



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Колледж АУЭС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания

к выполнению лабораторных работ (часть 2)

для студентов колледжа специальности 0901000 – Электрооборудование
электрических станций и сетей (по видам)

Алматы 2020

СОСТАВИТЕЛЬ: М.М. Аршидинов. Теоретические основы электротехники. Методические указания и задания к выполнению лабораторных работ. Часть 2 (для студентов колледжа специальности 0901000 – Электрооборудование электрических станций и сетей (по видам). – Алматы: колледж АУЭС, 2020. – 25с.

Методическая разработка содержит основные положения по подготовке, выполнению, анализу результатов и оформлению лабораторных работ по дисциплине ТОЭ.

Каждая лабораторная работа включает следующие подразделы: цель работы, подготовка к работе, порядок выполнения работы, оформление и анализ экспериментальных результатов и выводы о проделанной работе.

Методическая разработка предназначена для студентов, обучающихся в колледже по специальности 0901000- Электрооборудование электрических станций и сетей (по видам).

Ил. 16, табл. 12, библиограф.- 12 назв.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Гали К.О.

Печатается по плану издания колледжа АУЭС на 2020 год

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2020 г.

Содержание

1	Лабораторная работа № 1. Исследование переходных процессов в цепях первого порядка	4
2	Лабораторная работа № 2. Исследование переходных процессов в неразветвлённой цепи R-L-C	8
3	Лабораторная работа № 3. Исследование симметричных пассивных четырехполюсников	11
4	Лабораторная работа № 4. Исследование пассивных симметричных электрических фильтров	15
5	Лабораторная работа № 5. Исследование длинной линии электропередачи в различных режимах работы	20
	Список литературы	25

1 Лабораторная работа № 1. Исследование переходных процессов в цепях первого порядка

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования переходных процессов в цепи с одним накопителем энергии.

1.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Переходные процессы в цепях R-L, R-C».

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

1) Что такое переходные процессы и в результате чего они возникают? В каких цепях имеют место переходные процессы?

2) Записать законы коммутации.

3) Что такое переходный, принуждённый и свободный токи?

4) Каков физический смысл постоянной времени цепи? Чему равна постоянная времени цепи R-L, цепи R-C? Как экспериментально определить постоянную времени цепи?

5) Что называют коэффициентом затухания цепи?

6) Привести уравнения, по которым изменяются $u_C(t)$, $i_C(t)$ при коротком замыкании цепи R-C, начертить графики $u_C(t)$, $i_C(t)$.

7) Чему равна постоянная времени цепи (см. рисунок 1.2) после размыкания ключа?

8) Привести уравнения, по которым изменяются $u_L(t)$, $i_L(t)$ для цепи (см. рисунок 1.2) после размыкания ключа и начертить их графики.

1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Собрать цепь (см. рисунок 1.1).

1.2.2 Установить значения $U_{вх}$, R и C согласно варианту (см. таблицу 1.1), $R_1=100-300$ Ом.

1.2.3 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.

1.2.4 Срисовать в масштабе полученную кривую $u_C(t)$.

1.2.5 На вход осциллографа подать напряжение с резистора, срисовать в масштабе полученную кривую $u_R(t)$.

1.2.6 Изменить согласно варианту один из параметров цепи (см. таблицу 1.2), срисовать в масштабе новую кривую $u_C(t)$.

1.2.7 Собрать цепь (см. рисунок 1.2).

1.2.8 Установить значения $U_{вх}$, $L=L_1$ согласно варианту (см. таблицу 1.3). Сопротивление $R_1=1\div 4$ Ом, $R_2=50\div 200$ Ом.

1.2.9 На вход осциллографа подать напряжение с резистора R_1 , срисовать в масштабе полученную кривую $u_{R1}(t)$, которая в соответствующем масштабе представляет собой кривую тока:

$$i(t) \left(\text{м.к.} \quad i(t) = \frac{u_{R1}(t)}{R_1} \right).$$

1.2.10 На вход осциллографа подать напряжение с индуктивности.

1.2.11 Срисовать в масштабе полученную кривую $u_k(t)$ (если пренебречь активным сопротивлением катушки R_k , можно считать, что $u_k(t) = u_L(t)$).

1.2.12 Изменить согласно варианту индуктивность $L=L_2$ (см. таблицу 1.3), срисовать в масштабе новую кривую $u_{R1}(t)$.

1.3 Оформление и анализ результатов работы

1.3.1 Рассчитать постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} для параметров цепи согласно заданному варианту (см. таблицу 1.1) и τ_{C2} , α_{C2} согласно варианту (см. таблицу 1.2).

1.3.2 По изображению кривой напряжения $u_C(t)$ определить постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} (пункт 1.2.4) и τ_{C2} , α_{C2} (пункт 1.2.6).

1.3.3 Рассчитать напряжение $u_C(t)$ на основе известных параметров цепи согласно заданному варианту (см. таблицу 1.1).

1.3.4 Расчётную и экспериментальную зависимости $u_C(t)$ привести на одном графике.

1.3.5 Рассчитать постоянную времени τ_{L1} и коэффициент затухания α_{L1} цепи RL для параметров цепи, согласно заданному варианту и τ_{L2} , α_{L2} согласно варианту (см. таблицу 1.3). Учесть, что сопротивление цепи $R=R_1+R_2+R_k$, где R_k – активное сопротивление катушки индуктивности.

1.3.6 По изображению кривой для цепи RL определить постоянную времени τ_{L1} и коэффициент затухания α_{L1} (пункт 1.2.9) и τ_{L2} , α_{L2} (пункт 1.2.12).

1.3.7 Рассчитать ток $i(t)$ в цепи RL и напряжение $u_{R1}(t)$ на основе известных параметров цепи согласно заданному варианту (см. таблицу 1.3).

1.3.8 Расчётную и экспериментальную кривые $u_{R1}(t)$ привести на одном графике.

1.3.9 Сделать выводы по проделанной работе: проанализировать влияние величины сопротивления R или ёмкости C на постоянную времени цепи τ и соответственно на скорость протекания переходного процесса; определить время разрядки конденсатора; проанализировать влияние величины индуктивности L на постоянную времени τ_L цепи RL и соответственно на скорость протекания переходного процесса.

