

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФГБОУ ВО "БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра систем энергообеспечения

## **Электроснабжение**

Учебно-методическое пособие  
к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение»  
для студентов очной и заочной форм обучения

Направлений: 13.03.02- Электроэнергетика и электротехника

Квалификация бакалавр

Брянск 2016

УДК 621.319

Грунтович, Н.В. Электроснабжение: учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ / Н.В. Грунтович, Л.М. Маркарянц. – Брянск: Брянский ГАУ, 2016. - 49с.

Рецензент: к.т.н., профессор Кисель Ю.Е.

Рекомендовано методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол №3 от 04.03.2016г.

© Брянский ГАУ, 2016  
© Грунтович Над.Вл., 2016  
© Маркарянц Л.М., 2016

## Содержание

Правила электробезопасности во время лабораторных занятий.....	4
Лабораторная работа № 1 Конструкция и принцип действия предохранителей.....	6
Лабораторная работа № 2 Выбор предохранителей для электроустановок.....	13
Лабораторная работа № 3 Калибровка плавких вставок предохранителей для защиты электроустановок.....	23
Лабораторная работа № 4 Изучение автоматических выключателей для защиты электроустановок.....	28
Лабораторная работа № 5 Оптимальные режимы использования силовых масляных трансформаторов однотрансформаторных подстанций.....	32
Лабораторная работа № 6 Экспериментальное определение экономичного режима работы трансформатора.....	39
Лабораторная работа № 7 Экономически выгодные режимы использования трансформаторов двухтрансформаторных подстанций.....	42
Лабораторная работа № 8 Исследование влияния установившегося отклонения напряжения сети на работу электроприемников.....	44

## ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Лабораторные стенды являются действующими электроустановками и при определенных условиях могут стать источником опасности поражения электрическим током. Тело человека обладает свойством электропроводности и при соприкосновении с токоведущими частями установки, находящимися под напряжением, оно становится звеном электрической цепи. Возникший в теле человека электрический ток может вызывать ожог кожи (электрическую травму) или нанести тяжелые поражения нервной, сердечной и дыхательной системам организма (электрический удар).

Установлено, что как постоянный, так и переменный электрические токи при величине 0.05А являются **опасными**, а при величине 0.1А- **смертельными**. Понятно, что опасность возрастает с увеличением напряжения.

Поэтому следует всегда помнить о возможности поражения электрическим током и соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Прежде, чем приступить к соединению устройств, расположенных на стенде, убедись, что контакты автоматов сетей **разомкнуты**, а указатели положения элементов регулирования лабораторных автотрансформаторов и источников питания расположены в позиции “**Ноль**” или “**Выкл**”.

2. Включать автоматы сетей и проводить первое опробование цепей с регулируемыми источниками питания можно только с разрешения **преподавателя**.

3. При сборке цепей избегайте пересечения проводов и обеспечьте высокую плотность контактов всех разъемных соединений. Неиспользованные провода уберите с монтажных панелей в отведенное для них место.

4. Убедитесь в исправности изоляции соединительных проводов. Не пользуйтесь проводами без наконечников или штырей.

5. Выполнять какие-нибудь присоединения или разборку цепи под напряжением в работающей установке **категорически запрещено**.

6. **Помните**, что отключенный конденсатор может сохранить опасный остаточный заряд, и не забывайте **разрядить** его до включения в цепь.

7. **Не прикасайтесь** к незаизолированным элементам соединительных и коммутационных устройств, находящихся под напряжением.

8. **Не приближайтесь к вращающимся частям** электрических машин. **Помните**, что даже гладкий вал способен “схватывать” части одежды (платья, галстуки, шарфы и др.) и волосы.

9. Обнаружив любую неисправность в электротехническом устройстве, находящемся под напряжением, **немедленно отключите** и сообщите об этом преподавателю.

