

Министерство образования и науки Украины

Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплинам
«Теоретические основы электротехники»
и «Основы теории электрических цепей»
для студентов второго и третьего курсов
направлений 6.050702 – Электромеханика
и 6.050102 – Компьютерная инженерия
дневной и заочной форм обучения

Часть 2

Севастополь
2010

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Основы теории электрических цепей» для студентов второго и третьего курсов дневной и заочной форм обучения. Направления: 6.050702 – Электромеханика; 6.050102 – Компьютерная инженерия – в 2 ч. / Сост. к.т.н., доц. Л.Н.Канов. – Севастополь: Изд – во СевНТУ, 2010. – Ч.2. – 48 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в подготовке и выполнении лабораторных работ, а также для самостоятельной работы по индивидуальным графикам по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Основы теории электрических цепей».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС (протокол № 6 от 10 декабря 2009 г.).

Допущены учебно – методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Олейников А.М., доктор техн. наук, проф.,
заведующий кафедрой СПЭМС СевНТУ

СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения.	4
11. Лабораторная работа № 11. Переходный процесс включения катушки индуктивности к источнику переменного напряжения.	5
12. Лабораторная работа № 12. Переходный процесс заряда конденсатора через катушку индуктивности от источника постоянного напряжения.	8
13. Лабораторная работа № 13. Нелинейные элементы.	12
14. Лабораторная работа № 14. Генератор релаксационных колебаний на динисторе.	16
15. Лабораторная работа № 15. Выпрямительные схемы с параллельным емкостным фильтром.	21
16. Лабораторная работа № 16. Выпрямительные схемы с последовательным индуктивным фильтром.	25
17. Лабораторная работа № 17. Феррорезонанс в последовательной цепи.	30
18. Лабораторная работа № 18. Катушка с ферромагнитным сердечником.	34
19. Лабораторная работа № 19. Трансформатор с ферромагнитным сердечником.	38
20. Лабораторная работа № 20. Катушка с подмагничиванием. Магнитный усилитель.	43
Библиографический список.	47

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

α – поворотный множитель, град.;
 B – магнитная индукция, Тл;
 β – коэффициент загрузки;
 C – емкость, Ф;
 E, e – электродвижущая сила (ЭДС), В;
 E_A, E_B, E_C – трехфазная система ЭДС, В;
 ε – коэффициент пульсаций;
 φ – потенциал, В;
 F – магнитодвижущая сила, А;
 H – напряженность магнитного поля, А/м;
 δ – немагнитный зазор, м;
 g – активная проводимость, См;
 I, i – ток, А;
 J – источник тока, А;
 L – индуктивность, Гн;
 $KЗ$ – знак короткого замыкания;
 ψ – начальная фаза, град.;
 ν – частота, Гц;
 η – коэффициент полезного действия;
 P – активная мощность, Вт;
 R, r – активное сопротивление, Ом;
 R_m – магнитное сопротивление, Гн⁻¹;
 Q – реактивная мощность, ВАр;
 $\underline{S}$ – комплексная мощность, ВА;
 t – время, с;
 T – период колебания, с;
 τ – постоянная времени, с;
 Φ – магнитный поток, Вб;
 U, u – напряжение, В;
 U_m – магнитное напряжение, А;
 X, x – реактивное сопротивление, Ом;
 XX – знак холостого хода;
 $\underline{Y}$ – комплексная проводимость, См;
 w – число витков;
 ω – круговая частота;
 $\underline{Z}$ – комплексное сопротивление, Ом;
 $*$ – знак комплексного сопряжения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ВКЛЮЧЕНИЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ К ИСТОЧНИКУ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучение переходного процесса тока включения катушки индуктивности к источнику синусоидального напряжения; исследование переходного процесса напряжения на катушке; исследование зависимости процесса от момента коммутации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Схема, в которой происходит включение катушки индуктивности (с индуктивностью L и сопротивлением обмотки r) к источнику синусоидального напряжения $e(t) = E_M \sin(\omega t + \psi_E)$ через дополнительный резистор $r_{\text{ш}}$, изображена на рисунке 1,а. Дифференциальное уравнение переходного процесса имеет вид $L \frac{di}{dt} + (r + r_{\text{ш}})i = E_M \sin(\omega t + \psi_E)$ с начальным условием $i(0) = 0$.

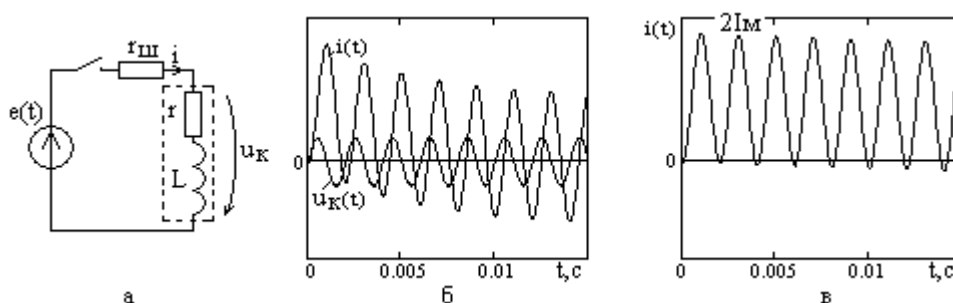


Рисунок 1 – Переходный процесс включения катушки на переменное напряжение:
а) схема включения; б) графики тока и напряжения; в) двойной сверхток

Решение этого уравнения, рис. 1,б

$$i(t) = I_M \sin(\omega t + \psi_E - \varphi) - I_M \sin(\psi_E - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1)$$

где $I_M = \frac{E_M}{z}$ – амплитуда тока установившегося режима; E_M – амплитуда входного напряжения; $z = \sqrt{(r + r_{\text{ш}})^2 + x_L^2}$ – полное сопротивление схемы; x_L – реактивное сопротивление катушки; $\varphi = \arctg \frac{x_L}{r + r_{\text{ш}}}$ – угол, на который установившийся ток отстает по фазе от входного напряжения; $\tau = \frac{L}{r + r_{\text{ш}}}$ – постоянная времени; ψ_E – начальная фаза входного напряжения питания, определяемая моментом включения контактов.

Напряжение на катушке выглядит следующим образом (рисунок 1,б):

$$u_K(t) = ir + L \frac{di}{dt} = e(t) - ir_{\text{ш}} =$$

$$= E_M \sin(\omega t + \psi_E) - E_M \frac{r_{\text{ш}}}{z} \left[\sin(\omega t + \psi_E - \varphi) - \sin(\psi_E - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \right]; \quad (2)$$

начальное значение напряжения $u_K(0) = e(0) = E_M \sin \psi_E$.

Так как обычно $r_{\text{ш}} \ll z$, второе слагаемое в (2) пренебрежимо мало, и напряжение на катушке приближенно равно входному напряжению, т.е. переходный процесс напряжения на катушке выражен слабо.

Из выражения (1) следует, что переходный процесс тока ярко выражен при $\psi_E - \varphi = \pm 90^\circ$; при $\psi_E - \varphi = 0$ переходный процесс тока отсутствует. Угол разности фаз φ зависит от параметров катушки и дополнительного сопротивления, а начальная фаза напряжения питания ψ_E определяется моментом замыкания контактов. Поэтому ярко выраженный переходный процесс возникает в такой момент замыкания контактов, когда $\psi_E = \varphi \pm 90^\circ$ (т.е. в момент максимума или минимума установившегося тока) и не возникает, когда $\psi_E = \varphi$ (т.е. в момент перехода установившегося тока через нуль).

Длительность переходного процесса определяется постоянной времени τ : чем больше индуктивность или чем меньше сопротивления $r_{\text{ш}}$ и r , тем процесс более длительный. Если постоянная времени гораздо больше периода напряжения T , то в течение нескольких первых периодов после замыкания контактов $e^{-\frac{t}{\tau}} \approx 1$ и $\varphi \approx 90^\circ$; поэтому, например, при $\psi_E = 0$ ток имеет вид $i(t) \approx -I_M \cos \omega t + I_M$, рисунок 1,в. В этом случае в течение нескольких первых периодов питающего напряжения после включения контактов в катушке существует двойной уровень тока (двойной сверхток), что крайне нежелательно, так как приводит к перегреву оборудования.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. В качестве катушки индуктивности используется последовательное соединение двух обмоток L_X и L_{1-10} . Так как переходный процесс обычно краток (доли секунды), и его трудно непосредственно наблюдать, то для его изучения применяется поляризованное реле РП7. Контакты реле переключаются 50 раз в секунду, и на экране осциллографа возникает неподвижное изображение переходного процесса. Выводы осциллографа обозначены символами: Υ – вход, $\perp$ – корпус, тип осциллографа С1-72. В качестве источника питающего напряжения применяется генератор переменной частоты ГЗ-102, а для контроля напряжения – цифровой вольтметр В7-22А. Для гальванической развязки генератора и осциллографа применяется входной трансформатор с единичным коэффициентом трансформации.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Наблюдение переходного процесса тока.

Соберите схему по рисунку 2, запишите индуктивности и сопротивления обмоток катушек L_X и L_{1-10} , а также сопротивление дополнительного резистора $r_{\text{ш}}$. Ус-

тановите на генераторе переменной частоты напряжение 3 В и частоту 500 Гц; на регуляторе переменного напряжения – 4...5 В. Ручками управления установите на осциллографе масштабы по напряжению $m_u = 0,2...0,5 \text{ В/кл}$ и по времени $m_t = 2 \text{ мс/кл}$. Добейтесь крупной устойчивой картинки переходного процесса тока. Так как на экране виден не сам ток, а то напряжение, которое он создает на резисторе $r_{ш}$, пересчитайте масштаб для тока: $m_i = \frac{m_u}{r_{ш}} \text{ А/кл}$.

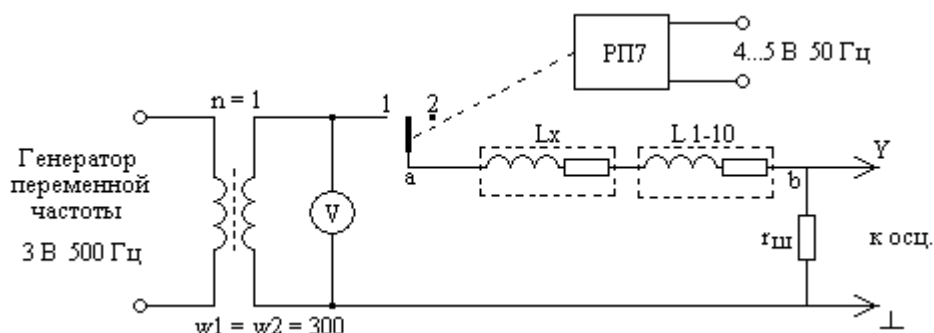


Рисунок 2 – Схема эксперимента по наблюдению переходного процесса тока

Из-за невозможности точной синхронизации реле РП7 и генератора частоты начальная фаза ψ_E напряжения генератора в момент включения контактов 1 не поддается регулировке и будет все время изменяться, поэтому изображение переходного процесса не будет неподвижным. Немного смещая ручку регулировки частоты генератора вправо-влево относительно 500 Гц, добейтесь, чтобы движение изображения было как можно более медленным. Рассматривая осциллограмму, Вы заметите, что в некоторые моменты времени переходный процесс отсутствует, и сразу начинается новый установившийся режим. В другие моменты времени возникает ярко выраженный переходный процесс (двойной сверхток). Срисуйте две характерные осциллограммы для этих крайних случаев.

2. Наблюдение переходного процесса напряжения на катушке.

Для наблюдения напряжения переключите осциллограф параллельно катушкам: корпус – в точку b , вход – в точку a . Масштаб по напряжению установите $m_u = 2 \text{ В/кл}$. Срисуйте осциллограмму процесса. Вы заметите, что переходный процесс напряжения на катушке выражен слабо.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Подсчитайте период входного напряжения T , постоянную времени переходного процесса τ , полное сопротивление z , угол разности фаз между напряжением и током φ ; не забудьте, что в выражениях для этих величин общая индуктивность $L = L_X + L_{1-10}$, а общее сопротивление r равно сумме сопротивлений обмоток этих катушек. Выявите значения ψ_E , при которых будет ярко выраженный переходный процесс и отсутствие переходного процесса. По выражениям (1) и (2) постройте теоретические графики тока и напряжения на катушке для этих двух случаев. Для того, чтобы опытные и расчетные графики удобно было сравнивать, построение выполните в тех масштабах, какие у Вас были применены в эксперименте. Сравните опытные и расчетные результаты. Удалось ли добиться двойного сверхтока?

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием включения осциллографа для наблюдения тока и напряжения и масштабов изображения.
3. Осциллограммы всех опытов в масштабах, в том числе и пересчитанного масштаба для тока.
4. Численные выражения для тока и напряжения переходного процесса в случае ярко выраженного переходного процесса и без переходного процесса.
5. Теоретические, расчетные графики тока и напряжения для рассмотренных крайних случаев в масштабах, примененных в опытах.
6. Выводы о зависимости характера и вида переходного процесса от параметров схемы и от момента включения контактов, а также о соответствии опытных и расчетных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия схемы опыта.
2. Объясните пересчет масштаба графика тока.
3. Объясните условия, при которых переходный процесс тока ярко выражен и отсутствует.
4. Объясните явление двойного сверхтока, как он наблюдается в Ваших опытах?
5. Почему переходный процесс напряжения на катушке выражен слабо?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ЗАРЯДА КОНДЕНСАТОРА ЧЕРЕЗ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: исследование напряжения и тока переходного процесса заряда конденсатора через катушку индуктивности и резистор от источника постоянного напряжения; изучение зависимости процесса от сопротивления резистора в цепи заряда.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Схема заряда конденсатора от источника постоянного напряжения через катушку индуктивности и резистор изображена на рисунке 1,а. Дифференциальное уравнение переходного процесса на конденсаторе имеет вид

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC} u_c = E \quad \text{с начальными условиями} \quad u_c(0) = 0; \quad \frac{du_c(0)}{dt} = \frac{1}{C} i(0) = 0.$$

Характеристическое уравнение имеет второй порядок

$p^2 + \frac{r}{L}p + \frac{1}{LC} = 0$; его корни $p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$, где $\delta = \frac{r}{2L}$; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$. Вид корней зависит от соотношения между δ и ω_0 .