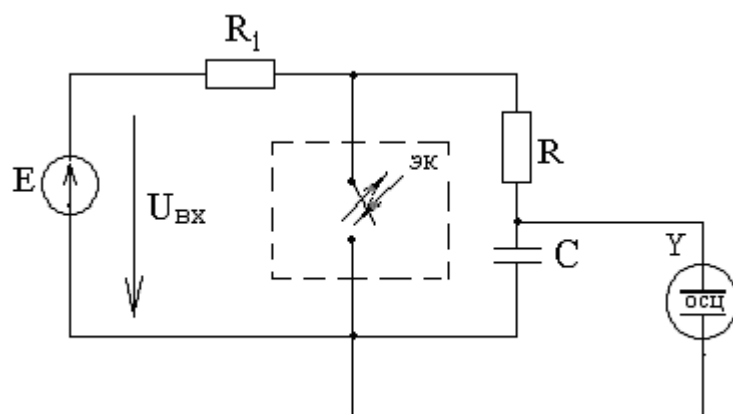


Рисунок 1.1 - Экспериментальная схема цепи RC

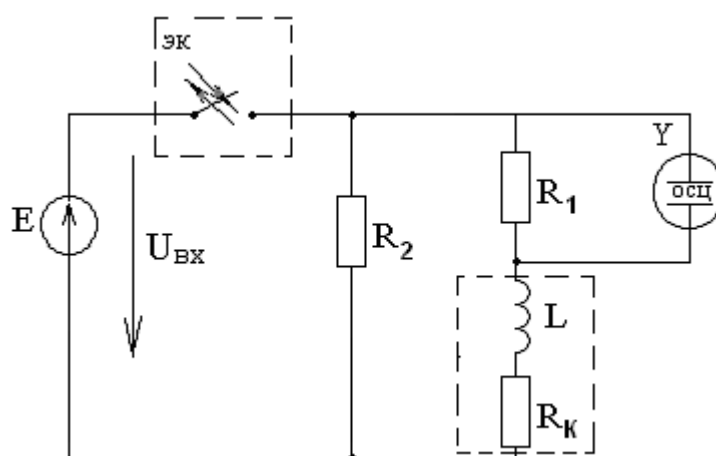


Рисунок 1.2 - Экспериментальная схема цепи RL

Таблица 1.1 - Параметры цепи RC (вариант 1)

№ варианта	$U_{вх}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	10	300	4
2	15	400	2
3	20	200	5
4	10	600	5
5	15	500	3

Таблица 1.2 - Параметры цепи RC (вариант 2)

№ варианта	$U_{вх}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	10	600	4
2	15	400	4
3	20	400	5
4	10	300	5
5	15	500	6

Таблица 1.3 - Параметры цепи RL

№ варианта	Uвх, В	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн
1	10	20	10
2	15	15	30
3	12	30	15
4	20	10	20
5	15	40	20

Методические указания

Масштаб по оси времени определяется из условия, что электронный ключ (ЭК) замыкается и размыкается с частотой $f=50$ Гц и с периодом

$$T = \frac{1}{f} = 0,02 \text{ с}.$$

Постоянная времени τ_C определяется по экспериментальной кривой $u_C(t)$ для цепи RC (см. рисунок 1.3), где t_p - время, в течение которого ЭК замкнут ($t_p \approx 0,01 \text{ с}$).

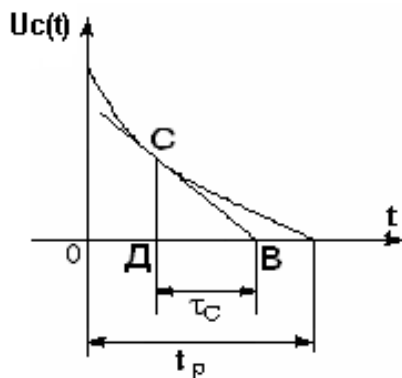


Рисунок 1.3 - Кривая $u_C(t)$

Постоянная времени τ_L определяется по экспериментальной кривой $u_{R1}(t)$ для цепи RL (см. рисунок 1.4), где t_p - время, в течение которого ЭК разомкнут ($t_p \approx 0,01 \text{ с}$).

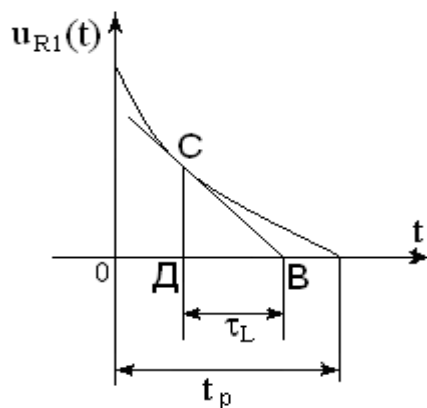


Рисунок 1.4 - Кривая $u_{R1}(t)$

2 Лабораторная работа № 2. Исследование переходных процессов в неразветвлённой цепи R-L-C

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования аperiodического и колебательного разрядов конденсатора.

2.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ2 «Переходные процессы в цепи R-L-C».

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

1) Записать уравнение по второму закону Кирхгофа для свободных составляющих напряжений цепи R-L-C и соответствующее ему характеристическое уравнение.

2) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает аperiodический разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при аperiodическом разряде конденсатора. Привести графики этих величин.

3) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает колебательный разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при колебательном разряде конденсатора. Привести графики этих величин.

4) Что такое логарифмический декремент колебания?

5) Как определить коэффициент затухания α и частоту собственных (свободных) колебаний $\omega_{св}$ расчётным и опытным путём (по графику)? Как эти величины зависят от R, L и C?

6) Что такое критическое сопротивление цепи R-L-C? Что такое критический режим цепи R-L-C?

2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Собрать цепь (см. рисунок 2.1)

2.2.2 Установить значения R, L и C согласно варианту (см. таблицу 2.1).

Измерить сопротивление катушки R_k . Напряжение на входе $U_{вх}$ установить порядка 20-30В, $R_1=50-300$ Ом.

2.2.3 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.

2.2.4 Исследовать колебательный разряд конденсатора, срисовать в масштабе осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

2.2.5 Срисовать осциллограммы тока $i(t)$, $u_L(t)$ при колебательном разряде конденсатора.

2.2.6 Добиться критического режима в цепи, меняя сопротивление R. Записать величину полученного сопротивления $R_{кр}$ (эксп). Учесть сопротивление катушки R_k . Зарисовать полученную осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

2.2.7 Увеличить сопротивление цепи R в 2 раза по сравнению с критическим. Зарисовать осциллограммы тока $i(t)$ и напряжений $u_C(t)$, $u_L(t)$ при апериодическом разряде конденсатора.

2.3 Оформление и анализ результатов работы

2.3.1 Рассчитать коэффициент затухания $\alpha_{(РАСЧ)}$ и частоту собственных колебаний $\omega_{СВ(РАСЧ)}$ по заданным значениям $R_{КОИТ} = R + R_K$, L , C (пункт 2.2.2).

2.3.2 По полученному изображению кривой напряжения $u_C(t)$ (пункт 2.2.4) рассчитать экспериментальные значения $\alpha_{(ЭКСП)}$ и $\omega_{СВ(ЭКСП)}$.

2.3.3 Рассчитать критическое сопротивление $R_{кр(расч)}$ согласно варианту.