10. **Не допускайте холостого хода** трансформаторов тока и двигателей постоянного тока последовательного возбуждения. Помните, что это **опасно!**

В случае поражения электрическим током следует немедленно **отключить** установку от сети, **освободить** пострадавшего от действия электрического тока и **поставить в известность** о случившемся преподавателя, в обязанности которого входит оказание первой помощи до прибытия вызванного врача.

Ответственность за соблюдение правил техники электробезопасности **возлагается на студентов** работающих в лаборатории, а контроль за их выполнением ведется преподавателем и сотрудниками кафедры, участвующими в проведении лабораторных занятий.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

#### 1. Цель работы

Изучение:

- 1.1 конструкций предохранителей;
- 1.2 принципа действия предохранителей;
- 1.3 назначения предохранителей.

#### 2. Конструкции предохранителей

**2.1 Предохранители на напряжение ниже 1 кВ.** В сельских сетях напряжением 0,38 кВ наибольшее распространение получили предохранители типов ПР-2, ПН-2 и НПН-2. Предохранители типа ПР-2 (разборные, с закрытыми патронами без наполнителя) изготавливаются на напряжение 220 и 550 В и токи патронов 15 ... 1000 А. Патрон предохранителя (рис. 1.1) состоит из фибровой цилиндрической трубки с напрессованными на концах латунными обоймами 4 с резьбой. Латунные колпачки 5, навинчиваемые на эти обоймы, зажимают контактные ножи 1, к которым болтами присоединяют плавкую вставку 3. У предохранителей на токи до 60 А колпачки одновременно являются контактами. Патрон вставляют в неподвижные контактные стойки. Укрепленные на изоляционной плите.

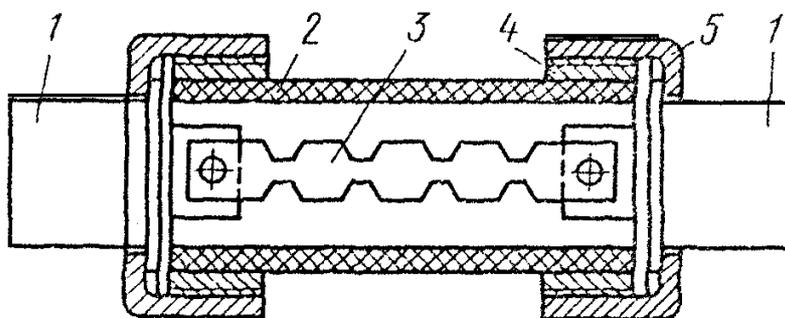


Рис.1.1. Разрез патрона предохранителя типа ПР:

1- контактный нож; 2- фибровый патрон; 3- плавкая вставка; 4- обойма; 5- колпачок

Плавкие вставки изготавливают из цинка в виде пластин с вырезами. Наличие суженных мест облегчает гашение электрической дуги, так как на этих участках выделяется больше теплоты, чем на широких. При возникновении тока к.з. узкие участки нагреваются настолько быстро, что отвода теплоты к широким участкам почти не происходит и вставка перегорает одновременно во всех или в нескольких местах. При перегорании вставки и возникновении дуги фибровая трубка выделяет газы (водород и углекислый газ). Давление в закрытой с обеих сторон трубке резко возрастает. Под

воздействием высокого давления, способствующего охлаждению и деионизации дуги, она быстро гаснет. При энергичной деионизации дугового промежутка сопротивление его быстро возрастает, ток к.з. в цепи уменьшается и прерывается прежде, чем достигнет максимального значения. Таким образом, эти предохранители являются токоограничивающими.

При перегрузках нагрев этих участков происходит медленнее, чем при к.з., и часть теплоты отводится к широким участкам. В этом случае вставка плавится в месте перехода от узкой части к широкой, то есть в наиболее нагретом месте вставки.

Когда при к.з. суженные участки вставки перегорают, широкие ее участки падают в нижнюю часть патрона, не плавясь и не засоряя трубку парами металла. В результате значительного уменьшения количества паров металла улучшаются условия гашения дуги.

Предохранители типа ПР-2 широко используются в сетях напряжением 380/220 В, в частности в комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) и во внутренних электрических сетях как непосредственно, так и в качестве составной части блоков предохранитель - выключатель БПВ-31. Эти блоки устанавливают в некоторых конструкциях КТП для защиты от к.з. и перегрузки отходящих линий.

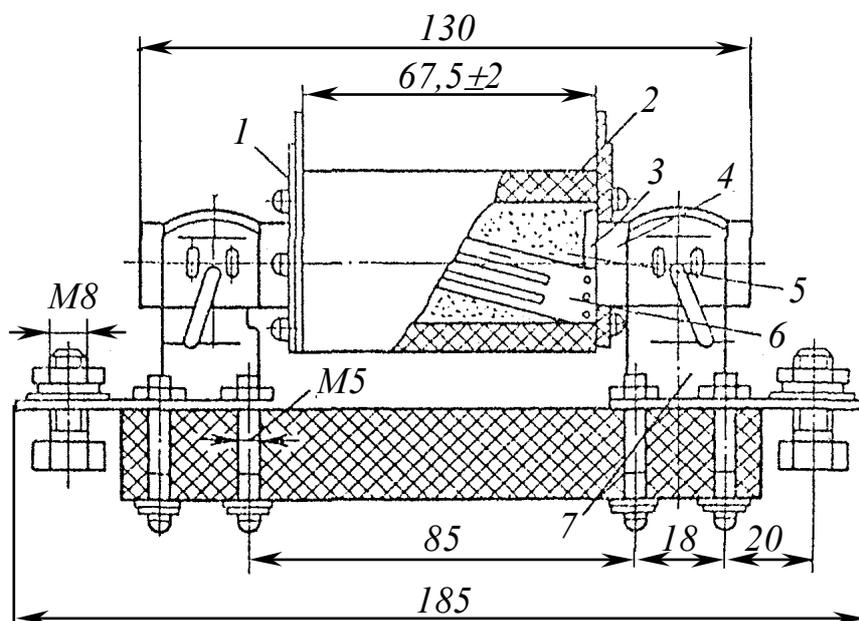


Рис. 1.2. Предохранитель типа ПН-2:

1 - крышка; 2 - фарфоровый корпус; 3 - диски; 4 - контактный нож; 5- наполнитель (кварцевый песок); 6- плавкая вставка; 7- контактная стойка

Предохранители типа ПН -2 (с наполнителем) в отличие от ПР-2 имеют наполнитель - мелкий кварцевый песок, который обеспечивает интенсивный теплоотвод от электрической дуги и быстрое ее гашение. Их изготовляют на напряжение до 500 В и номинальные токи 100 ... 600 А. Па-

трон предохранителя ПН-2 (рис. 1.2) состоит из фарфоровой трубки 2, квадратной снаружи и круглой внутри, которая имеет четыре резьбовых крышки 1 с уплотняющими прокладками. Асбестовые прокладки обеспечивают герметизацию патрона. Плавкие вставки на концах приварены к дискам 3, которые крепятся винтами к крышкам 1. С другой стороны дисков 3, приварены контактные ножи 4, которые вставляются в контактные стойки 7. Стойки подпружинены кольцевой пружиной, к ним подсоединяется защищаемая цепь. Патрон предохранителя может быть снят под напряжением при помощи специальной рукоятки из изоляционного материала.

Плавкую вставку изготавливают из одной или нескольких (в зависимости от номинального тока) медных ленточек толщиной 0.15...0.35 мм. Вставка имеет прорези, уменьшающие ее сечение. На полоски меди напаяны шарики из олова, которые обеспечивают металлургический эффект. В соответствии с числом медных ленточек вставки дуга возникает в нескольких параллельных каналах, что обеспечивает уменьшение количества паров металла и наилучшие условия гашения дуги в узкой щели между песчинками. В результате предохранитель ПН-2, а так же и ПР-2, обеспечивает токоограничивающий эффект.

Принцип действия предохранителя НПН-2 (неразборный с наполнителем) такой же, как и предохранителя ПН-2. Патрон, состоящий из стеклянной трубки, заполненной кварцевым песком, неразборный и без контактных ножей. Он армирован по концам медными колпачками, наружная цилиндрическая поверхность которых служит для создания электрического контакта с контактными стойками. Плавкая вставка, впаянная в эти колпачки внутри патрона, состоит из нескольких медных проволочек с оловянным шариком посередине.

Выпускаются так же насыпные предохранители с неразборным патроном серии ПП-31 на номинальный ток 32 ... 1000 А и напряжение 660 В. Все токоведущие части предохранителей, в том числе плавкая вставка, выполнены из алюминия. Использование этих предохранителей позволяет сэкономить большое количество медного проката.

В сельских электрических сетях напряжением 0.38 кВ применяются и некоторые другие конструкции предохранителей.

**2.2. Предохранители на напряжение выше 1кВ.** В сельских электрических установках на это напряжение применяются предохранители типов ПКТ и ПВТ (прежнее название соответственно ПК и ПСН). Предохранители типа ПКТ (с кварцевым песком) изготавливают на напряжения 6 ... 35 кВ и номинальные токи 40 ... 400 А. Наиболее широкое распространение получили предохранители ПКТ-10 на 10 кВ, устанавливаемые на стороне высшего напряжения сельских трансформаторных подстанций 10/0.38 кВ. Патрон предохранителя (рис. 1.3) состоит из фарфоровой трубки 3, заполненной кварцевым песком, которая армирована латунными колпачками 2 с

крышками 1. Плавкие вставки изготовляют из посеребренной медной проволоки. При номинальном токе до 7.5 А используют несколько параллельных вставок 5, намотанных на ребристый керамический сердечник (рис. 1.3, а). При больших токах устанавливают несколько спиральных вставок (рис. 1.3, б).

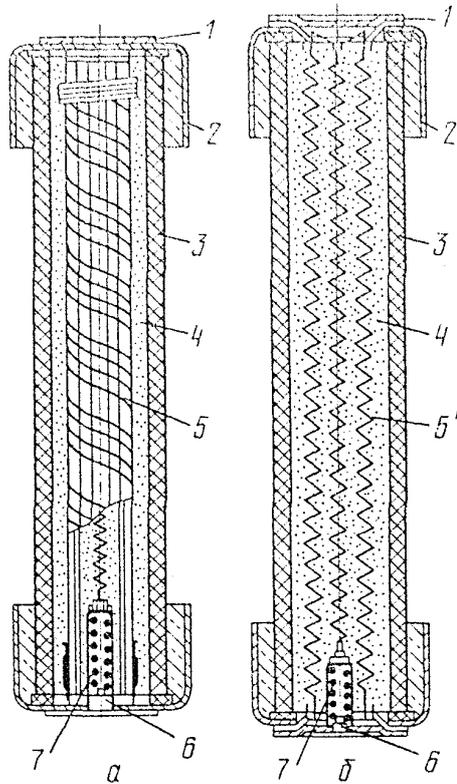


Рис. 1.3. Патроны предохранителей типа ПКТ:  
 а - на номинальные токи до 7.5 А; б - на номинальные токи 10 .... 400 А;  
 1 - крышка; 2 - латунный колпачок; 3 - фарфоровая трубка; 4 - кварцевый песок; 5 - плавкие вставки; б - указатель срабатывания; 7 - пружина