Условие граничного, критического переходного процесса при кратных корнях заключается в равенстве $\delta^2 = \omega_0^2$ или $\left(\frac{r}{2L}\right)^2 = \frac{1}{LC}$, откуда легко получить критические значения параметров, например, критическое сопротивление $r_{KP} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

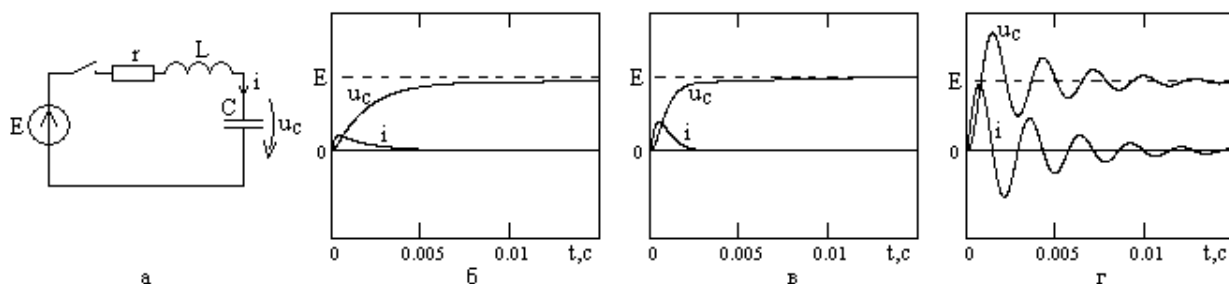


Рисунок 1 – Схема заряда конденсатора а); аperiодический переходный процесс б); критический процесс в); колебательный процесс г)

При большом сопротивлении, когда $r > r_{KP}$ и $\delta^2 > \omega_0^2$, корни характеристического сопротивления вещественные различные $p_{1,2} = -\delta \pm \omega$, где $\omega = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$. В этом случае переходный процесс имеет неколебательный, аperiодический характер: напряжение на конденсаторе $u_c(t) = \frac{E}{2\omega}(p_2 e^{p_1 t} - p_1 e^{p_2 t}) + E$. Ток также имеет неколебательный характер $i(t) = C \frac{du_c}{dt} = \frac{E}{2\omega L}(e^{p_1 t} - e^{p_2 t})$, рисунок 1,б. Длительность процесса оценивается $\Delta t \approx 3\tau_1 = 3 \frac{1}{|p_1|}$.

Критический процесс имеет место при $r = r_{KP}$; кратные корни характеристического уравнения $p_1 = p_2 = -\delta = -\frac{r}{2L}$; напряжение на конденсаторе $u_c(t) = -(E + E\delta t)e^{-\delta t} + E$; ток в цепи $i(t) = \frac{E}{L}te^{-\delta t}$, рисунок 1,в; длительность процесса $\Delta t \approx 3\tau = 3 \frac{1}{\delta}$.

Колебательный переходный процесс возникает при комплексно-сопряженных корнях характеристического уравнения $p_{1,2} = -\delta \pm j\omega$, где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, когда сопротивление меньше критического $r < r_{KP}$ и $\delta^2 < \omega_0^2$. Напряжение на конденсаторе $u_c(t) = -E \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi) + E$; ток в цепи $i(t) = \frac{E}{\omega L} e^{-\delta t} \sin \omega t$, где $\varphi = \arctg \frac{\omega}{\delta}$, рисунок 1,г; длительность процесса $\Delta t \approx 3\tau = 3 \frac{1}{\delta}$; период колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$; частота

колебаний $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$; декремент колебаний $\Delta = e^{\delta T}$; логарифмический декремент $\ln \Delta = \delta T$. Физически возникновение колебательного процесса объясняется тем, что при малом сопротивлении электромагнитная энергия может свободно переливаться из катушки в конденсатор и обратно.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Так как переходный процесс обычно краток (доли секунды), и его трудно непосредственно наблюдать, то для его изучения применяется поляризованное реле РП7. Контакты реле переключаются 50 раз в секунду, и на экране осциллографа возникает неподвижное изображение переходного процесса. Выводы осциллографа обозначены символами: Y – вход, $\perp$ – корпус, тип осциллографа С1-72. В качестве переменного резистора используется магазин сопротивлений РЗЗ.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Исследование переходного процесса напряжения при заряде конденсатора. Соберите схему опыта на рисунке 2. Переходный процесс заряда возникает при переключении контактов в положение 1; в положении контактов 2 конденсатор очень быстро разряжается. Установите исходную катушку L_{1-5} , запишите ее индуктивность и сопротивление обмотки; установите емкость конденсатора $0,5 \text{ мкФ}$; запишите сопротивление дополнительного резистора $r_{ш} = 50 \text{ Ом}$. Подсчитайте критическое сопротивление и установите его на магазине сопротивлений (пожалуйста, имейте ввиду, что в контуре уже есть сопротивления обмотки и дополнительного резистора). Установите масштаб осциллографа по напряжению $m_u = 1 \text{ В/кл}$ и по времени $m_t = 2 \text{ мс/кл}$; на обоих регуляторах установите напряжение $4 \dots 5 \text{ В}$. Добейтесь устойчивого изображения процесса, точно зафиксируйте ось времени и установившееся значение напряжения, аккуратно, по клеткам срисуйте осциллограмму критического процесса.

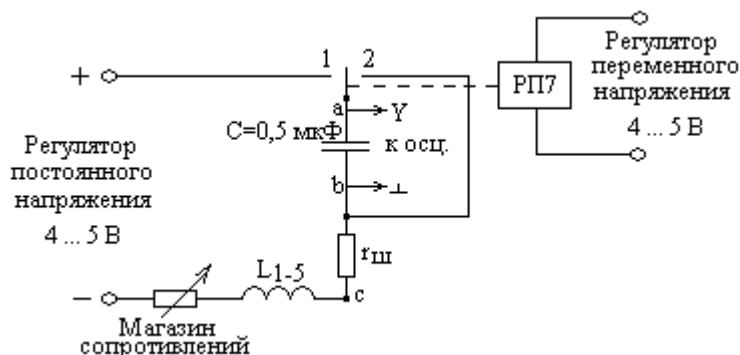


Рисунок 2 – Схема эксперимента

Далее срисуйте осциллограммы колебательного процесса при сопротивлении в контуре гораздо меньшем критического, например, $0,1r_{KP}$ и аperiodического процесса при сопротивлении большем критического, например, $2r_{KP}$. При наборе сопротивлений не забывайте учитывать сопротивления обмотки и дополнительного

резистора. Обратите внимание на то, что с ростом сопротивления переходный процесс утрачивает колебательный характер. Для всех трех случаев по осциллограммам определите длительность процесса, для колебательно процесса определите период, частоту и декремент колебаний.

2. Исследование переходного процесса зарядного тока. Переключите осциллограф параллельно дополнительному резистору $r_{III} = 50 \text{ Ом}$ (корпус в точку c , вход в точку b). Отрегулируйте вертикальный масштаб по напряжению для получения крупного устойчивого изображения, пересчитайте масштаб по току $m_i = \frac{m_u}{r_{III}}$. Повто-

рите исследование переходного процесса при всех тех сопротивлениях переменного резистора, которые Вы устанавливали ранее. Обратите внимание на то, что установившийся ток равен нулю.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для всех трех значений сопротивления переменного резистора рассчитайте корни характеристического уравнения; постройте на одном чертеже расчетные, теоретические графики напряжения для всех трех случаев в тех масштабах, какие были установлены в опыте. На другом чертеже постройте соответствующие теоретические, расчетные графики тока. Сравните расчетные и опытные графики. Рассчитайте длительности переходного процесса; для колебательного процесса рассчитайте частоту, период и декремент колебания, сравните с опытными данными. Сделайте выводы о соответствии опытных и расчетных результатов и о влиянии сопротивления на вид и характер переходного процесса.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схема опыта с указанием включения осциллографа.
3. Осциллограммы всех опытов в масштабах, записанных по положению ручек управления осциллографом и пересчитанных для тока.
4. Теоретические расчетные графики тока и напряжения переходного процесса на конденсаторе в принятых масштабах.
5. Выводы о влиянии сопротивления на вид и характер переходного процесса и о соответствии теоретических и расчетных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия схемы опыта.
2. Объясните пересчет масштаба для тока.
3. Как сопротивление резистора влияет на вид корней характеристического уравнения?
4. Как сопротивление резистора влияет на вид и характер переходного процесса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цель работы: получение вольт – амперных характеристик нелинейных элементов: лампы накаливания, стабилитрона и их соединения; определение статических и дифференциальных сопротивлений этих элементов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Свойства электрических элементов определяются их вольт – амперной характеристикой (ВАХ), т.е. зависимостью тока от напряжения. Если элемент имеет ВАХ в виде прямой линии, проходящей через начало координат, такой элемент является линейным; если эта линия кривая – элемент нелинейный, рисунок 1,а,б.

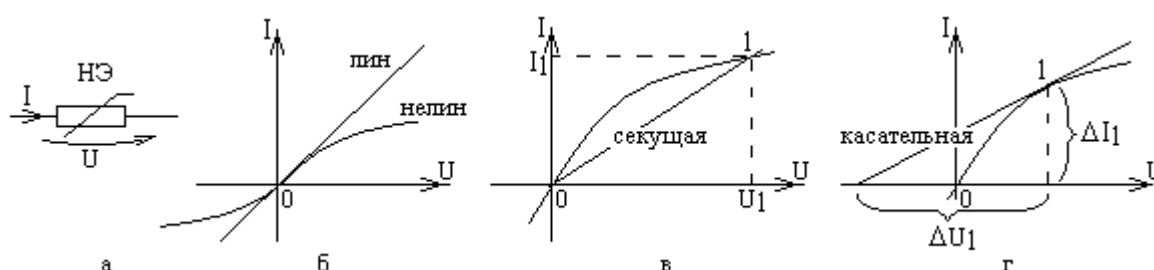


Рисунок 1 – Нелинейный элемент а) и его ВАХ б);
определение статического в) и дифференциального сопротивления г)

Нелинейные элементы (НЭ) имеют по два сопротивления: статическое и дифференциальное. Статическое сопротивление в каждой точке ВАХ определяется по секущей: $r_{ст1} = \frac{U_1}{I_1}$, рисунок 1,в. Дифференциальное сопротивление определяется по касательной: $r_{дф1} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}$, рисунок 1,г. Эти сопротивления не равны друг другу и не постоянны, их величина зависит от положения рабочей точки элемента на ВАХ, т.е. от тока и напряжения. Для линейных элементов оба этих сопротивления совпадают и постоянны.

Если нелинейные элементы соединяются последовательно, рисунок 2,а, то ВАХ их соединения получается сложением ВАХ отдельных элементов по напряжению: $U = U_1 + U_2$; $I = I_1 = I_2$, рисунок 2,б. При параллельном соединении, рисунок 2,в, общая ВАХ получается сложением отдельных ВАХ по току: $I = I_1 + I_2$; $U = U_1 = U_2$, рисунок 2,г.

В лабораторной работе для исследования предлагаются два нелинейных элемента: обыкновенная лампа накаливания и полупроводниковый стабилитрон.

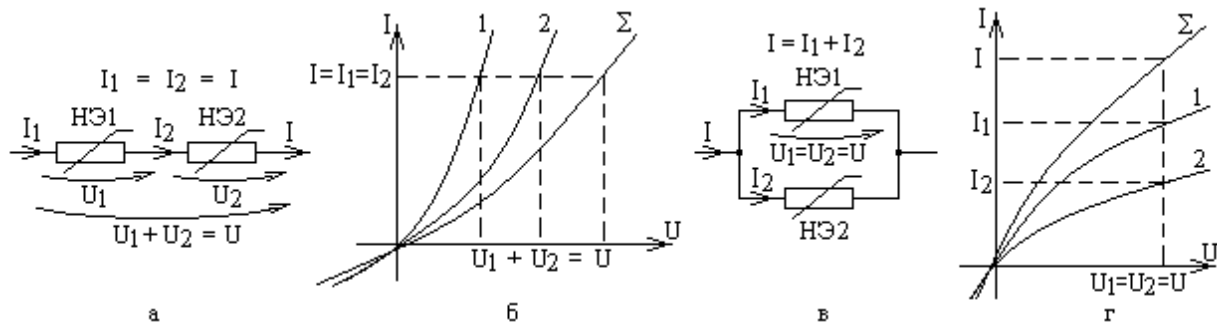


Рисунок 2 – Последовательное соединение а) и получение его ВАХ б);
параллельное соединение в) и получение его ВАХ г)

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для получения прямой ветви вольт – амперной характеристики стабилитрона нужно применять цифровой вольтметр типа Щ433. Для измерения тока применяется аналоговый миллиамперметр.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Исследование ВАХ лампы накаливания. Соберите схему по рисунку 3,а. Плавно увеличивая напряжение регулятора, получите несколько точек ВАХ, данные занесите в таблицу 1. Обратите внимание на замедление роста тока с увеличением напряжения, рисунок 3,б.



Рисунок 3 – Схема получения ВАХ лампы а) и стабилитрона в);
ВАХ лампы б) и стабилитрона г)

Таблица 1 – ВАХ и сопротивления лампы накаливания

$U, \text{В}$	0	8	16	24	32	40	48
$I, \text{мА}$							
$r_{\text{ст}}, \text{Ом}$							
$r_{\text{оф}}, \text{Ом}$							

2. Исследование ВАХ стабилитрона. Соберите схему по рисунку 3,в; резистор $r = 470 \text{ Ом}$ служит для ограничения тока. Получите точки прямой ветви ВАХ стабилитрона, внесите их в таблицу 2. Вы заметите, что напряжение на стабилитроне в прямом включении мало.

Таблица 2 – Прямая и обратная ветви ВАХ стабилитрона

U_{BX}, B		0	8	16	24	32	40	48
Прямая ветвь	U, B							
	I, mA							
	$r_{ct}, Ом$							
	$r_{df}, Ом$							
Обратная ветвь	U, B							
	I, mA							
	$r_{ct}, Ом$							
	$r_{df}, Ом$							

В отличие от лампы ВАХ стабилитрона несимметрична. Для получения обратной ветви ВАХ поменяйте местами контакты подключения схемы к регулятору напряжения, то же сделайте с контактами подключения вольтметра, а также с контактами миллиамперметра. Данные занесите в таблицу 2. В ходе опыта постарайтесь уловить уровень неизменного напряжения на стабилитроне – важнейший параметр – напряжение стабилизации.

3. Исследование ВАХ смешанного соединения лампы, стабилитрона и линейного резистора. Соберите схему по рисунку 4. Плавно увеличивая напряжение, получите точки прямой ветви ВАХ смешанного соединения линейных и нелинейных элементов. Данные занесите в таблицу 3.

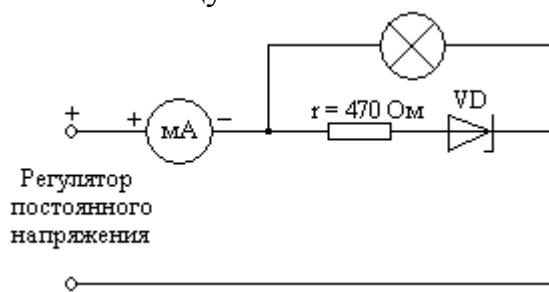


Рисунок 4 – Схема получения ВАХ смешанного соединения

Таблица 3 – Прямая и обратная ветви ВАХ смешанного соединения

U, B		0	8	16	24	32	40	48	56
Прямая ветвь	I, mA								
Обратная ветвь	I, mA								

Для получения обратной ветви ВАХ поменяйте местами контакты подключения схемы к регулятору напряжения, то же сделайте с контактами подключения миллиамперметра. Данные занесите в таблицу 3.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. По данным таблицы 1 постройте ВАХ лампы в масштабе по напряжению $m_U = 5 \text{ В/см}$ и по току $m_I = 10 \text{ мА/см}$ (характеристика симметрично продолжается в третьем квадранте), рисунок 3,б. Рассчитайте статическое и дифференциальное сопротивления лампы и занесите данные в таблицу 1. Постройте графики зависимостей этих сопротивлений от напряжения на одном чертеже в масштабе по напряжению $m_U = 5 \text{ В/см}$ и по сопротивлению $m_R = 50 \text{ Ом/см}$. Вы заметите, что оба эти сопротивления растут с ростом напряжения, причем дифференциальное сопротивление превышает статическое.