2.3.4 Сделать выводы по проделанной работе: сравнить расчётные значения α , $\omega_{СВ}$, $R_{кр}$ с экспериментальными, проанализировать влияние величины сопротивления $R_{КОИТ}$ на характер разряда конденсатора.

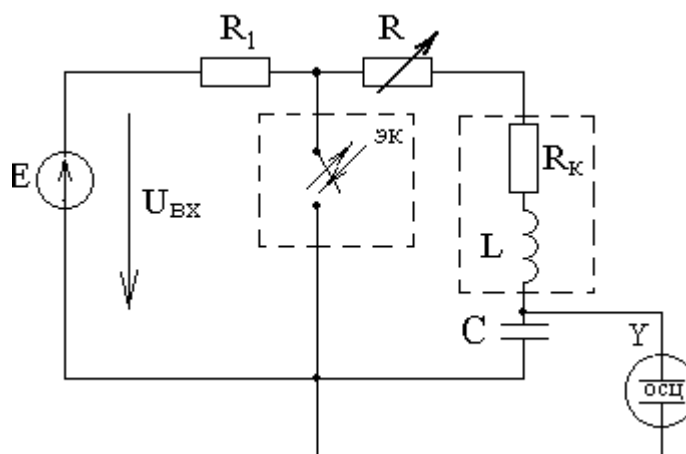


Рисунок 2.1 - Экспериментальная схема цепи RLC

Таблица 2.1-Параметры цепи RLC

№ варианта	R , Ом	L , мГн	C , мкФ
1	1	10	4
2	1	20	3
3	1	20	2
4	1	15	2
5	1	10	3

Методические указания

Коэффициент затухания $\alpha(расч)$, частота собственных (свободных) колебаний $\omega_{св(расч)}$ и критическое сопротивление $R_{кр(расч)}$ определяются по формулам

$$\alpha(\text{расч}) = \frac{R_{\text{конт}}}{2L}; \quad \omega_{\text{св}}(\text{расч}) = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{\text{конт}}}{2L}\right)^2}; \quad R_{\text{кр}}(\text{расч}) = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Экспериментальные значения $\alpha(\text{эксп.})$ и $\omega_{\text{св}}(\text{эксп.})$ определяются по полученной кривой напряжения $u_c(t)$.

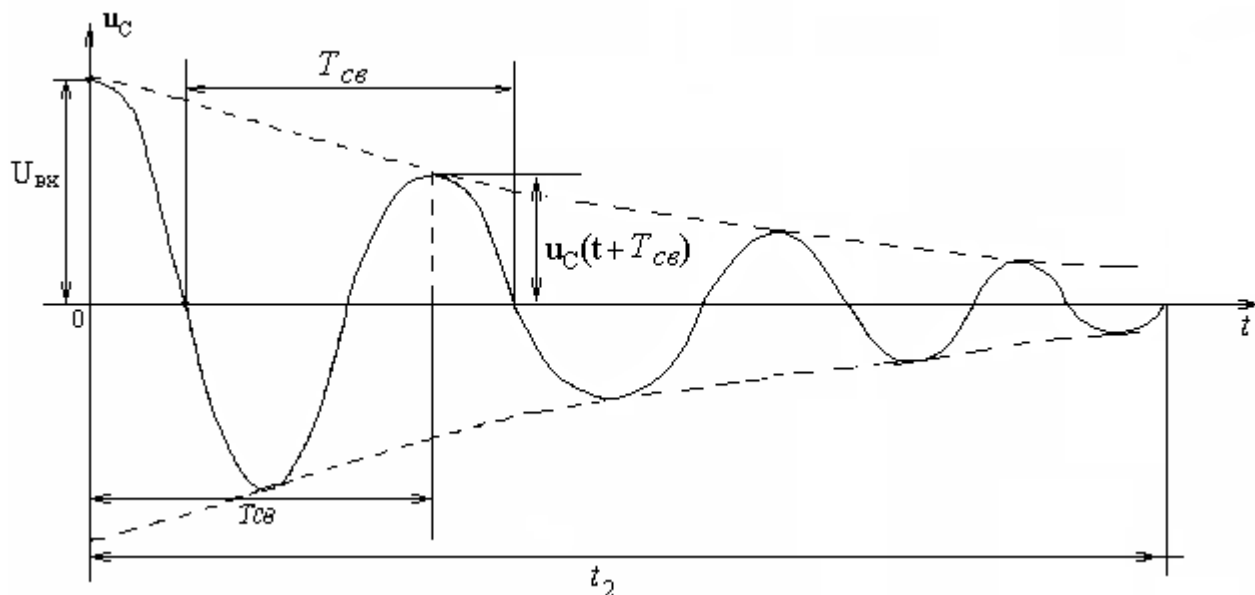


Рисунок 2.2 – Зависимость $U_c(t)$ при колебательном разряде конденсатора

Частоту свободных колебаний $\omega_{\text{св}}(\text{эксп.})$ можно рассчитать по формуле $\omega_{\text{св}} = 2\pi f_{\text{св}} = \frac{2\pi}{T_{\text{св}}}$, где $T_{\text{св}}$ определяется по осциллограмме, масштаб по оси времени находится так же, как и в лабораторной работе № 1; t_2 - время, в течение которого ЭК замкнут (0,01с.)

Экспериментальное значение $\alpha_{\text{эксп}}$ рассчитывается по логарифмическому декременту колебания:

$$\alpha_{(\text{эксп.})} = \frac{1}{T_{\text{св}}} \ln \frac{u_c(t)}{u_c(t + T_{\text{св}})};$$

$u_c(t)$ удобно взять для момента времени $t = 0$, где $u_c(0) = U_{\text{вх}}$.

3 Лабораторная работа №3. Исследование симметричных пассивных четырехполюсников

3.1 Цель работы: получение навыков экспериментального исследования пассивных симметричных четырехполюсников в различных режимах

3.2 Подготовка к работе: повторить раздел курса ТОЭ «Четырехполюсники».

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

3.2.1 Какие электрические цепи называются четырехполюсниками? Привести условное изображение четырехполюсника;

3.2.2 Какие четырехполюсники называют пассивными?

3.2.3 Какие четырехполюсники называют симметричными?

3.2.4 Записать уравнения четырехполюсника типа А;

3.2.5 Какими соотношениями связаны коэффициенты (А,В,С,Д) симметричного четырехполюсника?

3.2.6 Записать выражение, определяющее входное сопротивление симметричного четырехполюсника Z_{BX} .

3.2.7 Как определить экспериментально сопротивления холостого хода Z_{1X}, Z_{2X} . Как связаны $Z_{1X} u Z_{2X}$, $Z_{1K} u Z_{2K}$ симметричного четырехполюсника?

3.2.8 Записать формулы для определения коэффициентов четырехполюсника (А,В,С,Д), используя сопротивления холостого хода и короткого замыкания.

