Введение…………………………………………………………………...4 Нормативные ссылки…..………………………………………………… 4 Основная часть..……..……………………………………………………4 1. Инструкция по работе с учебно-методическим пособием…..……… 4 2. Программа дисциплины…..…………………………………………... 5 3. Контрольные работы…..…..………………………………………….. 11 4. Содержание и оформление контрольных работ…………….……… 33 5. Темы лабораторных работ...…………………………………………...33 6. Вопросы для подготовки к экзамену ………..………………………..34 Список литературы………………………………………...…………….. 37 4 Введение Целью дисциплины является теоретическая и практическая подго- товка инженеров неэлектрических специальностей в области электротехни- ки, электропривода, и электрооборудования различных механизмов в такой степени, чтобы они могли выбирать необходимые электротехнические уст- ройства, уметь их правильно эксплуатировать в соответствии с правилами электробезопасности, составлять совместно с инженерами-электриками тех- нические задания на монтаж электрических частей машин и механизмов. Нормативные ссылки В настоящих методических указаниях использованя ссылки на сле- дующие нормативные документы: ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин Р 50-77-88 Рекомендации. ЕСКД. Правила выполнения диаграмм Основная часть 1. Инструкция по работе с учебно-методическим пособием Целью контрольных работ является промежуточная самопроверка усвоения студентами соответствующих разделов курса и проверка этих зна- ний преподавателем. Приступать к выполнению очередной работы следует после изучения необходимого материала в рекомендованной литературе. Оформлять контрольную работу необходимо, выполняя требования межгосударственного стандарта (ЕСКД) общие требования к текстовым до- кументам (ГОСТ 2.105-95). Рисунки, схемы и графики должны быть выпол- нены аккуратно в разумном масштабе, графики следует чертить на миллиметровой бумаге с помощью чертежных инструментов. На осях ко- ординат должны быть указаны значения и единицы их измерения «двух- этажной» дробью, в числителе которой указывается обозначение измеряемой величины (например: ток I, напряжение U), а в знаменателе – единица измерения (например: I/A; U/B). При решении задачи следует ука- зывать необходимые расчетные формулы и ссылаться на соответствующие законы (например: по первому закону Кирхгофа имеем.) Конечный резуль- тат необходимо выделять из общего текста и решения в форме заключения, вывода или ответа. 5 На титульном листе контрольной работы должно быть указано на- именование института, факультета, фамилия, инициалы и шифр студента. В конце работы необходимо привести список использованной литературы. Контрольные работы по курсу сделаны 50-вариантными. Вариант студента определяется двумя последними цифрами шифра. Если две по- следние цифры более 50, то для определения номера варианта необходимо от двух последних цифр вычесть 50. Если предпоследняя цифра - ноль, то студент должен выполнить вариант, определяемый последующей цифрой своего шифра. Объем контрольной работы устанавливается преподавателем исхо- дя из предложенного перечня из семи задач. Контрольные задачи, включен- ные в методические указания, не охватывают всех разделов программы, поэтому для лучшего усвоения-материала студентам кроме обязательных контрольных задач рекомендуется научиться решать задачи на темы всех разделов курса. 2. Программа дисциплины Введение Электрическая энергия, ее особенности и области применения. Роль электротехники и электроники в развитии автоматизированных систем управления производственными процессами. Значение электротехнической подготовки для инженеров неэлектрических специальностей. Содержание и структура курса. Электрические цепи постоянного тока Области применения, назначение генерирующих и приемных уст- ройств постоянного тока. Стандартные графические обозначения электро- технических устройств. Линейные резистивные элементы, идеальные ис- точники ЭДС и тока, их свойства и вольтамперные характеристики. Ус- ловные графические обозначения, применяемые на схемах замещения. Линейные неразветвленные и разветвленные электрические цепи с одним источником ЭДС. Условные положительные направления ЭДС, токов и напряжений на схемах замещения. Пассивный и активный двухполюсники. Режимы работы электрической цепи. Электрический баланс в электрических цепях. Определение эквивалентных сопротивлений разветвленных пассив- ных линейных цепей. Взаимное преобразование схем соединений пассивных элементов треугольником и звездой. Анализ электрического состояния не- разветвленной и разветвленной линейных электрических цепей с несколь- кими источниками ЭДС путем непосредственного применения законов 6 Кирхгофа. Методы контурных токов и узлового напряжения. Принцип су- перпозиции. Метод эквивалентного генератора. Основные свойства и области применения четырехплечих мосто- вых цепей. Нелинейные элементы и их характеристики. Анализ электрическо- го состояния неразветвленных и разветвленных электрических цепей с не- линейными элементами. Электрические цепи переменного тока Особенности электромагнитных процессов в цепях с изменяющи- мися во времени токами. Области применения и причины широкого распро- странения электротехнических устройств синусоидального тока промыш- ленной частоты. Однофазные цепи. Структура электрической цепи, схемы замещения электротехнических устройств. Принцип действия простейшего однофазного электромашинного генератора синусоидальной ЭДС про- мышленной частоты. Основные параметры, характеризующие синусои- дальную функцию. Начальная фаза. Сдвиг фаз. Мгновенное, амплитудное, действующее и среднее значения синусоидально изменяющихся элек- трических величин. Представление синусоидальных величин тригономет- рическими функциями, графиками изменений функций во времени, вра- щающимися векторами и комплексными числами. Электротехнические устройства переменного тока. Источники ЭДС, резисторы, индуктивные катушки и конденсаторы. Параметры (активное сопротивление, индуктивность, емкость) иде- альных элементов. Основные свойства и характеристики элементов R, L и С при подключении их к источнику синусоидального напряжения. Мгновенная мощность, колебания энергии. Понятия активной, реактивной и полной мощностей, треугольник мощностей. Коэффициент мощности и его эконо- мическое значение. Неразветвленные электрические цепи, содержащие резистивное, индуктивное и емкостное сопротивления. Уравнение электрического со- стояния (математическая модель) для неразветвленной цепи. Активное, ре- активное и полное сопротивление двухполюсника. Комплексное сопро- тивление, Треугольник сопротивлений. Векторные диаграммы. Фазовые состояния между токами и напряжениями. Понятие о потенциальных (топо- графических) диаграммах. Резонанс напряжений, условия его возникновения и практическое значение. Электрические цепи с параллельным соединением ветвей. Уравне- ния электрического состояния цепи. Векторные диаграммы. Активная, ре- активная и полная проводимости. Треугольник проводимостей. Комплексная проводимость. Резонанс токов, условия его возникновения и практическое 7 применение. Компенсация реактивной мощности, коэффициенты активной (cosφ), реактивной (tgφ) мощностей, их нормирование, экономический эф- фект от повышения коэффициента мощности. Анализ электрических цепей переменного тока с параллельным со- единением с использованием понятия комплексного числа. Регулируемые и нерегулируемые фазовращающие устройства. Анализ простейших электри- ческих испей с учетом явления взаимоиндукции. Трехфазные электрические цепи. Области применения трехфазных устройств. Устройство, принцип действия простейшего трехфазного генера- тора. Представление электрических величин трехфазных систем тригоно- метрическими функциями, графиками, вращающимися векторами и комплексными числами Условные положительные направления элек- трических величин в трехфазной системе. Фазное и линейное напряжения. Векторные диаграммы. Способы включения в трехфазную сеть однофазных и трехфазных приемников. Четырехпроводная и трехпроводная трехфазные цепи. Соот- ношение между фазными и линейными напряжениями, фазными и ли- нейными токами. Мощности трехфазной электрической нагрузки при симметричном и несимметричном режимах. Назначение нейтрального про- вода. Применение метода узловых потенциалов при анализе режимов трех- фазных электрических цепей. Измерение активной мощности (энергии) трехфазных нагрузок методами двух и трех ваттметров (счетчиков). Компенсация реактивной мощности в целях повышения коэффици- ента мощности (cosφ) промышленного предприятия. Переходные процессы в линейных электрических цепях. Причины возникновения переходных процессов в электрических цепях. Диф- ференциальные уравнения электрического состояния цепи. Установившиеся и свободные составляющие токов и напряжений. Законы коммутации и их использование для определения начальных условий переходного процесса. Постоянная времени переходного процесса и влияние параметров приемни- ков на длительность переходного процесса. Переходные процессы при включении на зажимы источника посто- янного напряжения неразветвленных цепей: с резистором и индуктивной катушкой, с резистором и конденсатором, а также с резистором, индук- тивной катушкой и конденсатором. Понятие о характере протекания пе- реходных процессов в цепи, содержащей индуктивную катушку и резистор, включенные на зажимы источника синусоидального напряжения. Электромагнитные устройства и трансформаторы Электромагнитные устройства, назначение, области Применения. Назначение магнитопровода. Свойства ферромагнитных материалов, ис- 8 пользуемых для изготовления магнитопроводов электромагнитных уст- ройств с постоянными и переменными магнитными полями. ные и разветвленные магнитные цепи. Магнитные цепи с постоянной магнитодвижущей силой (МДС). Применение закона полного тока для анализа идеальной магнитной цепи. Магнитное сопротивление и проводимость. Схема замещения магнитной цепи. Вебер-амперные характеристики. Формальная аналогия методов ана- лиза электрических и магнитных цепей. Магнитные цепи с воздушным зазо- ром. Расчет тягового усилия электромагнита постоянного тока. Электромагнитные устройства. Подъемные электромагниты, контакторы, реле, их устройство и применение. Магнитные цепи с переменной МДС. Особенности устройства маг- нитной цепи с переменной МДС. Реальная и идеальная катушки с магнито- проводом. Катушка с магнитопроводом как нелинейный индуктивный элемент и ее вольтамперная характеристика. Способы уменьшения мощ- ности потерь энергии на гистерезис и вихревые токи. Формы кривой мгно- венного значения тока и потока при синусоидальном напряжении на катушке. Эквивалентный синусоидальный ток. Уравнение электрического состояния, векторная диаграмма и схема замещения катушки. Влияние воз- душного зазора магнитопровода на вольтамперную характеристику ка- тушки. Электромагнитные устройства с изменяемым воздушным зазором: дроссели, контакторы, сварочные аппараты. Трансформаторы. Назначение, области применения. Однофазный трансформатор: устройство и принцип действия. Основной магнитный по- ток, потокосцепление рассеяния. Коэффициент трансформации. Условные положительные направления напряжений, токов, ЭДС и магнитных потоков. Условные графические обозначения, применяемые для изображения транс- форматора на электрических схемах. Уравнения электрического и магнитно- го состояний трансформатора. Понятие о приведенном трансформаторе. Векторная диаграмма и схема замещения. Опыты холостого хода и коротко- го замыкания, назначение и условия проведения. Потери энергии и КПД. Внешняя характеристика трансформатора. Устройство, принцип, действия и области применения трехфазных трансформаторов. Понятие о группах соединений обмоток. Устройство, принцип действия и области применения автотрансформаторов. Электрические машины Машины постоянного тока (МПТ). Устройство, принцип действия МПТ. Коллектор и его назначение. Простейшие обмотки якоря. Обра- тимость МПТ. Схема замещения цепи якоря. ЭДС якоря и электромагнит- 9 ный момент МПТ. Понятие о реакции якоря и коммутации. Преобразование энергии и КПД МПТ. Работа МПТ в режиме генератора. Условия работы МПТ в режиме генератора. Основные характеристики генератора (холостого хода, внешняя характеристика). Taxoгенераторы. Работа МПТ в режиме электродвигателя. Условия работы МПТ в режиме электродвигателя. Пуск двигателя. Способы уменьшения пускового тока якоря. Механические характеристики двигателей. Способы регу- лирования частоты вращения. Реверсирование. Сравнительная оценка свойств двигателей постоянного тока разных способов возбуждения и об- ласти применения. Понятие об универсальных коллекторных двигателях. Асинхронные машины (AM). Области применения. Устройство, принцип действия трехфазной асинхронной машины. Конструкции коротко- замкнутого и фазного роторов. Вращающееся магнитное поле трехфазной машины. Частота вращения, направление вращения магнитного поля. Часто- та вращения ротора. Скольжение и ЭДС ротора, частота ЭДС и зависимость их от скольжения. Схема замещения фазы трехфазного асинхронного двига- теля. Преобразования энергии, происходящие в асинхронном двигателе. По- тери и КПД двигателя. Электромагнитный момент двигателя и его зависимость от величины скольжения и напряжения сети. Механическая ха- рактеристика двигателя. Перегрузочная способность двигателя. Пуск двига- теля. Способы улучшения пусковых свойств асинхронного двигателя. Рабочие характеристики двигателя. Регулирование вращения двигателя. Принцип действия, механические характеристики, свойства и об- ласти применения однофазных двигателей. Конденсаторные двухфазные двигатели. Синхронные машины (СМ). Устройство трехфазных синхронных машин с электромагнитным возбуждением. Области применения синхрон- ных машин. Графическое изображение синхронной машины на элек- трических схемах. Работа синхронной машины в режиме генератора. Внешние харак- теристики синхронного генератора. Регулирование активной мощности. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Способы пуска синхронного двигателя. Уравнение электрического состояния и векторная диаграмма фазы обмотки статора. Электромагнитный момент двигателя. Механическая и U-образная характеристики двигателя. Влияние величины тока возбуждения на коэффициент мощности и ток статора двигателя Поня- тие о принципе действия синхронного компенсатора. Области его использо- вания. 10 Электрические измерения и электроизмерительные приборы Основные положения, классификация, обозначения на шкалах. Приборы МЭ системы, устройство, принцип работы. Приборы ЭМ системы, устройство, принцип работы. Приборы ЭД системы, устройство, принцип работы. Цифровые электронные приборы, устройство, принцип работы. Ин- формационно-измерительные системы (понятие). Преобразователи неэлек- трических величин. Основы электроснабжения и электробезопасность Классификация приемников. Типовые схемы электроснабжения. Электробезопасность в электрических схемах до 1000В при раз- личных схемах электроснабжения. 3. Контрольные работы Контрольная работа №1 Задача №1 Расчет мостового преобразователя температуры с терморези- стором Для заданной схемы электрической цепи, приведенной на рис. 1.1а требуется: а) определить токи терморезистора и источника при нижнем и верх- нем значениях температуры контролируемой среды; б) определить напряжение на зажимах измерительной ветви и ток в ней при верхнем значении температуры контролируемой среды: в) проградуировать шкалу прибора в единицах контролируемой величины. Примечание: - сопротивление измерительной ветви Rи согласованно с выходным сопротивлением мостового преобразователя, уравновешенного при нижнем значении температуры контролируемой среды; - полное отклонение подвижной части наступает при верхнем зна- чении температуры контролируемой среды; - электрическое сопротивление терморезистора в пределах заданного интервала температуры изменяется по закону: - для медного терморезистора. - (1 0.00428 ) 0 R R t t (1) - для платинного: - (1 3.94\*10 \* 5.8\*10 \* ) 3 7 2 0 R R t t t (2) 11 где Rо - сопротивление терморезистора при 0°С; t-верхний предел температуры. Параметры цепи выбираются согласно варианту из табл. 1. Таблица 1 Номер вар Интер- вал Мате- риал R0 Ом Rл Ом R1 Ом R2 Ом R3 Ом Е, В 1 0-200 Плат. 100 5 304 31 90 4,0 2 0-200 Медь 53 5 202 220 766 3,0 3 0-100 Медь 53 5 189 204 665 2,0 4 0-100 Медь 53 0 91 155 266 2,0 5 0-70 Плат. 46 0 202 61 267 1,5 6 0-100 Плат. 46 0 160 147 512 1,5 7 0-100 Плат. 46 5 190 178 665 1,5 8 0-100 Плат. 46 0 154 214 715 2,0 9 0-100 Плат. 46 5 140 222 610 2,0 10 0-120 Плат. 46 5 178 206 720 1,5 11 0-150 Плат. 46 5 195 222 850 1,5 12 0-250 Плат. 46 0 167 82 298 3,0 13 0-300 Плат. 46 5 232 40 182 4,0 14 0-100 Плат. 46 0 298 118 765 1,5 15 0-500 Плат. 46 5 244 60 287 4,0 16 0-300 Плат. 46 0 191 53 220 3,0 17 0-100 Плат. 100 5 50 356 170 1,5 18 0-150 Плат. 100 0 41 587 241 2,0 Rл/2 Rл/2 Rt 1 2 3 4 E mV R2 R3 Рис.1.1а. Схема мостового преобразователя с термо- резистором Rи R1 12 Номер вар Интер- вал Мате- риал R0 Ом Rл Ом R1 Ом R2 Ом R3 Ом Е, В 19 0-70 Плат. 100 5 194 200 370 3,0 20 0-100 Плат. 100 0 43 400 172 2,0 21 0-200 Плат. 100 5 210 55 110 4,0 22 0-150 Плат. 100 5 84 213 171 2,0 23 0-70 Плат. 100 5 59 312 175 2,0 24 0-70 Плат. 100 5 160 225 343 3,0 25 0-100 Плат. 100 5 77 330 242 2,0 26 0-100 Плат. 100 5 46 550 242 2,0 27 0-100 Плат. 100 5 40 439 167 1,5 28 0-150 Медь 53 5 224 131 507 3,0 29 0-50 Медь 53 0 145 153 418 2,0 30 0-70 Медь 53 5 126 161 350 2,0 31 0-100 Медь 53 5 193 200 665 3,0 32 0-180 Медь 53 5 224 131 507 1,5 33 1-120 Медь 53 0 145 153 418 2,0 34 0-180 Медь 53 5 203 100 350 3,0 35 0-120 Плат. 100 5 174 131 217 1,5 36 0-50 Плат. 100 0 82 387 317 2,0 37 0-70 Плат. 100 5 182 202 350 3,0 38 0-120 Плат. 100 5 139 325 430 1,5 39 0-180 Плат. 100 5 169 213 343 3,0 40 0-200 Плат. 100 0 116 349 405 3,0 41 0-150 Плат. 100 5 70 400 267 2,0 42 0-70 Медь 53 5 67 167 193 1,5 43 0-120 Медь 53 0 71 203 282 4,0 44 0-150 Медь 53 5 120 291 602 3,0 45 0-100 Медь 53 0 100 169 319 4,0 46 0-100 Медь 53 5 199 61 209 2,0 47 0-50 Медь 53 5 140 165 398 4,0 48 0-70 Медь 53 5 101 290 505 3,0 49 0-300 Плат. 46 5 122 176 421 4,0 50 0-200 Плат. 46 5 75 410 603 3,0 Методические указания Задача №1 Основные закономерности, необходимые для расчета эл. цепей 13 закон Ома для участка эл. цепи, с сопротивлением R 1-ый закон Кирхгофа 2-ой закон Кирхгофа R U I I 0 UП Е Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению участка и об- ратно пропорциональна его сопротивлению. Алгебраическая сумма токов в узле электриче- ской цепи равна нулю. Алгебраическая сумма падений напряжения в контуре электриче- ской цепи равна ал- гебраической сумме ЭДС в нем. Для измерения неэлектрических величин: температуры, давления, пе- ремещения и т.п. используются мостовые измерители, в одной из плеч которых включается измерительный первичный преобразователь (ИПП) с известным семейством вольтамперных характеристик (ВАХ) при различных значениях неэлектрической величины. Это неуравновешенные мосты, в измерительную диагональ которых включают указатели и регистраторы. При этом выходная величина (Iи или Uи) представляется в виде функции входной (неэлектриче- ской) величины. Именно такой мостовой преобразователь температуры с тер- морезистором и предлагается рассчитать в задаче №1 (рис. 1.1а). Для расчета мостового преобразователя необходимо: а) изучить разделы 1.17,1.19 [1]; 1.8,1.13 [2], 1.7 [4]; б) ознакомиться с решением задач; Порядок решения. 1) Ток в терморезисторе It1 и источнике IE1 при нижнем значе- нии температуры определяется из рис.1.1б При нижнем значении тем- пературы t1=0°С мост, согласно условию, уравновешен, ток в из- мерительной диагонали 1-2 равен нулю (Iи=0) и электрическая схема преобразователя имеет вид (рис.1.1б); для нахождения сопро- тивления измерителя Rи следует воспользоваться условием , что сопротивление измерителя согла- сованно с выходным сопротивле- E IE1 2 3 4 R2 R3 R0 R1 Рис. 1.1б 1 Rл It1 14 нием мостового преобразователя R120 при нижнем значении темпе- ратуры, т.е. R12о = Rи: определя- ется относительно зажимов 1-2 измерительной ветви при условии, что Е=0 (рис. 1.1 в); 2 3 2 3 1 0 1 12 ( ) R R R R R R R R R R R o Л Л о где R0 - сопротивление терморезистора при t1=0°С, Rл-сопротивление линии (соединительных проводов). Схема мостового преобразователя при верхнем значении температу- ры t2 представлена на рис.1.1г. где Rи - сопротивление измерителя (милли- вольтметра), включенного в измерительную диагональ 1-2 и определяемое при нижнем значении температуры (Rи=R12о). Rt - сопротивление терморези- стора при верхнем значении температуры и определяемое из выражений (1) или (2) с учетом материала терморезистора. Для определения токов в терморезисторе It2 и источнике IE2 при верх- нем значении температуры t2 следует преобразовать цепь (рис.1.1г) заменив сопротивление резисторов Rи, R1, R3, соединенных "треугольником" на экви- валентную "звезду" R4, R5, R6 (см. рис. 1.1д), используя выражения: 1 3 1 4 R R R R R R u u , 1 3 3 5 R R R R R R u u , 1 3 1 3 6 R R R R R R u . В результате замены получаем электрическую цепь (1.1е), в которой определяем токи It2 и IE2. IE2 1 2 Рис 1.1 г 4 3 E R2 Rt RИ R3 R1 Rл IИ It2 4 1 2 3 R2 R3 R0 R1 Rл Рис. 1.1в 15 2) Для определения тока в измерительной ветви Iи напряжения U12 на зажимах измерительной ветви при верхнем значении температуры t2 (рис.1.1г) можно использовать метод эквивалентного генератора. Вся заданная цепь за- меняется активным двухполюсником, имеющим эквивалентную ЭДС ЕЭ и эквивалентное сопротивление RЭ (рис 1.2а). К зажимам двухполюсника под- ключена исследуемая ветвь (измерительная диагональ). Рис 1.1 д 2 3 1 R5 R3 R2 R6 R4 RИ Rt R1 Rл E 5 4 IE2 It2 Rл Rt2 R2 R5 R4 R6 E IE 2 Рис 1.1 e 5 It2 1 2 3 RЭ RИ U12 EЭ Рис 1.2а IИ 1 2 1 2 Рис 1.2б 4 3 E R2 Rt U12хх R3 R1 Rл I1 I2 16 Эквивалентную ЭДС ЕЭ и эквивалентное сопротивление RЭ определя- ем из рис. 1.1г. Эквивалентная ЭДС определяется при разомкнутой иссле- дуемой ветви 1-2 (холостой ход) как напряжение между зажимами 1-2, т.е. ЕЭ=U12ХХ. При этом схема рис. 1.1г преобразуется в схему 1.2б, откуда 12 1 1 2R3 U I R I хх , где токи I1 и I2 определяются по 2-му закону Кирхгофа для соответствующе- го контура (рис.1.2б). Эквивалентное сопротивление RЭ=R12 - сопротивлению всей цепи от- носительно зажимов 1-2 при Е=0 и RИ=∞, т.е. для цепи (рис.1.1г) получим 2 3 2 3 1 1 12 ( ) R R R R R R R R R R R t Л t Л Затем определяем ток в измерительной ветви Iи напряжения U12 на зажимах измерительной ветви по рис. 1.2а. 3) В качестве измерительного прибора используется милливольтметр магнитоэлектрической системы с равномерной шкалой. Полное отклонение стрелки прибора будет соответствовать напряжению U12 на зажимах изме- рительной ветви при верхнем значении температуры 2 t контролируемой среды; для градуировки шкалы прибора необходимо найти значение напря- жения в милливольтах, приходящееся на единицу измеряемой величины, т.е. 1 C ,которое определяется из выражения 2 3 12 10 t U A С мВ о ; На рисунке 1.3 приведен пример градуировки шкалы милливольт- метра в при А=0,12 С мВ о и диапазоне изменения температуры 0-90 оС (при- бор показывает около 70оС). 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 оС mV 0 0,12 0,24 0,36 0,48 0,6 0,72 0,84 0,96 1,08 Рис.1.3 Шкала милливольтметра 17 Задача №2 Анализ режимов работы однофазного приемника электрической энергии переменного тока Для изображенных на рис.2.1-2.25 электрических схем по данным табл.2 необходимо: 1. Составить системы уравнений для определения токов в ветвях в дифференциальной и символической формах. 2. Рассчитать токи в ветвях и на входе приемника рациональным мето- дом. 3. Включить на вход приемника ваттметр для измерения активной мощности и определить его показания. Определить показание вольтметра. 4. Построить векторную диаграмму напряжений и токов в масштабе. V L3 R3 R2 R1 C2 iвх Uвх=Um\* \*sin(ωt+30° ) Рис. 2.4 V L3 iвх Uвх=Uм\* \*sin(ωt+60º) Рис 2.3 L1 C3 R2 R3 V R3 R2 R3 L1 C2 L3 Uвх=Uм\* \*sin(ωt+45°) Рис. 2.1 iвх R3 V L2 C3 iвх Uвх=Uм \* \*sin(ωt+30º) Рис 2.2 C1 R2 L1 18 V L2 R3 R2 R1 C3 iвх Uвх=Umsin(ωt) Рис. 2.5 C1 V L2 R2 R3 R1 C3 iвх Uвх=Um\* \*sin(ωt+40° ) Рис. 2.6 L1 iвх V L3 Uвх=Uм \* \*sin(ωt-45º) Рис 2.7 L1 C3 R2 R1 R3 V L2 R2 R3 iвх Uвх=Um\* \*sin(ωt-30о ) C2 C1 Рис. 2.8 L2 V Uвх= Umsin(ωt) L3 C3 R2 Рис. 2.9 iвх R1 C1 iвх R1 C3 Рис.2.10 Uвх= Um\* \*sin(ωt+45о ) V R2 R3 L2 19 L1 L3 Рис.2.11 iвх Uвх= Um\* \*sin(ωt-60о ) C2 R3 R2 V V R1 R2 R3 L2 L1 C3 Uвх= Uм\* \*sin (ωt+120°) Рис. 2.13 i вх V R1 R2 L R2 1 L2 C1 Uвх = Uм\* \* sin (ωt-120°) Рис. 2.14 I вх L3 V R3 R2 C1 L1 C2 iвх Uвх=Uм \* \*sin(ωt+80°) Рис 2.15 iвх V C3 L2 R3 C1 R2 Uвх=Uм \* \*sin(ωt-35°) Рис 2.16 R1 Рис. 2.12 V R1 R2 R3 C2 L1 L3 I вх Uвх= Uм\* \* sin (ωt-70°) 20 R3 Uвх=Uм sin(ωt+180°) L3 V R2 iвх C2 L1 Рис 2.17 Uвх = Uм\* \*sin(ωt-180° ) Рис.2.18 C3 C2 R2 R3 R L1 i 1 вх V C2 C3 R3 iвх Uвх= Um\* \*sin(ωt+30°) Рис.2.21 R1 L2 V V R2 R3 C1 C2 C3 Uвх=Uмsin(ωt+60°) Рис 2.22 L1 iвх Uвх = Uм\* \*sin(ωt+40°) Рис. 2.19 С3 iвх R2 L2 R2 R1 V Uвх = Uм\* \*sin(ωt+90° ) Рис. 2.20 iвх С1 L2 L3 R2 R3 V 21 Таблица 2 номер вар № рис. UM B R1 Ом L1 мГн R2 Ом L2 мГн R3 Ом L3 мГн С1 мкФ С2 мкФ С3 мкФ 1 1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2,1 141 8 19,1 3 16 12,7 796,1 2 2,2 282 12,7 8 19,1 8 9,5 796,1 3 2,3 310,2 38,2 8 6 25,4 796,1 4 2,4 179 6 12 12 19,1 530,7 5 2,5 310,2 5 5 38,2 5 318,4 318,4 6 2,6 310,2 10 31,8 5 63,6 12 796,1 7 2,7 282 4 9,6 8 6 25,4 796,1 8 2,8 141 8 12 38,2 38,2 318,4 159,2 9 2,9 179 10 8 19,1 318,4 159,2 V R3 R2 C2 C3 Uвх=Uмsin(ωt-60°) Рис 2.23 L1 iвх R1 L1 R2 V R3 C3 Uвх=Um\* \*sin(ωt-120°) Рис. 2.25 iвх L2 R2 L2 С1 R3 V С3 Uвх=Uм\* \*sin(ωt+45°) iвх Рис. 2.24 22 номер вар № рис. UM B R1 Ом L1 мГн R2 Ом L2 мГн R3 Ом L3 мГн С1 мкФ С2 мкФ С3 мкФ 10 2,10 423 20 12 38,2 12 796,1 11 2,11 282 19,1 6 6 25,4 796,1 12 2,12 310,2 8 19,1 12 10 19,1 530,7 13 2,13 141 3 12,7 6 25,4 5 318,4 14 2,14 282 6 7 50,8 8 25,4 159,2 15 2,15 310,2 38,2 12 12 19,1 318,4 159,2 16 2,18 141 3 5 19,1 4 9,5 796,1 530,7 17 2,17 282 12,7 6 6 19,1 530,7 18 2,18 310,2 4 38,2 8 4 159,2 159,2 19 2,19 141 6 4 19,1 3 636,8 20 2,20 282 12 25,4 4 19,1 796,1 21 2,21 423 10 38,2 10 638,8 318,4 22 2,22 282 19,1 8 6 318,4 159,2 796,1 23 2,23 179 38,2 4 8 530,7 159,2 24 2,24 141 6 19,1 4 796,1 636,8 25 2,25 423 8 19,1 12 25,4 12 318,4 26 2,18 141 3 19,1 4 8 318,4 159,2 27 2,25 179 6 38,2 8 19,1 3 636,8 28 2,24 282 3 12,7 8 19,1 159,2 29 2,23 310,2 12,7 6 8 318,4 636,8 30 2,22 423 38,2 12 16 159,2 79,6 79,6 31 2,21 282 10 38,2 12 159,2 318,4 32 2,20 179 6 12,7 4 38,2 638,8 33 2,19 282 4 12 25,4 6 796,1 34 2,18 310,2 8 19,1 4 6 159,2 636,8 35 2,17 141 12,7 8 4 9,6 159,2 36 2,16 282 3 3 9,6 6 159,2 79,6 37 2,15 310,2 76,4 6 4 9,6 318,4 159,2 38 2,14 179 3 4 9,6 5 19,1 636,8 39 2,13 423 12 38,2 6 19,1 10 318,4 40 2,12 310,2 8 19,1 4 2 9,6 636,8 41 2,11 179 38,2 3 4 38,2 318,4 23 номер вар № рис. UM B R1 Ом L1 мГн R2 Ом L2 мГн R3 Ом L3 мГн С1 мкФ С2 мкФ С3 мкФ 42 2,10 282 6 5 19,1 10 318,4 43 2,9 310,2 8 6 38,2 636,8 318,4 44 2,8 141 4 4 9,6 76,4 796,1 318,4 45 2,7 179 6 38,2 8 4 19,1 636,8 46 2,6 282 8 19,1 4 38,2 3 636,8 47 2,5 310,2 10 6 38,2 4 318,4 796,1 48 2,4 282 2 8 19,1 636,8 49 2,3 179 19,1 3 6 38,2 318,4 50 2,2 141 38,2 4 9,6 3 636,8 636,8 Методические указания Задача №2 Для расчета электрических цепей переменного тока применяются те же методы, что и для цепей постоянного тока, но т.к. переменный синусои- дальный ток характеризуется большим количеством параметров и его анали- тическое представление сложнее, то это вносит свои особенности в методику расчета. Наиболее удобной для расчетов является комплексная форма пред- ставления синусоидальных функций. На начальном этапе расчета необходи- мо определить сопротивления всех реактивных элементов (если они не заданы) по формулам (1). В дальнейшем в расчетах использовать их ком- плексную форму: для активного сопротивления (R), для индуктивного со- противления (jXL), для емкостного сопротивления (-jXC). Над ЭДС, напряжением, током в комплексной форме ставится точка: E U I & & & , , , а под полным сопротивлением и полной проводимостью участка черта снизу: Z,Y . 24 Основные закономерности, необходимые для расчета эл. цепей переменного тока (комплексная форма) закон Ома для участка эл. цепи, с полным ком- плексным сопротивле- нием 1-ый закон Кирхгофа 2-ой закон Кирхгофа Z U I & & I 0 & I & Z E & Сила тока на участке цепи прямо пропорцио- нальна напряжению участка и обратно про- порциональна его со- противлению. Алгебраическая сумма токов в узле электриче- ской цепи равна нулю. Алгебраическая сумма падений напряжения в контуре электрической цепи равна алгебраиче- ской сумме ЭДС в нем. Далее рассмотрим расчет электрической цепи переменного тока с одним источником методом эквивалентного преобразования схемы. Данный метод содержит общую для всех методик подготовительную часть и в тоже время имеет свою специфику. Методика расчета электрической цепи с одним источником ЭДС путем эквивалентного преобразования схемы 1) Подписать узлы, расставить произвольно направления токов в вет- вях и подписать токи. 2) Найти сопротивления всех реактивных потребителей в цепи по формулам: X L 2 f L L , f C C X C 1 2 1 . 3) Определить полное комплексное сопротивление цепи относитель- но зажимов источника, для чего используем выражения: Z Z1 Z2 Z3 Λ – для последовательного соединения; Λ 1 2 3 1 1 1 1 Z Z Z Z – для параллельного соединения; 1 2 1 2 Z Z Z Z Z – при параллельном соединении двух потребителей. Если необходимо выполнить преобразование звезда-треугольник (рис. 2.1 и 2.2) 25 ab bc ca ab ca a Z Z Z Z Z Z , ab bc ca bc ab b Z Z Z Z Z Z , ab bc ca ca bc c Z Z Z Z Z Z – для преоб- разования треугольника в звезду; c a b ab a b Z Z Z Z Z Z , a b c bc b c Z Z Z Z Z Z , b c a ca c a Z Z Z Z Z Z – для преобразования звезды в треугольник. 4) Вычислить ток на входе по закону Ома Z U I & & . 5) Поэтапно используя закон Ома для отдельных участков, а также законы Кирхгофа для узлов и контуров «разворачиваем» схему и находим токи внутренних ветвей. 6) Проверку выполняют либо по балансу мощностей, либо построе- нием векторной диаграммы в масштабе. Задача№3 Трехфазные электрические цепи Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 3.1-3.17, по заданным в таблице 3 параметрам и линейному напряжению, оп ределить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырѐхпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений на комплексной плоскости. Таблица 3 Номер Uл, В Ra , Ом Rb Ом Rс Ом Xa , Ом Xb, Ом Xc , Ом Rab Ом Rbc Ом Rca Ом Xab, Ом Xbc, Ом Xca, Вар Рис Ом 0 3.1 127 8 8 8 6 6 6 - - - - - - 1 3.1 220 8 8 8 6 6 6 - - - - - - a Zab Zbc Zca c b Рисунок - 2.2 a Рисунок - 2.1 Za Zb Zc c b 26 Номер Uл, В Ra , Ом Rb Ом Rс Ом Xa , Ом Xb, Ом Xc , Ом Rab Ом Rbc Ом Rca Ом Xab, Ом Xbc, Ом Xca, Вар Рис Ом 2 3.1 380 8 8 8 6 6 6 - - - - - - 3 3.2 127 3 4 6 4 3 8 - - - - - - 4 3.2 220 8 4 6 4 3 8 - - - - - - 5 3.2 380 8 4 6 4 3 8 - - - - - - 6 3.3 127 4 8 6 3 4 8 - - - - - - 7 3.3 220 4 8 6 3 4 9 - - - - - - 8 3.3 380 4 3 6 8 4 8 - - - - - - 9 3.4 127 16,8 8 8 14,2 6 4 - - - - - - 10 3.4 220 16,8 8 8 14,2 6 4 - - - - - - 11 3.4 380 16,8 8 8 8 6 4 - - - - - - 12 3.5 127 10 - - - 10 10 - - - - - - 13 3.5 220 10 - - - 10 10 - - - - - - 14 3.5 380 10 - - - 10 10 - - - - - - 15 3.6 127 - - - - - - 8 8 8 6 6 6 16 3.6 220 - - - - - - 8 8 8 6 6 6 17 3.6 380 - - - - - - 8 8 8 6 6 6 18 3.7 127 - - - - - - 8 4 6 4 3 8 19 3.7 220 - - - - - - 8 4 6 4 3 8 20 3.7 380 - - - - - - 8 4 6 4 3 8 21 3.8 127 - - - - - - 4 8 6 3 4 8 22 3.8 220 - - - - - - 4 8 6 3 4 8 23 3.8 380 - - - - - - 4 8 6 3 4 8 24 3.9 127 - - - - - - 16,8 8 3 14,2 6 4 25 3.9 220 - - - - - - 16,8 8 3 14,2 6 4 26 3.9 380 - - - - - - 16,8 8 3 14,2 6 4 27 3.10 127 - - - - - - 10 - - - 10 10 28 3.10 220 - - - - - - 10 - - - 10 10 29 3.10 380 - - - - - - 10 - - - 10 10 30 3.11 127 10 - - - 10 10 - - - - - - 31 3.11 220 10 - - - 10 10 - - - - - - 32 3.11 380 10 - - - 10 10 - - - - - - 33 3.12 127 15 - - - 5 5 - - - - - - 34 3.12 220 15 - - - - - - - - - - - 27 Номер Uл, В Ra , Ом Rb Ом Rс Ом Xa , Ом Xb, Ом Xc , Ом Rab Ом Rbc Ом Rca Ом Xab, Ом Xbc, Ом Xca, Вар Рис Ом 35 3.12 380 15 - - - - - - - - - - - 36 3.13 127 - - - - - - - 3 8 4 6 8 37 3.13 220 - - - - - - - 3 8 4 6 8 38 3.13 380 - - - - - - - 3 8 4 6 8 39 3.14 127 - - - - - - 8 4 8 - 6 10 40 3.14 220 - - - - - - 8 4 8 - 6 10 41 3.14 380 - - - - - - 8 4 8 - 6 10 42 3.15 127 - - - - - - - 5 6 5 8 4 43 3.15 220 - - - - - - - 5 6 5 8 4 44 3.15 380 - - - - - - - 5 6 5 8 4 45 3.16 127 - - - - - - 5 - 6 10 8 4 46 3.16 220 - - - - - - 5 - 6 10 8 4 47 3.16 380 - - - - - - 5 - 6 10 8 4 48 3.17 127 - 3 - 15 - 10 - - - - - - 49 3.17 220 - 3 - 15 - 10 - - - - - - 50 3.17 380 - 3 - 15 - 10 - - - - - - a с b n Rc Ra Rb Xa Xb Рис. 3.1 n a b c Ra Rc Rb Xa Xb Xc Рис 3.2 28 Rab Xab Xca Rca Xbc Rbc b c Рис 3.6 a Xb Ra Xc a b c n Рис 3.5 Xab Ra X Rbc bc Xca Rca c b Рис 3.8 a Ra Rbc Rca Xca Xbc c b Рис 3.7 Xab a b c n a Rb Xb Xc Rc Xa Ra Рис. 3.3 b c n a Рис. 3.4 Xb Ra Xa X Rb c Rc 29 Xbc c b Rab Xca a Рис 3.10 Rbc Rca Xca Xbc c b Рис 3.9 Rab Xab a Xb Ra Xc b c n Рис 3.12 a Xb Ra Xc b c n Рис 3.11 a Xab Rbc Rca Xca Xbc c b Рис 3.13 a Rbc Rca Xca Xbc c b Рис 3.14 Rab a 30 Методические указания Задача №3 Трехфазная цепь является одной из разновидностей цепей перемен- ного тока, поэтому к данному заданию рекомендуется приступать после вы- полнения задания 2. Расчет будет проводиться для потребителей, включенных по схемам «звезда» и «треугольник» при симметричной трех- фазной системе линейных питающих напряжений uab=Umлsin(ωt), ubc=Umлsin(ωt-120o ), uca=Umлsin(ωt+120o ) или в комплексной форме ο & j 30 ab л U U е , ο & j 90 bс л U U е , ο & j 150 ca л U U е , где действующее значение линейного напряжения 2 mл л U U . Приведем схемы, векторные диаграммы (режим в фазах принят про- извольно) для несимметричной нагрузки, включенной по схеме «звезда» с нейтралью, «звезда» без нейтрали и «треугольник». Xab Rbc Rca Xca Xbc a c b Рис 3.15 Rca Xca Xbc c b Rab a Xab Рис 3.16 Ra Xc a n c b Xb Рис 3.17 31 «Звезда» с нейтралью «Звезда» без нейтрали «Треугольник» a Za Zb Zc b c n ib ia ic ua uc ub uab ubc uca Рисунок – 3.18 ua uc ub uab ubc uca ia ib ic ib ic in ua ub uc uab ubc uca ia ib ib ic in ib ic Zab Zbc Zca a b c ib ia ic uab ubc uca iab ibc ica Рисунок – 3.20 a Za Zb Zc b c ib ia ic ua uc ub uab ubc uca Рисунок – 3.19 uab ubc uca ia ib ic iab ibc ica 32 Мощность в трехфазной цепи можно определить по формулам S U I P jQ i фi фi 3 1 \* ~ & , 2 2 S P Q , где Uфi & - комплекс напряжения i- той фазы («a», «b» или «c» для схемы «звезда» и «ab», «bc» или «ca» для схемы «треугольник»); I фi \* - сопряженный комплекс тока i-той фазы. 4. Содержание и оформление контрольных работ Приводятся следующие требования к оформлению контрольных работ: контрольные работы выполняются на листах формата А4 или в тетра- дях в клетку (12-18 листов). Текст может быть выполнен рукописно или с помощью средств компьютерной техники. Рукописный текст может быть записан на одной стороне листа формата А4 с высотой прописных букв не более 10 мм. Текст следует размещать, соблюдая размеры полей: правое –15 мм; левое – 30 мм; верхнее - 15 мм; нижнее – 25 мм. При оформлении текста, заголовков, иллюстраций, таблиц, и при- ложений следует руководствоваться с требованиями ГОСТ Р 1.5-2002, ГОСТ 2.105-95, используя стандартную терминологию, а при ее отсутствии приня- тую в технической литературе. Применяемые наименования величин в выполненном задании должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.417-2003 и ОК 015-94. Листы контрольной работы нумеруют арабскими цифрами. Номер листа проставляют на нижнем поле листа справа. На титульном листе номер листа не проставляют. Оформление иллюстраций в форме графиков и диаграмм выполня- ют Р 50-77-88. 5. Темы лабораторных работ № п.п. Наименование лабораторной работы Литература, аудитории 1 Работа № 6. Иccледование разветвленной электрической цепи переменного тока [10], С-501, 502, 419, 437 2 Работа № 8. Исследование режимов трѐхфаз- ного приѐмника электрической энергии соединѐнно- го звездой [10], С-501, 502, 419, 437 33 № п.п. Наименование лабораторной работы Литература, аудитории 3 Работа № 11. Исследование однофазного трансформатора [10], С-501, 502, 419, 437 4 Работа № 13. Исследование асинхронного электродвигателя [10], С-501, 502, 419, 437 6. Вопросы для подготовки к экзамену 1. Идеализированные элементы цепей постоянного тока. Источники тока и ЭДС. 2. Закон Ома и законы Кирхгофа для цепей постоянного тока. 3. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа для расчета цепей постоянного и переменного тока. 4. Метод контурных токов для расчета цепей постоянного и переменного тока. 5. Метод узловых потенциалов. 6. Метод эквивалентного генератора для расчета цепей постоянного и пе- ременного тока. Активный и пассивный двухполюсники. 7. Синусоидальный ток и его параметры. Действующие и средние значения синусоидальных токов и напряжений. 8. Способы представления синусоидальных функций. 9. Линейная динамическая цепь с резистором. Анализ цепи. 10. Линейная динамическая цепь с индуктивностью. Анализ цепи. 11. Линейная динамическая цепь с емкостью. Анализ цепи. 12. Линейная динамическая цепь с резистором, индуктивностью и емко- стью. Анализ цепи. 13. Условия резонанса в последовательной цепи. Характеристики колеба- тельного контура. 14. Линейная динамическая цепь с параллельным соединением резистора, индуктивности и емкости. Анализ цепи. 15. Условия резонанса в параллельной цепи. Характеристики колебательно- го контура. 16. Коэффициент мощности, его значение и способы повышения. 17. Комплексный метод расчета электрических цепей переменного синусои- дального тока. 18. Расчет активной, реактивной и полной мощности в однофазных цепях. 19. Цепи со взаимной индуктивностью. Расчет цепи. Определение коэффи- циента взаимоиндукции. 34 20. Периодические несинусоидальные токи и напряжения в линейных элек- трических цепях. Представление их рядами Фурье. 21. Расчет цепей несинусоидального тока. 22. Мгновенные, амплитудные, средние и действующие значения периоди- ческих несинусоидальных токов и напряжений. 23. Фильтры. Типы фильтров. Характеристика сглаживающих пассивных фильтров. 24. Характеристика резонансных и безындукционных пассивных фильтров. 25. Получение трехфазной ЭДС. Способы представления трехфазной ЭДС. 26. Соединение генератора и нагрузки звездой и треугольником. Соотноше- ния между фазными и линейными величинами. 27. Анализ режимов трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой. 28. Анализ режимов трехфазных цепей при соединении нагрузки треуголь- ником. 29. Расчет мощностей в трехфазных цепях. Способы повышения коэффици- ента мощности. 30. Основные понятия и принципы анализа переходных процессов. Законы коммутации. 31. Классический метод расчета переходных процессов. 32. Переходный процесс при подключении катушки индуктивности в цепи с источником постоянной ЭДС. 33. Переходный процесс при отключении катушки индуктивности от цепи с источником постоянной ЭДС. 34. Основные элементы нелинейных цепей. Общая характеристика. 35. Нелинейные цепи постоянного тока. Графический метод расчета. 36. Классификация материалов по магнитным свойствам. Параметры маг- нитных цепей. 37. Классификация ферримагнитных материалов. 38. Аналогии между электрическими и магнитными характеристиками. За- коны Ома и Кирхгофа для магнитных цепей. 39. Однофазный трансформатор. Устройство, принцип действия. 40. Приведенная схема замещения, уравнения состояния и векторная диа- грамма трансформатора. 41. Определение параметров схемы замещения трансформатора экспери- ментальным способом. 42. Потери и КПД трансформатора. 43. Асинхронный электродвигатель. Общая характеристика. 44. Асинхронный электродвигатель. Устройство, принцип действия. 45. Создание вращающегося магнитного поля. Изменение направления вра- 35 щения. 46. Схема замещения фазы АД при неподвижном роторе. 47. Особенности пуска АД. 48. Регулирование частоты вращения АД. 49. Машины постоянного тока. Устройство и принцип действия. 50. Машины постоянного тока. Общая характеристика. 51. ЭДС и электромагнитный момент МПТ. 52. Схемы возбуждения МПТ. 53. Характеристики генераторов постоянного тока. 54. Пуск ДПТ с параллельным возбуждением. 55. Регулирование скорости вращения ДПТ с параллельным возбуждением. 56. Механическая характеристика ДПТ с параллельным возбуждением. 57. Синхронная машина. Сравнительная характеристика, области примене- ния. 58. Конструкция и принцип действия синхронной машины. 59. Пуск синхронного двигателя. 60. Электрические измерения. Основные положения, классификация, обо- значения на шкалах. 61. Приборы МЭ, ЭМ, ЭД систем. 62. Классификация приемников по категориям электроснабжения. 63. Типовые схемы электроснабжения. 64. Электробезопасность в электрических схемах до 1000В. 36 Список литературы Основная литература 1. Касаткин А.С. Курс электротехники: Учеб. для вузов/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. - 10-е изд., стер. - М.: Высш. школа, 2009. – 542 с. 2. Борисов Ю.М., Зорин Ю.Н., Липатов Д.Н. Электротехника- М.: Энергоатомиздат, 1985.- 480 с. 3. Электротехника/ Под ред. В.Г.Герасимова.- М.: Высшая школа 1985.-480 с. 4. Сборник задач по электротехнике и основам электроники /Под ред. В.Г.Герасимова.- М.: Высшая школа, 1987.- 288 с. 5. Рекус Г.Г., Белоусов А.Н. Сборник задач по электротехнике и ос- новам электроники.- М.: Высшая школа, 1991.- 416 с. б. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и ин- тегральным схемам / Под ред. Н.Н. Горюнова.- М.: Энергия, 1972.- 400 с. Дополнительная литература 7. Общая электротехника /Под ред. А.Т.Блажкин.- Л.: Энергоатом- издат, 1986.- 592 с. 8. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым прибо- рам.- Киев: Техника, 1980.- 420 с. 9. Электротехнический справочник / Под общей ред. П.Г.Грудинского и др.- М.: Энергоатомиздат, 1986. 10. Руководство к лабораторным работам по курсу "Электротехни- ка и основы электроники". – Краснодар: из-во КПИ, 1984. – 74 с. 11. Электроника: Методические указания к лабораторным работам по курсу "Электротехника и основы электроники" для студентов всех форм обучения неэлектротехнических специальностей. /Краснодарский политехн. ин-т. Составители: Ю.Г. Репьев, С.А. Дюжева, В.М. Кузубов. – Краснодар, 1991. – 41 с. 37 38 39 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА Методические указания Авторская правка Составитель: Квон Алексей Михайлович Компьютерная верстка А.М. Квон