2. По данным таблицы 2 постройте ВАХ стабилитрона в масштабе по напряжению $m_U = 5 \text{ В/см}$ и по току $m_I = 10 \text{ мА/см}$, рисунок 3,б. ВАХ обратной ветви располагается в третьем квадранте. Рассчитайте статическое и дифференциальное сопротивления стабилитрона и занесите данные в таблицу 2. Постройте графики зависимостей этих сопротивлений от напряжения на стабилитроне на одном чертеже в масштабе по напряжению $m_U = 5 \text{ В/см}$ и по сопротивлению $m_R = 50 \text{ Ом/см}$. Вы заметите, что сопротивления стабилитрона в прямом включении малы.

3. По данным таблицы 3 постройте ВАХ смешанного соединения элементов в масштабе по напряжению $m_U = 5 \text{ В/см}$ и по току $m_I = 10 \text{ мА/см}$. ВАХ обратной ветви расположите в третьем квадранте. На этом же чертеже в том же масштабе повторите графики ВАХ лампы и стабилитрона, а также постройте ВАХ резистора $r = 470 \text{ Ом}$ (для этого Вам понадобится всего одна точка, например, $U = 20 \text{ В}$, $I = \frac{U}{r}$). Сложением по напряжению постройте ВАХ последовательного соединения резистора и стабилитрона; с полученной линией по току сложите ВАХ лампы. Сложение нужно выполнять как в первом, так и в третьем квадранте. В результате Вы получите ВАХ смешанного соединения. Нанесите на этот график опытные точки ВАХ смешанного соединения из таблицы 3. Сделайте выводы о соответствии опытных и расчетных результатов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схемы опытов по получению ВАХ лампы и стабилитрона, а также смешанного соединения.
3. Таблицы с опытными ВАХ и расчетными статическими и дифференциальными сопротивлениями.
4. Графики ВАХ лампы, стабилитрона и их статических и дифференциальных сопротивлений.
5. Теоретический график ВАХ смешанного соединения, построенный по характеристикам лампы, стабилитрона и резистора, с нанесенными на него опытными точками из таблицы 3.
6. Выводы о соответствии опытных и расчетных результатов, а также о влиянии напряжения на сопротивления нелинейных элементов

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните зависимость сопротивлений лампы накаливания от напряжения.
2. Объясните зависимость сопротивлений стабилитрона от напряжения.
3. Что такое напряжение стабилизации?
4. Как складываются ВАХ элементов при последовательном соединении?
5. Как складываются ВАХ элементов при параллельном соединении?
6. Как строится ВАХ линейного резистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ГЕНЕРАТОР РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ДИНИСТОРЕ

Цель работы: изучение вольт – амперной характеристики динистора; изучение принципа работы генератора релаксационных колебаний на динисторе; исследование зависимости работы генератора от напряжения питания и емкости конденсатора.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Динистор – двухполюсный ключевой полупроводниковый прибор (рисунок 1,а). Свойства динистора определяются его вольт – амперной характеристикой (ВАХ), рисунок 1,б. Динистор может находиться в двух состояниях: закрытом (участок П1 – П2 характеристики) и открытом в прямом направлении (почти вертикальный участок характеристики от точки удерживания U_1 и выше) или в обратном направлении (почти вертикальный участок от точки удерживания U_2 и ниже). Участок ВАХ, соответствующий закрытому состоянию, ограничен пороговыми точками П1 и П2. В закрытом состоянии динистор ведет себя как нелинейный резистор со слабо выраженной нелинейностью и большими сопротивлениями $r_{см} \approx r_{дф}$ порядка $10^3 \dots 10^4$ Ом.

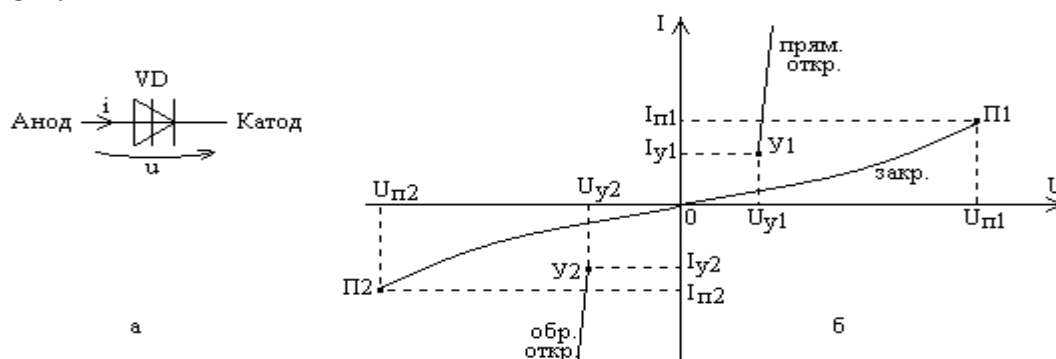


Рисунок 1 – Динистор и его вольт – амперная характеристика

Если напряжение, приложенное к динистору, превышает пороговое значение соответствующей полярности $U_{п1}$ или $U_{п2}$, закрытый динистор открывается, и его рабочая точка скачком переходит на соответствующий, почти вертикальный участок ВАХ открытого состояния. В открытом состоянии сопротивление динистора мало.

(порядка единиц Ом). Если в открытом состоянии ток диностора станет меньше тока удерживания I_{Y1} или I_{Y2} , диностор закрывается, и его рабочая точка скачком переходит на участок П1 – П2.

Статическая ВАХ диностора может быть получена экспериментально путем измерения напряжения и тока при питании от регулируемого источника постоянного напряжения, рисунок 2,а. Изображение динамической ВАХ диностора может быть получено непосредственно на экране осциллографа, рисунок 2,б; на промышленной частоте динамическая характеристика весьма близка к статической.

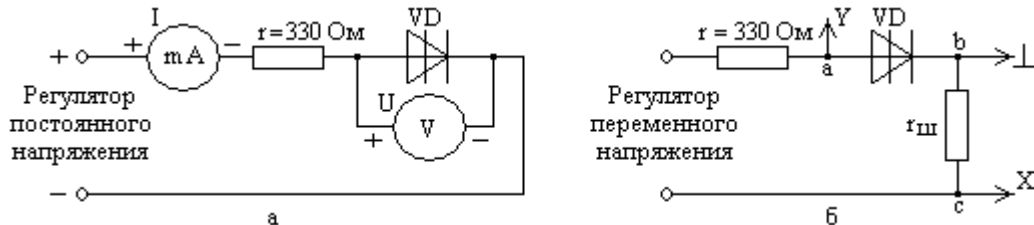


Рисунок 2 – Схемы получения вольт – амперных характеристик диностора:
а) статической характеристики; б) динамической характеристики

На базе диностора строится один из самых простых генераторов импульсов – генератор релаксационных колебаний. Схема такого генератора изображена на рисунке 3,а. При наличии напряжения питания, пока диностор закрыт, конденсатор заряжается через резистор r . Переходный процесс заряда описывается уравнением

$$r \cdot r_{\text{дф}} C \frac{du_c}{dt} + (r + r_{\text{дф}}) u_c = E \cdot r_{\text{дф}}$$

с решением

$$u_c(t) = u_{C_{\text{уст}}} + u_{C_{\text{своб}}} = E \frac{r_{\text{дф}}}{r + r_{\text{дф}}} + \left(U_{Y1} - E \frac{r_{\text{дф}}}{r + r_{\text{дф}}} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

при начальном условии $u_c(0) = U_{Y1}$, где постоянная времени $\tau = \frac{r_{\text{дф}} r C}{r_{\text{дф}} + r}$; U_{Y1} – напряжение, соответствующее точке удерживания; $r_{\text{дф}}$ – дифференциальное сопротивление закрытого диностора. По мере заряда конденсатора в момент T , когда нарастающее напряжение на заряжающемся конденсаторе достигает порогового значения $U_{\text{П1}}$, диностор открывается, и конденсатор начинает очень быстро разряжаться через малое сопротивление открытого диностора. Напряжение на конденсаторе практически мгновенно падает до уровня U_{Y1} , соответствующего точке удерживания $Y1$, вследствие чего диностор закрывается, конденсатор снова начинает заряжаться, и процесс периодически повторяется. Таким образом, в цепи происходят непрерывные колебания напряжения на конденсаторе с периодом T , которые и называются релаксационными, рисунок 3,б.

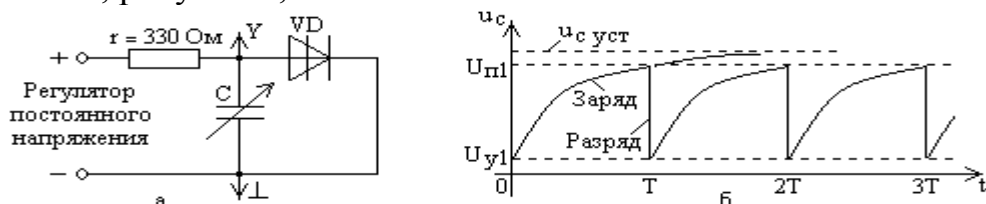


Рисунок 3 – Генератор релаксационных колебаний:
а) схема; б) график выходного напряжения

Если при малом напряжении питания E установившееся напряжение $u_{C_{уст}} = E \frac{r_{\partial\phi}}{r + r_{\partial\phi}}$ меньше порогового напряжения $U_{п1}$, диностор не открывается, и колебания не возникают. С ростом напряжения питания величина нового установившегося напряжения увеличивается, и напряжение на конденсаторе быстрее достигает порогового значения. Период колебаний уменьшается, а их частота увеличивается. При малых значениях емкости конденсатор заряжается быстро, период колебаний мал, частота велика. С ростом емкости частота колебаний уменьшается.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Схемы опыта получения ВАХ диностора показаны на рисунке 2; резистор 330 Ом уже соединен с диностором. Для измерения тока применяется аналоговый миллиамперметр, для измерения напряжения – аналоговый вольтметр Ц330. Для наблюдения динамической ВАХ диностора используется осциллограф С1-17, вертикальный вход которого обозначен значком Y, горизонтальный – X, корпус – $\perp$.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Получите сначала статическую вольт – амперную характеристику диностора. Для исследования прямой ветви ВАХ соберите схему по рисунку 2,а. Плавное увеличение напряжения регулятора от нуля через 4...5 В, получите несколько точек ВАХ закрытого состояния диностора, Вы заметите, что ток закрытого диностора мал, а его сопротивление велико. Данные занесите в первые две строки таблицы 1.

Таблица 1 – Прямая ветвь статической ВАХ диностора

№		1	2	3	4	5	6	7
Прямая ветвь	U , В							
	I , mA							
	r_{cm} , Ом							
	$r_{\partial\phi}$, Ом							
Обратная ветвь	U , В							
	I , mA							
	r_{cm} , Ом							
	$r_{\partial\phi}$, Ом							

По возможности точнее постарайтесь заметить те значения напряжения и тока, с которых происходит скачок тока вверх, а напряжения - до нуля, т.е. открывание диностора. Этим Вы получите прямую пороговую точку $U_{п1}$, $I_{п1}$. Плавное уменьшение входное напряжение при открытом диносторе, по возможности точнее постарайтесь заметить те значения напряжения и тока, с которых происходит запирающее диностора (напряжение скачком нарастает, ток падает почти до нуля). Вы получите прямую

точку удерживания U_{y1} , I_{y1} (обычно эти величины малы). Для исследования обратной ветви ВАХ сбросьте напряжение регулятора на нуль, поменяйте полярность источника питания и приборов и повторите опыт, данные занесите в таблицу 1.

2. Для наблюдения динамической ВАХ динистора по мгновенным значениям напряжения и тока промышленной частоты соберите схему по рисунку 2,б. Корпус осциллографа подсоединяется в точку b , вход Y – в точку a , вход X – в точку c . Вход осциллографа должен быть открыт. Запишите сопротивление резистора $r_{ш}$. Плавно изменяя входное напряжение в пределах 10...20 В, понаблюдайте, как эволюционирует вид ВАХ. В силу конструктивных особенностей осциллографа изображение ВАХ на экране будет повернуто на 90^0 против часовой стрелки. Отрегулируйте величину изображения, запишите вертикальный масштаб по напряжению m_U В/кл; встроенный горизонтальный масштаб составляет 1 В/кл. Поделите горизонтальный масштаб на $r_{ш}$ и получите масштаб по току m_I А/Кл. Выявите точки удерживания и пороговые точки, сравните их с полученными по статической характеристике. Срисуйте несколько характерных осциллограмм, сравните со статической ВАХ.

3. Соберите схему генератора по рисунку 3,а, вход осциллографа должен быть открыт. Установите начальное значение емкости конденсатора 5 мкФ. Поворачивая ручку регулятора постоянного напряжения, «поймайте» колебания, добейтесь их крупного устойчивого изображения, рисунок 3,б. Запишите вертикальный масштаб по напряжению m_U В/кл и горизонтальный масштаб по времени m_t мс/кл. Убедитесь, что вид колебаний, их частота, период сильно зависят от входного напряжения. Постарайтесь выявить то минимальное входное напряжение, при котором еще существуют колебания, сравните с $U_{п1}$. Аккуратно срисуйте 2...3 осциллограммы при различных входных напряжениях. Вы заметите, что с ростом напряжения частота колебаний растет.

4. Для исследования зависимости работы генератора от емкости срисуйте при неизменном входном напряжении осциллограммы для нескольких значений емкости конденсатора, например, 1 мкФ, 10 мкФ, Вы заметите, что с ростом емкости частота колебаний падает.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По опытным данным таблицы 1 постройте график статической ВАХ динистора, отметьте пороговые точки и точки удерживания; сравните их с соответствующими значениями на динамической ВАХ. В точках на участке ВАХ, соответствующем закрытому состоянию динистора, подсчитайте статическое и дифференциальное сопротивления динистора, результаты занесите в таблицу 1. Постройте графики зависимостей этих сопротивлений от напряжения на динисторе. Сделайте выводы о влиянии приложенного напряжения на величины статического и дифференциального сопротивлений закрытого динистора. Определите среднее значение дифференциального сопротивления $r_{дф}$.

По выражению (1) постройте теоретические графики выходного напряжения генератора для всех проведенных опытов с различными входными напряжениями и емкостями (разряд конденсатора можно считать мгновенным). Чтобы опытные и расчетные результаты удобнее было сравнивать, построение постарайтесь выполнить точно в тех масштабах, какие у Вас определены в опытах по положению ручек осциллографа. Для каждого опыта определите период и частоту колебаний, как по опытным графикам, так и по теоретическим кривым.