3.2.9 Какое сопротивление называют характеристическим сопротивлением симметричного четырехполюсника Z_c и как оно определяется через коэффициенты четырехполюсника?

3.2.10 В соответствии с заданным вариантом рассчитать характеристическое сопротивление Z_c .

3.2.11 Какой режим называют режимом согласованной нагрузки?

3.2.12 Какой параметр называют постоянной передачи четырехполюсника Γ ? Записать формулу, определяющую Γ симметричного четырехполюсника.

3.2.13 Как определяются постоянная ослабления (коэффициент затухания) α и коэффициент фазы β для симметричного четырехполюсника?

3.2.14 Подготовить таблицу 3.2.

3.2.15 Нарисовать схемы для экспериментального исследования заданных в таблице 3.2 режимов.

Таблица 3.1

№ варианта	Схема четырехполюсника	$U_1, В$	$f, Гц$	$L, мГн$	$C, мкФ$
1	Рисунок 3.1	5	1000	20	1
2	Рисунок 3.1	7	900	15	2
3	Рисунок 3.2	6	800	20	1,5

Продолжение таблицы 3.1

№ варианта	Схема четырехполюсника	$U_1, В$	$f, Гц$	$L, мГн$	$C, мкФ$
4	Рисунок 3.2	4	1100	10	1
5	Рисунок 3.3	8	600	25	1
6	Рисунок 3.3	3	700	10	2
7	Рисунок 3.4	5	900	20	0,5
8	Рисунок 3.4	6	800	10	1,5

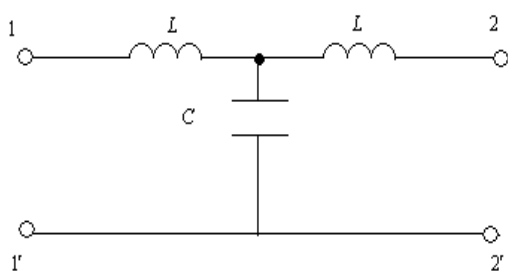


Рисунок 3.1

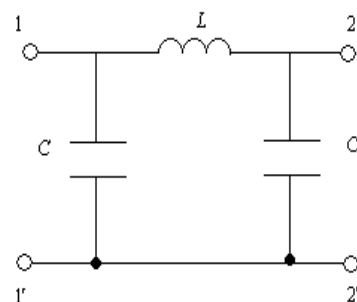


Рисунок 3.2

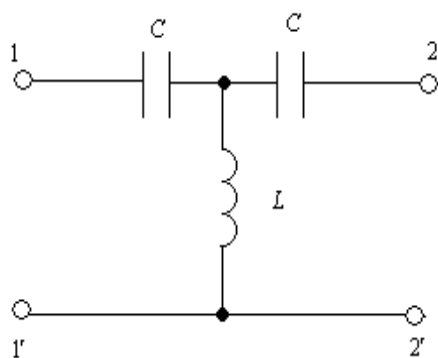


Рисунок 3.3

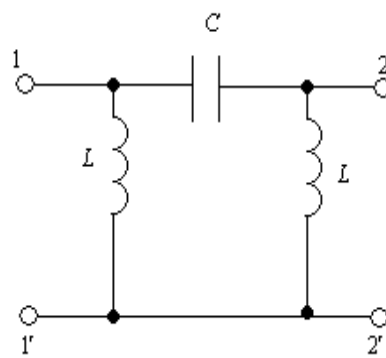


Рисунок 3.4

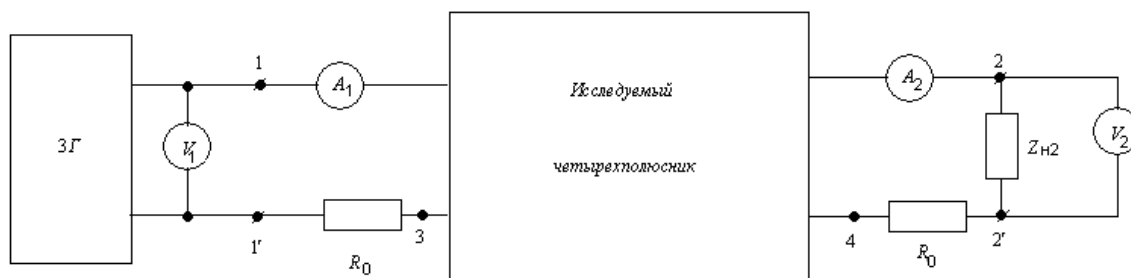


Рисунок 3.5

Таблица 3.2

Режим работы четырёхполюсника	$U_1 =$		$L =$		$C =$	
	$U_2, В$	$\psi_{U_2}, \text{град}$	I_1, mA	$\psi_{i1}, \text{град}$	I_2, mA	$\psi_{i2}, \text{град}$
Холостой ход на зажимах $22' \quad Z_{H2} = \infty$						
Короткое замыкание на зажимах $22' \quad Z_{H2} = 0$						
Согласование нагрузки $Z_{H2} = Z_C$						

3.3 Порядок выполнения работы

3.3.1 Собрать цепь (рисунок 3.5), включив в нее исследуемый симметричный четырехполюсник, установить значения U_1, f, L и C согласно варианту (таблица 3.1).

3.3.2 Разомкнуть выходные зажимы $22'$ и измерить напряжение на выходе U_2 и входной ток I_1 , начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и тока ψ_{i1} . Результаты измерений записать в таблицу 3.2.

3.3.3 Закоротить зажимы $22'$ и измерить токи на входе I_1 и выходе I_2 четырехполюсника и начальные фазы токов ψ_{i1}, ψ_{i2} . Результаты занести в таблицу 3.2.

3.3.4 Исследовать режим согласованной нагрузки, подключив к зажимам $22'$ сопротивление нагрузки, равное характеристическому сопротивлению $Z_{H2} = Z_C$, рассчитанное в пункте 3.2.10 подготовки к работе. Измерить напряжение на выходе U_2 , токи на входе I_1 и выходе I_2 , начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и токов ψ_{i1}, ψ_{i2} . Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

3.4 Оформление результатов работы

3.4.1 Рассчитать по экспериментальным данным (таблица 3.2) комплексные сопротивления холостого хода Z_x и короткого замыкания Z_k и рассчитать через них коэффициенты A, B, C, D .

3.4.2 Рассчитать коэффициенты A, B, C, D по экспериментальным данным режимов холостого хода:

$$A = \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{pmatrix}_{i_2=0}, \quad C = \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{pmatrix}_{i_2=0}$$

и короткого замыкания \therefore

$$B = \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{pmatrix}_{\dot{U}_0=0}, \quad D = \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{pmatrix}_{\dot{U}_2=0}.$$

Сравнить со значением коэффициентов А,В,С, D, полученных в пункте 3.4.1;

3.4.3 Проверить выполнение равенств: $A=D$, $AD-BC=1$.

3.4.4 По экспериментальным данным (таблица 3.2) рассчитать входное сопротивление четырехполюсника Z_{BX} для режима согласованной нагрузки.

3.4.5 По экспериментальным данным для режима согласованной нагрузки определить постоянную передачи Γ , постоянную ослабления a и коэффициент фазы ν .

3.4.6 Сделать выводы по проделанной работе:

1- данные каких опытов достаточно иметь для определения коэффициентов А,В,С, D симметричного четырехполюсника.

2- с какой точностью выполняются соотношения, связывающие коэффициенты А,В,С, D симметричного четырехполюсника;

3 - с какой точностью выполняется равенство $Z_{BX} = Z_H = Z_C$ в режиме согласованной нагрузки;

4 - по полученному коэффициенту ослабления a сравнить действующие напряжения и токи на входе и выходе четырехполюсника.

Методические указания

Начальные фазы напряжения и токов измеряются с помощью двухканального осциллографа.

Для измерения начальных фаз напряжений канал 1 осциллографа подключается к точкам 11', а канал 2 - к токам 22', и по полученным кривым напряжений $U_1(t)$ и $U_2(t)$ определяют начальную фазу напряжения на выходе ψ_{U_2} относительно начальной фазы входного напряжения, которую принимают равной нулю $\psi_{U_1} = 0$.

Для измерения начальных фаз токов применяется способ преобразования тока в потенциал, который заключается во включении в цепь измеряемого тока резистора с небольшим сопротивлением.

Так, для измерения начальной фазы тока i_1 между точками 1' и 3 включают сопротивление $R = 1 \div 3 \text{ Ом}$, канал 2 осциллографа подключают к

этому сопротивлению, по полученным кривым напряжения $U_1(t)$ и тока $i_1(t)$ определяют начальную фазу входного тока ψ_{i1} относительно начальной фазы входного напряжения $\psi_{U1} = 0$.

Для измерения начальной фазы выходного тока i_2 между точками 2' и 4 включают сопротивление $R = 1 \div 3 \text{ Ом}$, канал 2 осциллографа подключают к этому сопротивлению, по полученным кривым напряжения $U_1(t)$ и тока $i_2(t)$ определяют начальную фазу выходного тока ψ_{i2} относительно начальной фазы входного напряжения $\psi_{U1} = 0$.

4 Лабораторная работа №4. Исследование пассивных симметричных электрических фильтров

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования простейших низкочастотных (ФНЧ) и высокочастотных (ФВЧ) фильтров.

4.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Частотные электрические фильтры».

Ответить на следующие вопросы:

- 1) Какие типы фильтров вы знаете?
- 2) Дайте понятия низкочастотного, высокочастотного, полосного и заграждающего фильтров.
- 3) Дайте определение вторичных параметров фильтров. В каких единицах они измеряются?
- 4) Что такое область пропускания и область затухания идеального фильтра?
- 5) Что такое согласованный режим работы фильтра?
- 6) Привести П-образную и Т-образную схемы ФНЧ?
- 7) Привести П-образную и Т-образную схемы ФВЧ?
- 8) Привести графики зависимостей для $a(\omega)$ и $b(\omega)$ ФНЧ.
- 9) Привести графики зависимостей для $a(\omega)$ и $b(\omega)$ ФВЧ.
- 10) Привести расчётные формулы $f_{ср}$ и ρ для ФНЧ.
- 11) Привести расчётные формулы $f_{ср}$ и ρ для ФВЧ.

4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Собрать цепь (см. рисунок 4.1), включив в неё исследуемый фильтр согласно заданному варианту (см. рисунок 4.2). Величину сопротивления нагрузки R_n установить равной ρ .

4.2.2 Установить значения U_1 , L и C согласно варианту (см. таблицу 4.2).

4.2.3 Изменяя частоту звукового генератора, измерить напряжение U_2 на выходе фильтра. Для ФНЧ изменять частоту в пределах от $f=0,1f_{ср}$ до $f=2f_{ср}$.

Для ФВЧ изменять частоту в пределах от $f=2f_{cp}$ до $f=0,1f_{cp}$. В зоне пропускания снять 5-6 точек, в зоне затухания – 5- 6 точек. Напряжение на входе фильтра U_1 поддерживать постоянным. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.2.4 Собрать схему для измерения коэффициента фазы $b(f)$. Для этого сигнал с входа подать на вертикальные пластины осциллографа, а выходной сигнал – на горизонтальные пластины, синхронизация “внешняя”. При этом на экране осциллографа появится эллипс, форма которого зависит от частоты f звукового генератора.

4.2.5 Измерить параметры эллипса (A и X_0) или (B и Y_0) при тех же частотах, что и в пункте 4.2.3.

4.3 Оформление и анализ результатов работы

4.3.1 Рассчитать f_{cp} и ρ согласно варианту (см. таблицу 4.2).

4.3.2 Рассчитать коэффициент затухания $a(f)$ и коэффициент фазы $b(f)$, построить экспериментальные графики $a(f)$ и $b(f)$ по данным таблицы 4.1.

4.3.3 Построить теоретические графики $a(f)$ и $b(f)$ (см. таблицы 4.3 или 4.4).

4.3.4 Сделать выводы о проделанной работе: сравнить теоретические графики $a(f)$ и $b(f)$ с экспериментальными и объяснить их различие, проанализировать зависимость $a(f)$ и $b(f)$ в полосе пропускания и в полосе затухания.

Таблица 4.1 - Результаты измерений

$U_1 =$	$f_{cp} =$	$R_H = \rho =$	$L =$	$C =$	
$f, \text{Гц}$	$U_2, \text{В}$	$A(B)$	$X_0(Y_0)$	$a, \text{Нп}$	$b, \text{град}$
f_1					
f_2					
f_3					
f_4					
f_5					
f_6					
f_7					
f_8					
f_9					
f_{10}					

Таблица 4.2-Параметры фильтров

№ варианта	Тип Фильтра	Схема фильтра	$U_1(\text{В})$	$L(\text{мГн})$	$C(\text{мкФ})$
1	ФНЧ	Т-схема	2	100	0,5
2	ФВЧ	Т-схема	3	70	0,5

Продолжение таблицы 4.2

№ варианта	Тип Фильтра	Схема фильтра	U1(В)	L(мГн)	C(мкФ)
3	ФНЧ	П-схема	3	20	0,5
4	ФВЧ	П-схема	2	15	0,5
5	ФНЧ	Т-схема	4	40	0,25

Таблица 4.3-Теоретические зависимости для ФНЧ

ФНЧ	f/f ₀	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	a,Нп	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90	1,26
	+в, град	23	47	60	74	90	106	130	180	180	180
ФНЧ	f/f ₀	1,3	1,5	1,6	2,0	3,0	4,0				
	a,Нп	1,52	1,94	2,30	2,74	3,60	4,16				
	+в, град	180	180	180	180	180	180				

Таблица 4.4-Теоретические зависимости для ФВЧ

ФВЧ	f/f ₀	0,25	0,5	0,67	0,83	0,9	1	1,25	1,43	1,67	2	2,5	5
	a,Нп	4,1	2,74	1,94	1,26	0,9	0	0	0	0	0	0	0
	-в, град	180	180	180	180	180	180	106	90	74	60	47	23

Методические указания

При согласовании фильтра с нагрузкой напряжения входа U_1 и выхода U_2 связаны соотношением

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = e^g = e^a e^{jb},$$

откуда коэффициент затухания $\alpha = \ln \frac{U_1}{U_2}$, а коэффициент фазы $b = \psi_1 -$

ψ_2 ,

где ψ_1 и ψ_2 – начальные фазы соответственно входного и выходного напряжений.

При снятии характеристики $a(f)$ напряжение на входе фильтра можно поддерживать одинаковым с помощью ручки «регулирование выходного напряжения» звукового генератора.

Для снятия характеристики $b(f)$ используется осциллограф. После включения питания осциллографа и регулировки яркости и фокуса светящаяся точка устанавливается точно в центре экрана ручками горизонтального и вертикального перемещения луча. Для получения одинакового усиления по вертикали и по горизонтали одно и то же напряжение от звукового генератора, например, 1В, подаётся по очереди на отклоняющие по вертикали и отклоняющие по горизонтали пластины осциллографа, и соответствующими ручками “усиление” по вертикали, а затем по горизонтали устанавливается одинаковая длина светящейся линии на экране.

После такой регулировки для определения коэффициента фазы выходное напряжение $u_2=U_{2m}\sin\omega t$ подаётся к отклоняющим по горизонтали пластинам, а входное $u_1=U_{1m}\sin(\omega t+\psi_1)$ – к отклоняющим по вертикали. На экране осциллографа будет виден эллипс (см. рисунок 4.3) или в частном случае – прямая.

Угол ψ_1 определяется из выражения:

$$\sin / \psi_1 / = \frac{X_0}{A} = \frac{Y_0}{B}.$$

Если большая ось эллипса расположена в 1-ой и 3-ей четвертях, то:

$$/ b / = / \psi_1 / = \arcsin \frac{X_0}{A} = \arcsin \frac{Y_0}{B}.$$

Если большая ось эллипса расположена в 2-ой и 4-ой четвертях, то:

$$/ b / = / \psi_1 / = \pi - \arcsin \frac{X_0}{A} = \pi - \arcsin \frac{Y_0}{B}.$$

Знак коэффициента фазы b определяется по векторной диаграмме, построенной для фильтра при согласованной нагрузке.

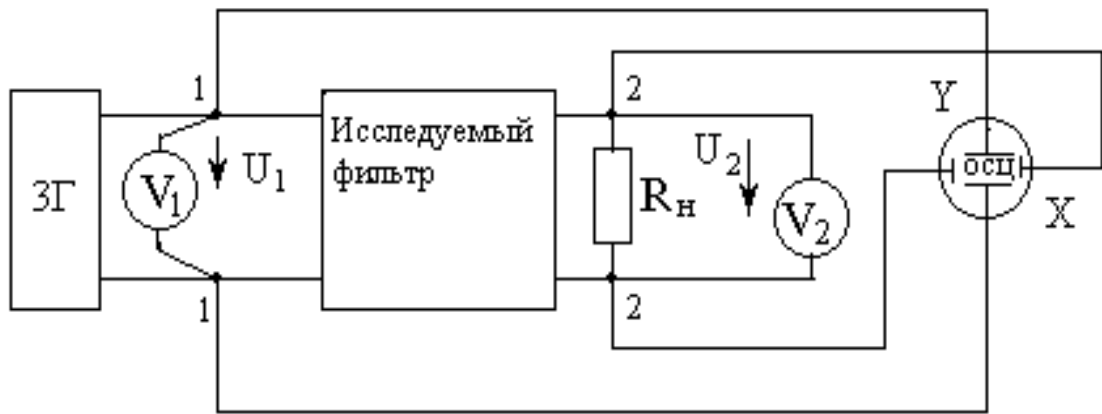


Рисунок 4.1 - Схема экспериментальной установки

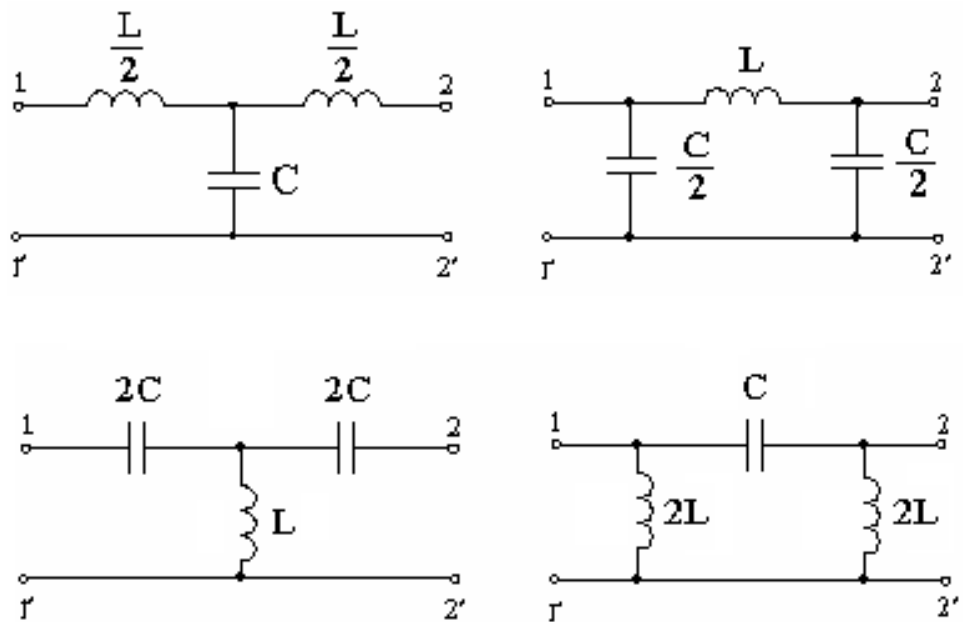


Рисунок 4.2 - Схемы Т и П-образных фильтров

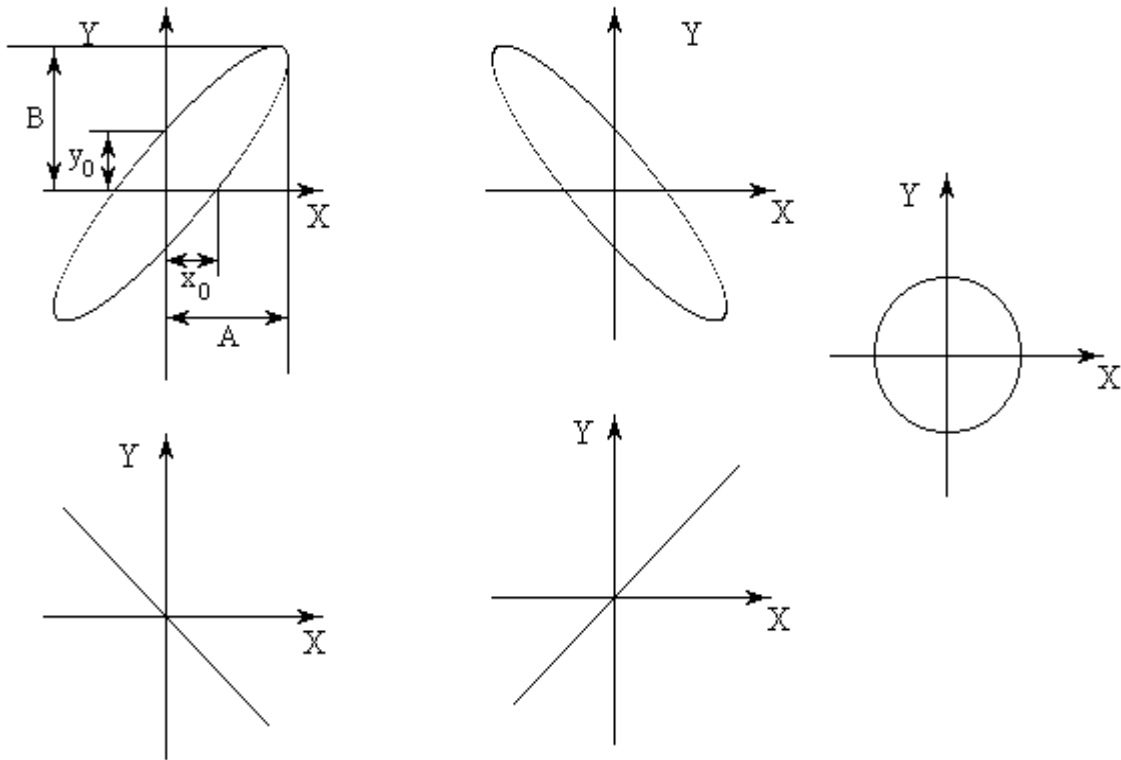


Рисунок 4.3 - Экспериментальные осциллограммы

5 Лабораторная работа № 5. Исследование длинной линии электропередачи в различных режимах работы

Цель работы: получение навыков исследования различных режимов в длинных линиях путем компьютерного моделирования.

5.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Установившиеся режимы в цепях с распределенными параметрами».

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

- 1) Какие величины называются первичными параметрами линии?
- 2) Какая линия называется однородной?
- 3) Записать формулы для определения Z_0 , Y_0 .
- 4) Какие величины называются вторичными параметрами линии?
- 5) Записать выражения, определяющие коэффициент распространения γ и волновое сопротивление Z_B .
- 6) Записать уравнения линии с гиперболическими функциями.
- 7) Как рассчитывается входное сопротивление линии?
- 8) Какая нагрузка называется согласованной?
- 9) Как рассчитать мощности в начале линии P_1 , в конце линии P_2 , КПД?
- 10) Рассчитать R_1 , L_1 , C_2 , R_2 , Z_B согласно заданному варианту.

Для исследования различных режимов в длинной линии путем компьютерного моделирования, линия рассматривается как симметричный четырехполюсник, представленный симметричной Т-образной схемой замещения (см. рисунок 5.1).

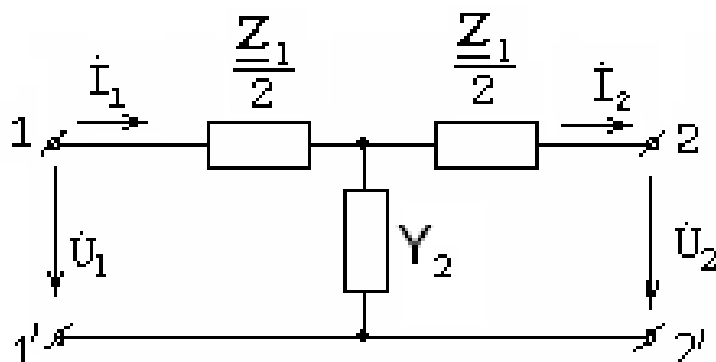


Рисунок 5.1 - Схема замещения линии

Параметры схемы замещения рассчитываются по следующим выражениям:

$$Z_1 = Z_0 l k_1 = (R_0 + j\omega L_0) l k_1 = R_1 + j\omega L_1, \quad (5.1)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_0 l |k_1| \\ L_1 &= L_0 l |k_1| \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

$$Y_2 = Y_0 l k_2 = (G_0 + j\omega C_0) l k_2 = G_2 + j\omega C_2, \quad (5.3)$$

$$\left. \begin{aligned} G_2 &= G_0 l |k_2|; R_2 = \frac{1}{G_2} \\ C_2 &= C_0 l |k_2|. \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

где R_0, L_0, G_0, C_0 - первичные параметры линии

l - длина линии;

$$k_1 = \frac{2(\cosh \gamma l - 1)}{\gamma \sinh \gamma l}, \quad k_2 = \frac{\sinh \gamma l}{\gamma l} \quad - \quad \text{комплексные коэффициенты, с}$$

достаточной для практических расчётов точностью можно использовать модули $|k_1|, |k_2|, \gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$ - коэффициент распространения.

5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Выбрать напряжение в начале линии U_1 , параметры линии и нагрузки в соответствии с заданным вариантом по таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Варианты задания

вариант	U_1 , КВ	ℓ , км	$ k_1 $	$ k_2 $	$R_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$L_0 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$	$\frac{\text{Гн}}{\text{км}} \cdot 10^{-6}, \frac{\text{См}}{\text{км}}$	$C_0 \cdot 10^{-9}, \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$	Z_H , Ом
1	400	700	1,043	0,927	0,07	1,0	0,2	9,0	450
2	600	800	1,056	0,899	0,09	1,2	0,08	8,3	400
3	110	1000	1,11	0,815	0,1	1,3	0,3	9,5	500
4	220	900	1,089	0,845	0,08	1,4	0,06	8,8	470
5	330	1100	1,16	0,753	0,06	1,35	0,1	10	550

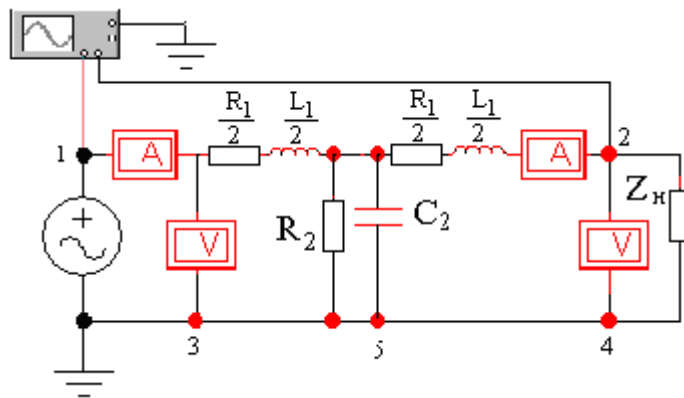


Рисунок 5.2 - Экспериментальная схема

5.2.2 Собрать электрическую схему (см. рисунок 5.2).

