффициент мощности на входе и выходе четырёхполосника:

$$\chi_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{S_{\text{вх}}}$$

$$\chi_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{E \cdot I_1} = 0.972$$

Коэффициент мощности на выходе аналогично:

$$\chi_{\text{вых}} = \frac{P_{\text{вых}}}{S_{\text{вых}}}$$

$$\chi_{\text{вых}} = 0.0105$$

2.6. Построение графиков токов и напряжений на нагрузке.



$I_2(t) = 0.018 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 79.5^\circ) + 0.002 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 33^\circ) + 0.001 \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + 19^\circ)$
 $U_2(t) = 1.157 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 131^\circ) + 0.29 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 108^\circ) + 0.245 \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + 100^\circ)$
Построение графиков производилось в программе MathCad 11 (см. Приложение 2.6).

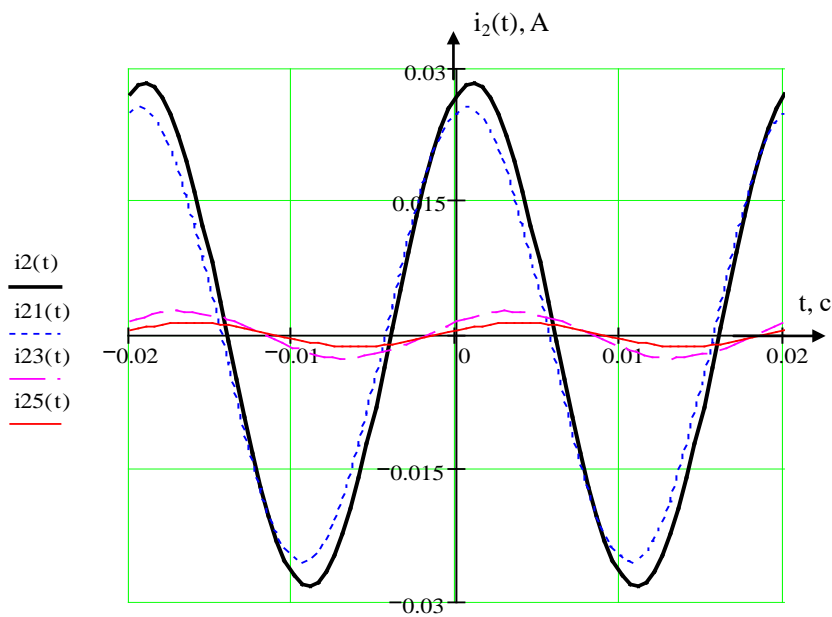


Рисунок 15. График тока $i_2(t)$.

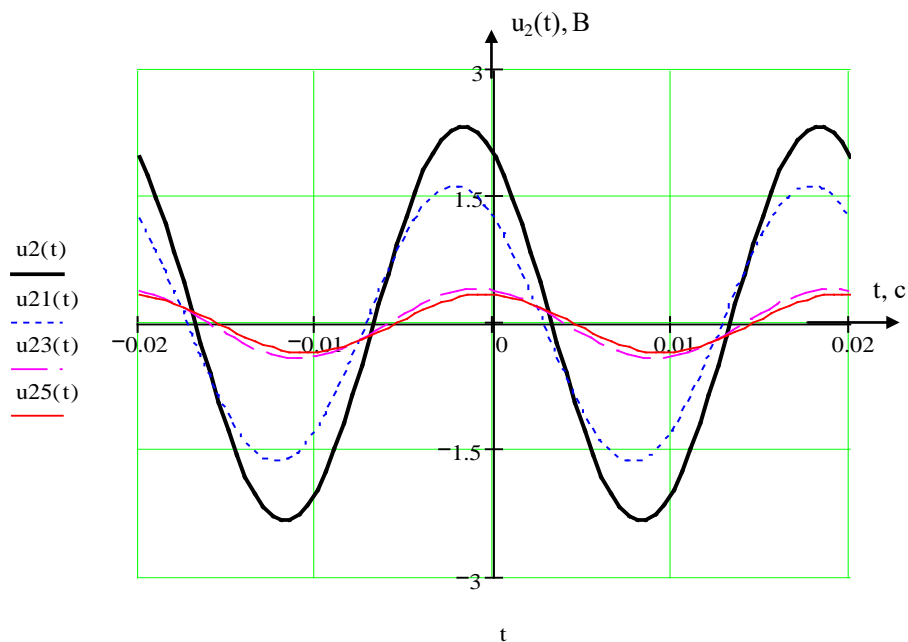


Рисунок 17. График напряжения $u_2(t)$.

$u_2(t), \text{В}$ $i_2(t), \text{А}$
↑

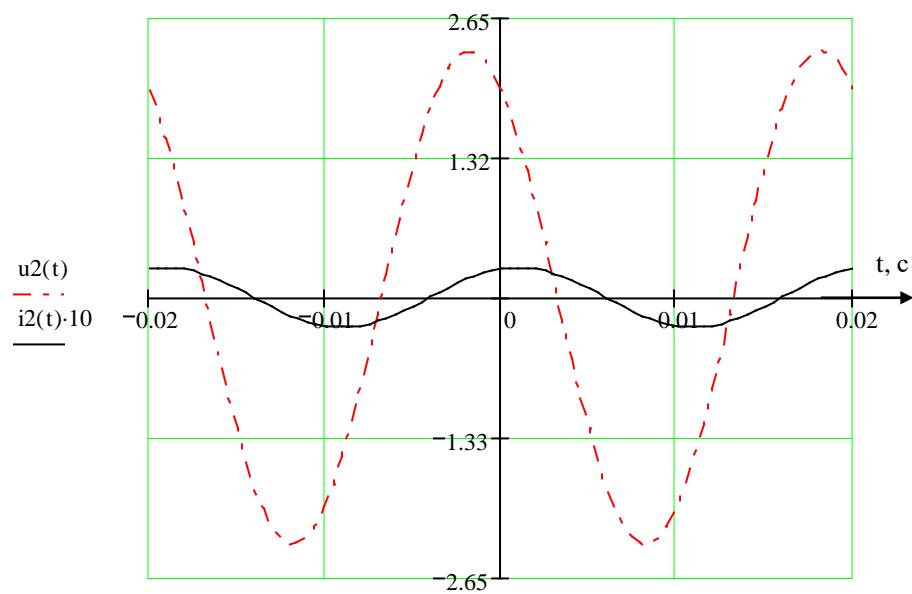


Рисунок 18. Совмещенные графики $i_2(t)$ и $u_2(t)$.



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня



Замечания.



Курсовая

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня