

Т Е О Р И Я СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Т Е О Р И Я СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания
к совмещенным лабораторно-практическим занятиям
по дисциплине для студентов специальности
26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

Часть 1

Севастополь
СевГУ
2025

УДК [621.3.01:629.5.064.5](076.5)
ББК 31.21я73-5*я73
Т33

Р е ц е н з е н т:

Ю.В. Матвеев - канд. техн. наук, доцент кафедры
судового электрооборудования Морского института СевГУ

Составитель: Л.Н. Канов

Т33 Теория судовой электротехники: методические указания к совмещенным лабораторно-практическим занятиям по дисциплине «Теория судовой электротехники» для студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». – В 2-х частях. Ч. 1 / Севастопольский государственный университет, Морской институт ; сост. Л. Н. Канов. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 70 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в подготовке и выполнении совмещенных лабораторно-практических и контрольных заданий, а также для самостоятельной работы по индивидуальным графикам по дисциплине «Теория судовой электротехники».

Методические указания предназначены для отработки компетенций ПСК-3, ПСК-27 кодекса ПДНВ, раздел А – III / 6 78/95 и ФГОС ВПО, компетенции ПК-15, ПК-31, ПК-32.

УДК [621.3.01:629.5.064.5](076.5)
ББК 31.21я73-5*я73

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры СЭО, протокол № 6 от 22 января 2025 г.

© Канов Л.Н., сост., 2025
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения.	4
Практическое занятие № 1. Простые цепи постоянного тока	5
Практическое занятие № 2. Электрические цепи постоянного тока	13
Практическое занятие № 3. Электрические цепи синусоидального тока	22
Практическое занятие № 4. Резонанс	31
Практическое занятие № 5. Трехфазные электрические цепи.	40
Практическое занятие № 6. Цепи со взаимной индукцией	49
Практическое занятие № 7. Цепи несинусоидального тока.	59
Библиографический список.	69

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.

Практическое занятие № 1 ПРОСТЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вариант 1

КАК УВЕЛИЧИТЬ ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЙ ВОЛЬТМЕТРА С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РЕЗИСТОРА?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто требуется измерить напряжение большее, чем допускает верхний предел имеющегося в распоряжении вольтметра. В этом случае верхний предел вольтметра можно расширить с помощью последовательного добавочного резистора.

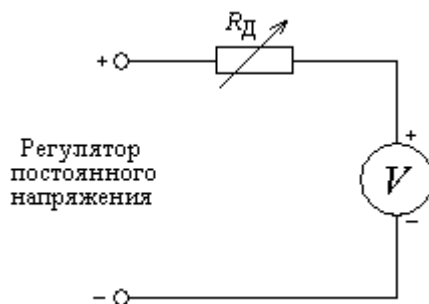


Рис. 1. Схема расширения верхнего предела шкалы вольтметра

Для исследования влияния добавочного резистора на показания вольтметра соберите схему по рис. 1. В ней V – стрелочный вольтметр постоянного напряжения (вам понадобится знать его внутреннее сопротивление R_B !) с пределом 30 В, это его максимально допустимое напряжение U_{BM} ; R_d – дополнительный резистор, в качестве которого удобно использовать магазин переменных сопротивлений.

Понятно, что напряжение, большее 30 В, этим вольтметром не измерить. Попробуйте подобрать такое сопротивление резистора R_d , чтобы полное отклонение стрелки вольтметра соответствовало бы 40 В входного напряжения. Для этого введите на магазине максимальное сопротивление, установите входное напряжение 40 В и плавно уменьшайте сопротивление магазина до тех пор, пока стрелка прибора не дойдет до правого предела, теперь это будет 40 В. Нарисуйте шкалу вольтметра в натуральную величину и нанесите на неё новые цифры, соответствующие работе вольтметра с подобранным вами добавочным сопротивлением, запишите величину этого сопротивления.

Изменяя входное напряжение от нуля до 40 В, проверьте, как измеряет это напряжение ваш усовершенствованный вольтметр. Запишите результаты эксперимента, подсчитайте абсолютную и относительную ошибку для нескольких значений входного напряжения.

Попробуйте теперь по аналогии подобрать такое добавочное сопротивление, чтобы этим же вольтметром можно было измерять напряжение 50 В, повторите разметку шкалы, запишите результаты и этого эксперимента.

Для теоретического анализа запишите второй закон Кирхгофа для схемы вашего усовершенствованного вольтметра и получите формулу, выражающую сопротивление добавочного резистора R_d через сопротивление R_B , максимально допустимое напряжение вольтметра U_{BM} и максимально измеряемое напряжение U_M . Подставьте в неё значения, использованные в опытах, и получите теоретическое значение добавочного сопротивления для двух рассмотренных вами случаев.

Чем можно объяснить различия? Как добиться, чтобы эти различия были минимальными? Как объяснить роль добавочного сопротивления? В чем, на ваш взгляд, достоинства этого метода измерения больших напряжений? Что сдерживает применение этого метода? Какова область его предпочтительного использования? Каковы должны быть специфические требования к добавочному резистору для обеспечения хорошей точности измерения высоких напряжений? Приходилось ли вам на практике использовать этот метод для измерения больших напряжений? Сравните его с другими, может быть известными вам методами измерения больших постоянных напряжений.

Литература

[4] – Т.1., с. 99-105.

[5] – С. 10-12.

[6] – Т.1., с. 22-26.

[7] – С. 5-26.

Вариант 2

КАК ИЗМЕРИТЬ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЫСОКООМНОГО РЕЗИСТОРА С ПОМОЩЬЮ ОДНОГО ВОЛЬТМЕТРА

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто возникает необходимость определения сопротивления резистора, маркировка которого сбита, или он не доступен непосредственному осмотру. Если не нужна слишком высокая точность, то такая задача для сравнительно высокоомных резисторов легко решается с помощью одного вольтметра.

Для измерения сопротивления резистора соберите схему по рис. 1. Вольтметр постоянного напряжения возьмите стрелочный с пределов 150 – 200 В. Вам необходимо узнать или выписать из паспорта прибора его внутреннее сопротивление R_V . Резистор R_X , предназначенный для измерения, подключен одним своим выводом к клемме «—» источника постоянного напряжения (точка а). Чтобы измерить сопротивление, нужно подсоединить свободный вывод вольтметра сначала к точке а и записать показания вольтметра V_A , затем к точке b и записать V_B .

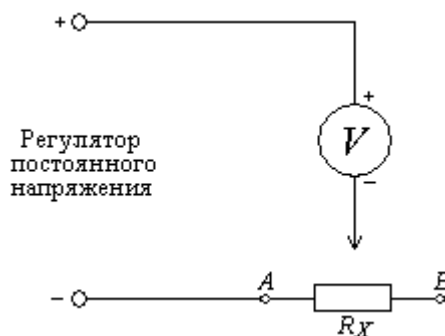


Рис. 1. Схема измерения сопротивления высокоомного резистора

Учитывая, что напряжения на последовательно соединенных резисторах R_V и R_X распределяются пропорционально их сопротивлениям, легко получить формулу для определения R_X через R_V , V_A и V_B . При измерениях будьте, пожалуйста, внимательны, так как V_A и V_B обычно мало отличаются друг от друга, причем всегда V_A больше V_B .

Установите регулятором входное напряжение 30...40 В и измерьте этим методом ещё несколько сопротивлений на стенде, например, R_1 , R_5 , несколько ступеней переменного резистора, соответствующих самой большой величине сопротивления. Сопоставьте измерения с паспортными данными стенда, определите абсолютную и относительную погрешности. Измерьте еще сопротивление последовательного соединения резисторов (вы помните, конечно, что такое сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений), а затем – параллельного соединения двух-трех резисторов, формулу сопротивления для этого случая выпишите из учебника или выведите сами.

Убедитесь, что результаты измерений этим методом практически не зависят от напряжения источника питания: повторите измерения для какого-нибудь резистора при другом входном напряжении, меньшем исходного. Насколько отличаются результаты?

Сопоставьте измеренные и фактические сопротивления резисторов, чем вы можете объяснить различия? Какие факторы, по вашему мнению, влияют на точность метода? Каково влияние внутреннего сопротивления вольтметра? напряжения питания? Сопоставьте метод с другими, может быть известными вам методами измерения сопротивлений. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Почему этим методом лучше измерять высокоомные резисторы? Какова область предпочтительного использования этого метода? случалось ли вам его использовать на практике?

Литература

- [4] – Т.1., с. 99-105.
- [5] – С. 10-12.
- [6] – Т.1., с. 22-26.
- [7] – С. 5-26.

КАК ИЗМЕРИТЬ СОПРОТИВЛЕНИЕ НИЗКООМНОГО РЕЗИСТОРА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ОММЕТРОМ

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто возникает необходимость определения сопротивления резистора, маркировка которого сбита, или он не доступен непосредственному осмотру. Если не нужна слишком высокая точность, то такая задача для сравнительно низкоомных резисторов легко решается с помощью одного амперметра.

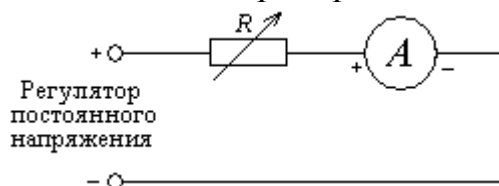


Рис. 1. Схема измерения сопротивления низкоомного резистора

Для измерения сопротивления резистора соберите схему по рис. 1. Переменный токоограничивающий резистор служит для настройки схемы, стрелочный амперметр постоянного тока нужен для индикации величины сопротивления. Установите переменное сопротивление 400 – 600 Ом.

Для настройки схемы замкните выходные (правые) контакты проводничком и регулятором установите такое входное напряжение, чтобы стрелка амперметра отклонилась точно на всю шкалу. Если теперь разомкнуть выход, стрелка упадет на нуль. Таким образом, любой резистор, подсоединенный к схеме, вызовет отклонение стрелки в пределах шкалы. Это дает возможность проградуировать шкалу амперметра непосредственно в Омах. Запишите входное напряжение и сопротивление регулировочного резистора.

Начертите в натуральную величину шкалу амперметра, рассчитайте и нанесите на её деления сопротивление в Омах. Амперметр здесь можно считать идеальным. Крайнее правое положение стрелки будет соответствовать нулевому измеряемому сопротивлению $R=0$, а крайнее левое – $R=\infty$. Обратите, пожалуйста, внимание на то, что шкала получается неравномерной. Используя эту схему, измерьте сопротивления нескольких резисторов, например, R_{III} , R_X , R_1 , R_3 , R_5 . Сопоставьте измеренные сопротивления с данными стенда, определите абсолютную и относительную погрешности.

Измерьте еще сопротивление последовательного соединения резисторов (вы помните, конечно, что такое сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений), а затем – параллельного соединения двух-трех резисторов, формулу сопротивления для этого случая выпишите из учебника или выведите сами.

В реальных Омметрах в качестве источника используется батарейка, которая со временем разряжается, напряжение её падает. Поэтому перед каждым измерением выход омметра обычно закорачивают и регулировкой

переменного сопротивления добиваются полного отклонения стрелки на всю шкалу.

Имитируйте разряд батарейки, т.е. добейтесь регулируемым резистором максимального отклонения стрелки при напряжении, меньшем исходного. Проверьте, как это повлияет на градуировку шкалы. Повторите измерение нескольких сопротивлений, насколько заметно отличаются результаты.

Сравните измеренные и фактические величины сопротивлений, чем можно объяснить различия? Какое влияние оказывает разряд батарейки? Какие факторы, по вашему мнению, влияют на точность измерений? Каково влияние внутреннего сопротивления амперметра? Сопоставьте метод с другими, может быть известными вам методами измерения сопротивлений. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Почему этим методом лучше измерять низкоомные резисторы? Какова область предпочтительного использования этого метода? случилось ли вам его использовать на практике?

Литература

[4] – Т.1., с. 99-105.

[5] – С. 10-12.

[6] – Т.1., с. 22-26.

[7] – С. 5-26.

Вариант 4

КАК РАБОТАЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто возникает необходимость иметь источник постоянного напряжения регулируемой величины. Наиболее просто эта задача решается с использованием последовательного делителя напряжения на резисторах.

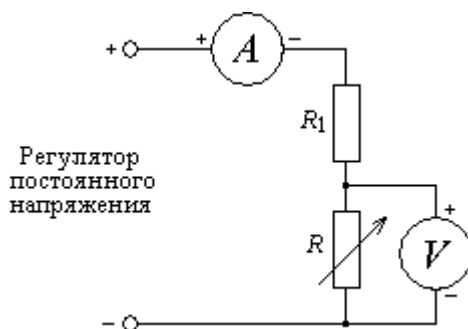


Рис. 1. Схема последовательного делителя напряжения

Для исследования работы делителя соберите схему на рис. 1. Здесь R_1 – токоограничивающий резистор, запишите его сопротивление; R – регулируемый переменный резистор. Вольтметр контролирует выходное напряжение делителя, амперметр – входной ток.

Сначала посмотрите, как работает делитель в режиме холостого хода без нагрузки. Установите входное напряжение 40...50 В и, изменяя сопротивление регулируемого резистора от нуля до максимального значения и до ∞ , наблюдайте, как меняется выходное напряжение. Для чистоты эксперимента во время опыта регулятором поддерживайте входное напряжение на неизменном уровне.

Запишите все значения переменного сопротивления и соответствующие величины тока и выходного напряжения. Оформите эти результаты в виде удобной таблицы. По результатам опыта вы можете убедиться в том, что с ростом сопротивления регулируемого резистора ток падает, а выходное напряжение растет от нуля до уровня входного напряжения.

Проанализируйте теперь, как влияет нагрузка на работу делителя. Для этого подсоедините к выходу какой-нибудь резистор, например, R_x . Вы заметите, что выходное напряжение сразу подсядет. Аналогично поэкспериментируйте и с другими сопротивлениями нагрузки, например, R_3 , R_{III} , запишите их величины; не забывайте при этом поддерживать на неизменном уровне входное напряжение. Все эти результаты также сведите в таблицу.

Выведите формулу для тока и выходного напряжения делителя в зависимости от R . Подставьте значения всех параметров, использованных в опытах. Крупно, на одном чертеже постройте теоретические графики зависимостей $U_{ВЫХ}(R)$ для использованных нагрузок, в том числе и для режима холостого хода. На другом чертеже постройте аналогичные графики тока $I(R)$. Для удобства сопротивление переменного резистора можно откладывать в логарифмическом масштабе. По данным опытов постройте также график зависимости выходного напряжения на нагрузке от величины сопротивления этой нагрузки при каком-нибудь неизменном сопротивлении регулировочного резистора.

Нанесите на расчетные графики опытные точки, сопоставьте теоретические и экспериментальные результаты, чем вы можете объяснить различия? Объясните принцип работы делителя напряжения. Сделайте выводы о том, как нагрузка влияет на его работу. Для чего нужен токоограничивающий резистор? Сравните этот метод с другими возможными методами регулирования постоянного напряжения. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область предпочтительного использования этого метода? Случалось ли вам его использовать на практике?

Литература

- [4] – Т.1., с. 99-105.
- [5] – С. 10-12.
- [6] – Т.1., с. 22-26.
- [7] – С. 5-26.

КАК РАБОТАЕТ МОСТОВОЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто возникает необходимость иметь источник постоянного напряжения регулируемой величины. Сравнительно просто эта задача решается с использованием мостового делителя напряжения на резисторах.

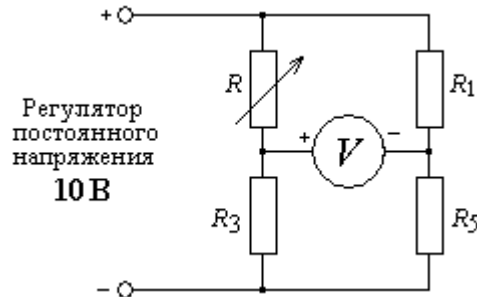


Рис. 1. Схема мостового делителя напряжения

Для исследования работы делителя соберите схему по рис. 1. Резисторы R_1 , R_5 – опорные, R_3 – токоограничивающий (запишите их сопротивления); R – переменный регулирующий резистор, тут можно использовать магазин сопротивлений. Вольтметр постоянного напряжения контролирует выходное напряжение.

Покрутите ручку переменного сопротивления, понаблюдайте за показаниями вольтметра, оцените диапазон регулирования выходного напряжения при изменении сопротивления от нуля до бесконечности. Вы заметите, что меняется не только величина выходного напряжения, но и его полярность – это важнейшая отличительная черта подобной схемы.

Запишите все значения переменного сопротивления и соответствующие значения выходного напряжения. Для чистоты эксперимента регулятором поддерживайте неизменным входное напряжение. Особенно внимательно измеряйте напряжение при $R = 0$, $R = \infty$ и при переходе его через нуль.

Проанализируйте теперь, как влияет нагрузка на работу делителя. Для этого поставьте регулирующий резистор в среднее положение, запишите его величину и выходное напряжение. Затем поочерёдно подсоединяйте на выход резисторы нагрузки R_{III} , R_X , R_3 , $R = 0$, все время поддерживая неизменным входное напряжение. Оцените влияние сопротивления нагрузки на выходное напряжение. Запишите показания входного вольтметра и соответствующие сопротивления нагрузки.

Выведите формулу для выходного напряжения и коэффициента передачи напряжения делителя сначала без нагрузки, затем с нагрузкой. Вольтметр в этих расчетах можно считать идеальным. Выведите также формулу для такого сопротивления регулировочного резистора, при котором коэффициент передачи равен нулю.

Подставьте значения всех параметров, использованные в опытах, и постройте теоретические графики зависимости выходного напряжения и

коэффициента передачи от регулировочного сопротивления (для удобства это сопротивление можно откладывать по горизонтальной оси в логарифмическом масштабе). На другом чертеже постройте графики зависимости выходного напряжения и коэффициента передачи от сопротивления нагрузки при неизменном регулировочном сопротивлении.

Нанесите на расчетные графики опытные точки, сопоставьте теоретические и экспериментальные результаты, чем вы можете объяснить различия? Объясните принцип работы делителя напряжения. Почему при определенном значении регулировочного сопротивления коэффициент передачи равен нулю? Сделайте выводы о том, как и почему регулировочный резистор влияет на выходное напряжение и коэффициент передачи. Как нагрузка влияет на эти параметры? Для чего нужен токоограничивающий резистор? Сравните этот метод с другими возможными методами регулирования постоянного напряжения. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область предпочтительного использования этого метода? Случалось ли вам его использовать на практике?

Литература

- [4] – Т.1., с. 46-48.
- [5] – С. 10-12.
- [6] – Т.1., с. 22-26.
- [7] – С. 5-26.

Практическое занятие № 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вариант 1

КАК ПОСТРОИТЬ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ?

Каждый источник энергии можно представить двумя эквивалентными схемами замещения: последовательной, состоящей из идеального источника ЭДС и резистора (внутреннего сопротивления), а также параллельной, состоящей из идеального источника тока и также из резистора – внутреннего сопротивления, рис. 1. Эти схемы имеют простейшую структуру и полностью отражают свойства реальных источников энергии. Параметры схем замещения легко определяются по результатам измерения любых двух режимов источника.

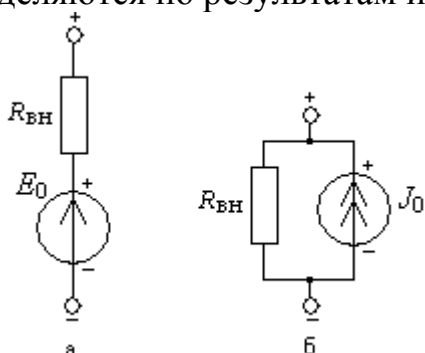


Рис. 1. Схемы замещения источника энергии:
а) последовательная; б) параллельная



Рис. 2. Режим холостого хода
источника энергии

Обычно каждый реальный источник допускает режим холостого хода, соберите для него схему по рис. 2. Исследуемый источник энергии здесь – регулятор постоянного напряжения, причем вольтметр уже подсоединен к его выходу. Установите напряжение 40 В – это и будет напряжение холостого хода источника энергии: $U_{хх}$.

По теории второй опыт, который полагается проводить – опыт короткого замыкания, но большинство источников энергии сильно не любят такого режима (почему?). Поэтому второй опыт – обычный нагрузочный режим, рис. 3. Не изменяя положения ручки регулятора, соберите схему по рис. 3. Здесь R_x – резистор нагрузки, его величину, измерьте ток нагрузки.

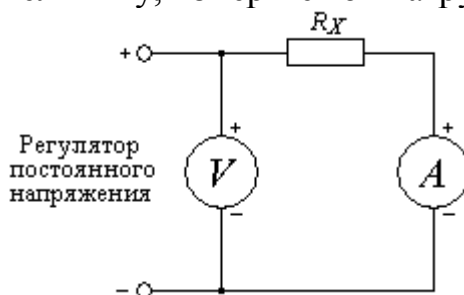


Рис. 3. Нагрузочный режим источника энергии

Вообще этих двух режимов уже достаточно для построения схем замещения источника энергии, но все-таки поэкспериментируйте и с другими резисторами нагрузки, например, R_{III} , R_1 , запишите ток и напряжение, по-прежнему не трогая ручку регулятора.

Постройте внешнюю нагрузочную характеристику источника по полученным вами данным. Аппроксимируйте её прямой, проходящей через точку U_{XX} . Точка пересечения этой прямой с осью тока и даст ток короткого замыкания, недоступный в эксперименте. По этим результатам определите величину идеального источника ЭДС и внутреннее сопротивление для последовательной схемы, а также величину тока идеального источника тока и внутреннее сопротивление для параллельной схемы.

Постройте на предыдущем чертеже графики зависимости падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника от тока. Каков физический смысл этих зависимостей? Почему нагрузочная кривая падает, а падение напряжения растет? Почему реальная нагрузочная характеристика отличается от прямой? Как проверить взаимную связь между параметрами схем замещения? Каковы, на ваш взгляд, причины существования внутреннего сопротивления источников энергии?

Постройте семейство нагрузочных прямых для последовательной схемы при изменении внутреннего сопротивления от нуля до ∞ . Постройте подобное семейство для параллельной схемы. Хотя таких экспериментов вы не выполняли, попробуйте все-таки объяснить физический смысл этих графиков.

В каких пределах изменения сопротивления нагрузки исследуемый источник можно считать идеальным? В каких случаях на практике удобно пользоваться одной схемой, а в каких – другой? На практике обычно полагают без всяких расчетов, что внутреннее сопротивление источника равно такому сопротивлению нагрузки, при котором выходное напряжение вдвое меньше U_{XX} , почему? Возникла ли у вас необходимость в определении схем замещения реальных источников?

Литература

- [1] – Т.1., с. 123-126.
- [2] – С. 12-14.
- [3] – Т.1., с. 128-131.
- [4] – Т.1., с. 37-40, 110-112.
- [5] – С. 37-42.
- [6] – Т.1., с. 18-22.
- [7] – С. 41-48.

КАК ОЦЕНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ПО ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧ?

Эффективность двухпроводной линии передач постоянного тока низкого напряжения зависит от степени согласованности нагрузки и сопротивления проводов линии. Эта эффективность определяется мощностью, которую передает источник в нагрузку. Для измерения этой мощности соберите схему по рис. 1. Резистор R_X имитирует сопротивление проводов линии (запишите его сопротивление), переменный резистор – нагрузка. Амперметр, вольтметр и ваттметр измеряют её ток, напряжение и мощность.

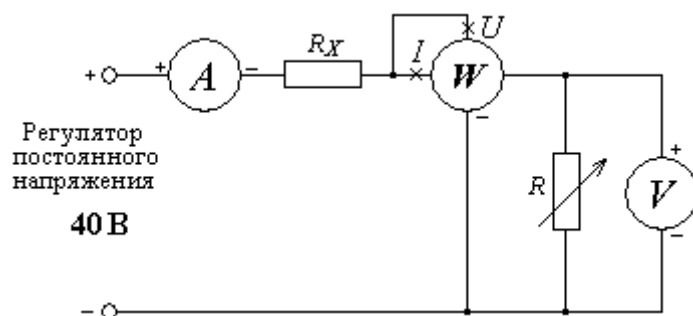


Рис. 1. Источник энергии передает мощность в нагрузку

Покрутите ручку переменного сопротивления нагрузки, понаблюдайте за поведением тока и мощности. Вы заметите, что с ростом сопротивления ток падает, напряжение растёт, постарайтесь уловить закономерность изменения мощности (для чистоты эксперимента все время поддерживайте регулятором входное напряжение неизменным). Снимите зависимость тока, напряжения и мощности от сопротивления нагрузки, изменяя его от нуля (режим короткого замыкания нагрузки) до ∞ (режим холостого хода), не забывайте подрегулировать входное напряжение на неизменном уровне. Все результаты сведите в удобную таблицу.

Считая, что на входе линии – идеальный источник напряжения, на основании второго закона Кирхгофа получите формулу для сопротивления нагрузки от тока. Умножив её на ток, получите формулу для напряжения на нагрузке. Умножив результат еще раз на ток, получите формулу для мощности в нагрузке. Подставьте входное напряжение и сопротивление линии и постройте все эти графики один под другим с одинаковым масштабом по оси x по току.

Для правильного построения графика мощности сначала исследуйте его на экстремум, найдите при каком токе и сопротивлении нагрузки будет максимум мощности, найдите этот максимум. Нанесите на эти графики экспериментальные точки, чем вы можете объяснить различия?

Рассчитайте и постройте на графике напряжения кривую зависимости потерь напряжения в линии ΔU от тока и на отдельном чертеже – график зависимости КПД источника от тока нагрузки.

Сделайте выводы о том, как влияет ток нагрузки на эффективность передачи энергии. Каков физический смысл построенных вами графиков? Как объяснить наличие максимума в графике мощности нагрузки? Почему график напряжения на нагрузке падает с ростом тока, а график потерь напряжения растет? Почему падает КПД источника?

Каковы, на ваш взгляд, могут быть практические рекомендации по повышению эффективности линии передач? Каким должно быть сопротивление нагрузки, чтобы в ней выделялась максимальная мощность? Почему это достижимо в сравнительно маломощных цепях электроники и неприемлемо для судовых силовых или осветительных цепей? Встречались ли вы на практике с низкой эффективностью передачи электроэнергии?

Литература

- [1] – Т.1., с. 123-126.
- [2] – С. 12-16, 56-61.
- [3] – Т.1., с. 128-131, 239-242.
- [4] – Т.1., с. 37-40, 91-95.
- [5] – С. 37-42.
- [6] – Т.1., с. 22-26.
- [7] – С. 41-49.

Вариант 3

КАК ОЦЕНИТЬ А-ПАРАМЕТРЫ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА?

Сложную электрическую цепь, структура и параметры которой неизвестны, удобно бывает заменить четырехполюсником (ЧП) относительно пары входных и пары выходных контактов. Поведение ЧП (в электрическом смысле, конечно) можно описать уравнениями, связывающими его входные и выходные токи и напряжения. Параметры этих уравнений легко определяются экспериментально.

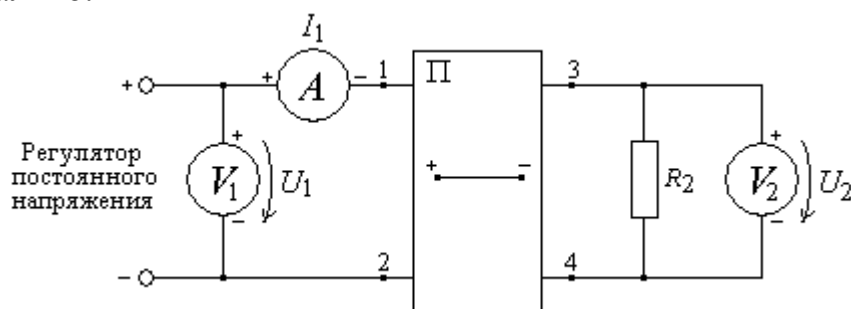


Рис. 1. Пассивный четырехполюсник работает под нагрузкой

Исследуйте сначала, как работает пассивный ЧП под нагрузкой. Для этого подсоедините к входным контактам 1 – 2 через амперметр регулятор постоянного напряжения, а к выходным контактам 3 – 4 нагрузку R_2 . Внутренние выводы ЧП «+» и «-» замкните проводником, рис. 1. Установите на входе какое-нибудь напряжение, например, 40 В, измерьте входной ток I_1 и

выходное напряжение U_2 (обратите, пожалуйста, внимание на полярности подключения приборов!). Запишите сопротивление нагрузки, рассчитайте в ней ток I_2 . Перепишите из учебника или конспекта уравнения пассивного ЧП в А-параметрах.

Для определения параметров A и C , имеющих смысл коэффициента передачи напряжения и передаточной проводимости в режиме холостого хода, разомкните нагрузку R_2 , измерьте входное и выходное напряжения и входной ток. По этим результатам легко найти A и C .

Для определения параметров B и D , имеющих смысл передаточного сопротивления и коэффициента передачи тока в режиме короткого замыкания подсоедините на выводы 3 – 4 вместо вольтметра – амперметр, рис. 2. Измерьте входное напряжение, входной и выходной токи. По этим результатам легко найти B и D . Проверьте основное соотношение между найденными А-параметрами.

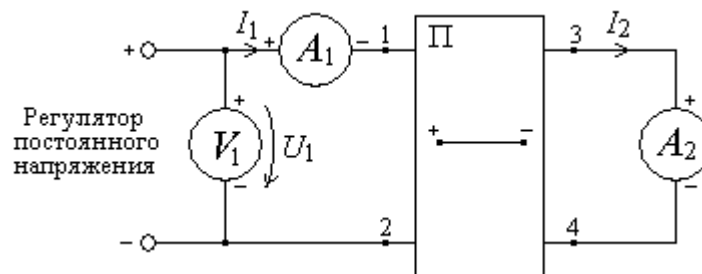


Рис. 2. Режим короткого замыкания пассивного четырехполюсника

Первым важным свойством уравнений ЧП в А-параметрах является возможность с учетом закона Ома получать уравнения для определения входного тока и напряжения ЧП для поддержания заданного режима работы нагрузки. Возьмите номинальное напряжение нагрузки из первого опыта и, используя уравнения в А-параметрах, рассчитайте необходимые входные напряжение и ток, сравните с результатами первого опыта, похоже?

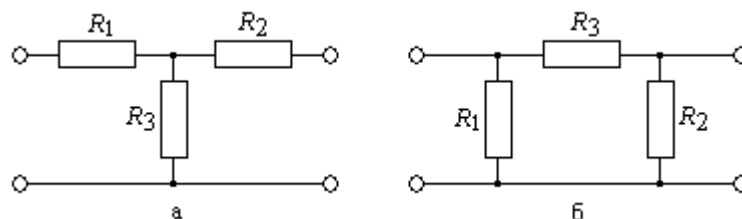


Рис. 3. Схемы замещения пассивного четырехполюсника:
а) Т-схема; б) П-схема

Второе достоинство А-параметров состоит в возможности построения «Т»-образной и «П»-образной схем замещения пассивного ЧП (рис.3). Перерисуйте из конспекта или учебника эти схемы, рассчитайте параметры этих схем через А-параметры ЧП. На основании соотношения между эквивалентными треугольником и звездой проверьте взаимную связь между элементами схем. Считая, что на входах обеих схем действует напряжение U_1 (из первого опыта), а к выходам подсоединена нагрузка R_2 , рассчитайте

входной ток и выходное напряжение, сравните с экспериментальными результатами из первого опыта. Получается ли хорошее соответствие?

Сделайте выводы о соответствии экспериментальных и расчетных результатов. Объясните, какова, на ваш взгляд, ценность уравнений ЧП в А-параметрах, схем замещения. Является ли исследованный вами ЧП симметричным, взаимным? Попробуйте получить схему замещения ЧП с управляемыми источниками непосредственно по виду уравнений. В чем ценность этой схемы? Проверьте соотношения между найденными вами А-параметрами и входными сопротивлениями ЧП. Напишите уравнения ЧП в обратном включении. Могли бы вы привести примеры удобства использования А-параметров и схем замещения в вашей практике?

Литература

- [1] – Т.1., с. 324-334.
- [2] – С. 132-146.
- [3] – Т.1., с. 404-411.
- [4] – Т.1., с. 233-243.
- [5] – С. 116-123.
- [6] – Т.2., с. 9-24.
- [7] – С. 328-347.

Вариант 4

КАК ОЦЕНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ?

Эффективность работы источника энергии постоянного тока зависит от степени согласованности нагрузки с параметрами схемы замещения источника. Главную роль здесь играет соотношение между сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением источника энергии.

Эффективность определяется мощностью, которую передает источник в нагрузку. Для измерения этой мощности соберите схему по рис. 1. Резистор R_X является нагрузкой, амперметр измеряет ток, ваттметр – мощность нагрузки.

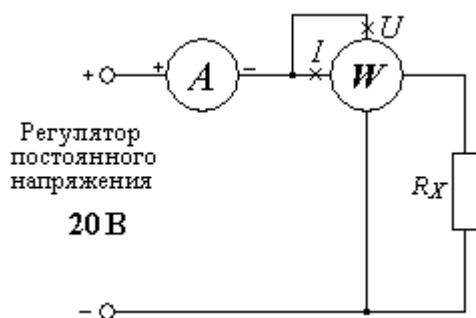


Рис. 1. Источник энергии передает мощность в нагрузку

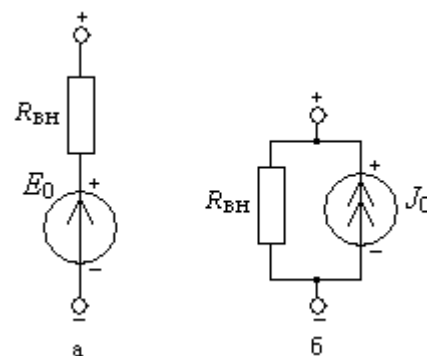


Рис. 2. Схемы замещения источника энергии:
а) последовательная; б) параллельная

Разомкните сначала цепь нагрузки (опыт холостого хода), установите напряжение 20 В, тока нет, мощность не передается. Не трогая более ручки регулятора, подсоедините резистор нагрузки R_X , обратите внимание на то, как сразу подсаживается напряжение, запишите его величину. Измерьте ток и мощность. Аналогично поэкспериментируйте и с другими сопротивлениями нагрузки, например, R_{III} , R_I , $R_{III} || R_X$, не забудьте записать их величины, попытайтесь уловить закономерность в поведении тока и мощности.

Постройте на чертеже график зависимости напряжения от тока нагрузки (нагрузочную кривую), аппроксимируйте её прямой, проходящей через U_{XX} . Точка пересечения с осью тока даст вам величину тока короткого замыкания, недостижимого в опыте (почему?). Ниже постройте график мощности от тока, ток возьмите точно в том же масштабе, что и раньше. Возможно, вы заметите, что график мощности имеет максимум где-то посередине диапазона изменения тока.

Чтобы выполнить теоретический анализ, нарисуйте параллельную и последовательную схемы замещения для исследуемого источника энергии и определите параметры их элементов: напряжение источника ЭДС, ток источника тока и внутреннее сопротивление (рис. 2). На основании этого получите формулу зависимости мощность в нагрузке от тока. Исследуйте эту формулу на экстремум, определите ток, при котором в нагрузке будет выделяться максимальная мощность, рассчитайте эту мощность. На предыдущий график нанесите теоретическую кривую, построенную по полученной вами формуле, чем можно объяснить различия?

Рассчитайте и постройте зависимость КПД идеального источника ЭДС в последовательной схеме замещения от тока, масштаб по оси тока примите прежний. Каков физический смысл полученных зависимостей? Чем объяснить наличие максимума в графике мощности и падающий характер графика КПД?

Рассчитайте и постройте график зависимости КПД идеального источника тока в параллельной схеме от тока, масштаб по оси тока опять прежний. Как объяснить возрастающий характер этого графика?

Сделайте выводы о влиянии сопротивления нагрузки на эффективность источника энергии. Каким должно быть сопротивление нагрузки, чтобы забирать от источника максимальную мощность? Почему это достижимо в сравнительно слаботочных цепях? Почему не применимо в мощных сетях, например, в судовой осветительной сети? По какому графику точнее оценивать КПД реального источника энергии? Приходилось ли вам сталкиваться с проблемой эффективности источников энергии?

Литература

- [1] – Т.1., с. 123-126.
- [2] – С. 12-16, 56-61.
- [3] – Т.1., с. 128-131, 239-242.
- [4] – Т.1., с. 37-40, 91-95.
- [5] – С. 37-42.

[6] – Т.1., с. 22-26.

[7] – С. 41-49.

Вариант 5

КАК ВЛИЯЕТ НАГРУЗКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ?

Эффективность работы источника энергии постоянного тока зависит от степени согласованности нагрузки с параметрами схемы замещения источника энергии. Главную роль здесь играет соотношение между сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением источника.

Эффективность определяется мощностью, которую передает источник в нагрузку. Для анализа этой мощности соберите схему по рис.1. Резистор R_X является нагрузкой, амперметр измеряет ток, ваттметр – мощность нагрузки.

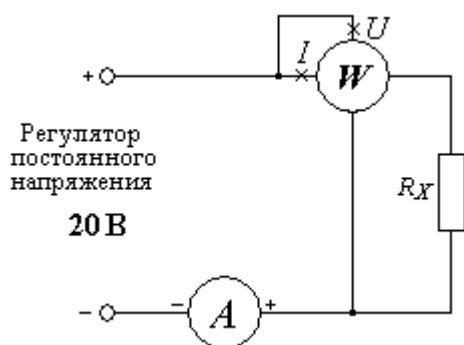


Рис. 1. Источник энергии передает мощность в нагрузку

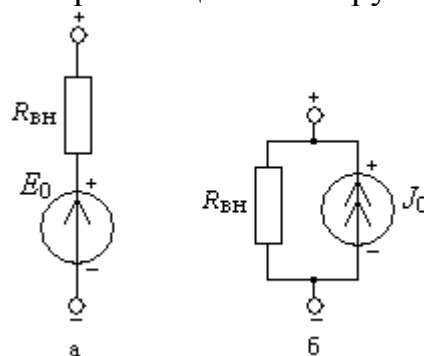


Рис. 2. Схемы замещения источника энергии:
а) последовательная; б) параллельная

Ваша задача – измерить ток и мощность при различных сопротивлениях нагрузки. Разомкните сначала цепь нагрузки, выставьте регулятором напряжения 20 В и в дальнейшем не трогайте больше ручку регулятора.

Подсоедините резистор нагрузки R_X , обратите внимание на то, как сразу подсаживается напряжение. Запишите величину сопротивления нагрузки, ток, напряжение и мощность. Аналогично поэкспериментируйте и с другими резисторами нагрузки, например, R_{III} , R_I , $R_{III} \parallel R_X$, ∞ (опыт холостого хода). Вы заметите, что с ростом сопротивления ток падает, напряжение растет, возможно, вам удастся заметить закономерность в поведении мощности. Все эти результаты сведите в удобную таблицу.

Исходя из опыта холостого хода U_{XX} и любого опыта под нагрузкой U , I , R_H определите ЭДС E_0 и внутреннее сопротивление R_{BH} схемы замещения для источника энергии. По этим данным получите и постройте графики зависимостей тока, напряжения, мощности нагрузки и КПД источника E_0 от сопротивления нагрузки. Обратите, пожалуйста, внимание на сложный характер графика мощности, исследуйте его на экстремум и определите, при каком сопротивлении нагрузки имеет место максимум мощности и каков этот максимум.

Нанесите на теоретические графики экспериментальные точки, чем вы можете объяснить различия? Какой физический смысл построенных вами зависимостей? Сделайте выводы о влиянии нагрузки на эффективность работы источника энергии. Чем объяснить наличие максимума в графике отдаваемой мощности?

От последовательной схемы (рис. 2, а) перейдите к параллельной схеме замещения источника (рис. 2, б), определите ток идеального источника тока и внутреннее сопротивление. Рассчитайте и постройте график зависимости КПД идеального источника тока в параллельной схеме от сопротивления нагрузки. Как объяснить характер этой зависимости?

Каковы ваши практические рекомендации по повышению эффективности работы источника энергии? Каким из графиков КПД на практике предпочтительнее пользоваться? Каким должно быть сопротивление нагрузки, чтобы забирать от источника максимальную мощность? Почему это достижимо в сравнительно слаботочных цепях, например, электроники и связи? Почему не применимо в мощных сетях, например, в судовой осветительной сети? По какому графику точнее оценивать КПД реального источника энергии? Приходилось ли вам сталкиваться с проблемой эффективности источников энергии?

Литература

- [1] – Т.1., с. 123-126.
- [2] – С. 12-16, 56-61.
- [3] – Т.1., с. 128-131, 239-242.
- [4] – Т.1., с. 37-40, 91-95.
- [5] – С. 37-42.
- [6] – Т.1., с. 22-26.
- [7] – С. 41-49.

Практическое занятие № 3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Вариант 1

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ИНДУКТИВНОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТКИ КАТУШКИ В РЕЖИМЕ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто требуется знать сопротивление и индуктивность катушки, тем более эти данные обычно не задаются. Сравнительно легко задача решается с измерением тока, напряжения и мощности катушки в режиме синусоидального тока.

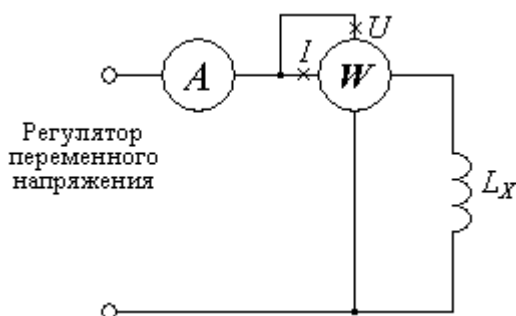


Рис. 1. Схема определения параметров катушки

Для определения параметров катушки соберите схему по рис. 1. Вольтметр уже подключен к выходу регулятора, амперметр и ваттметр измеряют ток и мощность катушки. Установите ток, например, 0,3 А, запишите напряжение и мощность, повторите измерения при нескольких других значений тока. Обратите внимание на сравнительно небольшую мощность, что говорит о малых потерях энергии в катушке.

По входному напряжению и току Вы легко найдете полное сопротивление катушки, а по току и мощности – активное сопротивление обмотки катушки. По этим результатам можно найти реактивное сопротивление катушки, а затем и её индуктивность. Повторите эти расчеты для всех ваших экспериментов и определите среднее значение сопротивления и индуктивности катушки. Оцените довольно малую величину активного сопротивления катушки, что говорит о сравнительно высоком её качестве. Сравните найденные параметры с данными стенда. Постройте треугольник сопротивлений катушки.

Рассчитайте добротность катушки, угол разности фаз между входными током и напряжением, оцените его близость к 90^0 . Рассчитайте параметры параллельной схемы замещения, оцените сравнительно большую величину параллельного сопротивления, а также близость значений индуктивностей в обеих схемах замещения. Постройте треугольник проводимостей.

Для одного из режимов рассчитайте напряжение потерь на сопротивлении обмотки катушки и напряжение на её индуктивном сопротивлении, постройте в масштабе векторную диаграмму напряжений и

тока(используйте параметры последовательной схемы замещения). Отметьте угол разности фаз между током и напряжением, обратите, пожалуйста, внимание на то, что напряжение по фазе опережает ток.

Для этого же режима рассчитайте ток потерь и индуктивный ток катушки, постройте в ранее принятом масштабе векторную диаграмму токов и напряжения (используйте параметры параллельной схемы замещения). Отметьте угол разности фаз между напряжением и током, обратите внимание на совершенно одинаковое взаимное расположение векторов тока и напряжения на входе катушки.

Сделайте выводы о соответствии экспериментальных результатов и данных стенда, чем можно объяснить различия? Определите добротность катушки, оцените её качество. Заметно ли отличаются величины индуктивности в последовательной и параллельной схемах замещения? Какая из схем более предпочтительна с точки зрения физического смысла? удобства расчётов? Каков физический смысл последовательного сопротивления катушки? Какова будет схема замещения идеальной катушки? её векторная диаграмма?

Сопоставьте использованный метод определения параметров катушки с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникла ли в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования необходимость определять индуктивность и сопротивление обмоток катушек? Как вы это делали?

Литература

- [1] – Т.1., с. 185-195.
- [2] – С. 86-92.
- [3] – Т.1., с. 184-191.
- [4] – Т.1., с. 64-73.
- [5] – С. 90-92.
- [6] – Т.1., с. 76-80.
- [7] – С. 50-103.

Вариант 2

КАК РАБОТАЕТ ИСТОЧНИК СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ БУШЕРО?

В практике эксплуатации судового электрооборудования принято разделять источники энергии на два вида: источники ЭДС и источники тока. Получить представление об источнике ЭДС легко, взглянув на обычную розетку 220 В. А вот простейшая схемная реализация источника синусоидального тока представляет целую схему, которая называется схема Бушера, рис. 1.

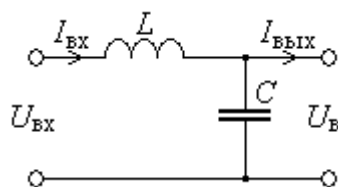


Рис. 1. Схема Бушера

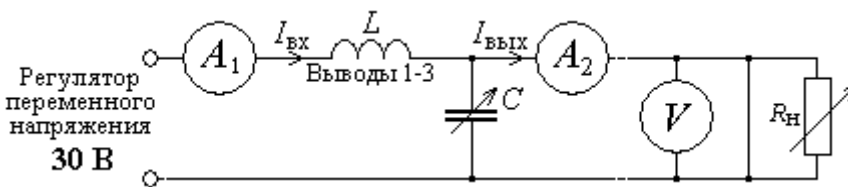


Рис. 2. Опыт получения характеристик схемы Бушера

Для исследования этой схемы соберите цепь по рис. 2. Источник тока состоит из последовательного соединения катушки и конденсатора, подключенных к источнику синусоидальной ЭДС. амперметр A_2 и вольтметр измеряют выходные ток и напряжение источника тока, амперметр A_1 контролирует внутренний ток источника тока. В нерабочем состоянии источник тока всегда закорочен, для него это самый легкий режим отдыха. Для катушки запишите индуктивность и сопротивление обмотки.

Лучше всего источник тока себя чувствует, когда его выводы закорочены, это для него нерабочий режим (все равно, что для источника ЭДС – разрыв, холостой ход). Источник тока совершенно не переносит разомкнутых выводов, для него это аварийный, перегрузочный режим (все равно, что для источника ЭДС – короткое замыкание). Поэтому выводы источника тока в нерабочем состоянии постоянно должны быть замкнуты.

Главная отличительная черта источника тока – бесконечно большое внутреннее сопротивление. Запишите формулу внутреннего сопротивления со стороны выхода и получите выражение емкости для настройки источника тока. В этом расчете сопротивлением обмотки катушки можно пренебречь. Наберите эту ёмкость на батарее конденсаторов, запишите номинальный выходной ток источника (выходные контакты которого, как уже отмечалось, должны быть замкнуты).

Получите теперь нагрузочную (вольтамперную) характеристику источника тока. Для этого установите на переменном резисторе нагрузки самое минимальное сопротивление, разомкните закорачивающий проводник (не выпускайте его пока из руки), подрегулируйте напряжение регулятора до 30 В, запишите сопротивление, напряжение и ток нагрузки и снова замкните проводник. Во время опыта наблюдайте за показаниями внутреннего амперметра. Аналогично получите ток и напряжение для нескольких других сопротивлений нагрузки. Опыт прекратите, когда внутренний амперметр будет зашкаливать. Вы заметите, что с ростом сопротивления нагрузки выходной ток источника почти неизменен, а напряжение на нагрузке растет.

Попробуйте теперь работу источника тока на ёмкостную и индуктивную нагрузку: при закороченных выводах источника тока отсоедините переменный резистор нагрузки и подсоедините на его место конденсатор C_X , измерьте на нем ток и напряжение, запишите его ёмкость. Затем также измерьте ток и напряжение на катушке L_X , запишите её индуктивность и сопротивление обмотки.

Рассчитайте режим работы источника тока (уже с учетом сопротивления обмотки) в режиме короткого замыкания и при всех нагрузках, какие вы

исследовали в опытах, а также в аварийном режиме для источника тока – холостого хода. Постройте в одном и том же масштабе векторные диаграммы токов и напряжений для всех опытов.

Сопоставьте опытные и расчетные результаты, чем вы можете объяснить различия? Постройте график нагрузочной характеристики источника тока (ток в функции напряжения) по расчетным результатам, нанесите на него экспериментальные данные. Сделайте выводы о том, как влияет сопротивление нагрузки на работу источника тока. Как отличается его характеристика от идеальной? В чем неидеальность построенного вами источника тока? Как характер нагрузки – индуктивный, ёмкостный – влияет на работу источника?

Как с физической точки зрения вообще объяснить принцип работы исследованного вами источника тока? Почему с ростом сопротивления нагрузки ток теоретически не должен меняться? Почему при этом растет внутренний ток источника? Почему опасен режим холостого хода? Что при этом произойдет?

Вариант 3

КАК РАБОТАЕТ ЁМКОСТНАЯ ФАЗОВРАЩАЮЩАЯ ЦЕПЧКА?

В практике эксплуатации судового электрооборудования повсеместно применяются фазовращающие цепочки (ФЦ), в которых можно регулировать угол разности фаз между входным и выходным напряжениями. Наиболее просто такую цепочку можно построить на основе конденсатора.

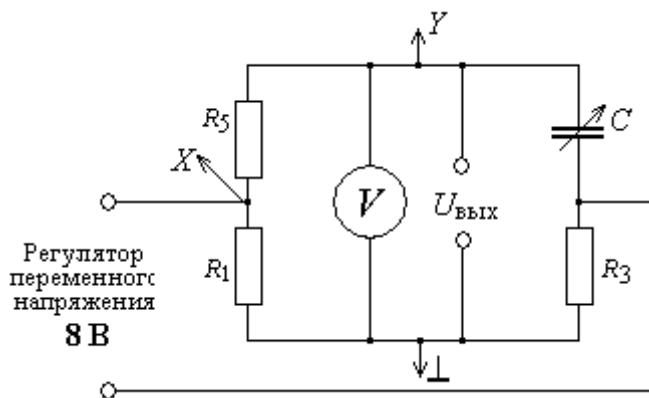


Рис. 1. Фазовращающая цепочка

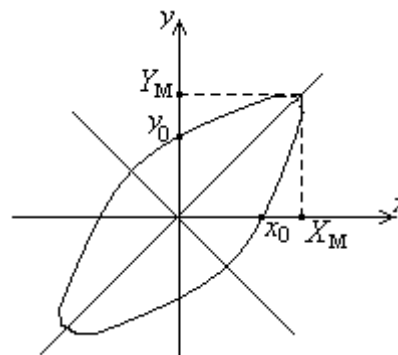


Рис. 2. Осциллограмма индикации угла

Для исследования работы ФЦ на основе конденсатора соберите цепь по рис. 1, в которой R_1 , R_3 , R_5 – опорные резисторы, запишите их сопротивления, C – переменная регулирующая емкость: используйте батарею конденсаторов. Для индикации угла разности фаз между входным и выходным напряжениями применяется осциллограф (ввиду отсутствия фазометра), вход X осциллографа должен быть включен. Вертикальный масштаб установите 1 В/дел. На экране при этом возникнет эллипс, рис. 2. Можно показать, что угол смещения фаз

между входным и выходным напряжениями определяется формулами:

$$\varphi = \arcsin \frac{Y_0}{Y_M} = \arcsin \frac{X_0}{X_M}.$$

Пощелкайте тумблерами на батарее конденсаторов, устанавливая самые разнообразные ёмкости от нуля до максимальной и до ∞ , понаблюдайте за эволюциями кривой на экране и за показаниями вольтметра. Вы заметите, что выходное напряжение неизменно по величине, а эллипс на экране принимает всевозможные положения, вырождаясь при крайних значениях ёмкости в наклонные линии. Подберите такую ёмкость, при которой эллипс превратится в круг.

Зафиксируйте несколько характерных осциллограмм, в том числе и оба крайние положения и случай вырождения в круг, не забудьте записать соответствующие значения ёмкостей. Определите по осциллограммам углы смещения фаз между входным и выходным напряжениями. Обратите внимание на то, что при нулевой ёмкости напряжения синфазны, при $C > 0$ выходное напряжение отстает от входного на угол $0 < \varphi < \pi$, при $C \rightarrow \infty$ – напряжения в противофазе.

Подсоедините к выходу цепочки нагрузку (резистор 1...2 кОм), повторите эксперимент, убедитесь, что теперь величина выходного напряжения не остается постоянной, хотя свойство вращения фазы в какой-то степени сохраняется.

Рассчитайте для режима ХХ (без нагрузки) и постройте в одном масштабе (1 В/см) векторные диаграммы токов и напряжений для всех ёмкостей, использованных в опытах. Как эволюционирует вектор выходного напряжения? Какова величина этого напряжения? Почему она не зависит от ёмкости?

Получите формулу зависимости угла разности фаз между входным и выходным напряжениями от ёмкости, постройте график этой зависимости. Объясните, почему угол смещения фаз определяется по осциллограмме по предложенным вам формулам. Почему вообще на экране возникает эллипс? Почему при крайних значениях ёмкости эллипс вырождается в прямые? Почему их наклоны противоположны? Почему эллипс вырождается в круг? Почему в качестве регулирующего нельзя взять другой элемент, например, переменный резистор? Каков в этом случае будет график зависимости угла смещения фаз от сопротивления этого резистора?

Сопоставьте исследованный вами метод вращения фаз с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникала ли в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования необходимость применения фазовращающей цепи? Как и для чего вы это делали?

Литература

- [2] – С. 92-99.
- [3] – Т.1., с. 197-202.
- [4] – Т.1., с. 99-118.
- [5] – С. 81-82.
- [6] – Т.1., с. 76-80.
- [7] – С. 50-103.

Вариант 4

КАК И ЗАЧЕМ КОМПЕНСИРОВАТЬ РЕАКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ В НАГРУЗКЕ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА?

В практике эксплуатации судового электрооборудования вы, безусловно слышали о проблеме компенсации реактивной мощности. Суть её в том, что большинство силовых нагрузок переменного тока (трансформаторы, электродвигатели, реле...) имеют индуктивный характер. Поэтому активная мощность, передаваемая в нагрузку для выполнения полезной работы, сопровождается перетоками реактивной (индуктивной) мощности. Реактивная мощность бесполезно загружает генератор, линии электропередач. Для её компенсации параллельно нагрузке подсоединяют конденсаторы.

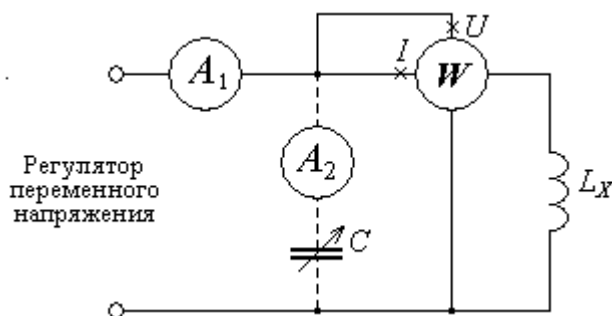


Рис. 1. Схема компенсации реактивной мощности

Пусть катушка имитирует индуктивную нагрузку, и пусть в неё нужно передать активную мощность, например, 5 Вт. Соберите схему по рис. 1 без ветви, показанной штриховой линией. Регулятором входного напряжения добейтесь заданной мощности, запишите входное напряжение и ток. Рассчитайте полную мощность и реактивную, которую и нужно скомпенсировать.

Подсоедините для этого параллельно нагрузке батарею конденсаторов, как показано штриховой линией. Установите на батарее какую-нибудь ёмкость, например, 5...7 мкФ. Снова попробуйте добиться заданной активной мощности в нагрузке. Вы заметите, что этот уровень мощности достигается при том же входном напряжении и при гораздо меньшем токе. Поэкспериментируйте таким образом с другими ёмкостями, попытайтесь уловить закономерность. Возможно, вам удастся подобрать такую ёмкость, при которой входной ток будет минимальным. Запишите результаты всех ваших экспериментов.

Для теоретического анализа запишите индуктивность и сопротивление обмотка катушки и пересчитайте в параметры параллельной схемы. При используемом вам входном напряжении рассчитайте активную и реактивную составляющие тока катушки. Реактивный ток имеет чисто индуктивный характер и должен быть скомпенсирован током конденсатора, который имеет, конечно, ёмкостный характер. Рассчитайте величину емкостного сопротивления и саму эту ёмкость, рассчитайте реактивную мощность в конденсаторе, равна ли она реактивной мощности катушки из первого опыта? На одном чертеже постройте векторные диаграммы токов и мощностей по результатам ваших экспериментов и расчётов. Выделите векторную диаграмму некомпенсированной нагрузки и полностью скомпенсированной.

Сопоставьте расчетные и экспериментальные результаты, чем вы можете объяснить различия? Объясните физический смысл проблемы и принятого способа её решения. Определите $\cos\varphi$ некомпенсированной нагрузки и полностью скомпенсированной. Какую линию опишет острей вектора входного тока на векторной диаграмме при изменении ёмкости от нуля до ∞ ? В чем состоит явление перекомпенсации? Наблюдали ли вы его в ваших опытах?

Сопоставьте исследованный вами метод компенсации реактивной мощности с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникала ли в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования необходимость компенсации реактивной мощности? Как и для чего вы это делали?

Литература

- [1] – Т.1., с. 190-195.
- [2] – С. 79-88.
- [3] – Т.1., с. 177-184.
- [4] – Т.1., с. 93-95.
- [5] – С. 94-95.
- [6] – Т.1., с. 82-88.
- [7] – С. 50-103.

Вариант 5

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ЁМКОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЕ УТЕЧКИ КОНДЕНСАТОРА В РЕЖИМЕ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА?

В практике эксплуатации часто требуется знать ёмкость и сопротивление утечки конденсатора, маркировка которого сбита или недоступна осмотру. Сравнительно несложно такая задача решается с измерением тока, напряжения и мощности конденсатора в режиме переменного тока.

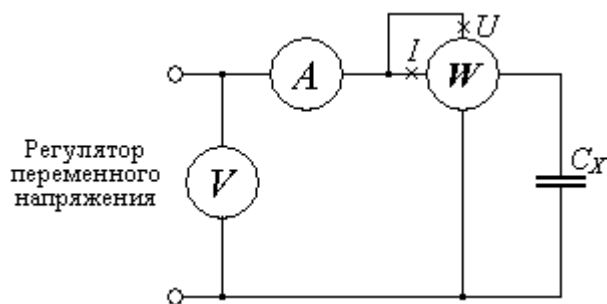


Рис. 1. Схема определения параметров конденсатора

Для определения параметров конденсатора соберите схему по рис. 1. Вольтметр уже подключен к выходу регулятора, амперметр и ваттметр измеряют ток и мощность конденсатора. Установите максимально возможное напряжение, запишите его величину, а также ток и мощность. Повторите измерения для нескольких других напряжений. Обратите внимание на сравнительно небольшую мощность, что говорит о сравнительно малых потерях энергии в конденсаторе.

По входному току и напряжению вы легко найдете полную проводимость конденсатора, а по напряжению и мощности – активную входную проводимость. По этим результатам легко определить реактивную входную проводимость, а затем емкость и параллельное сопротивление утечки конденсатора. Повторите эти расчёты для всех ваших экспериментов и определите средние значения ёмкости и сопротивления утечки. Оцените довольно большую величину сопротивления, что говорит о сравнительно высоком качестве конденсатора. Сравните найденную ёмкость с данными стенда. Постройте треугольник проводимостей.

Рассчитайте добротность конденсатора, тангенс угла потерь, угол разности фаз между входным током и напряжением, оцените его близость к 90° . Рассчитайте параметры последовательной схемы замещения конденсатора. Оцените сравнительно малую величину последовательного сопротивления потерь, а также близость значений емкостей в обеих схемах замещения. Постройте треугольник сопротивлений.

Для одного из режимов рассчитайте ток утечки и ёмкостный ток конденсатора, постройте векторную диаграмму токов и напряжения конденсатора (используйте параметры параллельной схемы замещения). Отметьте угол разности фаз между входными напряжением и током, угол потерь. Обратите внимание на совершенно одинаковое взаимное расположение векторов входных тока и напряжения для обеих схем замещения.

Сделайте выводы о соответствии экспериментальных результатов и данных стенда, чем можно объяснить различия? Оцените качество конденсатора. Заметно ли отличаются величины ёмкостей в параллельной и последовательной схемах замещения? Какая из схем замещения более предпочтительна с точки зрения физического смысла? удобства расчётов? Каков физический смысл сопротивления утечки? Какова схема замещения идеального конденсатора? его векторная диаграмма?

Сопоставьте исследованный вами метод определения параметров конденсатора с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникала ли в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования необходимость определения параметров конденсатора? Как и для чего вы это делали?

Литература

- [1] – Т.1., с. 187-195.
- [2] – С. 86-92.
- [3] – Т.1., с. 184-191.
- [4] – Т.1., с. 64-73.
- [5] – С. 90-92.
- [6] – Т.1., с. 76-80.
- [7] – С. 50-103.

Практическое занятие № 4 РЕЗОНАНС

Вариант 1

КАК ДОБИТЬСЯ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА?

Каждому из детского курса физики известно явление резонанса (P), сопровождающееся значительным усилением колебаний. В электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных катушки и конденсатора в режиме промышленной частоты P можно достичь изменением ёмкости конденсатора. При P в такой цепи ток и напряжения сильно увеличиваются, что находит обширные применения в практике эксплуатации судового электрооборудования.

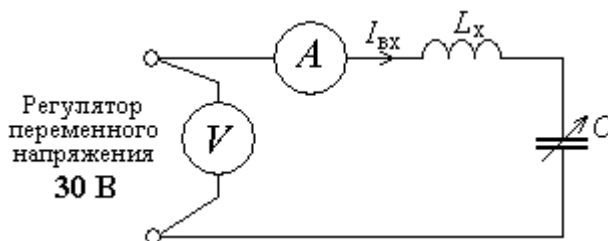


Рис. 1. Резонанс в последовательной цепи

Для исследования резонансного режима соберите цепь по рис.1. Стрелочный амперметр с пределом 1 А контролирует ток в цепи, вольтметр уже подсоединен к выходу регулятора. В качестве ёмкости используйте батарею конденсаторов: при включении тумблеров соответствующие конденсаторы подсоединяются параллельно, и их ёмкости складываются.

Пощелкайте тумблерами на батарее конденсаторов, убедитесь, что входной ток сильно зависит от ёмкости. Во время опыта все время следите за входным напряжением и при необходимости поддерживайте его на неизменном заданном уровне. Попробуйте достичь P , добиваясь максимального значения тока. Будьте терпеливы, сначала включайте конденсаторы большой ёмкости, затем более мелкие. Чтобы не искать P наугад, подсчитайте резонансную ёмкость C_0 из условия резонанса (для катушки используйте данные стенда).

Запишите параметры резонансного режима: ёмкость C_0 , ток, дежурным вольтметром измерьте напряжения на конденсаторе и катушке, обратите внимание на то, что эти напряжения гораздо ! больше входного. Запишите ток и напряжения и для нескольких других ёмкостей, меньших и больших C_0 , в том числе при $C = 0$ и $C \rightarrow \infty$! (бесконечно малое сопротивление бесконечно большой ёмкости имитируйте проводничком: КЗ).

Выведите или перепишите из учебника формулу полного сопротивления последовательной RLC -цепи, в качестве R примите естественно, сопротивление катушки (из данных стенда). Подсчитайте полное сопротивление цепи при всех ёмкостях которые Вы исследовали экспериментально, в том числе и при $C = 0$ и

$C \rightarrow \infty$. Подсчитайте ток и напряжения на конденсаторе и катушке, последнее определяется через U_R и U_L .

Все результаты сведите в удобную таблицу. Постройте теоретические графики зависимостей тока и напряжений U_C и $U_{КАТ}$ от емкости, отчетливо отметьте точку Р, граничные точки $C=0$ и $C \rightarrow \infty$. Нанесите на эти графики опытные данные. В неизменном масштабе постройте векторные диаграммы тока и напряжений для всех емкостей, вектор тока удобно располагать горизонтально. Подсчитайте добротность цепи. Постройте расчетные графики зависимостей индуктивного, ёмкостного, активного, реактивного и полного сопротивлений от ёмкости, а также график зависимости угла разности фаз между входным током и напряжением.

Сравните опытные и расчетные результаты, чем можно объяснить различия? Почему в режиме Р в цепи возникает максимальный ток? Как легко найти уровень этого тока? Чем определяется острота графика тока, т.е. избирательность цепи? Почему теоретические графики напряжений U_C и U_L пересекаются при Р? Почему при Р эти напряжения гораздо больше входного? Каковы асимптоты графиков тока и напряжений при больших ёмкостях? Какова схема замещения цепи при Р ? при $C > C_0$, при $C < C_0$? при $C \rightarrow \infty$? Каков характер входного сопротивления цепи в этих случаях? Какой вид примут все ваши графики при идеальной катушке, т.е. при $R = 0$?

Какова, на ваш взгляд, практическая ценность явлений, происходящих в цепи при Р? Как их можно использовать? Случалось ли вам встречаться с явлением Р в практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218.
- [2] – С. 105-113.
- [3] – Т.1., с. 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143.
- [5] – С. 92-99.
- [6] – Т.1., с. 93-109.
- [7] – С. 126-147.

Вариант 2

КАК РАБОТАЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ФИЛЬТР?

В судовой автоматике и технике связи для выделения из хаоса сигналов нужную частоту применяются резонансные фильтры, состоящие из последовательно соединенных катушки и конденсатора. Если такой фильтр настроить в резонанс на нужную частоту, сопротивление фильтра сильно уменьшится, и сигнал свободно проходит через него. Для сигналов с другими частотами фильтр представляет большое сопротивление и подавляет их.

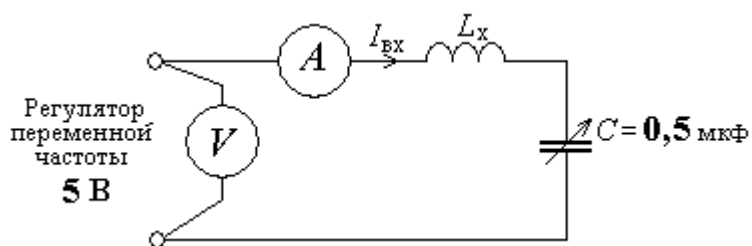


Рис. 1. Последовательный резонансный фильтр

Для исследования последовательного резонансного фильтра соберите схему по рис. 1. Источником сигнала служит генератор переменной частоты. Цифровой вольтметр контролирует напряжение сигнала, амперметр – ток. Запишите сопротивление и индуктивность обмотки катушки. Перед началом эксперимента настройте генератор.

Покрутите ручку настройки частоты генератора, имитируя сигналы различных частот. Убедитесь, что ток сильно зависит от частоты, и что при некоторой частоте сигнала в диапазоне 200 – 300 Гц ток наибольший. Во время опыта постоянно смотрите на входной вольтметр и ручкой «Регулировка выхода» поддерживайте входное напряжение сигнала на постоянном уровне (помните, что цифровые приборы инерционны!). Чтобы не искать резонансный режим наугад, подсчитайте резонансную частоту ω_0 , не забудьте, пожалуйста, перевести её в Герцы.

Запишите параметры резонансного режима: частоту, ток, дежурным вольтметром измерьте напряжения на конденсаторе и катушке, обратите внимание на то, что эти напряжения гораздо больше входного! Запишите ток и напряжения для нескольких других частот, гораздо больших и меньших резонансной, в том числе и максимально и минимально возможных для генератора.

Выведите или перепишите из учебника формулу полного сопротивления цепи, в качестве R примите, естественно, сопротивление обмотки катушки $R_{ОБМ}$. Подсчитайте полное сопротивление цепи при всех частотах, которые вы использовали в опытах, в том числе и для резонанса и для крайних частот: $\omega = 0$ и $\omega = \infty$. Подсчитайте для этих частот ток и напряжения на конденсаторе и катушке (последнее определяется через U_R и U_L). Все результаты сведите в удобную таблицу.

Постройте теоретические графики зависимостей тока сигнала и напряжений $U_{КАТ}$ и U_C от частоты сигнала, отчетливо выделите резонанс, граничные точки при нулевой частоте и частоте, равной бесконечности. Нанесите на эти графики экспериментальные точки, как они соответствуют? В неизменном масштабе постройте векторные диаграммы токов и напряжений для всех частот. Вектор тока удобно расположить горизонтально. Подсчитайте добротность фильтра, оцените полосу пропускания. Постройте графики зависимостей индуктивного, ёмкостного, активного, реактивного и полного сопротивлений фильтра от частоты, а также график зависимости угла разности фаз между входным током и напряжением цепи, а также годограф входного сопротивления.

Сопоставьте расчетные и экспериментальные результаты, чем вы можете объяснить различия? Каков принцип действия последовательного резонансного фильтра? Почему в режиме резонанса в цепи возникает максимальный ток? Каков уровень этого тока? От чего зависит избирательность фильтра? Почему теоретические графики U_L и U_C пересекаются при резонансной частоте? Почему при резонансе эти напряжения гораздо больше входного? Какова схема замещения фильтра при резонансе, при низких частотах? при высоких? при $\omega = 0$ и $\omega = \infty$? Каков характер входного сопротивления в этих случаях? Какой вид примут все ваши графики в случае идеальной катушки?

Сопоставьте схему исследованного вами фильтра с другими, может быть известными вам способами выделения сигнала определенной частоты. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Случалось ли вам использовать резонансные фильтры в практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218.
- [2] – С. 105-113.
- [3] – Т.1., с. 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143.
- [5] – С. 91-99.
- [6] – Т.1., с. 93-109.
- [7] – С. 126-147.

Вариант 3

КАК ИЗМЕРИТЬ ЧАСТОТУ ПЕРЕМЕННОГО НАПЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто возникает необходимость быстро оценить частоту переменного напряжения. Сравнительно просто это можно сделать с помощью параллельного соединения катушки и конденсатора. Если настроить такую цепь в резонанс с источником напряжения, то по параметрам режима цепи легко можно оценить частоту.

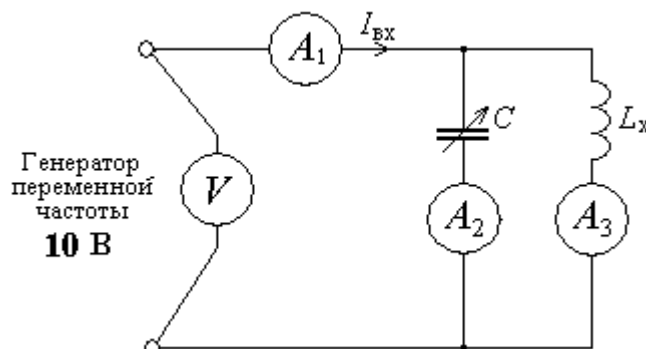


Рис. 1. Параллельная резонансная цепь

Для исследования метода оценки частоты переменного напряжения соберите схему по рис. 1. Амперметры контролируют токи в катушке и конденсаторе, а также входной ток. Источником напряжения неизвестной частоты служит генератор переменной частоты. В качестве переменной емкости используйте батарею конденсаторов: при включении тумблеров соответствующие конденсаторы подсоединяются параллельно, и их ёмкости складываются. Перед началом экспериментов настройте генератор.

Установите на генераторе какую-нибудь частоту, которую вы хотите измерить (произвольную, конечно, но лучше в пределах 100 – 300 Гц). Пощелкайте тумблерами на батарее конденсаторов, устанавливая различные ёмкости, убедитесь, что входной ток цепи сильно зависит от ёмкости. Во время опыта постоянно смотрите на входной вольтметр и ручкой «Регулировка выхода» поддерживайте входное напряжение генератора на постоянном уровне. Попробуйте достичь резонанса, добиваясь минимального входного тока. Будьте терпеливы, сначала оперируйте большими ёмкостями, затем более мелкими.

По достижении резонанса измерьте параметры резонансного режима: входной ток и токи в катушке и конденсаторе. Обратите внимание на то, что токи в катушке и конденсаторе гораздо больше входного. Не забудьте записать резонансную емкость C_0 . Запишите также все токи и для нескольких других ёмкостей, больших и меньших C_0 , в том числе и при $C = 0$ (выключите все тумблеры) и $C \rightarrow \infty$ (включите все тумблеры на батарее и подключите параллельно ещё и C_X).

Выведите или перепишите из учебника условие резонанса (не забудьте про $R_{ОБМ}$ для катушки!). Получите формулу резонансной частоты, полной проводимости цепи. Подсчитайте резонансную частоту ω_0 , не забудьте, пожалуйста, перевести её в герцы, сравните с частотой на шкале генератора. Подсчитайте полную проводимость цепи для всех ёмкостей, использованных в опытах. Подсчитайте токи в конденсаторе и катушке, все результаты сведите в удобную таблицу. Пользуясь наработанным опытом, измерьте ещё две-три частоты.

Для первой измеренной частоты постройте теоретические графики зависимостей токов от емкости, отчетливо отметьте резонанс, граничные точки $C = 0$ и $C \rightarrow \infty$. Нанесите на эти графики экспериментальные точки. В неизменном масштабе постройте векторные диаграммы токов и напряжений цепи для всех ёмкостей. Вектор входного напряжения удобно располагать горизонтально. Подсчитайте добротность цепи. Постройте расчетные графики зависимостей индуктивной, емкостной, активной, реактивной и полной проводимостей от емкости, а также график зависимости угла разности фаз между входным напряжением и током от ёмкости.

Сопоставьте расчетные и экспериментальные результаты. Чем вы можете объяснить различия? В чем суть принципа измерения частоты таким образом? Почему в режиме резонанса в цепи возникает минимальный входной ток? Чем определяется частота графика тока, т.е. избирательность цепи? Почему теоретические графики токов в катушке и конденсаторе пересекаются вблизи

резонанса? Почему при резонансе эти токи гораздо больше входного? Каковы асимптоты графиков при $C \rightarrow \infty$? Какова схема замещения цепи при резонансе, при $C > C_0$? при $C < C_0$? при $C = 0$ и $C = \infty$? Каков характер входного сопротивления цепи в этих случаях? Какой вид примут все ваши графики в случае идеальной катушки, т.е. при $R_{ОБМ} = 0$?

Сопоставьте исследованный вами метод измерения частоты с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникла ли у вас необходимость измерения частоты в практике эксплуатации судового электрооборудования? Как вы это делали?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218.
- [2] – С. 105-113.
- [3] – Т.1., с. 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143.
- [5] – С. 91-99.
- [6] – Т.1., с. 93-109.
- [7] – С. 126-147.

Вариант 4

КАК ДОБИТЬСЯ РЕЗОНАНСА В ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ИЗМЕНЕНИЕМ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА?

Каждому из детского курса физики известно явление резонанса (Р), сопровождающееся значительным усилением колебаний. В электрической цепи, состоящей из параллельно соединенных катушки и конденсатора, в режиме промышленной частоты Р можно достичь изменением ёмкости конденсатора. При Р в такой цепи входной ток сильно уменьшается, что часто применяется в практике эксплуатации судового электрооборудования.

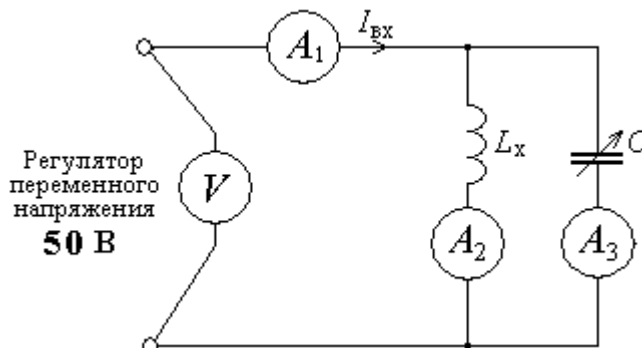


Рис. 1. Параллельная резонансная цепь

Для исследования резонансного режима соберите цепь по рис. 1. Амперметр A_1 контролирует входной ток в цепи, амперметры A_2 и A_3 – токи в катушке и конденсаторе. Вольтметр уже подсоединен к выходу регулятора

напряжения. В качестве ёмкости используйте батарею конденсаторов: при включении тумблеров соответствующие конденсаторы подсоединяются параллельно, и их емкости складываются.

Пощелкайте тумблерами на батарее конденсаторов, убедитесь, что входной ток сильно зависит от емкости. Во время опыта все время следите за входным напряжением, которое имеет обыкновение «плавать», и при необходимости поддерживайте его на неизменном заданном уровне. Попробуйте достичь P , добиваясь минимального значения входного тока. Будьте терпеливы, сначала включайте конденсаторы большой ёмкости, затем более мелкие. Чтобы не искать P наугад, подсчитайте резонансную ёмкость C_0 из условия резонанса (для катушки используйте данные стенда).

Запишите параметры резонансного режима: ёмкость C_0 , все токи, обратите внимание на то, что токи в катушке и конденсаторе гораздо ! больше входного. Запишите все эти токи и для нескольких других ёмкостей, гораздо меньших и больших C_0 , в том числе при $C = 0$ (выключите все тумблеры на батарее конденсаторов) и $C \rightarrow \infty$! (включите все тумблеры на батарее конденсаторов, да подсоедините параллельно ещё C_X).

Выведите или перепишите из учебника формулу полной входной проводимости параллельной RLC – цепи, в качестве R примите естественно, сопротивление обмотки катушки (из данных стенда). Подсчитайте полную проводимость цепи при всех ёмкостях, которые вы исследовали экспериментально, в том числе и при $C = 0$ и $C \rightarrow \infty$. Подсчитайте токи в конденсаторе и катушке и входной ток.

Все результаты сведите в удобную таблицу. Постройте теоретические графики зависимостей токов от емкости, отчетливо отметьте точку P , граничные точки $C = 0$ и $C \rightarrow \infty$. Нанесите на эти графики опытные данные. В неизменном масштабе постройте векторные диаграммы токов и напряжения для всех емкостей; вектор входного напряжения удобно располагать горизонтально. Подсчитайте добротность цепи. Постройте расчетные графики зависимостей индуктивной, ёмкостной, активной, реактивной и полной проводимостей от ёмкости, а также график зависимости угла разности фаз между входными током и напряжением.

Сравните опытные и расчетные результаты, чем можно объяснить различия? Почему в режиме P в цепи возникает минимальный ток? Каков уровень этого тока? Чем определяется острота графика тока, т.е. избирательность цепи? Почему теоретические графики токов в катушке и конденсаторе пересекаются вблизи P ? Почему при P эти токи гораздо больше входного? Каковы асимптоты графиков токов при больших ёмкостях? Какова схема замещения цепи при P ? при $C > C_0$, при $C < C_0$? при $C = C_0$? при $C \rightarrow \infty$? Каков характер входного сопротивления цепи в этих случаях? Какой вид примут все ваши графики при идеальной катушке, т.е. при $R = 0$?

Какова, на ваш взгляд, практическая ценность явлений, происходящих в цепи при P ? Как их можно использовать? Случалось ли вам встречаться с явлением P в практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218.
- [2] – С. 105-113.
- [3] – Т.1., с. 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143.
- [5] – С. 92-99.
- [6] – Т.1., с. 93-109.
- [7] – С. 126-147.

Вариант 5

КАК ИЗМЕРИТЬ ЁМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА С ПОМОЩЬЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ?

В практике эксплуатации судового электрооборудования часто требуется знать емкость конденсатора, маркировка которого сбита или недоступна непосредственному осмотру. Сравнительно легко такая задача решается подсоединением последовательно с конденсатором катушки и вводом полученной цепи в резонансный режим.

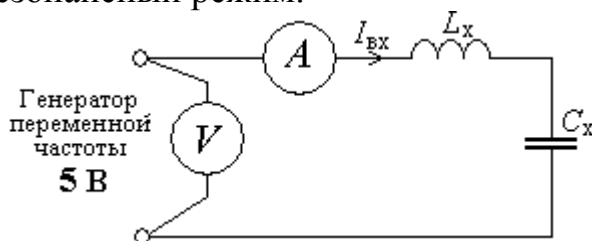


Рис. 1. Последовательная резонансная цепь

Для определения емкости конденсатора C_X соберите схему по рис. 1. Приборы служат для контроля входного тока и напряжения. Катушка L_X (запишите её параметры) и конденсатор C_X образуют последовательную LC – цепь. В качестве источника питания служит генератор переменной частоты. Перед началом работы нужно настроить этот генератор.

Покрутите ручку регулировки частоты генератора, убедитесь, что входной ток цепи сильно зависит от частоты входного напряжения. Во время опытов постоянно наблюдайте за входным напряжением, которое имеет тенденцию «плавать», и ручкой «Регулировка выхода» поддерживайте его на неизменном заданном уровне. Попробуйте достичь резонанса, добиваясь максимального значения тока.

Запишите параметры резонансного режима: частоту, ток. Дежурным вольтметром измерьте напряжения на конденсаторе и катушке, обратите внимание на то, что эти напряжения гораздо больше входного. Запишите ток и все напряжения и для нескольких других частот, больших и меньших резонансной, в том числе и для максимально и минимально возможных для генератора.

Выведите или перепишите из учебника формулу полного сопротивления последовательной RLC -цепи, в качестве R примите сопротивление обмотки

катушки. Получите условие резонанса и выведите формулу для резонансной ёмкости, подсчитайте эту ёмкость, не забудьте, пожалуйста, что по шкале генератора – частота в герцах, а вам нужна круговая. Сравните найденное значение ёмкости с данными стенда для C_X . Подсчитайте полное сопротивление цепи при всех частотах, использованных вами в экспериментах, в том числе и при резонансе и при крайних значениях частоты. Подсчитайте ток и напряжения на конденсаторе и катушке (последнее определяется через U_R и U_L). Все результаты сведите в удобную таблицу.

Постройте теоретические графики зависимостей тока и напряжений на конденсаторе и катушке от частоты, отчетливо выделите резонанс, граничные точки $\omega = 0$ и $\omega = \infty$. Нанесите на эти графики экспериментальные точки. В неизменном масштабе постройте векторные диаграммы тока и напряжений для всех частот. Вектор тока удобно располагать горизонтально. Подсчитайте добротность цепи, полосу пропускания. Постройте расчетные графики зависимостей индуктивного, ёмкостного, активного, реактивного и полного сопротивлений от частоты, а также график зависимости угла разности фаз входных напряжения и тока, постройте годограф входного сопротивления.

Сопоставьте расчетные и опытные результаты, чем вы можете объяснить различия? Почему в режиме резонанса в цепи возникает максимальный ток? Каков уровень этого тока? Чем определяется острота графика, т.е. избирательность цепи? Почему теоретические графики напряжений U_L и U_C пересекаются при ω_0 ? Почему при резонансе эти напряжения гораздо больше входного? Каковы асимптоты графиков тока и напряжений при высокой частоте? Какова схема замещения цепи при резонансе, при низких частотах? при высоких частотах? при $\omega = 0$ и $\omega = \infty$? Каков характер входного сопротивления в этих случаях? Каков физический смысл графиков зависимости сопротивлений от частоты? угла разности фаз между входными напряжениями и токами от частоты? Какой вид примут все ваши графики в случае идеальной катушки при $R = 0$?

Сравните изученный вами метод определения ёмкости конденсатора с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Приходилось ли вам в практике эксплуатации судового электрооборудования измерять ёмкость конденсатора?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218.
- [2] – С. 105-113.
- [3] – Т.1., с. 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143.
- [5] – С. 91-99.
- [6] – Т.1., с. 93-109.
- [7] – С. 126-147.

Практическое занятие № 5 ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Вариант 1

КАКОВО ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ?

Для обеспечения симметричного режима трехфазной цепи используется нейтральный провод, соединяющий нейтральные точки генератора и нагрузки. Очень часто в качестве этого провода используют землю. Поэтому сопротивление заземления играет важную роль в обеспечении нормальной работы трехфазной цепи.

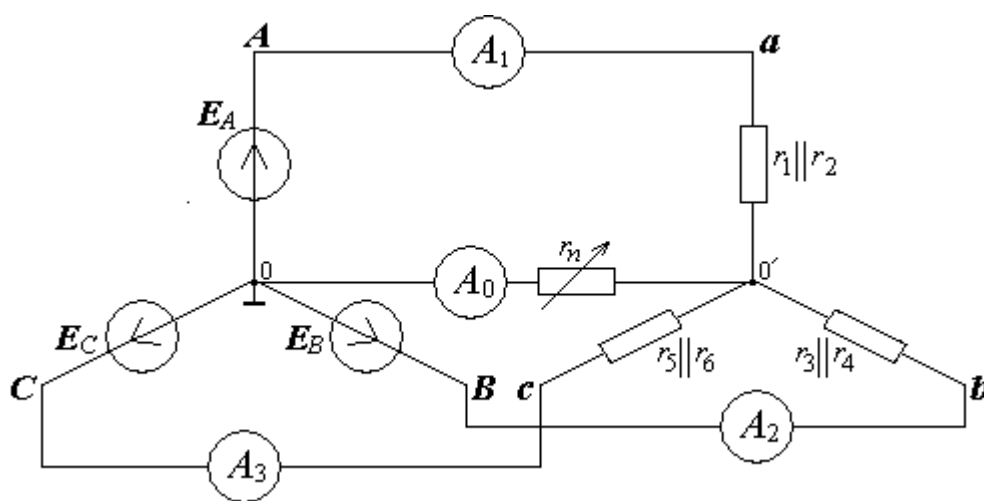


Рис. 1. Трехфазная цепь с симметричной нагрузкой

Для исследования влияния сопротивления заземления соберите схему по рис.1: $r_1 \parallel r_2$, $r_3 \parallel r_4$, $r_5 \parallel r_6$ – симметричная нагрузка, запишите сопротивления резисторов, подсчитайте сопротивления фаз нагрузки. Нейтральный провод с переменным сопротивлением имитирует заземление. Амперметры A_1 , A_2 , A_3 контролируют токи в фазах (они же линейные) (при измерениях, пожалуйста, не перепутайте эти приборы). E_A , E_B , E_C – трехфазный симметричный источник ЭДС 127/220 В 50 Гц. Установите нулевое сопротивление переменного резистора, что соответствует идеальному заземлению.

Дежурным вольтметром измерьте фазные напряжения источника U_A , U_B , U_C , убедитесь, что они по 127 В, измерьте линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , убедитесь, что они по 220 В, проверьте соотношение $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}$. Запишите токи в фазах, они же и линейные. В симметричном режиме эти токи равны по величине, а ток в нейтральном проводе близок к нулю. Измерьте фазные и линейные напряжения на нагрузке, они равны соответствующим напряжениям источника. Измерьте напряжение между нейтральными точками –

напряжение смещения нейтрали $U_{0'0}$, при идеальном заземлении это напряжение равно нулю.

Покрутите ручку переменного резистора, увеличивая сопротивление нейтрального провода от нуля до ∞ (разрыв, холостой ход), понаблюдайте за режимом цепи. Вы увидите, что при симметричной нагрузке режим не зависит от сопротивления заземления.

Разружьте симметрию нагрузки: отключите один из резисторов в фазе. Устанавливая различные сопротивления в нейтральном проводе от нуля до ∞ , измеряйте токи и все фазные и линейные напряжения нагрузки и напряжение смещения нейтрали. Вы заметите, что с ростом сопротивления заземления симметрия режима все больше нарушается. Занесите результаты всех ваших измерений в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных, теоретических результатов.

Рассчитайте все те режимы, которые вы исследовали на опытах, сопоставьте расчетные и опытные данные, чем можно объяснить различия? На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений для всех исследованных вами режимов, включая случаи $r = 0$ и $r = \infty$. Сделайте выводы о том, как и почему сопротивление заземлителя влияет на режим работы симметричной и несимметричной цепи. Почему для симметричной нагрузки величина сопротивления заземлителя безразлична? почему линейные напряжения нагрузки также безразличны к этому сопротивлению? Почему в симметричном режиме ток в нейтральном проводе близок к нулю, а в несимметричном – нет? Зачем вообще нужен нейтральный провод? В каких случаях его целесообразно использовать, а в каких нет? Случалось ли вам в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования применять трехфазные цепи?

Литература

- [1] – Т.1., с. 300-319.
- [2] – С. 169-186.
- [3] – Т.1., с. 283-291.
- [4] – Т.1., с. 361-378.
- [5] – С. 160-172.
- [6] – Т.1., с. 135-151.
- [7] – С. 117-126.

Вариант 2

КАК РАБОТАЕТ ЁМКОСТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ?

На выводах трехфазного питания обычно нет обозначений фаз: А, В, С, да этого и не нужно. При подключении нагрузки важно знать лишь порядок следования фаз, потому что именно от этого зависит правильная работа,

например, электродвигателей, трансформаторов. Наиболее просто порядок чередования фаз можно определить с помощью простейшего емкостного указателя, рис.1: если принять фазу, к которой подсоединен конденсатор, за А, то фаза с яркой лампочкой – будет В, а с тусклой – С.

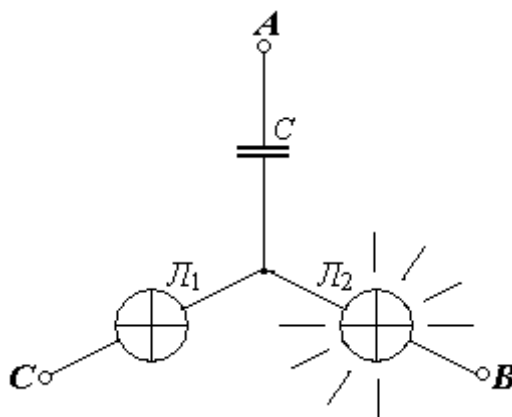


Рис. 1. Емкостный указатель чередования фаз

Для исследования работы указателя соберите цепь по рис. 2. Лампочки имитируются параллельными соединениями резисторов, запишите их сопротивления.

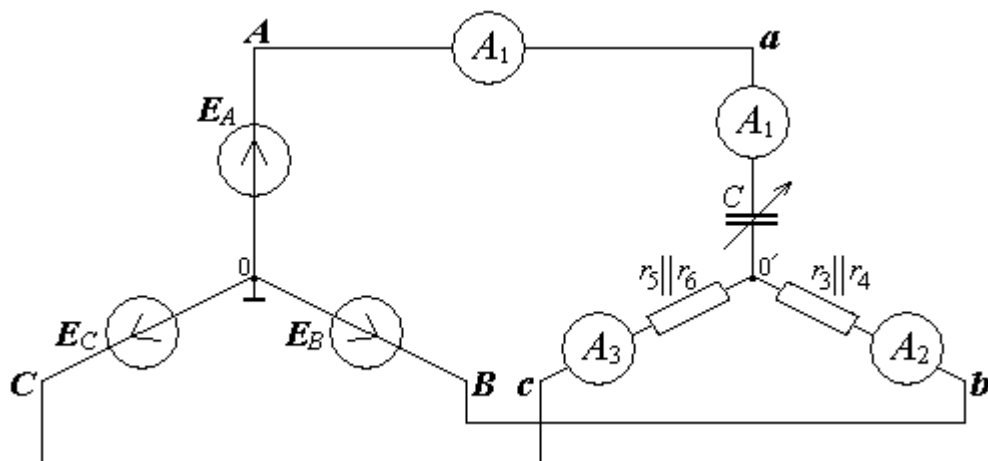


Рис. 2. Исследование указателя чередования фаз

Емкость C подберите такую, чтобы её сопротивление было равно сопротивлению параллельных пар, наберите эту ёмкость на батарее конденсаторов. Яркость лампочек имитируется величиной токов в резисторах. E_A, E_B, E_C – трехфазный симметричный источник ЭДС 127/220 В 50 Гц.

Дежурным вольтметром измерьте фазные напряжения источника U_A, U_B, U_C , убедитесь, что они по 127 В, измерьте линейные напряжения источника U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , убедитесь, что они по 220 В, проверьте соотношение $U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$. Запишите токи в фазах, они же и линейные. Измерьте фазные и линейные напряжения на нагрузке $U_a, U_b, U_c, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$ и напряжение смещения нейтрали $U_{0'0}$. Убедитесь, что линейные напряжения совпадают с

соответствующими напряжениями источника, а фазные уже не равны между собой, и ток в фазе B гораздо больше тока в фазе C .

Поэкспериментируйте с другими ёмкостями конденсатора, гораздо большими и меньшими исходной, в том числе и $C=0$ и $C=\infty$ (бесконечно малое сопротивление бесконечно большой ёмкости имитируйте замыканием конденсатора накоротко). Постарайтесь выявить, в каком диапазоне ёмкостей свойство указания фаз сохраняется, при какой ёмкости это свойство выражено наиболее ярко.

Рассчитайте все те режимы, которые вы исследовали на опытах, сопоставьте расчетные и экспериментальные результаты, чем вы можете объяснить различия? На отдельных чертежах в неизменном масштабе начертите векторные диаграммы токов и напряжений указателя при различных значениях ёмкости, в том числе при исходной, а также при $C=0$ и $C=\infty$. Сделайте выводы о том, как и почему ёмкость влияет на работу указателя. Как вообще объяснит работу указателя? Какую траекторию на комплексной плоскости описывает точка, соответствующая потенциалу 0^1 ? Что будет, по-вашему, если конденсатор заменить катушкой?

Сравните исследованный вами метод определения чередования фаз с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Возникала ли в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования необходимость определения чередования фаз в трехфазной цепи?

Литература

- [1] – Т.1., с. 300-319.
- [2] – С. 169-186.
- [3] – Т.1., с. 283-291.
- [4] – Т.1., с. 361-378.
- [5] – С. 160-172.
- [6] – Т.1., с. 135-151.
- [7] – С. 117-126.

Вариант 3

ПОЧЕМУ ОПАСЕН АВАРИЙНЫЙ ОБРЫВ ФАЗЫ СМЕШАННОЙ НАГРУЗКИ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЕННОЙ В ЗВЕЗДУ?

Ввиду чрезвычайно широкого распространения трехфазных цепей огромное значение приобретает распознавание всевозможных аварийных режимов (обрывов, коротких замыканий, пляски проводов, небрежности персонала и пр.) и прогнозирование последствий аварий. Обрыв фазы с резистивной нагрузкой при наличии в здоровых фазах нагрузки разного характера относится к числу тяжелых аварийных режимов.

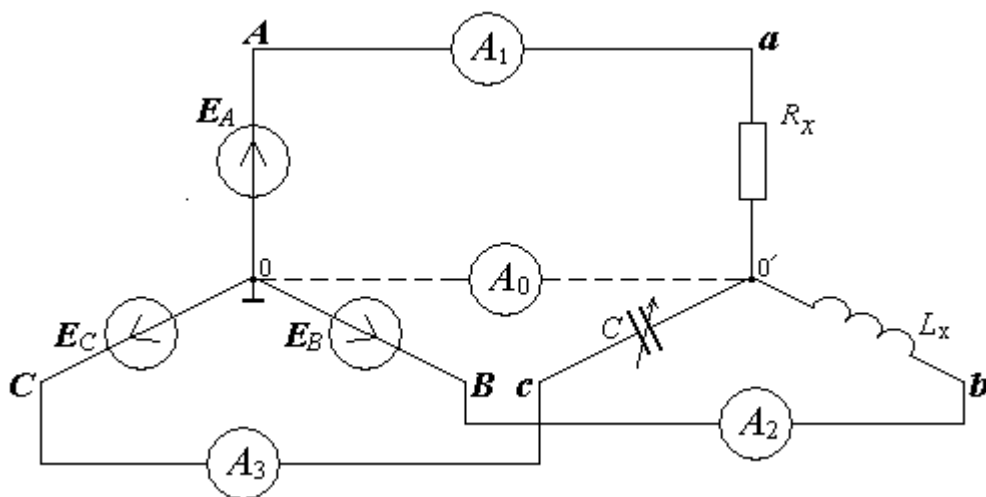


Рис. 1. Трехфазная цепь со смешанной нагрузкой

Для исследования этого режима соберите цепь по рис. 1. Несимметричная нагрузка соединена в звезду без нейтрального провода. Запишите сопротивление резистора в фазе A , сопротивление обмотки и индуктивность катушки в фазе B . На батарее конденсаторов в фазе C подберите такую емкость, сопротивление которой наиболее близко к индуктивному сопротивлению катушки (условие резонанса нагрузки фаз B и C). Амперметры контролируют токи в фазах нагрузки (они же линейные токи), при измерениях, пожалуйста, не перепутайте эти приборы. E_A, E_B, E_C – трехфазный симметричный источник ЭДС 127/220 В 50 Гц.

Дежурным вольтметром измерьте фазные напряжения источника U_A, U_B, U_C , убедитесь, что они по 127 В, измерьте линейные напряжения источника U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , убедитесь, что они по 220 В, проверьте соотношение $U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$. Запишите токи в фазах нагрузки, так как режим не симметричен, эти токи не равны. Измерьте фазные напряжения на нагрузке, они также не равны между собой, а вот линейные напряжения на нагрузке равны и совпадают с соответствующими напряжениями источника, убедитесь в этом. Измерьте напряжение смещения нейтрали.

Устройте обрыв фазы A нагрузки: разорвите цепь в точке a . Посмотрите, как сразу выросли токи в здоровых фазах, возможно, вам придется переключиться на другие, более грубые амперметры, чтобы измерить их. Измерьте также фазные и линейные напряжения на нагрузке, напряжение смещения нейтрали. В чем причина резкого возрастания токов и напряжений на нагрузке? Почему эта авария относится к числу тяжелых?

Введите в цепь нулевой провод, т.е. подсоедините через амперметр нейтральные точки генератора и нагрузки, как показано штриховой линией. Посмотрите, как сразу улучшилась ситуация! Запишите токи в здоровых фазах и в нулевом проводе, измерьте фазные напряжения нагрузки.

Все результаты внесите в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

Рассчитайте нормальный режим цепи и все исследованные вами аварийные режимы, сопоставьте расчетные и опытные результаты, чем можно объяснить различия? На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений нормального и аварийного режимов. Сделайте выводы о причинах стремительного роста токов в здоровых фазах при обрыве резистивной фазы, о роли нулевого провода. А что будет при обрыве другой фазы, например, с индуктивной нагрузкой?

Как быстро распознать характер аварии? Какие меры вы бы предложили, чтобы при обрыве резистивной фазы не возникало бы катастрофических последствий? Приходилось ли вам в вашей практике быть причиной подобной аварии или наблюдать её последствия?

Литература

- [1] – Т.1., с. 212-218, 300-319.
- [2] – С. 105-106, 169-186.
- [3] – Т.1., с. 283-291, 262-272.
- [4] – Т.1., с. 120-143, 361-378.
- [5] – С. 91-99, 160-172.
- [6] – Т.1., с. 135-151, 93-109.
- [7] – С. 117-147.

Вариант 4

КАКОВЫ ПОСЛЕДСТВИЯ СЛОЖНОЙ АВАРИИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ?

Ввиду чрезвычайно широкого применения трехфазных цепей огромное значение приобретает распознавание всевозможных аварийных режимов (обрывов, коротких замыканий, пляски проводов, перегрузок, небрежностей в обслуживании и т.п.) и прогнозирование результатов аварий. Сложная авария, состоящая в полном развале трехфазной системы: выпадения фаз нагрузки, обрывы и короткие замыкания – относится к тяжелым аварийным режимам.

Для исследования этой аварии соберите цепь по рис. 1: r_1, r_3, r_5 – симметричная нагрузка, соединенная в треугольник, запишите сопротивления резисторов. Амперметры контролируют фазные токи нагрузки, по возможности включите амперметры и в линейные провода (как показано штриховой линией) для измерения линейных токов (при измерениях, пожалуйста, не перепутайте эти приборы!). E_A, E_B, E_C – трехфазный симметричный источник ЭДС 127/220 В 50 Гц.

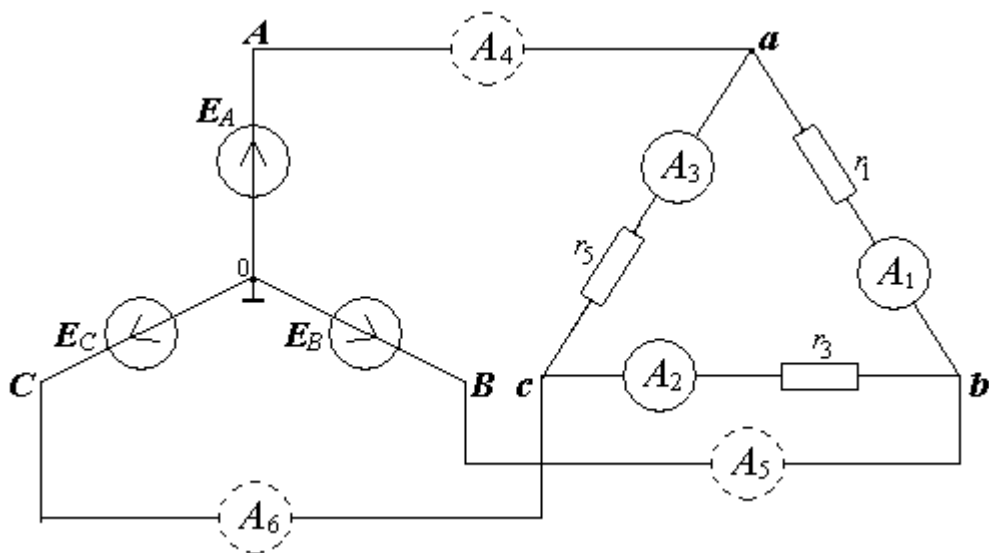


Рис. 1. Трехфазная цепь «Звезда – треугольник»

Дежурным вольтметром измерьте фазные напряжения источника U_A, U_B, U_C , убедитесь, что они по 127 В, измерьте линейные напряжения источника U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , убедитесь, что они по 220 В, проверьте соотношение $U_A = \sqrt{3}U_\phi$. Запишите токи в фазах нагрузки, в симметричном режиме токи эти токи равны по величине. Измерьте фазные напряжения на нагрузке, они также равны по величине и совпадают с соответствующими напряжениями источника. По возможности измерьте и запишите линейные токи, они также равны между собой и больше фазных в ... ?! раз.

Устройте сначала выпадение какой-нибудь фазы источника, например, А. Для этого выньте линейный провод из клеммы А питания и подсоедините его к нейтральной точке питания 0. Понаблюдайте, как изменится режим цепи, запишите фазные и линейные токи, измерьте фазные напряжения на нагрузке.

В развитие аварии устройте в фазе ВС нагрузки обрыв (выключите резистор). Снова запишите все напряжения и токи нагрузки.

И, наконец, довершите разрушение цепи: устройте выпадение еще одной фазы питания, например, В. Для этого выньте линейный провод В из клеммы питания В и подсоедините его к нейтральной точке источника 0. Измерьте и запишите (в последний раз!) все токи и напряжения на нагрузке. Все результаты сведите в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

Рассчитайте нормальный режим цепи и все исследованные вами аварийные режимы, сопоставьте экспериментальные и расчетные результаты, чем можно объяснить различия? На отдельных чертежах в неизменных масштабах постройте совмещённые векторные диаграммы токов и напряжений нормального и аварийных режимов. Сделайте выводы о том, почему сложная авария приводит к подобным последствиям. По каким признакам можно быстро распознать характер аварии? Какие меры предложили бы вы для сокращения ущерба от этих аварий? Случалось ли вам в практике эксплуатации судового электрооборудования быть причиной подобных аварий или наблюдать их последствия?

Литература

- [1] – Т.1, с. 300-319.
- [2] – С. 169-186.
- [3] – Т.1, с. 283-291.
- [4] – Т.1, с. 361-378.
- [5] – С. 160-172.
- [6] – Т.1, с. 135-151.
- [7] – С. 117-126.

Вариант 5

КАКОВЫ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНОГО ОБРЫВА ЛИНЕЙНЫХ ПРОВОДОВ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ?

Ввиду чрезвычайно широкого распространения трехфазных цепей огромное значение приобретает распознавание всевозможных аварийных режимов (обрывов, коротких замыканий, пляски проводов, перегрузок, небрежностей в обслуживании и т.п.) и прогнозирование результатов аварий. Сложная авария, состоящая в полном развале трехфазной системы: выпадения фаз нагрузки, обрывы и короткие замыкания – относится к тяжелым аварийным режимам.

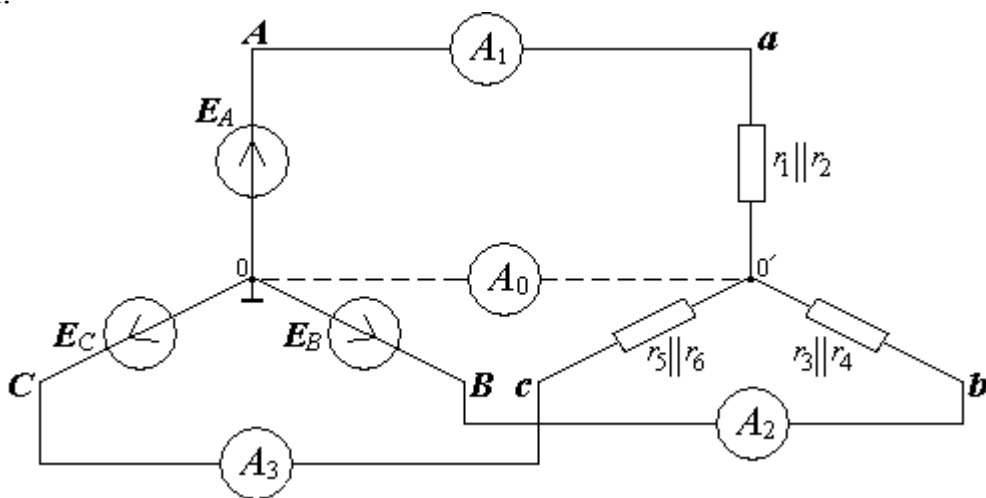


Рис. 1. Трехфазная электрическая цепь, соединенная по схеме «Звезда – звезда»

Для исследования этого режима соберите цепь по рис.1: $r_1 || r_2, r_3 || r_4, r_5 || r_6$ – симметричная нагрузка, соединенная звездой без нулевого провода, запишите сопротивления резисторов и подсчитайте сопротивления фаз. Амперметры контролируют токи в фазах нагрузки (они же линейные токи), при измерениях, пожалуйста, не перепутайте все эти приборы. E_A, E_B, E_C – трехфазный симметричный источник ЭДС 127/220 В 50 Гц.

Дежурным вольтметром измерьте фазные напряжения источника U_A, U_B, U_C , убедитесь, что они по 127 В, измерьте линейные напряжения источника U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , убедитесь, что они по 220 В, проверьте соотношение $U_A = \sqrt{3}U_\phi$. Запишите токи в фазах нагрузки, в симметричном режиме токи эти

токи равны по величине. Измерьте фазные и линейные напряжения на нагрузке $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ – они совпадают с соответствующими напряжениями источника питания. Измерьте напряжение смещения нейтрали, оно должно быть около нуля.

Разорвите какой-нибудь линейный провод, например, в точке А. Понаблюдайте, как изменится режим цепи, запишите линейные токи, токи в здоровых фазах, измерьте фазные и линейные напряжения на нагрузке. Почему эта авария не относится к числу тяжёлых? Каковы характерные признаки этой аварии? Включите в цепь нулевой провод, т.е. соедините через амперметр нейтральные точки генератора и нагрузки, как показано штриховой линией. Как наличие нулевого провода влияет на последствия аварии? Снова измерьте все напряжения и токи на нагрузке.

Восстановив исходный нормальный режим, аналогично поэкспериментируйте с обрывом какого-нибудь другого линейного провода. Повторяются ли характерные последствия аварии?

А теперь разорвите сразу два любых линейных провода, например, в точках А и В. Как изменится режим работы нагрузки? Измерьте все токи и напряжения нагрузки при наличии и отсутствии нулевого провода. Каков характер этого аварийного режима?

Все результаты занесите в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

Рассчитайте нормальный режим и все исследованные вами аварийные режимы, сопоставьте расчетные и экспериментальные режимы. На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещённые векторные диаграммы токов и напряжений нормального и аварийных режимов. Сделайте выводы о том, как обрыв в одном или двух линейных проводах влияет на работу цепи. Почему эта авария не относится к тяжелым? При какой нагрузке последствия аварии будут чрезвычайно тяжелыми? Оцените влияние нулевого провода на работу здоровых фаз нагрузки. А что будет при обрыве трех линейных проводов?

Случалось ли вам в практике эксплуатации судового электрооборудования быть причиной подобных аварий или наблюдать их последствия?

Литература

- [1] – Т.1, с. 300-319.
- [2] – С. 169-186.
- [3] – Т.1, с. 283-291.
- [4] – Т.1, с. 361-378.
- [5] – С. 160-172.
- [6] – Т.1, с. 135-151.
- [7] – С. 117-126.

Практическое занятие № 6 ЦЕПИ СО ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Вариант 1

КАК РАБОТАЕТ АВТОТРАНСФОРМАТОР НА РЕЗИСТИВНУЮ НАГРУЗКУ?

Среди оборудования любой лаборатории особое место занимает автотрансформатор (АТ) – универсальный преобразователь электроэнергии переменного тока, позволяющий плавно менять величину переменного напряжения. Это свойство достигается с введением подвижного контакта, скользящего по обмотке катушки. Резистивная нагрузка – нагреватели, лампочки, резисторы – одна из самых распространённых нагрузок в АТ.

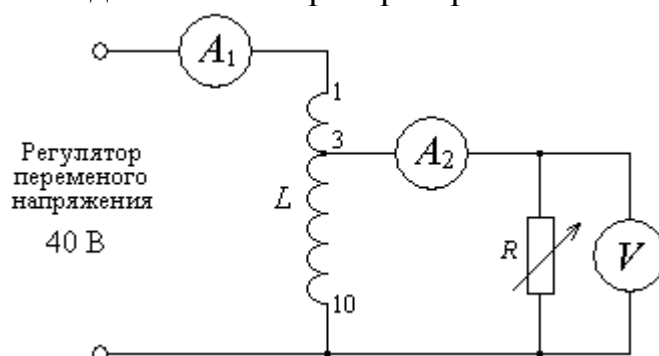


Рис. 1. Автотрансформатор под резистивной нагрузкой

Соберите схему АТ под резистивной нагрузкой, рис.1. Роль нагрузки выполняет переменный резистор. Вольтметр контролирует напряжение на нагрузке, подсоединение в точке 3 имитирует скользящий контакт.

Покрутите ручку переменного резистора, убедитесь, что токи в обмотках АТ сильно зависят от сопротивления нагрузки, а выходное напряжение – не очень. Убедитесь, что ваш АТ – понижающий. Оцените коэффициент трансформации. Запишите токи и выходное напряжение АТ для нескольких сопротивлений нагрузки, в том числе и для $R_H = 0$ (режим КЗ) и для $R_H = \infty$ (режим ХХ). Не забудьте, пожалуйста, записать соответствующие сопротивления нагрузки. Занесите все результаты в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных результатов.

Перед теоретическим исследованием работы АТ необходимо определить индуктивности частей его обмотки и коэффициент взаимной индукции между ними. Для этого соберите цепь по рис. 2. Запишите резистивное сопротивление всей обмотки 1 – 10, отнимите сопротивление первой части обмотки 1 – 3 и получите сопротивление второй части обмотки 3 – 10. Измерьте ток первой части обмотки и напряжение холостого хода второй части. По этим результатам легко рассчитать индуктивность обмотки 1 – 3 и коэффициент взаимной индукции между частями обмотки.

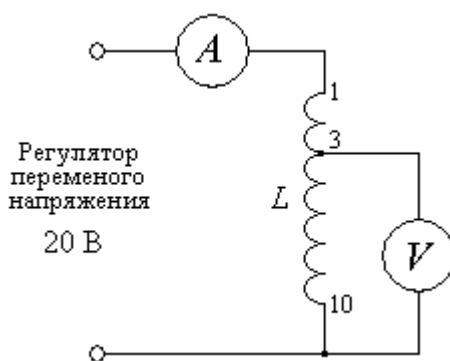


Рис. 2. Определение индуктивностей и коэффициента взаимной индукции

Подсоедините теперь наоборот: регулятор напряжения с амперметром – на вторую часть обмотки, а к первой части 1 – 3 подсоедините вольтметр. По результатам измерения легко найти индуктивность обмотки 3 – 10 и снова коэффициент взаимной индукции (сравните!). Определите коэффициент магнитной связи.

Выведите или перепишите из учебника уравнения АТ под резистивной нагрузкой, получите формулы для токов и выходного напряжения. Подставьте значения всех параметров АТ и нагрузки, использованных в опытах, и рассчитайте токи и напряжения на нагрузке. На отдельных чертежах в неизменных масштабах постройте совмещённые векторные диаграммы токов и напряжений АТ для различных нагрузок, в том числе и для режимов КЗ и ХХ.

Сопоставьте расчетные и опытные данные. Объясните принцип работы АТ. Постройте расчетные графики зависимостей токов в обмотках АТ и выходного напряжения от сопротивления нагрузки. Постройте также графики зависимостей КПД $\cos \varphi$ от этого сопротивления, нанесите экспериментальные точки. Сделайте выводы о том, как сопротивление нагрузки влияет на режим работы АТ. В каком соотношении находятся токи в обмотках? Каков ток в общей части обмотки? Постройте график этого тока от сопротивления нагрузки. Как влияет нагрузка на эффективность АТ? Постройте график зависимости величины входного сопротивления АТ от нагрузки. Почему АТ может считаться преобразователем напряжения? Чем объяснить широчайшее применение АТ? Что сдерживает его применение? Случалось ли вам применять АТ при эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 263-282.
- [2] – С. 114-132.
- [3] – Т.1, с. 242-252.
- [4] – Т.1, с. 198-224.
- [5] – С. 102-110.
- [6] – Т.1, с. 110-126.
- [7] – С. 160-195.

КАКОВЫ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРА?

Ввиду чрезвычайно широкого применения автотрансформаторов (АТ) в практике эксплуатации судового электрооборудования особое значение приобретает оперативное распознавание всевозможных аварийных режимов АТ (обрывов, коротких замыканий, перегрузок, ошибок персонала и пр.) и прогнозирование последствий аварий. Короткое замыкание на вторичной обмотке АТ относится к числу тяжелых аварийных режимов.

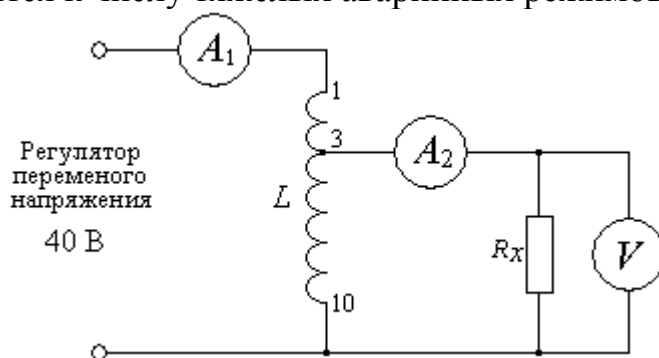


Рис. 1. Автотрансформатор под резистивной нагрузкой

Для исследования подобного режима понижающего АТ под резистивной нагрузкой, в роли которой выступает резистор R_X , соберите схему по рис. 1. Запишите величину сопротивления нагрузки. Цифровой вольтметр контролирует выходное напряжение нагрузки. Убедитесь, что АТ – понижающий. Запишите токи и выходное напряжение АТ для этого штатного нагрузочного режима. Точка 3 имитирует скользящий контакт.

Устройте короткое замыкание на выходе АТ, Для этого замкните нагрузку проводничком. Посмотрите как сразу увеличатся токи, запишите их. Выходное напряжение, естественно, равно нулю. Если подсядет входное напряжение, подрегулируйте его до нужного значения.

Поэкспериментируйте аналогично с повышающим АТ, Для этого первичной надо принять часть обмотки 3 – 10, а вторичной – всю обмотку 1 – 10, т.е. в схеме на рис.1 регулятор с амперметром A_1 подсоедините к точкам 3 – 10, а нагрузку с амперметром A_2 и с вольтметром – к точкам 1 – 10. Убедитесь, что теперь АТ – понижающий, запишите токи и напряжение нормального режима и при коротком замыкании на выходе. Занесите все результаты в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

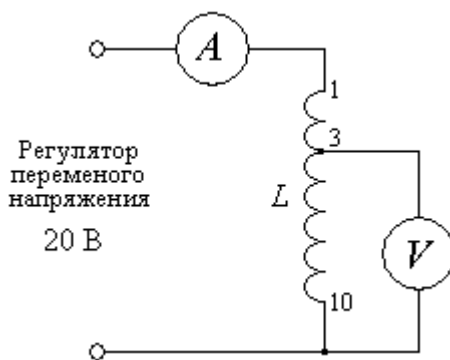


Рис. 2. Определение индуктивностей и коэффициента взаимной индукции

Перед теоретическим исследованием работы АТ необходимо определить индуктивности частей его обмотки и коэффициент взаимной индукции между ними. Для этого соберите цепь по рис. 2. Запишите резистивное сопротивление всей обмотки 1 – 10, отнимите сопротивление первой части обмотки 1 – 3 и получите сопротивление второй части обмотки 3 – 10. Измерьте ток первой части обмотки и напряжение холостого хода второй части. По этим результатам вы легко рассчитаете индуктивность обмотки 1 – 3 и коэффициент взаимной индукции между частями обмотки.

Подсоедините наоборот: регулятор напряжения с амперметром – на вторую часть обмотки, а к первой части 1 – 3 подсоедините вольтметр. По результатам измерения найдите индуктивность обмотки 3 – 10, коэффициент взаимной индукции (сравните!) и коэффициент магнитной связи.

Выведите или перепишите из учебника уравнения АТ под резистивной нагрузкой, получите формулы для токов и выходного напряжения. Подставьте значения всех параметров АТ и нагрузки, использованных в опытах, и рассчитайте токи и напряжения нормального и аварийных режимов понижающего и понижающего АТ. На отдельных чертежах в неизменных масштабах постройте совмещённые векторные диаграммы токов и напряжений АТ для всех случаев, в том числе для режимов КЗ.

Сопоставьте расчетные и опытные данные. Объясните принцип работы АТ. В каком соотношении между собой находятся токи в обмотках понижающего и понижающего АТ? Сделайте выводы о том, как режим КЗ влияет на токи и напряжение АТ. Почему это опасная авария? Какой АТ переносит КЗ тяжелее: понижающий или повышающий? Рассчитайте мощность нагрева АТ в нормальных и аварийных режимах. Каков характер и величина входного сопротивления АТ при КЗ? в нормальном режиме? угол разности фаз между входным напряжением и током?

Какие бы вы предложили меры для снижения катастрофических последствий аварийного режима АТ? Случалось ли вам быть причиной подобных аварий или наблюдать их последствия на практике?

Литература

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| [1] – Т.1, с. 263-282. | [3] – Т.1, с. 242-252. | [5] – С. 102-110 |
| [2] – С. 114-132. | [4] – Т.1, с. 198-224. | [6] – Т.1, с. 110-126. |
| | [7] – С. 160-195. | |

КАКОВЫ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНОГО ПРОБОЯ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В КАТУШКЕ?

Ввиду чрезвычайно широкого применения катушек переменного напряжения в практике эксплуатации судового электрооборудования особое значение приобретает распознавание аварийных режимов катушек обрывов, коротких замыканий, перегрузок, а также прогнозирование последствий аварий. Повреждение межвитковой изоляции и возникновение группы короткозамкнутых витков относится к числу тяжелых аварийных режимов.

В качестве исследуемой катушки выберем катушку с отводами 1 – 10. Сначала исследуйте её нормальный режим по схеме на рис. 1. Измерьте входные ток и мощность, подсчитайте нормальную рабочую индуктивность катушки и сопротивление её обмотки.

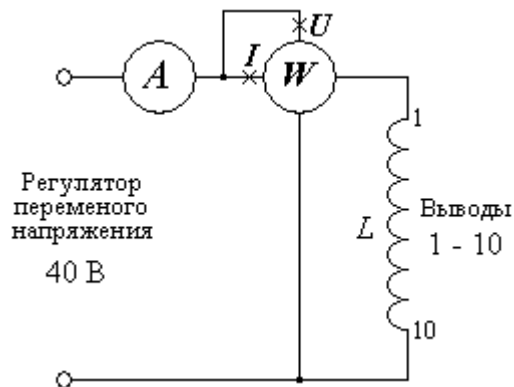


Рис. 1. Нормальный режим катушки с отводами

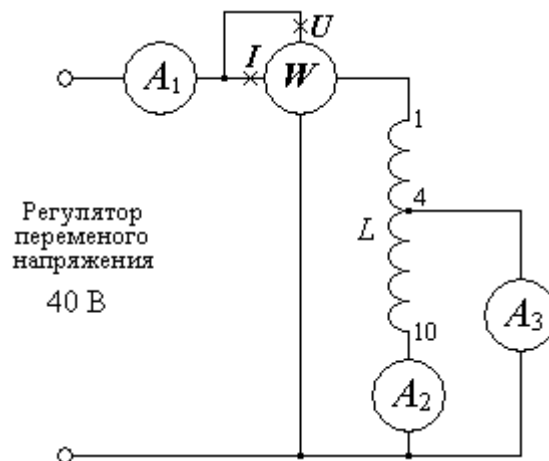


Рис. 2. Короткое замыкание части витков катушки

Имитируйте пробой изоляции, т.е. короткое замыкание части витков катушки, для чего замкните (через амперметр A_3) часть витков катушки, например, 4 – 10, рис.2. Оцените, как сразу нарушается нормальный режим катушки, как возрастают входные ток и мощность, ток в замкнутой части катушки и в коротком замыкании, запишите все эти величины.

Поэкспериментируйте с опытом КЗ другой части витков катушки, переставляя верхний вывод амперметра в другие точки, например, 3, 5, 7. Постарайтесь уловить зависимости токов от количества короткозамкнутых витков. Занесите все результаты в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

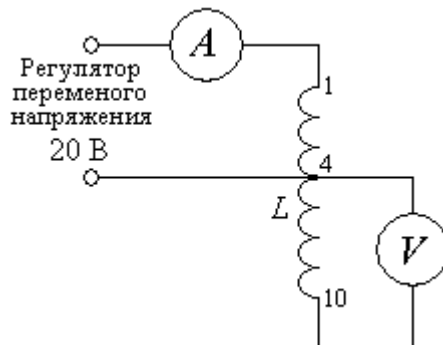


Рис. 3. Определение индуктивностей и коэффициента взаимной индукции

Перед теоретическим исследованием вам понадобятся индуктивности поврежденной и неповрежденной частей обмотки и коэффициент взаимной индукции между ними. Для их определения соберите схему по рис. 3. Запишите резистивные сопротивления обмоток, измерьте тока первой части обмотки I_1 и напряжение на второй её части U_2 . По этим результатам вы легко рассчитаете индуктивность L_{1-4} обмотки 1 – 4 и коэффициент взаимной индукции M между частями обмотки.

Подсоедините теперь наоборот: регулятор напряжения с амперметром к части обмотки 4 – 10 а вольтметр – к контактам 1 – 44. Снова измерьте ток и напряжение и найдите индуктивность L_{4-10} и снова коэффициент взаимной индукции (сопоставьте!). Рассчитайте коэффициент магнитной связи. Повторите эти эксперименты и расчеты для точек 3, 5, 7, использованных ранее.

Выведите или перепишите из учебника уравнения, описывающие работу катушки в условиях КЗ части витков. Получите выражения для входных тока и мощности, тока в короткозамкнутой части катушки, тока в коротком замыкании. Подставьте все параметры, использованные в опытах и рассчитайте токи и мощности для всех случаев КЗ части витков. На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений нормального и всех аварийных режимов.

Сопоставьте опытные и расчетные результаты. Постройте графики зависимостей токов и входной мощности от числа короткозамкнутых витков катушки (по номерам выводов). Сделайте выводы о том, как и почему появление короткозамкнутых витков влияет на режим работы катушки. В чем опасность этой аварии? Где и почему возникает наибольший ток? Рассчитайте и постройте график величины входного сопротивления и угла разности фаз между входным напряжением и током в зависимости от числа короткозамкнутых витков. Как объяснить поведение этих графиков?

Какие бы вы предложили меры для снижения катастрофических последствий этой аварии в катушке? Случалось ли вам быть причиной подобных аварий или наблюдать их последствия в практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 263-282.
- [2] – С. 114-132.
- [3] – Т.1, с. 242-252.
- [4] – Т.1, с. 198-224.
- [5] – С. 102-110.
- [6] – Т.1, с. 110-126.
- [7] – С. 160-195.

Вариант 4

КАК РАБОТАЕТ ТРАНСФОРМАТОР НА РЕЗИСТИВНУЮ НАГРУЗКУ?

Из детского курса физики каждый знаком с трансформатором (Т). Это уникальный преобразователь электроэнергии, КПД которого достигает едва ли не 100 процентов. Резистивная нагрузка (нагреватели, лампочки...) – одна из самых распространенных нагрузок Т.

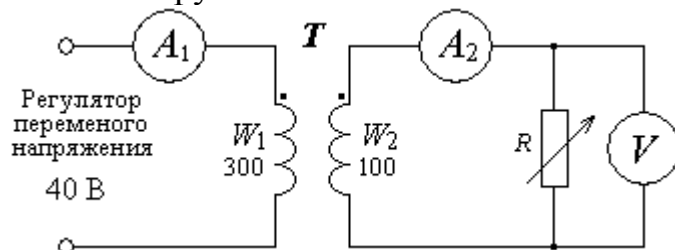


Рис. 1. Трансформатор под резистивной нагрузкой

Соберите схему Т под резистивной нагрузкой, роль которой выполняет переменный резистор, рис. 1. Цифровой вольтметр контролирует напряжение на нагрузке. Покрутите ручку переменного резистора, убедитесь, что токи в обмотках сильно зависят от сопротивления нагрузки, а выходное напряжение – не очень. Убедитесь, что Т – понижающий, и $U_1 \approx nU_2$. Запишите токи и выходное напряжение Т для нескольких сопротивлений нагрузки, в том числе для $r=0$ (КЗ) и $r=\infty$ (ХХ). Не забудьте, пожалуйста, записать соответствующие сопротивления нагрузок. Занесите все результаты в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

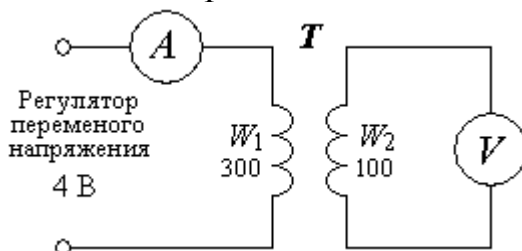


Рис. 2. Определение индуктивностей и коэффициента взаимной индукции

Для теоретического исследования работы Т необходимо определить индуктивности его обмоток и коэффициент взаимной индукции по схеме на рис. 2. Приборы лучше применить цифровые. Запишите резистивные сопротивления обмоток. Измерьте ток первичной обмотки I_1 и напряжение ХХ вторичной обмотки U_2 . По этим результатам вы легко рассчитаете индуктивность первичной обмотки L_1 , коэффициент взаимной индукции M и индуктивность рассеяния L_{s1} .

Подсоедините теперь наоборот: регулятор напряжения с амперметром ко вторичной обмотке, а вольтметр – к первичной. По этим результатам легко найти индуктивность L_2 и снова M , сопоставьте. Рассчитайте коэффициент магнитной связи и индуктивность рассеяния вторичной обмотки.

Выведите или перепишите из учебника уравнения Т для случая резистивной нагрузки, получите выражения для токов и выходного напряжения. Подставьте значения всех параметров Т и нагрузки, использованных в опытах, и рассчитайте токи и напряжения на нагрузке Т. На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений Т для нескольких различных нагрузок, в том числе и для КЗ и ХХ.

Сравните опытные и расчетные результаты, чем можно объяснить различия? Объясните принцип работы Т. Постройте графики зависимостей токов в обмотках и выходного напряжения от сопротивления нагрузки. Постройте графики зависимостей КПД и коэффициента мощности $\cos\phi$ от этого сопротивления. Сделайте выводы о том, как сопротивление нагрузки влияет на режим работы Т? Сохраняется ли свойство понижения напряжения? В каком соотношении между собой находятся токи в обмотках? Как влияет нагрузка на эффективность Т? Рассчитайте и постройте графики зависимостей величины входного сопротивления Т и угла разности фаз между входным током и напряжением от сопротивления нагрузки. Объясните физический смысл этих графиков. Почему Т часто называют преобразователем сопротивления?

Чем объяснить чрезвычайно широкое применение Т? Каковы его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Случалось ли вам применять Т в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 263-282.
- [2] – С. 114-132.
- [3] – Т.1, с. 242-252.
- [4] – Т.1, с. 198-224.
- [5] – С. 102-110.
- [6] – Т.1, с. 110-126.
- [7] – С. 160-195.

КАК РАБОТАЕТ ТРАНСФОРМАТОР НА ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ?

Из детского курса физики каждый знаком с трансформатором (Т). Это уникальный преобразователь электроэнергии, КПД которого достигает едва ли не 100 процентов. Индуктивная нагрузка (электродвигатели, реле, другие Т...) – самая распространенная нагрузка Т.

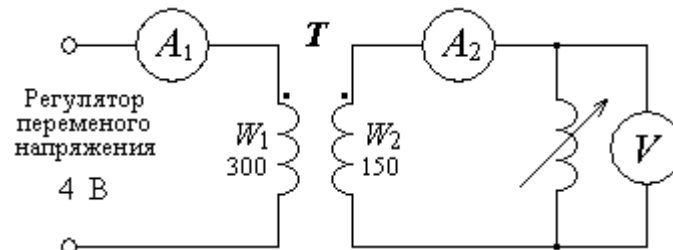


Рис. 1. Трансформатор под резистивной нагрузкой

Соберите схему Т под индуктивной нагрузкой, рис. 1. Роль нагрузки выполняет катушка с отводами 1 – 10. Цифровой вольтметр контролирует напряжение на нагрузке. Попробуйте переставлять штекер в катушке, подключая различные нагрузки: 1–2, 1–3, убедитесь, что токи в обмотках сильно зависят от нагрузки, а выходное напряжение – не очень. Убедитесь, что Т – понижающий, и $U_1 \approx nU_2$. Запишите токи и выходное напряжение Т для нескольких нагрузок, в том числе для режимов КЗ и ХХ. Не забудьте, пожалуйста, записать и сопротивления обмоток и индуктивности для соответствующих катушек. Занесите все результаты в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных данных.

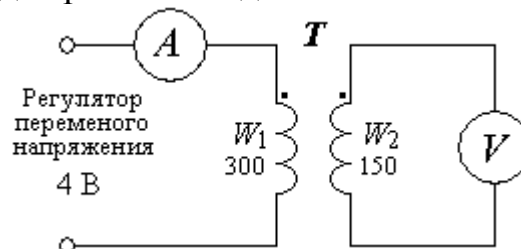


Рис. 2. Определение индуктивностей и коэффициента взаимной индукции

Перед теоретическим анализом Т определите индуктивности его обмоток и коэффициент взаимной индукции по схеме на рис. 2. Приборы лучше использовать цифровые. Запишите резистивные сопротивления обмоток. Измерьте ток первичной обмотки I_1 и напряжение вторичной обмотки в режиме холостого хода U_2 . По этим результатам вы легко определите индуктивность первичной обмотки L_1 , коэффициент взаимной индукции M и индуктивность рассеяния L_{S1} .

Подсоедините теперь наоборот: регулятор напряжения с амперметром – ко вторичной обмотке, а вольтметр – к первичной. По этим результатам легко

найти индуктивность L_2 и снова M (сопоставьте!). Рассчитайте коэффициент магнитной связи и индуктивность рассеяния вторичной обмотки.

Выведите или перепишите из учебника уравнения Т для случая индуктивной нагрузки, получите выражения для токов и выходного напряжения. Подставьте значения всех параметров Т и нагрузки, использованных в опытах, и рассчитайте токи и напряжения на нагрузке Т. На отдельных чертежах в неизменном масштабе постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений Т для нескольких различных нагрузок, в том числе и для КЗ и ХХ.

Сравните опытные и расчетные результаты, чем можно объяснить различия? Объясните принцип работы Т. Постройте графики зависимостей токов в обмотках и выходного напряжения от индуктивности нагрузки. Постройте графики зависимостей КПД и коэффициента мощности $\cos\varphi$ от индуктивности. Сделайте выводы о том, как индуктивность нагрузки влияет на режим работы Т? Сохраняется ли свойство понижения напряжения? В каком соотношении между собой находятся токи в обмотках? Как влияет нагрузка на эффективность Т? Рассчитайте и постройте графики зависимостей величины входного сопротивления Т и угла разности фаз между входным током и напряжением от индуктивности нагрузки. Объясните физический смысл этих графиков. Почему Т часто называют преобразователем сопротивления?

Чем объяснить чрезвычайно широкое применение Т? Каковы его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Случалось ли вам применять Т в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 263-282.
- [2] – С. 114-132.
- [3] – Т.1, с. 242-252.
- [4] – Т.1, с. 198-224.
- [5] – С. 102-110.
- [6] – Т.1, с. 110-126.
- [7] – С. 160-195.

Практическое занятие № 7 ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Вариант 1

КАК КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ ВЛИЯЕТ НА ФОРМУ ТОКА В ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ?

Индуктивное сопротивление катушки увеличивается с ростом частоты приложенного напряжения. Поэтому в цепи несинусоидального напряжения катушка подавляет высшие гармоники тока, проявляя себя как сглаживающий фильтр.

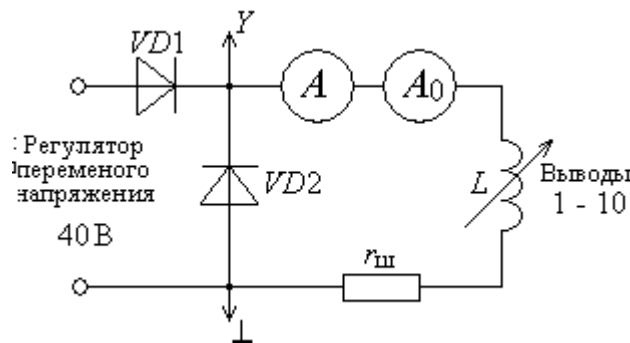


Рис. 1. Катушка в цепи несинусоидального напряжения

Для исследования поведения катушки в цепи несинусоидального напряжения соберите схему по рис. 1. Несинусоидальное напряжение возникает на выходе однофазного однополупериодного выпрямителя с обратным диодом. Стрелочные амперметры A , A_0 служат для измерения, соответственно, нулевой гармоники и действующего значения тока. Запишите величину сопротивления токоограничивающего резистора. В цепи используется катушка с отводами 1 – 10. Форму несинусоидального напряжения и тока вы будете наблюдать на осциллографе, вход его должен быть открыт.

Добейтесь на экране осциллографа крупной устойчивой картинки выходного напряжения выпрямителя, сравните с теоретической. Запишите масштабы изображения, которые определяются положением ручек управления осциллографом. Зафиксируйте осциллограмму. Вольтметром электромагнитной системы измерьте действующее значение выходного напряжения, а вольтметром магнитоэлектрической системы – среднее значение (нулевую гармонику), сравните эти величины с теоретическими.

Для наблюдения формы несинусоидального тока подключите осциллограф параллельно резистору $R_{ш}$ (вход Y в точку a). Обратите, пожалуйста, внимание на то, что на экране виден не сам ток, а то напряжение, которое он создает на резисторе. Поделив масштаб по напряжению на сопротивление резистора, получите масштаб по току: $A/\text{дел}$.

Попробуйте подсоединять самые различные индуктивности, переставляя проводничок в отводах катушки 1 – 10, понаблюдайте, как меняется форма тока, его величина, среднее, действующее значения. Вы заметите, как

сглаживается ток с ростом числа витков катушки, а его величина уменьшается. Зафиксируйте осциллограммы и запишите среднее и действующее значения тока для нескольких катушек, в том числе и при отсутствии катушки (замкните её проводничком) и для катушки с максимально большой индуктивностью. Не забудьте записать со стенда параметры этих катушек. Все результаты сведите в удобную таблицу, оставьте в ней место и для расчетных результатов.

Перепишите из учебника разложение исследуемого вами несинусоидального напряжения на выходе выпрямителя в ряд Фурье. Постройте на одном чертеже теоретические графики гармоник напряжения (чтобы расчетные и опытные результаты удобнее было сопоставлять, постарайтесь выполнить точно в тех масштабах, которые у вас записаны по положению ручек управления осциллографом). Сложением получите фактическую кривую напряжения, сравните с экспериментальной. Подсчитайте среднее и действующее значения напряжения, сравните с показаниями вольтметров.

Получите формулу для гармоник тока (не забудьте про сопротивление обмотки катушки!). Для каждой гармоники построьте на одном чертеже теоретические графики гармоник тока в масштабах, определенных в опыте. Сложением получите фактические кривые тока, сравните с осциллограммами. Подсчитайте среднее и действующее значения токов, сравните с показаниями амперметров.

Сравните экспериментальные и расчетные результаты. Постройте спектр выходного напряжения, спектры токов гармоник при разных катушках, чем объяснить их различия? Какова роль симметрии кривой напряжения? Постройте графики зависимостей постоянной составляющей и действующего значения переменной составляющей тока от индуктивности катушки. Каково, на ваш взгляд, практическое значение этих зависимостей? их физический смысл? Сделайте выводы о том, как и почему катушка индуктивности влияет на ток в цепи несинусоидального напряжения. Случалось ли вам в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования наблюдать или использовать особенности поведения катушки в цепи несинусоидального напряжения?

Литература

- [1] – Т.1, с. 370-382.
- [2] – С. 200-219.
- [3] – Т.1, с. 299-309.
- [4] – Т.1, с. 400-422.
- [5] – С. 170-190.
- [6] – Т.1, с. 154-168.
- [7] – С. 195-212.

КАК ВЫЯВИТЬ ГАРМОНИКИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ФИЛЬТРА?

Напряжение на выходе двухполупериодного выпрямителя имеет ярко выраженный несинусоидальный характер. Спектральный состав этого напряжения можно исследовать с помощью последовательного резонансного фильтра. Отдельные гармоники напряжения при этом наблюдаются на экране осциллографа.

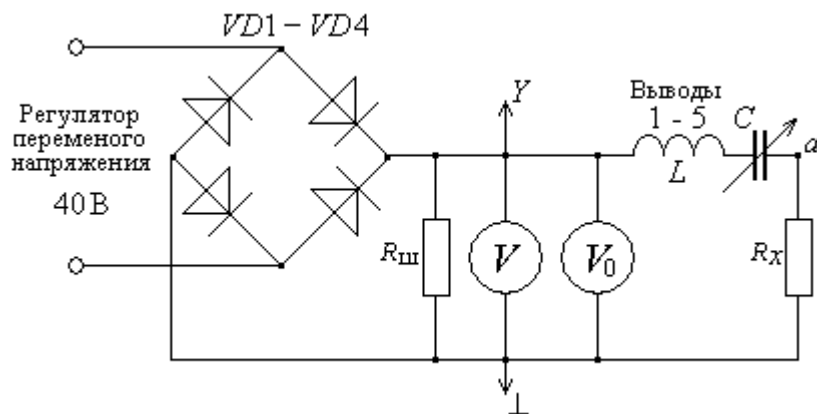


Рис. 1. Исследование гармоник несинусоидального напряжения с помощью последовательного резонансного фильтра

Для исследования гармоник несинусоидального напряжения соберите схему по рис. 1. Последовательное соединение катушки 1–5 и конденсатора переменной емкости представляет резонансный фильтр. Запишите сопротивления нагрузочных резисторов $R_{Ш}$ и $R_{Х}$, а также параметры катушки L , $r_{обм}$. Стрелочные вольтметры V_0, V измеряют, соответственно, среднее и действующее значения напряжения. Гармоники напряжения вы будете наблюдать непосредственно на экране осциллографа, вход его должен быть открыт.

Установите нулевую емкость на переменном конденсаторе. Плавно увеличивая входное напряжение до 40 В, понаблюдайте, как на выходе выпрямителя будет формироваться несинусоидальное напряжение. Добейтесь крупной устойчивой картинки этого напряжения, запишите масштабы изображения, которые определяются положением ручек управления осциллографом. Зафиксируйте осциллограмму, запишите среднее и действующее значения напряжения.

Переключите вход осциллографа параллельно резистору $R_{Х}$ (вход Y в точку a). Изменяя емкость переменного конденсатора, попробуйте получить на экране изображения гармоник, например, первой, второй, третьей. Чтобы не искать гармоники наугад, подсчитайте из условия резонанса значения емкостей, необходимые для выделения гармоник с первой по шестую включительно.

Зафиксируйте осциллограммы гармоник, запишите масштабы, если вы их изменяли ручками управления осциллографом.

Крупно начертите в полученном вами масштабе кривую выходного напряжения. Разложите её в ряд Фурье по шестую гармонику. Такое разложение можно взять из справочника по математике или из учебника по теории электрических цепей. Нарисуйте на этом же чертеже полученные гармоники, сложением убедитесь, в правильности разложения: должна получиться исходная кривая. Подсчитайте действующее и среднее значения напряжения, сравните с показаниями вольтметров. Начертите дискретный спектр этого напряжения.

Подсчитайте амплитуды гармоник напряжения на резисторе фильтра R_X , сравните их со значениями, полученными по осциллограммам. Сравните теоретические и экспериментальные результаты. Объясните принцип работы последовательного резонансного фильтра. Какова роль симметрии напряжения в формировании его спектрального состава? Почему одни гармоники выражены сильнее, другие – слабее? Какова здесь нулевая гармоника?

Сравните исследованный вами метод выделения гармоник несинусоидального напряжения с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства? Что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Приходилось ли вам в практике эксплуатации судового электрооборудования интересоваться спектральным составом несинусоидальных токов и напряжений?

Литература

- [1] – Т.1, с. 370-382.
- [2] – С. 200-219.
- [3] – Т.1, с. 299-309.
- [4] – Т.1, с. 400-422.
- [5] – С. 170-190.
- [6] – Т.1, с. 154-168.
- [7] – С. 195-212.

Вариант 3

КАК ПРОЯВЛЯЕТ СЕБЯ КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА?

При достаточной величине синусоидального напряжения, приложенного к катушке с сердечником, в катушке возникает несинусоидальный ток. Так как сопротивление индуктивности пропорционально частоте, высшие гармоники тока создают большое падение напряжения на индуктивности. Поэтому это напряжение отличается от синусоиды сильнее, чем ток, что находит многочисленные применения в электротехнике, автоматике, связи.

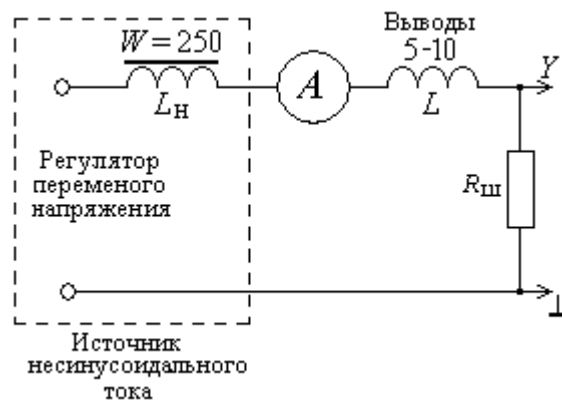


Рис. 1. Исследование форм напряжения и тока в цепи несинусоидального тока

Для исследования форм напряжения и тока в цепи несинусоидального тока соберите схему по рис. 1. Катушка с сердечником, включенная на переменное напряжение, представляет источник несинусоидального тока. Стрелочный амперметр с пределом 1 А измеряет действующее значение этого тока. Запишите сопротивление резистора R_{III} и параметры катушки 5 – 10. Формы кривых тока и напряжения вы будете наблюдать на экране осциллографа.

Регулируя входное напряжение, добейтесь, чтобы при токе 0,4...0,5 А на экране появилась крупная устойчивая картинка ярко выраженного несинусоидального напряжения на резисторе R_{III} . Запишите масштабы изображения, которые определяются положением ручек управления осциллографом. Обратите, пожалуйста, внимание на то, что на экране виден не сам ток, а то напряжение, которое он создает на резисторе R_{III} . Поделив масштаб по напряжению на сопротивление этого резистора, получите масштаб по току: А/дел. Меняя входное напряжение, понаблюдайте, как с его ростом форма тока все более искажается, отличаясь от синусоиды. Зафиксируйте несколько типичных осциллограмм, не забудьте записать токи.

Исследуйте форму напряжения на катушке 5 – 10, для этого подсоедините вход осциллографа параллельно этой катушке. Изменяя входное напряжение, понаблюдайте, как с его ростом форма напряжения на катушке все более искажается. Обратите внимание на то, что форма этого напряжения гораздо сложнее, чем форма тока. Зафиксируйте осциллограммы напряжения на катушке при тех значениях тока, которые вы устанавливали ранее. Стрелочным дежурным вольтметром измерьте действующие значения этих напряжений. Запишите масштаб напряжения, если вы его изменяли.

Крупно начертите в полученном вами масштабе одну из кривых тока с ярко выраженным искажением и разложите её графически в ряд Фурье по пятую гармонику. Такое разложение описано в справочниках по математике или в учебнике по теории электрических цепей (Бессонов Л.А.). Нарисуйте на этом же чертеже полученные гармоники, сложением убедитесь в правильности разложения: должна получиться исходная кривая тока. Подсчитайте действующее значение тока, сравните с показаниями амперметра. Постройте дискретный спектр тока.

Подсчитайте напряжение, создаваемое каждой из гармоник тока на катушке 5 – 10, на одном чертеже нарисуйте все эти гармоники и сложением получите график напряжения на катушке (чтобы экспериментальные и расчетные результаты удобнее было сопоставлять, построение постарайтесь выполнить точно в тех масштабах, какие у вас записаны по положениям ручек управления осциллографом). Сравните полученную кривую с той, которую вы зафиксировали на осциллографе. Подсчитайте действующее значение напряжения, сравните с показаниями вольтметра. Начертите дискретный спектр напряжения.

Сравните теоретические и экспериментальные результаты. Сделайте заключение о том, как индуктивность проявляет себя в цепи несинусоидального тока. Как объяснить различия в дискретных спектрах тока и напряжения? Почему напряжение на индуктивности сильно искажено? Какова роль симметрии кривой тока? Как это можно объяснить на основе дифференциального соотношения между током и напряжением на индуктивности? Где, по вашему мнению, можно применить исследованное вами свойство индуктивности? Встречались ли вы с ним в вашей практике при эксплуатации судового электрооборудования*.

Литература

- [1] – Т.1, с. 370-382.
- [2] – С. 200-219.
- [3] – Т.1, с. 299-309.
- [4] – Т.1, с. 400-422.
- [5] – С. 170-190.
- [6] – Т.1, с. 154-168.
- [7] – С. 195-212.

Вариант 4

КАК ВЫЯВИТЬ ОТДЕЛЬНЫЕ ГАРМОНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ФИЛЬТРА?

При достаточной величине синусоидального напряжения, поданного на вход ограничителя, напряжение на его выходе имеет вид практически прямоугольных импульсов. Спектральный состав этого напряжения можно исследовать с помощью последовательного резонансного фильтра. Отдельные гармоники напряжения при этом можно наблюдать непосредственного на экране осциллографа.

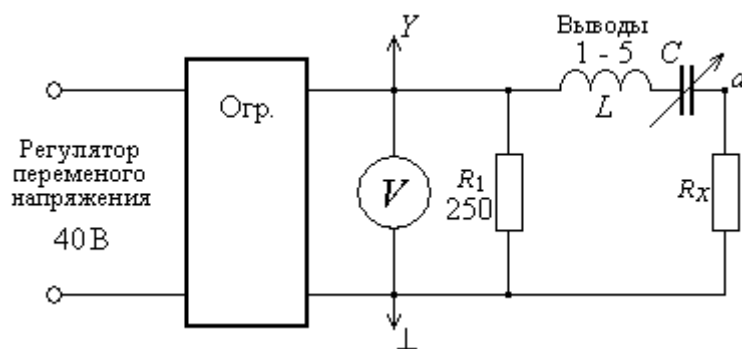


Рис. 1. Исследование гармоник несинусоидального напряжения

Для исследования гармоник несинусоидального напряжения соберите схему по рис. 1. Последовательное соединение катушки и конденсатора переменной емкости является резонансным фильтром. Запишите сопротивление нагрузочного резистора R_X и параметры катушки 1 – 5. Стрелочный вольтметр контролирует действующее значение выходного напряжения ограничителя. Гармоники напряжения вы будете наблюдать на осциллографе.

Установите нулевую емкость переменного конденсатора. Плавно увеличивая входное напряжение до 40 В, понаблюдайте, как на выходе ограничителя формируется практически прямоугольное напряжение. Добейтесь крупной устойчивой картинки этого напряжения, запишите масштабы изображения, которые определяются положением ручек осциллографа. Зафиксируйте несколько типичных осциллограмм, запишите соответствующие значения напряжений на входе и выходе ограничителя.

Переключите вход осциллографа параллельно резистору R_X (вход Y в точку а) и установите одно из тех записанных ранее входных напряжений, при котором получается практически прямоугольная форма выходного напряжения. Изменяя емкость переменного конденсатора, попробуйте получить на экране осциллографа изображения гармоник, например, первой, третьей. Чтобы не искать гармоники наугад, подсчитайте из условия резонанса те значения емкости, которые необходимы для выделения гармоник с первой по пятую включительно. Зафиксируйте осциллограммы гармоник, запишите масштабы, если вы их меняли ручками управления.

Крупно начертите в полученном вами масштабе кривую напряжения, спектральный состав которой вы исследовали. Разложите её в ряд Фурье по пятую гармонику. Такое разложение описано в справочнике по математике или в учебнике по теоретическим основам электротехники Бессонова Л.А. Нарисуйте на этом же чертеже полученные гармоники, сложением убедитесь в правильности разложения: должна получиться исходная кривая. Подсчитайте действующее значение напряжения, сравните с показаниями выходного вольтметра. Начертите дискретный спектр этого напряжения.

Подсчитайте амплитуды гармоник напряжения на резисторе фильтра R_X , сравните их со значениями, полученными по осциллограммам. Сравните теоретические и экспериментальные результаты. Объясните принцип работы

последовательного резонансного фильтра. Какова роль симметрии кривой напряжения в формировании её спектрального состава? Какова здесь нулевая гармоника?

Сравните исследованный вами метод выделения гармоник несинусоидального напряжения с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства, что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Приходилось ли вам интересоваться спектральным составом несинусоидальных токов и напряжений в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 370-382.
- [2] – С. 200-219.
- [3] – Т.1, с. 299-309.
- [4] – Т.1, с. 400-422.
- [5] – С. 170-190.
- [6] – Т.1, с. 154-168.
- [7] – С. 195-212.

Вариант 5

КАК ВЫЯВИТЬ ОТДЕЛЬНЫЕ ГАРМОНИКИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ФИЛЬТРА?

Напряжение на выходе однофазного однополупериодного выпрямителя с обратным диодом имеет ярко выраженный несинусоидальный характер. Спектральный состав этого напряжения можно исследовать с помощью последовательного резонансного фильтра. Отдельные гармоники напряжения при этом наблюдаются непосредственно на экране осциллографа.

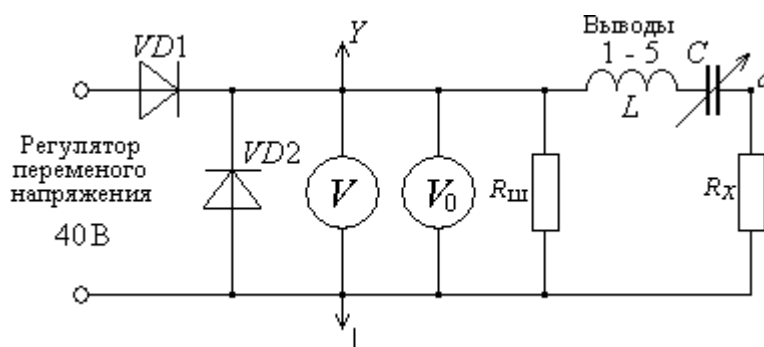


Рис. 1. Исследование гармоник несинусоидального напряжения

Для исследования гармоник несинусоидального напряжения соберите схему по рис. 1. Последовательное соединение катушки 1 – 5 и конденсатора переменной емкости представляет резонансный фильтр. Запишите сопротивления нагрузочных резисторов R_X и R_{III} и параметры катушки.

Стрелочные вольтметры V_O и V контролируют, соответственно, среднее и действующее значения напряжения. Гармоники напряжения вы будете наблюдать непосредственно на экране осциллографа, вход его должен быть открыт.

Установите нулевую емкость переменного конденсатора. Плавно увеличивая входное напряжение до 40 В, понаблюдайте, как на выходе выпрямителя будет формироваться несинусоидальное напряжение. Добейтесь крупной устойчивой картинки этого напряжения, запишите масштабы изображения, которые определяются положением ручек управления осциллографа. Зафиксируйте осциллограмму, запишите среднее и действующее значения напряжения.

Переключите вход осциллографа параллельно резистору R_X (вход Y в точку а). Изменяя емкость переменного конденсатора, попробуйте получить на экране изображения гармоник, например, первой, второй, третьей. Чтобы не искать гармоники наугад, подсчитайте из условия резонанса значения емкостей, необходимые для выделения гармоник с первой по шестую включительно. Зафиксируйте осциллограммы гармоник, запишите масштабы, если вы их меняли ручками управления осциллографом.

Крупно начертите в полученном вами масштабе кривую выходного напряжения. Разложите её в ряд по шестую гармонику. Такое разложение можно взять из справочника по математике или из учебника по теоретической электротехнике Бессонова Л.А. [5]. Нарисуйте на этом же чертеже полученные гармоники, сложением убедитесь в правильности разложения: должна получиться исходная кривая. Подсчитайте среднее и действующее значения напряжения, сравните с показаниями вольтметров. Начертите дискретный спектр этого напряжения.

Подсчитайте амплитуды гармоник напряжения на резисторе фильтра R_X , сравните их со значениями, полученными по осциллограммам. Сопоставьте теоретические и экспериментальные результаты. Объясните принцип работы последовательного резонансного фильтра. Почему одни гармоники выражены сильнее, другие – слабее? Какова роль симметрии напряжения? Какова здесь нулевая гармоника?

Сравните исследованный вами метод выделения гармоник несинусоидального напряжения с другими, может быть известными вам методами. В чем его достоинства, что сдерживает его применение? Какова область его предпочтительного использования? Приходилось ли вам интересоваться спектральным составом несинусоидальных токов и напряжений в вашей практике эксплуатации судового электрооборудования?

Литература

- [1] – Т.1, с. 370-382.
- [2] – С. 200-219.
- [3] – Т.1, с. 299-309.

[4] – T.1, c. 400-422.

[5] – C. 170-190.

[6] – T.1, c. 154-168.

[7] – C. 195-212.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы электротехники. В 2-х т. Т. 1. Основы теории линейных цепей : учеб. для вузов / под ред. П. А. Ионкина. - М. : Высшая школа, 1976. - 544 с. : ил. - Текст : непосредственный.
2. Теоретические основы электротехники. В 2-х т. Т. 2. Нелинейные цепи и основы теории электромагнитного поля: учеб. для вузов / под ред. П. А. Ионкина. - М. : Высшая школа, 1976. - 383 с. : ил. - Текст : непосредственный.
3. Основы теории цепей : учебник для студентов вузов, обучающихся по электротехническим и электроэнергетическим специальностям / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. - 5-е издание, перераб. - Москва : Энергоатомиздат, 1989. - 528 с. : ил. - ISBN 5-283-00523-2. - Текст : непосредственный.
4. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники. В 2 т. Т. 1 : учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов : / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. - 3-е издание, переработанное и дополненное. - Ленинград : Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1981. - 536 с. : ил. - Текст : непосредственный.
5. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники. В 2 т. Т. 2 : учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов : / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. - 3-е издание, переработанное и дополненное. - Ленинград : Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1981. - 416 с. : ил. - Текст : непосредственный.
6. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. Ч. 1. Линейные электрические цепи : учеб. пособие / Г. И. Атабеков. - М. : Энергия, 1978. - 592 с. : ил - Текст : непосредственный.
7. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. Ч. 2-3. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле : учеб. для студ. втузов / Под ред. Г. И. Атабекова. - 4-е изд., перераб. - М. : Энергия, 1979. - 432 с. : ил. - Текст : непосредственный.
8. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей высших учебных заведений / Л. А. Бессонов. - 8-е издание, переработанное и дополненное. - Москва : Высшая школа, 1984. - 558, [1] с. : ил. - Текст : непосредственный.
9. 6. Теоретические основы электротехники : учебное пособие : в 3-х томах / ред. К. М. Поливанов. - Москва : Энергия, 1972 - 1975. - Текст : непосредственный.
Т. 1 : Линейные электрические цепи / К. М. Поливанов. - 1972. - 239 с. : ил. - Библиогр.: с. 234. - Алф. указ.: с. 235-239.
10. Теоретические основы электротехники : учеб. пособие : в 3-х т. / ред. К. М. Поливанов. - М. : Энергия, 1972 - 1975... - Текст : непосредственный.

Т. 2 : Линейные электрические цепи (продолжение). Нелинейные цепи / Б. Я. Жуховицкий, И. Б. Негневицкий. - 1975. - 207 с. : ил. - Библиогр.: с. 198. - Алф. указ.: с. 199-200. - 0.65 р.

11. Шебес, М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей : учеб. пособие для студ. электротехн. и радиотехн. спец. вузов / М. Р. Шебес, М. В. Каблукова. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1990. - 544 с. : ил. - Библиогр.: с. 540 (20 назв.). - ISBN 5-06-000678-6 : 1.30 р. - Текст : непосредственный.

Т Е О Р И Я СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

*Методические указания
к совмещенным лабораторно-практическим занятиям*

*Составитель : **Канов** Лев Николаевич*

В авторской редакции

Изд. № 33/2025. Объем 4,5 п.л. Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 4,41.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»