Сравните опытные и расчетные графики выходного напряжения генератора. Постройте кривую зависимости частоты колебаний от емкости и кривую зависимости частоты от входного напряжения по расчетным теоретическим графикам, отметьте на них опытные точки. Сделайте выводы о том, как и почему входное напряжение и емкость влияют на частоту и период колебаний и на их форму.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Таблица 1 с опытными данными для статической ВАХ диодистора, схема эксперимента для получения этой характеристики с указанием типов приборов, график статической ВАХ.
3. Графики зависимостей статического и дифференциального сопротивлений закрытого диодистора от напряжения. Выводы о влиянии величины напряжения на эти сопротивления.
4. Схема эксперимента получения динамической ВАХ, осциллограммы динамической ВАХ для нескольких входных напряжений, масштабы, записанные по положению ручек осциллографа и пересчитанные для тока.
5. Схема генератора, дифференциальное уравнение напряжения на конденсаторе и его решение, описание принципа действия генератора.
6. Осциллограммы, иллюстрирующие работу генератора при различных входных напряжениях и емкостях, масштабы, принятые в опыте.
7. Теоретические графики выходного напряжения генератора в масштабах, принятых в опытах и при тех же значениях напряжения и емкости.
8. Теоретические графики зависимостей частоты колебаний от емкости и входного напряжения с нанесенными на них опытными точками. Выводы о влиянии входного напряжения и емкости на работу схемы и о соответствии опытных и расчетных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Выведите соотношение (1).
2. Объясните принцип работы генератора.
3. Объясните подключение осциллографа и действие схемы по получению динамической ВАХ диодистора.
4. Почему изображение ВАХ оказывается повернутым?
5. Почему колебания не возникают при небольшом входном напряжении?

6. Почему при увеличении входного напряжения генератора частота колебаний растет, а их амплитуда не изменяется?
7. Почему с ростом емкости частота колебаний падает, а их амплитуда не изменяется?
8. Почему разряд конденсатора можно считать мгновенным?
9. Как статическое и дифференциальное сопротивления диода зависят от напряжения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ЕМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ

Цель работы: изучение однофазных одно и двухполупериодных выпрямителей, трехфазного однополупериодного выпрямителя; исследование влияния параллельного емкостного фильтра на качество выходного напряжения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Выпрямительные схемы предназначены для преобразования переменного напряжения в напряжение одной полярности и чрезвычайно широко применяются в электронике, электротехнике и электроэнергетике.

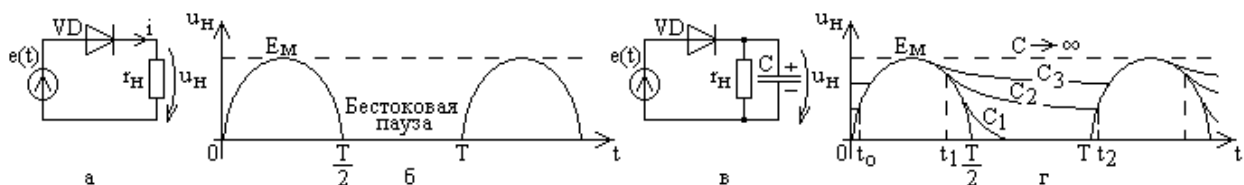


Рисунок 1 – Однофазный однополупериодный выпрямитель:

- а) схема без емкостного фильтра; б) напряжение на нагрузке;
в) схема с емкостным фильтром; г) напряжение на нагрузке: $C_3 > C_2 > C_1$

Схема простейшего, однофазного однополупериодного выпрямителя изображена на рисунке 1,а, где VD – полупроводниковый диод; r_H – сопротивление нагрузки; на входе схемы – источник синусоидального напряжения. В положительный полупериод входного напряжения диод открыт, и на нагрузку проходит полуволна напряжения питания. В отрицательный полупериод диод закрыт, и на нагрузке возникает бестоковая пауза, рисунок 1,б. Показатели качества напряжения на нагрузке в этой схеме невысоки: КПД $\eta \approx 0,406$; коэффициент пульсаций $\varepsilon \approx 1,21$.

Схема подобного выпрямителя с емкостным фильтром изображена на рисунке 1,в, а графики напряжения на нагрузке при различных емкостях – на рисунке 1,г. На интервале времени $t_0 - t_1$ диод открыт, напряжение на нагрузке равно напряжению питания; конденсатор заряжается. В момент t_1 диод закрывается; конденсатор разряжается на сопротивление нагрузки, и напряжение на нем уменьшается по экспоненте в соответствии с выражением $u_C(t) = U_M \sin \omega t_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$, где $\tau = rC$ – постоянная времени разряда, а t отсчитывается от момента t_1 закрывания диода:

$t_1 = \frac{-\arctg(\omega r_H C) + \pi}{\omega}$; на этом интервале происходит сглаживание. Момент t_2

следующего открывания диода, прекращения разряда и возобновления заряда конденсатора определяется пересечением графиков экспоненты разряда и следующей, положительной полуволны синусоиды. Бестоковая пауза здесь сокращается или совсем исчезает, график напряжения на нагрузке становится более гладким, показатели качества улучшаются: КПД растет, а коэффициент пульсаций уменьшается. С ростом емкости или сопротивления нагрузки момент t_1 приближается к значению $\frac{T}{4}$

(вершина синусоиды), а момент t_2 – к $\frac{5T}{4}$ (вершина следующей полуволны). Кроме того, растет постоянная времени, экспонента приподнимается, график напряжения становится более гладким, и показатели качества улучшаются. В пределе при $\tau \rightarrow \infty$ наступает идеальное сглаживание, график напряжения проходит по вершинам синусоиды; КПД $\eta = 1$; коэффициент пульсаций $\varepsilon = 0$.

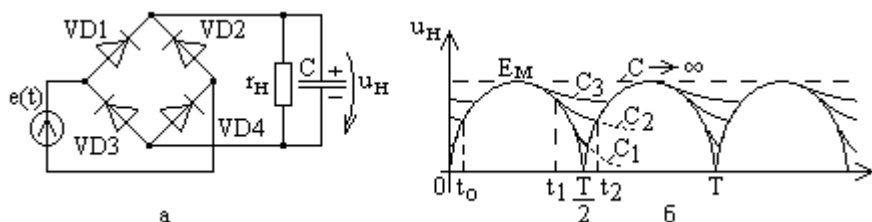


Рисунок 2 – Однофазный двухполупериодный выпрямитель:

а) схема с емкостным фильтром; б) напряжение на нагрузке: $C_3 > C_2 > C_1$

Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя (мостик Гретца) изображена на рисунке 2,а, график выходного напряжения на нагрузке – на рисунке 2,б. Если емкости фильтра нет, на нагрузке возникают полуволны синусоиды входного напряжения, бестоковая пауза отсутствует, $\eta = 0,812$; $\varepsilon = 0,483$, т.е. даже без фильтра показатели качества гораздо лучше, чем в предыдущей однополупериодной схеме. При наличии емкости возникает эффект сглаживания: на интервале $t_0 - t_1$ диоды $VD1, VD4$ открыты, диоды $VD2, VD3$ закрыты, на нагрузке возникает полуволна напряжения питания, конденсатор заряжается. На интервале $t_1 - t_2$ все диоды закрыты, и конденсатор разряжается на сопротивление нагрузки, происходит сглаживание. На интервале $t_2 - t_3$ открываются диоды $VD2, VD3$, и конденсатор вновь заряжается до напряжения питания. С ростом емкости или сопротивления нагрузки происходит улучшение качества выходного напряжения.

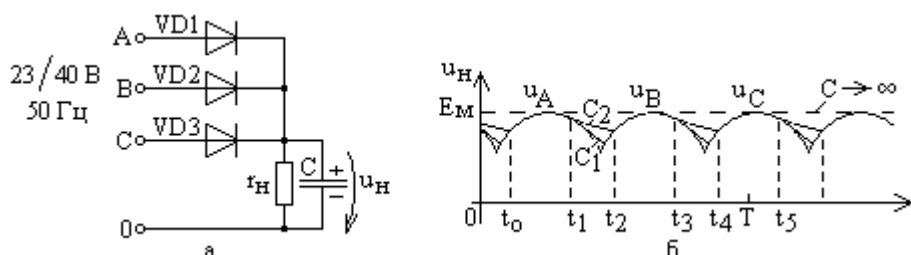


Рисунок 3 – Трехфазный однополупериодный выпрямитель:

а) схема с емкостным фильтром; б) напряжение на нагрузке: $C_2 > C_1$

Схема трехфазного однополупериодного выпрямителя (схема Миткевича) с параллельным емкостным фильтром изображена на рисунке 3,а; график выходного напряжения – на рисунке 3,б. При отсутствии емкости фильтра на нагрузке возникает напряжение, состоящее из огибающей трехфазного напряжения питания: бестоковая пауза отсутствует, максимальный провал напряжения на нагрузке составляет половину амплитудного значения. В этой схеме самый большой КПД и минимальный коэффициент пульсаций даже без сглаживающего фильтра. Тем не менее, при наличии фильтра возникает эффект сглаживания. На интервале $t_0 - t_1$ открыт диод $VD1$, прочие закрыты; на нагрузку попадает напряжение фазы A источника питания. На интервале $t_1 - t_2$ все диоды закрыты, и конденсатор разряжается на нагрузку. На интервале $t_2 - t_3$ открыт диод $VD2$, и на нагрузку попадает напряжение фазы B . На интервале $t_4 - t_5$ открыт диод $VD3$, и на нагрузку попадает напряжение фазы C .

Легко заметить, что если $t_1 > \frac{5T}{12} ms$, разряд емкости не наступает, сглаживания не происходит. Поэтому существует предельное минимальное значение емкости или сопротивления нагрузки, при котором еще происходит сглаживание выпрямленного напряжения. Эффективность применения фильтра в этой схеме невысока.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения действующего значения выпрямленного напряжения U применяется вольтметр электромагнитной системы типа Э377; для измерения среднего значения напряжения U_0 – вольтметр магнитоэлектрической системы типа Ц330. Для наблюдения выпрямленного напряжения используется осциллограф С1-72.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Исследование однофазного, однополупериодного выпрямителя.

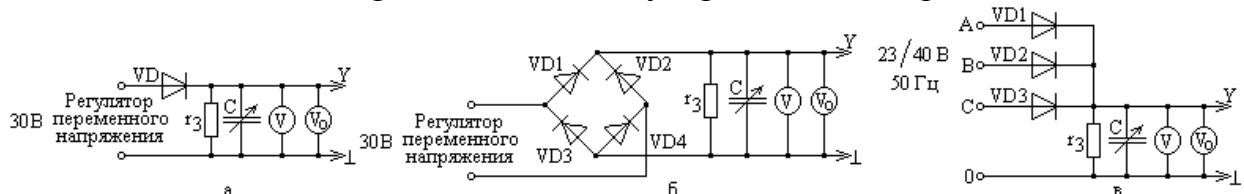


Рисунок 4 – Схемы эксперимента:

- а) однофазный однополупериодный выпрямитель;
- б) однофазный двухполупериодный выпрямитель (мостик Гретца);
- в) трехфазный однополупериодный выпрямитель (схема Миткевича)

Соберите схему по рисунку 4,а, запишите величину сопротивления r_3 ; установите на осциллографе масштаб по напряжению $m_u = 10 B / кл$ и по времени $m_t = 2 мс / кл$ или $m_t = 5 мс / кл$. Вход осциллографа должен быть открыт. Установите нулевую емкость. Срисуйте осциллограмму напряжения на нагрузке. Отчетливо выделите горизонтальную ось времени, определите амплитуду напряжения

$U_M = \sqrt{2}U_{BX}$, оцените величину бестоковой паузы. Запишите среднее и действующее значения напряжения, сравните с теоретическими: $U_0 = \frac{U_M}{\pi}$; $U = \frac{U_M}{2}$. Срисуйте осциллограммы напряжения на нагрузке для емкостей 10 мкФ ; 20 мкФ ; 30 мкФ ; $C \rightarrow \infty$ (идеальное сглаживание, для имитации которого включите все емкости и выключите напряжение нагрузки, в этом случае $U_0 = U = U_M$). Вы заметите, как улучшается форма напряжения: вершинки кривой остаются на прежнем уровне, а нижние уголки смещаются вверх, за счет чего кривая становится более плавной. Действующие и средние значения напряжений при каждой емкости внесите в таблицу 1 (действующее напряжение всегда больше среднего).

Таблица 1 – Однофазный однополупериодный выпрямитель

$C, \text{ мкФ}$	0	10	20	30	∞
U_0, B					
U, B					
$U_{\approx}, B$					
τ, c					
t_1, c					
η					
ε					

2. Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя.

Соберите схему по рисунку 4,б, которая отличается от предыдущей только наличием мостика на полупроводниковых диодах. Полностью аналогично исследуйте работу выпрямителя с различными емкостями. Обратите внимание на отсутствие бестоковой паузы. Результаты измерения напряжений при нулевой емкости сравните с теоретическими значениями напряжений: $U_0 = \frac{2U_M}{\pi}$; $U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$. Результаты измерений напряжений внесите в таблицу 2, полностью аналогичную таблице 1.

3. Исследование трехфазного однополупериодного выпрямителя.

Соберите схему по рисунку 4,в, которая также очень похожа на предыдущие. Включите трехфазное питание: фазное напряжение $23 B$; линейное – $40 B$. Полностью аналогично исследуйте работу выпрямителя с различными емкостями, результаты измерений среднего и действующего напряжений внесите в таблицу 3, полностью аналогичную предыдущим. Попробуйте подобрать такую максимальную емкость, при которой сглаживания уже не происходит.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для однофазного однополупериодного выпрямителя рассчитайте для всех емкостей действующее значение переменной составляющей напряжения $U_{\approx} = \sqrt{U^2 - U_0^2}$; постоянную времени разрядного контура $\tau = rC$; момент закрыва-

ния диода t_1 ; КПД $\eta = \left(\frac{U_0}{U}\right)^2$ и коэффициент пульсаций $\varepsilon = \frac{U_{\approx}}{U_0}$. Результаты расчетов занесите в таблицу 1. На одном чертеже в масштабах, принятых в опытах, постройте теоретические графики выходного напряжения для всех емкостей, сравните эти графики с осциллограммами. Постройте графики зависимостей КПД и коэффициента пульсаций от емкости в масштабах: $m_C = 5 \text{ мкФ/см}$; $m_{\mu, \varepsilon} = 0,2 \text{ 1/см}$. Сделайте выводы о влиянии емкости на качество выходного напряжения. Полностью аналогично выполните исследование для однофазного двухполупериодного и трехфазного однополупериодного выпрямителей. Сравните качество выходного напряжения в трех исследованных схемах выпрямителей.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схемы экспериментов по исследованию трех выпрямителей.
3. Осциллограммы напряжений на нагрузке в трех схемах с различными емкостями.
4. Таблицы опытных и расчетных результатов.
5. Теоретические графики напряжений на нагрузке для трех схем с различными емкостями.
6. График зависимостей КПД и коэффициента пульсаций от емкости для трех схем выпрямителей.
7. Выводы о влиянии емкости и схемы выпрямления на качество напряжения на нагрузке, а также о соответствии опытных и расчетных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия трех исследованных выпрямителей.
2. Объясните принцип действия параллельного емкостного фильтра.
3. Объясните имитацию бесконечной емкости.
4. Как емкость фильтра влияет на качество выходного напряжения?
5. Как нагрузка влияет на качество выходного напряжения?
6. Как характер схемы влияет на качество выходного напряжения?
7. Оцените эффективность фильтра в разных схемах выпрямителей.
8. Оцените эффективность фильтра для разных сопротивлений нагрузки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНДУКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ

Цель работы: изучение работы однофазного однополупериодного выпрямителя с последовательным индуктивным фильтром; исследование влияния обратного диода на работу выпрямителя.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Выпрямительные схемы предназначены для преобразования переменного напряжения в напряжение одной полярности. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя изображена на рисунке 1,а, где обозначены: VD – полупроводниковый диод; r_H – сопротивление нагрузки; $e(t)$ – источник синусоидального напряжения. В положительный полупериод диод открыт, и по нагрузке проходит полуволна тока: $i(t) = \frac{e(t)}{r_H}$. В отрицательный полупериод диод закрыт, и на нагрузке возникает бестоковая пауза, рисунок 1,б. Показатели качества в этой схеме не высоки: КПД $\eta = 40,6\%$; коэффициент пульсаций $\varepsilon = 1,21$.