5.2.3 Установить на генераторе амплитудное значение напряжения в начале линии $U_{m1} = \sqrt{2}U_1$, частоту $f = 50 \text{ Гц}$ и рассчитанные параметры четырехполюсника R_1, L_1, R_2, C_2 .

5.2.4 Установить сопротивление приемника Z_H согласно заданному варианту.

Измерить действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 и в конце линии I_2 . Измерить начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и токов в начале и в конце линии: ψ_{I_1}, ψ_{I_2} .

Результаты записать в таблицу 5.2

5.2.5 В режиме холостого хода в конце линии измерить действующее значение напряжения в конце линии U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и тока в начале линии ψ_{I_1} . Результаты записать в таблицу 5.2.

5.2.6 В режиме короткого замыкания в конце линии измерить действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале

линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} . Результаты записать в таблицу 5.2.

5.2.7 В режиме согласованной нагрузки $Z_H = Z_B$ измерить действующее значение напряжения U_2 , действующие значения токов в начале линии I_1 , в конце линии I_2 , начальные фазы напряжения в конце линии ψ_{U_2} и начальные фазы токов в начале ψ_{i_1} и в конце линии ψ_{i_2} . Результаты записать в таблицу 5.2.

Методические указания

Измерить начальные фазы напряжения и токов можно с помощью осциллографа. При измерении начальных фаз уменьшить амплитудное значение U_{m1} в 10^3 раз.

Для измерения начальных фаз напряжений канал А осциллографа подключают к точке 1, а канал В - к точке 2. Выставив курсор 1 на ноль напряжения в начале линии U_1 , а курсор 2 на ноль напряжения в конце линии U_2 , можно измерить временной сдвиг между напряжениями U_1 и U_2 непосредственно по табло Т2-Т1. Фазовый сдвиг вычисляется по формуле:

$$\psi_{U_1} - \psi_{U_2} = 360^\circ (T_2 - T_1) \times f,$$

если принять, что $\psi_{U_1} = 0$, то $\psi_{U_2} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f$.

Для измерения начальных фаз токов применяется способ преобразования тока в потенциал, который заключается во включении в цепь измеряемого тока резистора с небольшим сопротивлением.

Для измерения начальной фазы тока i_1 между точками 6 и 3 включается сопротивление $R = 1 \text{ Ом}$, канал В осциллографа подключается к точке 3. Выставив курсор 1 на ноль напряжения U_1 , а курсор 2 на ноль тока i_1 , измеряют временной сдвиг между током i_1 и напряжением U_1 на табло Т2-Т1. Начальную фазу тока ψ_{i_1} вычисляют по формуле:

$$\psi_{i_1} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f.$$

Для измерения начальной фазы тока в конце линии i_2 , между точками 5 и 4, включается сопротивление $R = 1 \text{ Ом}$, канал В осциллографа подключается к точке 4. Выставив курсор 1 на ноль напряжения U_1 , а курсор 2 на ноль тока i_2 , измеряют временной сдвиг между напряжением U_1 и током i_2 на табло Т2-Т1. Начальную фазу тока i_2 вычисляют по формуле:

$$\psi_{i_2} = -360^\circ (T_2 - T_1) \times f.$$

5.4 Оформление результатов работы

5.4.1 Рассчитать начальные фазы напряжения ψ_{U_2} и токов ψ_{i_1} , ψ_{i_2} .
Результаты записать в таблицу 5.2.

5.4.2 Записать комплексы напряжений \dot{U}_1, \dot{U}_2 и токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 для всех исследуемых режимов.

5.4.3 По экспериментальным значениям рассчитать входное сопротивление линии Z_{1BX} , активные мощности P_1 , P_2 и КПД η для всех исследуемых режимов. Результаты записать в таблицу 5.2.

5.4.4 Сравнить полученные результаты. Сделать выводы по результатам работы.

Таблица 5.2 - Экспериментальные данные

Режим работы	U_1 , кВ	U_2 , кВ	T_2-T_1 с	ψ_{U_2} , град	I_1 , А	T_2-T_1 с	ψ_{i_1} , град	I_2 , А	T_2-T_1 с	ψ_{i_2} , град	Z_{1BX} , Ом	P_1 кВт	P_2 кВт	η , %
Нагрузочный режим; $Z_H =$														
Холостой ход														
Короткое замыкание														
Согласованная нагрузка $Z_H = Z_B$														

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Гардарики, 2013. – 638 с.
2. Атабеков Г.И. ТОЭ. Линейные электрические цепи. - СПб.: «Лань», 2010.
3. Башарин С.А. Теория электрических цепей и электромагнитного поля. - М., 2010.
4. М.М. Аршидинов, В.И. Денисенко, Л.П. Болдырева. ТОЭ: Учебное пособие. - Алматы: АУЭС, 2016, - 98 с.
5. В.И. Денисенко, С.Ю. Креслина. Теоретические основы электротехники. Часть 2. Конспект лекции (для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика). - Алматы: АИЭС, 2007. - 62 с.
6. В.И. Денисенко, Г.М. Светашев. Теоретические основы электротехники-3. Конспект лекции для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика. - Алматы: АИЭС, 2007 – 90 с.
7. ТОЭ т.1/под ред. Демирчян К.С. и др. - СПб. 2006.
8. Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.Д. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др. - М.: Высшая школа, 2003. – 52 с.
9. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. Т.1. - СПб.: Питер, 2003. – 463 с.
10. Прянишников В.А. ТОЭ: Курс лекций. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: 2000, – 368 с.
11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Гардарики, 1999. – 638 с.
12. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

Маликжан Мамежанович Аршидинов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания к выполнению лабораторных работ
(для студентов колледжа специальности 0901000 –
Электрооборудование электрических станций и сетей (по видам))

Редактор: Данько Е.Т.

Подписано в печать _____
Тираж 15 экз.
Объем 1,4уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ _____. Цена 720_тенге.

Копировально-множительное бюро
Некоммерческое акционерное общество
Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева
050013, Алматы, Байтурсынова 126.