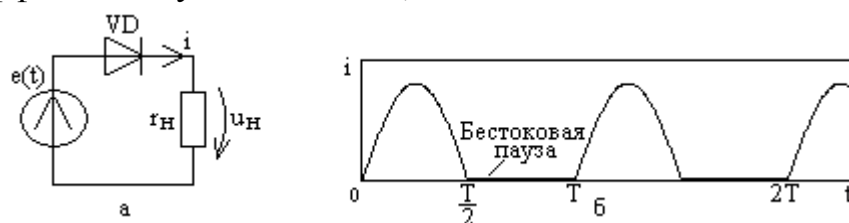


Рисунок 1 – Однофазный однополупериодный выпрямитель:
а) схема; б) график тока

Схема выпрямителя с последовательным индуктивным фильтром изображена на рисунке 2,а, а график тока – на рисунке 2,б.

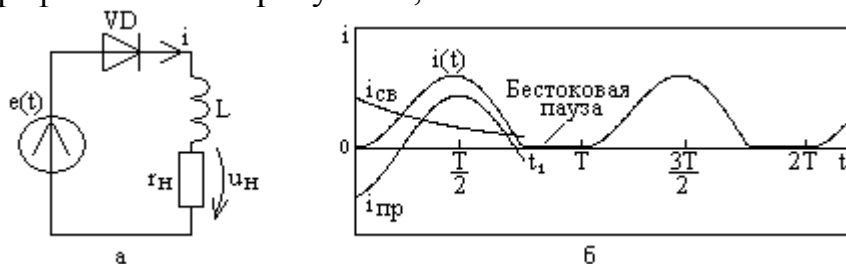


Рисунок 2 – Однофазный однополупериодный выпрямитель
с индуктивным фильтром: а) схема; б) график тока

На интервале времени $0 - t_1$ диод открыт, и в схеме развивается переходный процесс включения последовательной резистивно–индуктивной цепи на синусоидальное напряжение. Этот переходный процесс описывается дифференциальным уравнением

$L \frac{di}{dt} + ri = E_M \sin \omega t$, а его решение имеет вид

$$i(t) = i_{пр}(t) + i_{св}(t) = I_M \sin(\omega t - \varphi) + I_M \sin \varphi \cdot e^{-\frac{r}{L}t}, \quad (1)$$

где $I_M = \frac{E_M}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}}$ – амплитуда установившегося значения тока; $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{r}$ –

разность фаз между входным напряжением и током. Момент t_1 закрывания диода определяется пересечением графика $i(t)$ с осью времени; между моментами t_1 и T – бестоковая пауза, диод закрыт. Начиная с момента T , процесс повторяется. С ростом индуктивности и уменьшением сопротивления нагрузки бестоковая пауза сокращается, КПД растет. В идеальном случае при $r \rightarrow 0$ бестоковая пауза исчезает,

моменты t_1 и T совпадают. Диод практически не закрывается, а ток принимает форму косинусоиды, смещенной вверх на величину своей амплитуды $i(t) = -I_M \cos \omega t + I_M$. Таким образом, индуктивный фильтр не снижает коэффициента пульсаций. Для решения этой задачи в схему включается обратный диод.

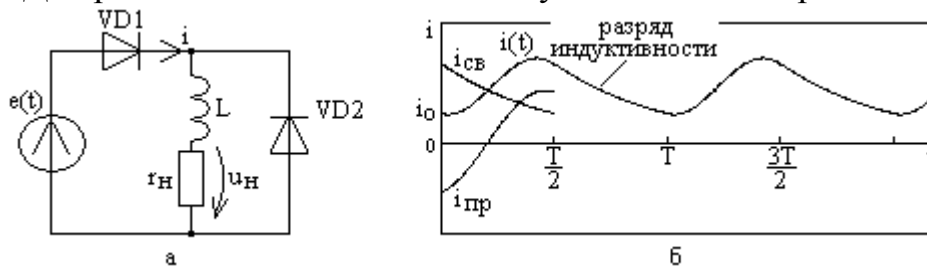


Рисунок 3 – Однофазный однополупериодный выпрямитель с обратным диодом: а) схема; б) график тока

Схема однофазного однополупериодного выпрямителя с индуктивным фильтром и с обратным диодом изображена на рисунке 3,а, на котором обозначены: $VD1$ – силовой диод; $VD2$ – обратный диод. На интервале времени от времени $0 - \frac{T}{2}$ силовой диод открыт, обратный диод закрыт, рисунок 3,б. В схеме развивается переходный процесс включения резистивно–индуктивной цепи на синусоидальное напряжение с начальным условием $i(0) = i_0 = \frac{I_M \sin \varphi}{e^{\frac{T}{2\tau}} - 1}$ и с постоянной времени $\tau = \frac{L}{r}$:

$$i(t) = i_{пр}(t) + i_{св}(t) = I_M \sin(\omega t - \varphi) + (i_0 + I_M \sin \varphi) \cdot e^{-\frac{r}{L}t}, \quad (2)$$

В момент $\frac{T}{2}$ силовой диод $VD1$ закрывается, а обратный $VD2$ открывается, и на интервале $\frac{T}{2} \dots T$ возникает процесс разряда катушки через обратный диод:

$$i(t) = \left[I_M \sin \varphi + (i_0 + I_M \sin \varphi) \cdot e^{-\frac{T}{2\tau}} \right] \cdot e^{-\frac{t - \frac{T}{2}}{\tau}}. \quad (3)$$

Благодаря этому форма тока в нагрузке сглаживается, бестоковая пауза исчезает. С ростом индуктивности и с уменьшением сопротивления нагрузки постоянная времени растет, также растет i_0 и величина тока (накачка тока), форма тока все более сглаживается, КПД увеличивается, коэффициент пульсаций уменьшается.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Источником питания служит регулятор переменного напряжения. Для измерения действующего значения тока I применяется аналоговый амперметр электромагнитной системы Э377. Для измерения среднего значения тока (постоянной составляющей) I_0 применяется аналоговый амперметр магнитоэлектрической системы типа Ц330. Переменная индуктивность устанавливается на катушке с отводами; для наблюдения формы тока применяется осциллограф типа С1-72.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Исследование однофазного однополупериодного выпрямителя с последовательным индуктивным фильтром выполняется по схеме на рисунке 4,а.

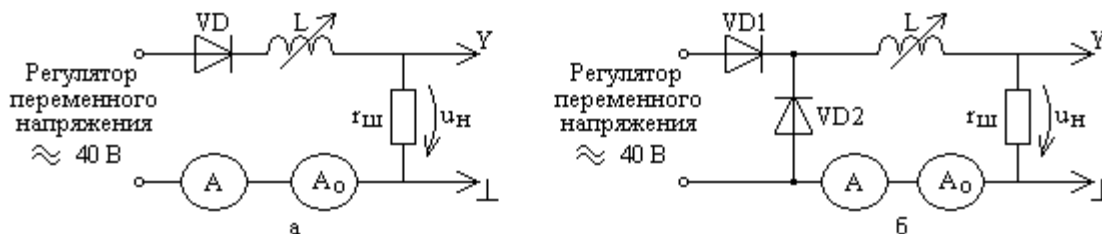


Рисунок 4 – Схемы экспериментального исследования выпрямителя с индуктивным фильтром: а) без обратного диода; б) с обратным диодом

Запишите сопротивление нагрузочного резистора $r_{ш}$. Установите нулевую индуктивность, добейтесь устойчивой картинке на экране осциллографа; вход его должен быть открыт. Рекомендуемые масштабы: по напряжению $m_U = 10 \text{ В/кл}$; по времени $m_t = 5 \text{ мс/кл}$ или 2 мс/кл . Поделите масштаб по напряжению на $r_{ш}$ и полу-

чите масштаб по току $m_i = \frac{m_U}{r_{ш}}$ А/кл. Определите амплитуду тока I_M , запишите

среднее I_0 и действующее I значения тока, сравните с теоретическими значениями

(при нулевой индуктивности): $I_0 = \frac{I_M}{\pi}$; $I = \frac{I_M}{2}$; $\eta = \left(\frac{I_0}{I} \right)^2 = 0,406$; коэффициент

пульсаций $\varepsilon = \frac{I_{\approx}}{I_0} = 1,21$; $I_{\approx} = \sqrt{I^2 - I_0^2}$. Срисуйте осциллограмму тока без фильтра.

Для оценки влияния индуктивного фильтра срисуйте осциллограммы выпрямленного тока для катушек 5-10; 1-4; 1-10, запишите среднее и действующее значения тока в таблицу 1, туда же внесите индуктивности и сопротивления катушек. Обратите внимание на то, что кривая тока не становится более гладкой, сокращается лишь бестоковая пауза и уменьшается амплитуда тока (почему?).

Таблица 1 – Однофазный однополупериодный выпрямитель с индуктивным фильтром

Катушки	0	5 – 10	1 – 4	1 – 10
L , Гн				
r , Ом				
I , А				
I_0 , А				
$I_{\approx}$, А				
τ , с				
Бестоковая пауза, с				
η				
ε				

2. Для исследования однофазного однополупериодного выпрямителя с последовательным индуктивным фильтром и обратным диодом соберите схему по рисунку 4,б, которая отличается от предшествующей только наличием обратного диода $VD2$. Полностью аналогично выполните анализ этой схемы при различных индуктивностях, результаты занесите в таблицу 2, идентичную таблице 1. Обратите внимание на сглаживание кривой тока и исчезновение бестоковой паузы.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным двух опытов рассчитайте действующее значение переменной составляющей тока нагрузки $I_{\approx} = \sqrt{I^2 - I_0^2}$; постоянную времени $\tau = \frac{L}{r_{ш} + r_{обм}}$; коэффициент полезного действия $\eta = \left(\frac{I_0}{I}\right)^2$ и коэффициент пульсаций $\varepsilon = \frac{I_{\approx}}{I_0}$. По осцилло-

граммам первого опыта определите бестоковую паузу. Результаты занесите в таблицы 1 и 2. На одном чертеже в масштабах, принятых в опытах, постройте теоретические графики зависимостей тока от времени для всех индуктивностей в схеме без обратного диода по выражению (1); на другом чертеже – в схеме с обратным диодом по выражениям (2), (3). Везде не забывайте учитывать сопротивления обмотки катушки. Сравните эти графики с осциллограммами.

Постройте графики зависимостей КПД и коэффициента пульсаций от индуктивности на одном чертеже для обеих схем; рекомендуемые масштабы: по индуктивности $m_L = 0,1$ Гн/см; по коэффициентам $m_{\eta, \varepsilon} = 0,2$ 1/см. Сделайте выводы о соответствии опытных и теоретических кривых тока, а также о влиянии индуктивности на показатели качества схем выпрямителя. Сравните качество выпрямительных схем с обратным диодом и без него.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схемы экспериментов с указанием типов приборов.
3. Осциллограммы тока в обеих схемах для разных индуктивностей с указанием масштабов.
4. Таблицы опытных и расчетных результатов.
5. Теоретические графики зависимостей тока от времени в обеих схемах для всех индуктивностей в масштабах, принятых в опытах.
6. Графики зависимостей КПД и коэффициента пульсаций от индуктивности для обеих схем.
7. Выводы о влиянии индуктивности и обратного диода на эффективность работы выпрямителя, а также о соответствии опытных и расчетных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия однофазного однополупериодного выпрямителя.
2. Объясните принцип действия последовательного индуктивного фильтра.

3. Объясните принцип действия обратного диода.
4. Объясните причину сокращения бестоковой паузы в схеме без обратного диода и ее полное исчезновение при наличии этого диода.
5. Объясните явление накачки тока.
6. Как индуктивность влияет на показатели качества обеих схем?
7. Как сопротивление нагрузки влияет на показатели качества обеих схем?
8. Какова область предпочтительного использования выпрямительных схем с индуктивным фильтром?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

ФЕРРОРЕЗОНАНС В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

Цель работы: исследование вольт – амперных характеристик катушки с ферромагнитным сердечником и последовательного соединения ее с конденсатором; изучение триггерного эффекта в последовательной цепи; анализ феррорезонансного стабилизатора напряжения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Нелинейная вольт – амперная характеристика (ВАХ) катушки с ферромагнитным сердечником по действующим значениям тока и напряжения обусловлена насыщением сердечника и изображена на рисунке 1,а, а схема ее экспериментального получения – на рисунке 1,б. Исследуемая феррорезонансная цепь состоит из последовательного соединения подобной катушки и конденсатора, рисунок 2,а. Заменяя несинусоидальное напряжение и ток в такой цепи эквивалентными синусоидами, получаем векторную диаграмму тока и напряжений, рисунок 2,б, из которой следует, что напряжения на катушке и конденсаторе практически противофазны и при резонансе почти компенсируют друг друга. В отличие от резонанса в линейной цепи режим феррорезонанса может достигаться изменением входного напряжения или тока.

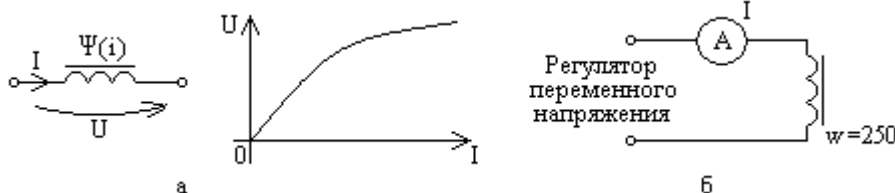


Рисунок 1 – Нелинейная катушка с ферромагнитным сердечником а) и схема получения ее вольт – амперной характеристики б)

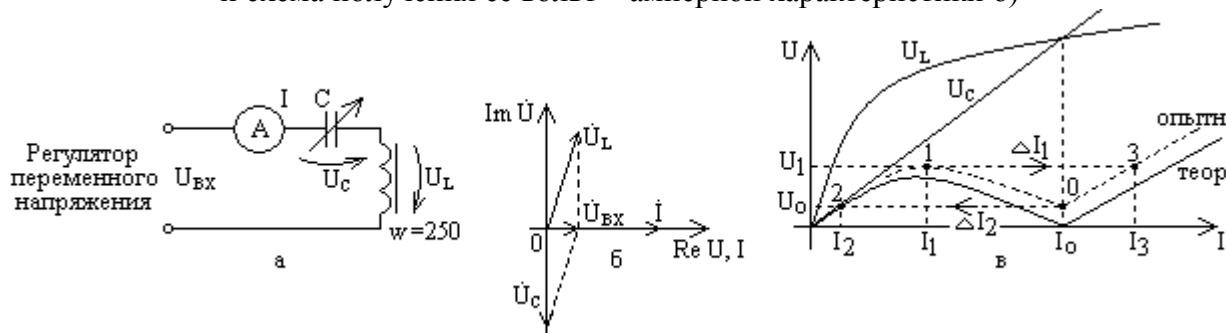


Рисунок 2 – Последовательная феррорезонансная цепь:
а) схема цепи; б) векторная диаграмма; в) вольт – амперная характеристика

Анализ режима феррорезонанса выполняется по ВАХ цепи. ВАХ последовательной цепи получается сложением характеристик катушки и конденсатора по напряжению, причем с учетом разности фаз между напряжениями U_L и U_C сложение сводится к вычитанию. На рисунке 2,в показана суммарная ВАХ цепи (теоретическая ВАХ показана сплошной, а опытная – штриховой линией); U_0, I_0 – точка феррорезонанса.

Из-за наличия на суммарной ВАХ участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением (участок 0 – 1) при плавном изменении приложенного к цепи напряжения в ней возникают скачки тока – релейный или триггерный эффект. Так при плавном увеличении напряжения от нуля в точке 1 при напряжении U_1 происходит мгновенный скачок в точку 3 от значения тока I_1 до значения I_3 (прямой триггерный эффект), а при плавном уменьшении напряжения в точке 0 при напряжении U_0 происходит скачок в точку 2 от значения тока I_0 до значения I_2 (обратный триггерный эффект). Триггерный эффект в феррорезонансных цепях находит широчайшее применение в энергетике, автоматике, технике связи, релейной защите.

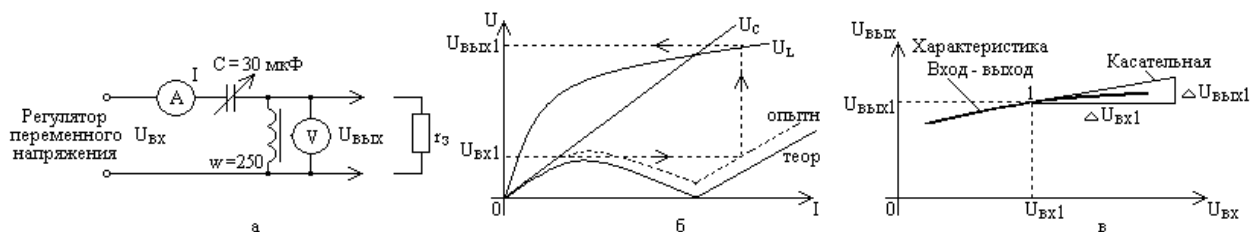


Рисунок 3 – Феррорезонансный стабилизатор напряжения:

- а) схема стабилизатора; б) построение характеристики «Вход – выход»;
в) определение коэффициента стабилизации

На основе цепи, состоящей из последовательного соединения катушки с сердечником и конденсатора легко получить эффект стабилизации величины выходного напряжения. На рисунке 3,а показана схема простейшего стабилизатора действующего значения переменного напряжения, а на рисунке 3,б - получение его характеристики «Вход-выход». Вид этой характеристики изображен на рисунке 3,в. По характеристике «Вход – выход» можно получить коэффициент стабилизации k_{cm} , когда на касательной в заданной точке характеристики, как на гипотенузе строится прямоугольный треугольник с катетами, параллельными осям $k_{cm} = \frac{\Delta U_{BX}}{\Delta U_{ВЫХ}}$.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. В качестве исследуемой нелинейной катушки с сердечником используется первичная обмотка трансформатора с числом витков 250. В работе используется батарея конденсаторов. Все приборы нужно брать аналоговые типа Э377: амперметр с пределом 1 А, вольтметр с пределом 100 В.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Для анализа феррорезонансной цепи получите сначала вольтамперную характеристику катушки с сердечником по схеме на рисунке 1,б. Плавно увеличивая входной ток от нуля до 1 А через 0,1 А получите ряд точек ВАХ, обратите внимание на замедление роста напряжения на катушке с увеличением тока из-за насыщения сердечника катушки. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Вольт – амперная характеристика нелинейной катушки

$I, \text{ А}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$U, \text{ В}$	0										

2. Для исследования ВАХ феррорезонансной цепи и триггерного эффекта соберите схему по рисунку 2,а. Установите на переменном конденсаторе емкость 20 мкФ. Плавно увеличивая входное напряжение через 4...5 В от нуля до 40...50 В, получите ряд значений тока цепи, результаты занесите в таблицу 2. Плавно уменьшая входное напряжение от 40...50 В через 4...5 В до нуля, снова получите значения тока цепи, занесите их в таблицу 2. Постарайтесь отдельно точно записать граничные значения напряжения и тока (пороговые точки), с которых происходят скачки тока (триггерный эффект), а также конечные значения тока после скачков. Повторите опыт при емкостях 30 мкФ и 10 мкФ, результаты занесите в таблицу 2. Убедитесь, что увеличение емкости приводит к увеличению скачков тока, а при малой емкости триггерный эффект вообще не возникает.

Таблица 2 – Вольт – амперные характеристики феррорезонансной цепи при увеличении и уменьшении напряжения

$U, \text{ В}$		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
C=20 мкФ	$I, \text{ А}$ увел.	0											
	$I, \text{ А}$ уменьш.	0											
C=30 мкФ	$I, \text{ А}$ увел.	0											
	$I, \text{ А}$ уменьш.	0											
C=10 мкФ	$I, \text{ А}$ увел.	0											
	$I, \text{ А}$ уменьш.	0											

3. Для исследования стабилизатора напряжения в режиме холостого хода без нагрузки соберите схему по рисунку 3,а. Плавно увеличивая входное напряжение, добейтесь прямого триггерного эффекта, после чего стабилизатор входит в рабочий режим. Изменяя входное напряжение с помощью регулятора, убедитесь в наличии

эффекта стабилизации: при изменении входного напряжения выходное почти не изменяется. Данные занесите в таблицу 3. Подсоедините к выходу стабилизатора (параллельно катушке), нагрузочный резистор, например, r_3 , повторите опыт, обратите внимание на ухудшение стабилизации (под нагрузкой все ухудшается!); запишите сопротивление резистора r_3 . Данные занесите в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристика «Вход – выход» стабилизатора

I, A		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Холостой ход без нагрузки	U_{BX}, B										
	$U_{BЫX}, B$										
	k_{cm}										
С нагруз- кой	U_{BX}, B										
	$U_{BЫX}, B$										
	k_{cm}										

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Начертите ВАХ исследуемой катушки по таблице 1; рекомендуемые масштабы: по току m_I 0,1 А/см, по напряжению m_U 5 В/см. Нанесите на этот чертеж ВАХ конденсатора $C = 20$ мкФ. ВАХ конденсатора представляет прямую, проходящую через начало координат и точку, соответствующую, например, напряжению 40 В и току $I = 40 \cdot \omega C$ А. Сложением постройте теоретическую ВАХ последовательной цепи. Выявите область отрицательного дифференциального сопротивления, определите точку феррорезонанса, пороговые точки, покажите направление и величины скачков тока, нанесите на чертеж опытные точки по таблице 2, сравните опытные и теоретические результаты. Постройте аналогичные чертежи для емкостей 30 и 10 мкФ. Определите критическое значение емкости, ниже которого триггерный эффект не происходит. Сделайте выводы о соответствии опытных и теоретических результатов и о влиянии емкости на положение пороговых точек и величины скачков тока.

2. По ВАХ цепи с емкостью 30 мкФ постройте теоретическую характеристику «Вход-выход» стабилизатора в режиме холостого хода и нанесите на нее опытные точки по таблице 3. По теоретической характеристике рассчитайте значения коэффициента стабилизации и внесите результаты в таблицу 3. На этом же чертеже постройте характеристику «Вход – Выход» стабилизатора под нагрузкой по опытным данным таблицы 3, рассчитайте значения коэффициента стабилизации и внесите результаты в эту таблицу. На одном чертеже постройте графики зависимостей коэффициента стабилизации от входного напряжения для этих двух случаев. Сделайте выводы о соответствии опытных и теоретических результатов, а также о влиянии входного напряжения и сопротивления нагрузки на работу стабилизатора.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схема опыта получения ВАХ катушки с ферромагнитным сердечником с указанием типов приборов, таблица 1, график ВАХ катушки.
3. Схема опыта с указанием типов приборов и результаты измерений по исследованию триггерного эффекта, таблица 2.
4. Теоретические графики ВАХ цепи для трех примененных емкостей с нанесенными на них опытными точками, критическая емкость. Выводы о влиянии емкости на вид ВАХ, на положение рабочих точек, на величины скачков тока, а также о соответствии опытных и теоретических результатов.
5. Схема опыта с указанием типов приборов и таблица 3 по исследованию стабилизатора. Теоретический график характеристики «Вход-выход» с нанесенными на него опытными точками в режиме холостого хода и под нагрузкой. Графики зависимости коэффициента стабилизации от входного напряжения. Выводы о влиянии нагрузки и величины входного напряжения на работу стабилизатора и о соответствии опытных и теоретических результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните вид ВАХ катушки с насыщением.
2. Объясните вид ВАХ последовательной цепи.
3. Почему реальная ВАХ последовательной цепи отличается от теоретической, почему различия растут с ростом напряжения?
4. Объясните причину возникновения триггерного эффекта.
5. Как определяется критическая емкость, ниже которой триггерный эффект не происходит?
6. Как емкость в последовательной цепи влияет на вид ВАХ, положение пороговых точек и величины скачков тока?
7. В чем различие и сходство резонанса в параллельной и последовательной цепи?
8. Объясните принцип работы стабилизатора переменного напряжения
9. Как нагрузка влияет на работу стабилизатора?
10. Как определяется коэффициент стабилизации и как он зависит от входного напряжения и наличия нагрузки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

КАТУШКА С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Цель работы: построение схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником в режиме переменного тока; исследование зависимости параметров схемы замещения катушки и параметров режима от величины входного напряжения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Катушка с ферромагнитным сердечником является нелинейным элементом и имеет криволинейную вольт – амперную характеристику по действующим значениям тока и напряжения, показанную на рисунке 1. Эта нелинейность объясняется магнитным насыщением материала сердечника катушки.

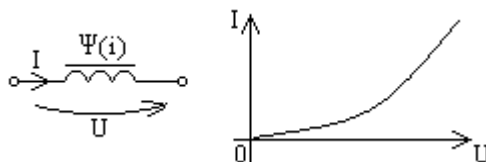


Рисунок 1 – Катушка с ферромагнитным сердечником
и ее вольт – амперная характеристика

Схема замещения катушки с ферромагнитным сердечником показана на рисунке 2,а. Параметры этой схемы имеют следующий физический смысл: r_m – сопротивление обмотки (меди) катушки, L_s – индуктивность рассеяния, r_c – сопротивление стали катушки, L_0 – полезная индуктивность намагничивания, характеризующая формирование магнитного потока. Параметры режима работы катушки по схеме замещения в эквивалентных синусоидах: I, U – входные ток и напряжение, I_c – ток стали, I_0 – ток намагничивания, U_0 – напряжение самоиндукции. Ток стали характеризует долю входного тока, идущую на нагрев сердечника катушки, а ток намагничивания – на создание магнитного потока в сердечнике. Векторная диаграмма показана на рисунке 2,б.

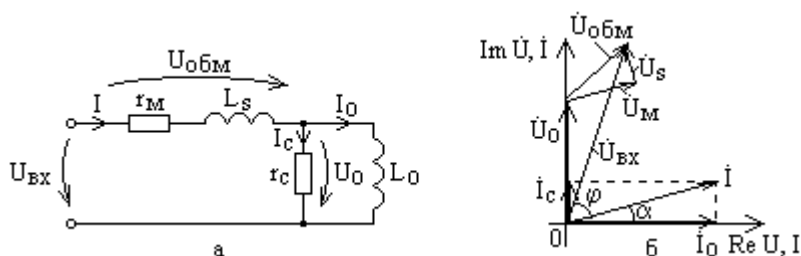


Рисунок 2 – Катушка с ферромагнитным сердечником:
а) схема замещения; б) векторная диаграмма

Индуктивность намагничивания существенно зависит от напряжения U_0 , а, следовательно, и от U_{BX} , причем с ростом напряжения эта индуктивность падает. Сопротивление стали и индуктивность рассеяния также зависят от напряжения, хотя и в меньшей степени. Сопротивление обмотки не зависит от напряжения. Резкое нарастание входного тока при увеличении входного напряжения объясняется именно нарастанием тока намагничивания при уменьшении индуктивности L_0 , и, следовательно, индуктивного сопротивления $x_0 = \omega L_0$.

Параметры схемы замещения катушки и параметры ее режима работы также зависят от количества витков катушки, причем обе индуктивности растут пропорционально квадрату числа витков, сопротивление r_m пропорционально числу витков ка-

тушки. В соответствии с этим при неизменном входном напряжении с ростом числа витков ток в катушке уменьшается.

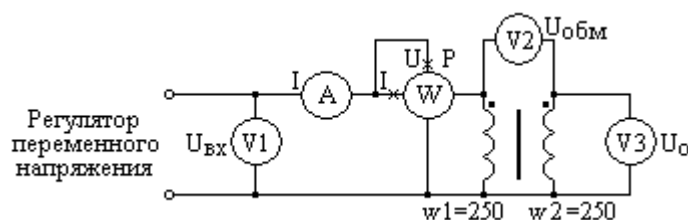


Рисунок 3 – Схема опыта по определению параметров катушки

Все параметры схемы замещения катушки определяются экспериментально, схема опыта показана на рисунке 3. Сопротивление обмотки катушки r_m обычно известно заранее по измерениям на постоянном токе. Мощность нагрева обмотки $P_m = r_m I^2$; мощность нагрева сердечника $P_c = P_{BX} - P_m$. Так как вольтметр V_3 измеряет напряжение самоиндукции U_0 , то можно найти сопротивление и ток стали:

$$P_c = \frac{U_0^2}{r_c}, \text{ откуда } r_c = \frac{U_0^2}{P_c}, \text{ тогда ток стали } I_c = \frac{U_0}{r_c}. \text{ Ток намагничивания определяется}$$

из треугольника токов $I_0 = \sqrt{I^2 - I_c^2}$. Следовательно, индуктивное сопротивление

$$\frac{U_0}{I_0} = x_0 = \omega L_0, \text{ откуда индуктивность намагничивания } L_0 = \frac{x_0}{\omega}. \text{ Так как вольтметр}$$

V_2 измеряет потери напряжения на обмотке катушки $U_{обм}$, то из треугольника напряжений легко найти напряжение U_s на индуктивности рассеяния катушки:

$$U_s = \sqrt{U_{обм}^2 - U_m^2}, \text{ где } U_m - \text{напряжение на резистивном сопротивлении обмотки}$$

$$U_m = r_m I. \text{ Так как } U_s = x_s I, \text{ то } x_s = \frac{U_s}{I}, \text{ откуда } L_s = \frac{x_s}{\omega}.$$

$$\text{Поскольку напряжение самоиндукции } \dot{U}_0 = j\omega w \Phi_0, \text{ то полезный магнитный поток } \Phi_0 = \frac{U_0}{\omega w}.$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. В качестве рабочей обмотки катушки принимается первичная (левая) обмотка трансформатора с числом витков 250. В качестве измерительной обмотки, работающей в режиме холостого хода, принимается вторичная обмотка (правая) трансформатора также с числом витков 250. Трансформатор расположен на наклонной панели стенда. Вольтметр V_1 цифровой типа Ц4313 с пределом 50 В, вольтметр V_2 и амперметр аналоговые типа Э377, амперметр с пределом 1 А, вольтметр с пределом 50 ... 100 В. В работе используется переносной ваттметр типа Д522. Схема питается от регулятора переменного напряжения, номинальное рабочее напряжение катушки 40 В. Превышение этого напряжения ведет к резкому росту тока и сильному перегреву катушки.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для исследования зависимости параметров режима катушки от приложенного напряжения соберите схему по рисунку 3. Плавно изменяя входное напряжение, наблюдайте, как ток растет сначала медленно, а затем по мере насыщения сердечника катушки все быстрее. Измерьте входную мощность P , потери напряжения на обмотке $U_{обм}$ и напряжение самоиндукции U_0 при входных напряжениях, соответствующих току 0,3 А; 0,6 А; 1 А. Результаты занесите в первые пять столбцов таблицы 1.

Таблица 1 – Параметры режима и схемы замещения катушки

U_{BX} , В	I , А	P , Вт	$U_{обм}$, В	U_0 , В	P_m , Вт	P_c , Вт	r_c , Ом	I_c , А	I_0 , А	L_0 , Гн
	0,3									
	0,6									
	1,0									

U_m , В	U_s , В	L_s , Гн	Φ_0 , Вб	φ , Град	α , Град

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Для каждого опыта определите параметры схемы замещения катушки: сопротивление стали r_c , индуктивность намагничивания L_0 , индуктивность рассеяния L_s , а также параметры режима катушки: ток стали I_c , ток намагничивания I_0 , напряжение на сопротивлении обмотки U_m , напряжение на индуктивности рассеяния U_s , мощности нагрева обмотки P_m и сердечника P_c , магнитный поток Φ_0 . Все эти результаты занесите в таблицу 1.

2. На одном чертеже в неизменных масштабах по напряжению m_U 10 В/см; по току m_I 0,1 А/см постройте векторные диаграммы при разных входных напряжениях по данным таблицы 1. Определите угол разности фаз между входным током и напряжением φ , угол потерь в сердечнике α , занесите эти данные в таблицу 1.

3. Постройте графики зависимостей параметров схемы замещения катушки и параметров ее режима от входного напряжения: на одном чертеже – входной ток I , ток стали I_c и ток намагничивания I_0 ; на другом – мощность нагрева обмотки P_m и сердечника P_c ; на третьем – сопротивление меди r_m и сопротивление стали r_c ; далее – индуктивности рассеяния L_s и намагничивания L_0 ; наконец – угол потерь в сердечнике α ; угол между входным током и напряжением φ и магнитный поток Φ_0 . Сделайте выводы о том, как и почему входное напряжение влияет на параметры схем замещения катушки и режим ее работы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов приборов.
3. Расчетные формулы для определения параметров схем замещения и режима работы катушки по опытным данным.
4. Таблица 1 с результатами анализа катушки при изменении напряжения.
5. Векторные диаграммы катушки и графики зависимостей параметров схемы замещения и режима от напряжения. Выводы о влиянии напряжения на параметры схемы замещения и режим работы катушки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните физический смысл параметров схемы замещения катушки.
2. Объясните построение векторной диаграммы.
3. Объясните зависимость индуктивности намагничивания и индуктивности рассеяния от входного напряжения.
4. Объясните резкое нарастание тока в катушке при превышении напряжением номинального значения.
5. Почему в реальной катушке угол разности фаз между напряжением и током не равен 90° ?
6. Объясните назначение измерительной обмотки катушки.
7. Как экспериментально определить рабочее напряжение катушки?
8. Почему сердечники катушек выполняются из тонких листов электротехнической стали?
9. Объясните причины нагрева сердечника катушки.
10. Объясните искажение кривой тока в катушке с ферромагнитным сердечником при синусоидальном входном напряжении.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

ТРАНСФОРМАТОР С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Цель работы: изучение режима работы понижающего трансформатора под резистивной нагрузкой; определение параметров схемы замещения трансформатора по данным опыта холостого хода и короткого замыкания.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Трансформатор - это электромагнитный статический преобразователь энергии переменного тока, состоящий из ферромагнитного сердечника и нанесенных на него обмоток w_1 , w_2 . В работе исследуется двухобмоточный понижающий трансформатор,

коэффициент трансформации которого $n = \frac{w_1}{w_2} < 1$. Переменное напряжение U_1 ,

подключенное к первичной обмотке трансформатора, вызывает переменный магнитный поток в сердечнике, который, в свою очередь, наводит ЭДС взаимной индукции во вторичной обмотке. Если к этой обмотке подсоединить нагрузку, то в ней возникает ток I_2 . В трансформаторе выполняется приближенное соотношение:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx n.$$

Для анализа потерь энергии в трансформаторе и построения его схемы замещения применяется операция приведения вторичной обмотки к первичной. Все параметры приведенного трансформатора отмечаются штрихом и связаны с параметрами исходного реального трансформатора соотношениями: $n' = 1$; $w'_2 = w_1$; $I'_2 = \frac{I_2}{n}$; $U'_2 = U_2 n$; $r'_2 = r_2 n^2$; $L'_{s2} = L_{s2} n^2$; $r'_n = r_n n^2$; $L'_n = L_n n^2$; $F'_2 = F_2$; $s'_2 = s_2$; $P'_2 = P_2$, здесь r_2 , L_{s2} – сопротивление и индуктивность рассеяния вторичной обмотки; F_2 – намагничивающая сила вторичной обмотки; s_2 , P_2 – полная и активная мощности вторичной обмотки.

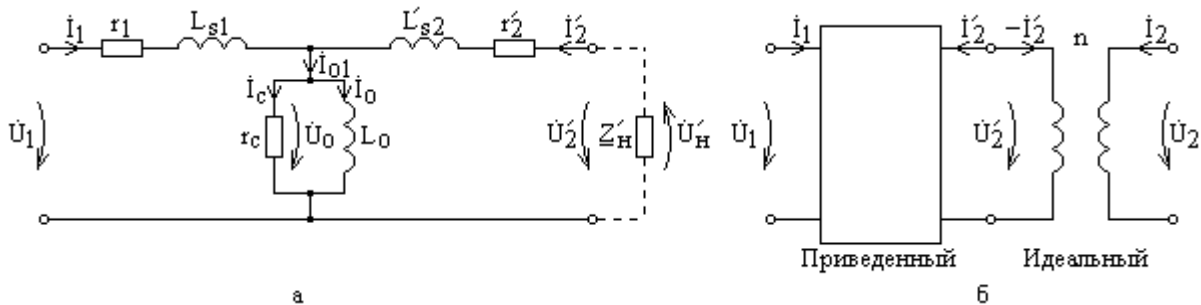


Рисунок 1 – Трансформатор с ферромагнитным сердечником:

а) схема замещения приведенного трансформатора;

б) схема замещения реального трансформатора

Следовательно, приведенный трансформатор не преобразует ток и напряжение, коэффициент трансформации его равен единице, а потери энергии в нем такие же, как и в исходном трансформаторе. Поэтому приведенный трансформатор представляет удобную модель для изучения потерь энергии в реальном трансформаторе. На рисунке 1,а показана схема замещения приведенного трансформатора, на которой обозначено: r_c – сопротивление стали; L_s – индуктивность рассеяния; L_0 – полезная индуктивность намагничивания; U_n – напряжение нагрузки; I_c , I_0 – токи стали и намагничивания; U_0 – напряжение само- и взаимной индукции. Для получения схемы замещения реального исходного трансформатора нужно каскадно с приведенным включить идеальный трансформатор без потерь с заданным коэффициентом трансформации: $\frac{I_2}{I'_2} = -n$; $\frac{U'_2}{U_2} = n$, рисунок 1,б. Векторная диаграмма приведенного трансформатора под резистивной нагрузкой показана на рисунке 2.

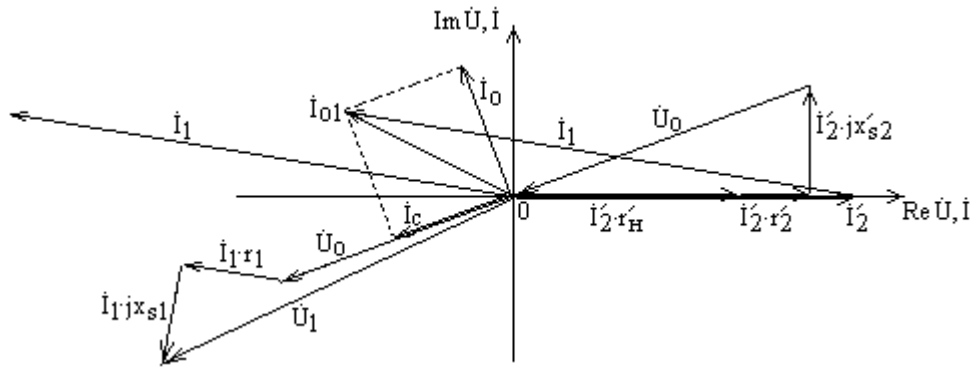


Рисунок 2 – Векторная диаграмма приведенного трансформатора

Для экспериментального определения параметров схемы замещения приведенного трансформатора используют результаты двух опытов: холостого хода и эксплуатационного короткого замыкания. В опыте холостого хода, когда ток $I_2 = 0$, входное напряжение U_1 устанавливается номинальным, измеряются входной ток I_{1xx} и входная мощность P_{1xx} . Полагая, что вся входная мощность P_{1xx} выделяется на резисторе r_c (ввиду малости r_1 и L_{s1}), получаем: $P_{1xx} = \frac{U_1^2}{r_c}$, отсюда определяем $r_c = \frac{U_1^2}{P_{1xx}}$;

$$I_c = \frac{U_1}{r_c}; I_0 = \sqrt{I_{1xx}^2 - I_c^2}; x_0 = \frac{U_1}{I_0}; L_0 = \frac{x_0}{\omega}.$$

В опыте эксплуатационного короткого замыкания $U_2 = 0$. Входное напряжение $U_{1кз}$ нужно устанавливать такое, чтобы ток I_1 был равен номинальному значению. В этом опыте измеряется входная мощность $P_{1кз}$. В схеме замещения при этом можно пренебречь элементами с большими сопротивлениями r_c и L_0 , так как их влияние будет мало. Таким образом, получаем $P_{1кз} = I_1^2 \cdot (r_1 + r_2')$, откуда определяем

$$r_1 + r_2' = \frac{P_{1кз}}{I_1^2}; z_{1кз} = \frac{U_{1кз}}{I_1} = \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_{s1} + x_{s2}')^2}; x_{s1} + x_{s2}' = \sqrt{z_{1кз}^2 - (r_1 + r_2')^2}.$$

Теперь нетрудно найти $r_1, r_2', x_{s1}, x_{s2}'$, так как в трансформаторе обычно $r_1 \approx r_2', x_{s1} \approx x_{s2}'$. Индуктивности рассеяния определяются по найденным значениям сопротивлений:

$L_{s1} = \frac{x_{s1}}{\omega}; L_{s2}' = \frac{x_{s2}'}{\omega}$. Эффективность работы трансформатора оценивается

коэффициентом полезного действия η и коэффициентом активной мощности $\cos \varphi_1$:

$\eta = \frac{P_n}{P_{ex}} = \frac{r_n I_2^2}{P_{ex}}; \cos \varphi_1 = \frac{P_{ex}}{U_1 I_1}$. Чем ближе эти коэффициенты к единице, тем более

эффективно работает трансформатор. Степень загруженности трансформатора

обычно оценивается коэффициентом загрузки $\beta = \frac{I_2}{I_{2ном}}$.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Трансформатор укреплен на наклонной панели стенда. Амперметры A_1 и A_2 исполь-

зуются аналоговые типа Э377 с пределом 1 А. Выходной вольтметр используется аналоговый с пределом 50...100 В типа Э377 или цифровой Ц4313. В качестве переменной части резистивной нагрузки используется переменный резистор. Ваттметр – переносной типа Д522; схема питается от регулятора переменного напряжения.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Для исследования понижающего трансформатора под резистивной нагрузкой соберите схему по рисунку 3; резистор $r_{ш}$ – номинальное сопротивление нагрузки, запишите его величину; запишите сопротивления обмоток трансформатора, подсчитайте коэффициент трансформации.

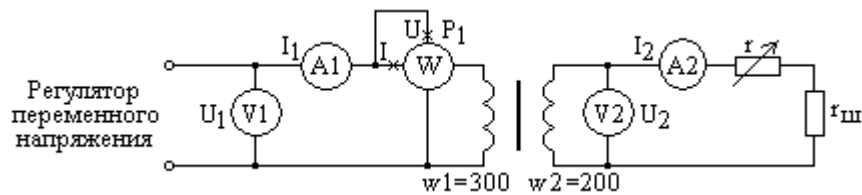


Рисунок 3 – Схема экспериментального исследования трансформатора

2. Установите номинальное первичное напряжение 40 В и нулевое значение переменного сопротивления нагрузки – это номинальный режим. Запишите параметры номинального режима: входные ток и мощность и выходные ток и напряжение, убедитесь, что трансформатор понижающий. Запишите параметры режима при нескольких других сопротивлениях нагрузки, в том числе и при $r = \infty$ (холостой ход). Во время опытов поддерживайте входное напряжение неизменным. Все результаты сведите в таблицу 1. Убедитесь, что по мере увеличения сопротивления нагрузки токи и мощность падают, а выходное напряжение незначительно увеличивается. В опыте холостого хода входные ток и мощность малы.

Таблица 1 – Работа трансформатора под резистивной нагрузкой

r_H перем., Ом	r_H общ., Ом	I_1 , А	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	β	η	$\cos \phi_1$	ϕ_1 , град.
0 (номин)									
r_1									
r_2									
r_3									
∞ (хх)									

3. Выполните опыт эксплуатационного короткого замыкания: сбросьте входное напряжение на нуль, замкните нагрузку проводником, регулятором осторожно установите такое входное напряжение, чтобы входной ток был бы равен номинальному

значению из п.2. Запишите входное напряжение и мощность, выходной ток. Входное напряжение здесь обычно невелико, и $\frac{I_2}{I_1} \approx n$.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. По данным опытов холостого хода и короткого замыкания рассчитайте параметры эквивалентной схемы замещения приведенного трансформатора: сопротивление первичной и вторичной обмоток (сравните с данными стенда), сопротивление стали, индуктивность рассеяния и индуктивность намагничивания.

2. Задавшись напряжением $U'_2 = U_2 \cdot n$ на приведенной резистивной нагрузке в номинальном режиме по данным таблицы 1 рассчитайте номинальный режим работы приведенного трансформатора, определите входные ток и напряжение, сравните с опытными величинами, постройте векторную диаграмму; рекомендуемые масштабы: по току m_I 0,1 А/см; по напряжению m_U 5 В/см.

3. По данным опытов рассчитайте КПД η , коэффициент мощности $\cos \varphi_1$ и коэффициент загрузки β для всех нагрузок, занесите результаты в таблицу 1. Постройте графики зависимостей КПД и $\cos \varphi_1$ от коэффициента загрузки β под резистивной нагрузкой. Постройте внешнюю нагрузочную характеристику трансформатора под резистивной нагрузкой: $U_2 = f(I_2)$. Сделайте выводы о влиянии величины и характера нагрузки на эффективность работы трансформатора.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схема эксперимента с указанием типов приборов.
3. Таблица 1 с опытными и расчетными результатами по исследованию трансформатора под резистивной нагрузкой.
4. Расчетные формулы и результаты определения параметров схемы замещения приведенного трансформатора.
5. Расчетные формулы и векторная диаграмма понижающего трансформатора с резистивной нагрузкой.
6. Графики зависимостей КПД, $\cos \varphi_1$ от коэффициента загрузки β , график внешней нагрузочной характеристики.
7. Выводы о соответствии опытных и расчетных результатов и о влиянии величины и характера нагрузки на эффективность работы трансформатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
2. Запишите уравнения для электрической и магнитной цепей трансформатора.
3. Объясните смысл совершенного, идеального и приведенного трансформатора.
4. Объясните построение векторной диаграммы приведенного трансформатора.

5. Как построить схему замещения и векторную диаграмму реального трансформатора?
6. В чем особенность опыта эксплуатационного короткого замыкания?
7. Как оценивается эффективность работы трансформатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20

КАТУШКА С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ. МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Цель работы: исследование кривых одновременного намагничивания; изучение характеристики «Вход – выход» простейшего магнитного усилителя под резистивной нагрузкой.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Подмагничивание катушки с ферромагнитным сердечником с помощью постоянного тока I_y в обмотке управления w_y позволяет управлять индуктивностью этой катушки, и, следовательно, ее сопротивлением переменному току I_p в рабочей обмотке w_p . С увеличением тока управления I_y сердечник насыщается, магнитная проницаемость μ падает, следовательно, уменьшается индуктивность рабочей обмотки и сопротивление рабочему току: $L_p = \frac{w_p^2 s \mu}{l}$; $x_p = \omega L_p$ (здесь s – площадь поперечного сечения сердечника; l – его средняя длина). В обмотке управления при этом наводится переменная ЭДС. Чтобы подавить переменный ток в этой обмотке, необходимо включить с ней последовательно достаточно большую индуктивность фильтра L_ϕ или компенсировать эту ЭДС секционированием рабочей обмотки.

Так как индуктивность рабочей обмотки падает с ростом тока управления, то одному и тому же напряжению на рабочей обмотке соответствует тем больший ток I_p , чем больше ток управления I_y . Таким образом, для различных токов управления получается семейство вольт – амперных характеристик рабочей обмотки по действующим значениям тока и напряжения, рисунок 1,а, которые называются кривыми одновременного намагничивания.

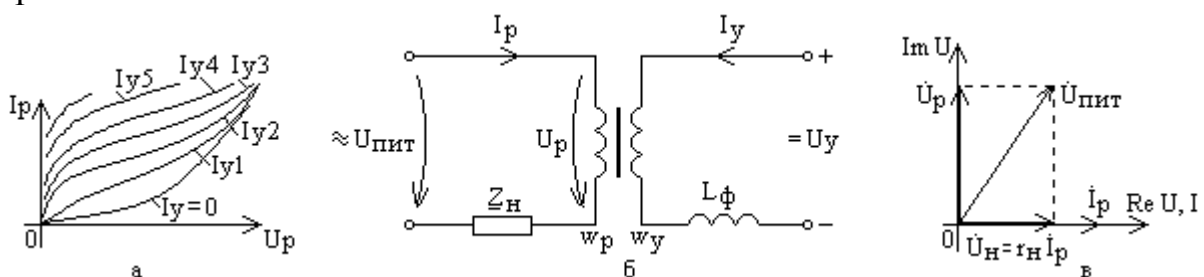


Рисунок 1 – Катушка с подмагничиванием:

- а) семейство кривых одновременного намагничивания;
- б) простейший магнитный усилитель;
- в) векторная диаграмма рабочей обмотки

Простейший магнитный усилитель состоит из подобной катушки с подмагничиванием и подсоединенной к ней нагрузки в цепи рабочей обмотки, рисунок 1,б. Изменяя ток управления I_y , можно изменять ток в рабочей обмотке, а значит и в нагрузке r_n при неизменном действующем значении переменного напряжения питания U_n . Магнитный усилитель характеризуется зависимостью «Вход-выход»: $I_p = (I_y)$ при $U_n = const$. Построение этой зависимости определяется характером сопротивления нагрузки.

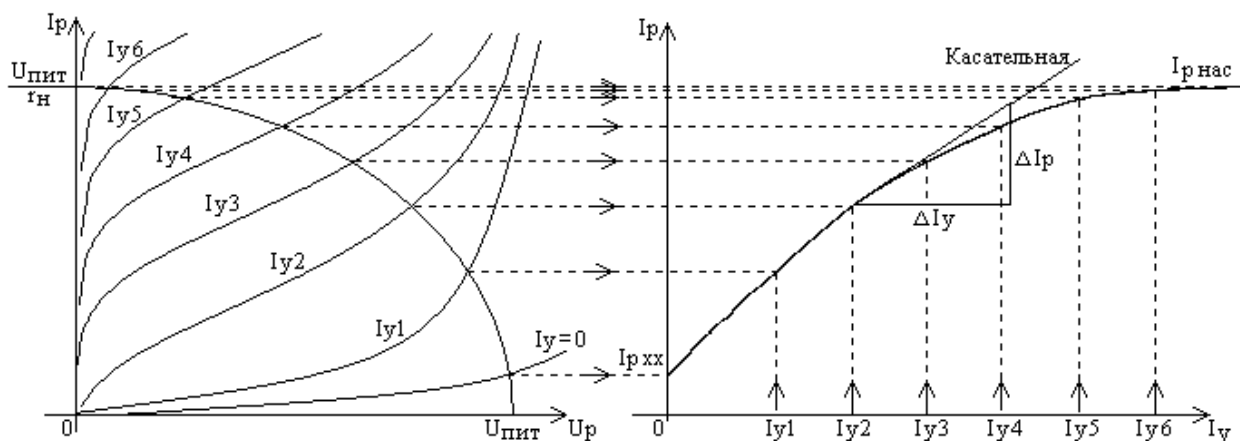


Рисунок 2 – Построение характеристики «Вход – выход» и определение коэффициента усиления

При чисто резистивной нагрузке r_n векторная диаграмма рабочей обмотки показана на рисунке 1,в, а уравнение по второму закону Кирхгофа имеет вид: $U_n^2 = (r_n I_p)^2 + U_p^2$. Это уравнение на плоскости определяет нагрузочную кривую в виде эллипса с полуосями U_n , $\frac{U_n}{r_n}$. Точки пересечения этой кривой с кривыми одно-

временного намагничивания и определяют зависимость «Вход-выход», рисунок 2. Если ток управления равен нулю, то ток в рабочей обмотке не равен нулю, это ток холостого хода I_{pxx} . Кроме того, при очень большом токе управления ток в рабочей

обмотке имеет асимптоту – ток насыщения $\frac{U_n}{r_n}$. Коэффициент усиления магнитного

усилителя определяется отношением $k = \frac{\Delta I_p}{\Delta I_y}$ и зависит от тока управления. По мере

насыщения усилителя коэффициент снижается. Аналогично характеристика «Вход – выход» строится и для других видов нагрузки. Ввиду несравненной простоты и надежности магнитные усилители находят широчайшее применение в автоматике, электротехнике и энергетике.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. В качестве катушки с подмагничиванием используется трансформатор, расположенный на наклонной панели стенда. Со стороны рабочей обмотки катушка питается от ре-

гулятора переменного напряжения, со стороны обмотки управления – от регулятора постоянного напряжения. Ток в рабочей обмотке измеряется аналоговым амперметром типа Э377 с пределом 1 А, ток управления – аналоговым амперметром Ц330 тоже с пределом 1 А. Индуктивность фильтра составляется из последовательно соединенных катушек $L_x, L_1 \dots L_4$.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. Для исследования магнитного усилителя с резистивной нагрузкой соберите схему по рисунку 3: левая обмотка – рабочая, правая – управления. Резистивная нагрузка состоит из параллельного соединения резисторов r_x и $r_{ш}$, запишите их сопротивления, подсчитайте общее сопротивление нагрузки. В управляющей цепи для подавления наводимого из рабочей обмотки переменного тока включен составной индуктивный фильтр.

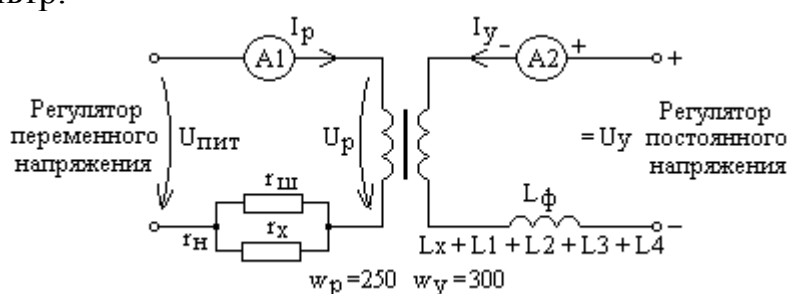


Рисунок 3 – Схема эксперимента по исследованию магнитного усилителя

2. Установите регулятором постоянного напряжения нулевой ток управления, а регулятором переменного – напряжение питания 24 ... 30 В такое, чтобы ток холостого хода в рабочей обмотке составлял бы 0,1 ... 0,2 А; запишите величину этого напряжения. Изменяя ток управления от нуля до 1 А через 0,1 А, запишите точки характеристики «Вход-выход» магнитного усилителя. Вы заметите, что с ростом тока управления рабочий ток нагрузки сначала растет, затем его рост замедляется на уровне тока насыщения. Сбросьте управляющий ток на нуль, поменяйте полярность напряжения управления, убедитесь, что работа нашего магнитного усилителя не зависит от знака тока управления. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристика «Вход – выход» магнитного усилителя

$I_y, \text{А}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$I_p, \text{А}$											
k											

3. Для теоретического анализа Вам понадобится семейство кривых одновременного намагничивания. Чтобы его получить, установите оба регулятора на нуль, удалите из схемы нагрузку (замкните ее проводником). Плавно увеличивая входное переменное напряжение, получите ряд точек вольт – амперной характеристики рабочей обмотки при нулевом токе управления, входное напряжение меняйте так, чтобы ток в рабочей обмотке нарастал бы от нуля через 0,1 А до 1 А. Сбросьте напряжение на нуль, установите ток управления 0,1 А и вновь получите ряд точек ВАХ рабочей

обмотки. Подобные измерения повторите для значений тока управления через 0,1 А до 1 А. Все эти результаты сведите в таблицу 2.

Таблица 2 – Кривые одновременного намагничивания

I_p, A		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U_p, B	$I_y=0$											
	$I_y=0,1 \text{ A}$											
	$I_y=0,2 \text{ A}$											
	$I_y=0,3 \text{ A}$											
	$I_y=0,4 \text{ A}$											
	$I_y=0,5 \text{ A}$											
	$I_y=0,6 \text{ A}$											
	$I_y=0,7 \text{ A}$											
	$I_y=0,8 \text{ A}$											
	$I_y=0,9 \text{ A}$											
	$I_y=1,0 \text{ A}$											

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. На одном чертеже крупно постройте семейство кривых одновременного намагничивания по таблице 2; рекомендуемые масштабы: по току m_I 0,1 А/см; по напряжению m_U 5 В/см. Нанесите на него нагрузочную кривую и постройте теоретический график характеристики «Вход-выход», на этот же чертеж нанесите опытные точки из таблицы 1, сравните опытные и теоретические результаты и сделайте выводы об их соответствии.

2. На характеристике «Вход-выход» отметьте точки холостого хода, рабочий диапазон тока управления, ток насыщения. Рассчитайте коэффициент усиления, значения занесите в таблицу 1. Постройте график зависимости коэффициента усиления магнитного усилителя от тока управления. Вы заметите, что для нашего усилителя коэффициент усиления невелик и максимальное значение приобретает в начале рабочего диапазона. Сделайте выводы о влиянии величины тока управления на значения коэффициента усиления.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Схемы экспериментов с указанием типов приборов.
3. Таблица 1 с данными характеристики «Вход-выход».
4. Таблица 2 с данными кривых одновременного намагничивания.

5. Графики кривых одновременного намагничивания и теоретическая характеристика «Вход-выход» с нанесенными на нее опытными точками. Выводы о соответствии опытных и расчетных результатов.

6. Расчет коэффициента усиления, график зависимости коэффициента усиления от тока управления, выводы о влиянии тока управления на коэффициент усиления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как индуктивность рабочей обмотки зависит от тока управления?
2. Объясните принцип работы магнитного усилителя.
3. Объясните построение характеристики «Вход-выход».
4. Объясните вид кривых одновременного намагничивания.
5. Почему работа усилителя не зависит от знака тока управления.
6. Объясните вид векторной диаграммы.
7. Объясните зависимость коэффициента усиления от тока управления.
8. Почему в этой схеме небольшой коэффициент усиления и как его можно повысить?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы электротехники / П.А.Ионкин [и др.] – М.: Высшая школа, 1976. – 514 с.
2. Основы теории цепей / Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 752 с.
3. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники / К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин. – Спб.: Изд-во «Питер», 2009. – 463 с.
4. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники / Г.И.Атабеков. – М.: Энергия, 1978. – 592 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л.А.Бессонов. – М.: Изд-во «Гардарики», 2006. – 701 с.
6. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей / Д.А.Улахович. – Спб.: Изд-во «БХВ – Петербург», 2009. – 816 с.
7. Фриск В.В. Основы теории цепей / В.В.Фриск. – М.: Изд-во «Солон-Пресс», 2009. – 160 с.
8. Гаврилов Л.П. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК / Л.П.Гаврилов, Д.А.Соснин. – М.: Изд-во «Солон-Пресс», 2009. – 448 с.
9. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники / Е.А.Лоторейчук. – М.: Изд-во «ИД ФОРУМ. ИНФРА», 2009. – 320 с.

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2010 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