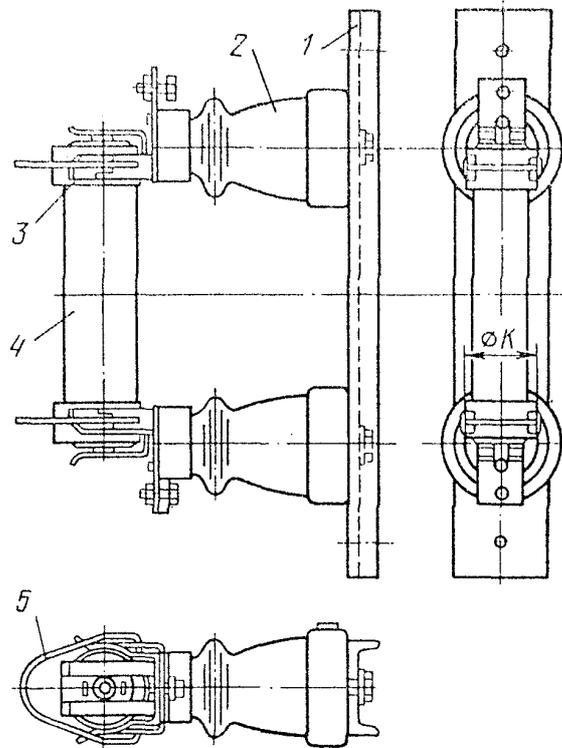


Рис. 1.4. Предохранитель типа ПКТ:  
 1- цоколь; 2- опорный изолятор; 3- контакт; 4- патрон; 5- замок

Такая конструкция обеспечивает хорошее гашение дуги, так как вставки имеют значительную длину и малое сечение. Для уменьшения температуры плавления вставки использован металлургический эффект. Для снижения перенапряжений, которые могут возникать при быстром гашении дуги в узких каналах (щелях) между зернами кварца, применяются плавкие вставки разного сечения по длине. Это обеспечивает искусственное затягивание гашения дуги. Патрон предохранителя герметизирован - после заполнения трубки кварцевым песком крышки 1, закрывающие от-

верстия, тщательно запаивают. Поэтому предохранитель ПКТ работает бесшумно. Срабатывание предохранителя определяется по указателю 6, который нормально удерживается специальной стальной вставкой во втянутом внутрь положении. При этом в сжатом состоянии удерживается также пружина 7. Когда предохранитель срабатывает, вслед за рабочим перегорает стальная вставка, так как по ней начинает проходить весь ток. В результате указатель 6 выбрасывается из трубки освободившейся пружиной 7.

На рис. 1.4 показан предохранитель типа ПКТ в собранном виде. На цоколе (металлической раме) 1 укреплены два опорных изолятора 2. Патрон 4 предохранителя вставляется латунными колпачками в пружинные держатели (контактное устройство) 3 и зажат замком. Последний предусматривается для того, чтобы удерживать патрон в держателях при возникновении электродинамических усилий во время протекания больших токов к.з. Изготавливают предохранители как для внутренней, так и для наружной установки, а также специальные усиленные предохранители с повышенной предельной мощностью отключения.

Для защиты измерительных трансформаторов напряжения выпускают предохранители типа ПКН (прежнее название ПКТ). В отличие от рассмотренных предохранителей ПКТ они имеют константановую плавкую вставку, намотанную на керамический сердечник. Такая вставка обладает более высоким удельным сопротивлением. Благодаря этому и малому сечению вставки обеспечивается токоограничивающий эффект. Предохранители ПКН могут быть установлены в сети с весьма большой мощностью к.з. (1000 МВ·А), а отключаемая мощность усиленных предохранителей ПКНУ вообще не ограничивается. Предохранители ПКН по сравнению с ПКТ имеют меньшие размеры и не снабжены указателем срабатывания (о перегорании плавкой вставки можно судить по показаниям приборов, подключенных со вторичной стороны трансформаторов напряжения).

Предохранители типа ПВТ (выхлопные, прежнее название - стреляющие типа ПСН) изготавливают на напряжение 10 ... 110 кВ. Они предназначены для установки в открытых распределительных устройствах. В сельских электрических сетях наиболее широко используются предохранители ПВТ-35 для защиты трансформаторов напряжением 35/10 кВ.

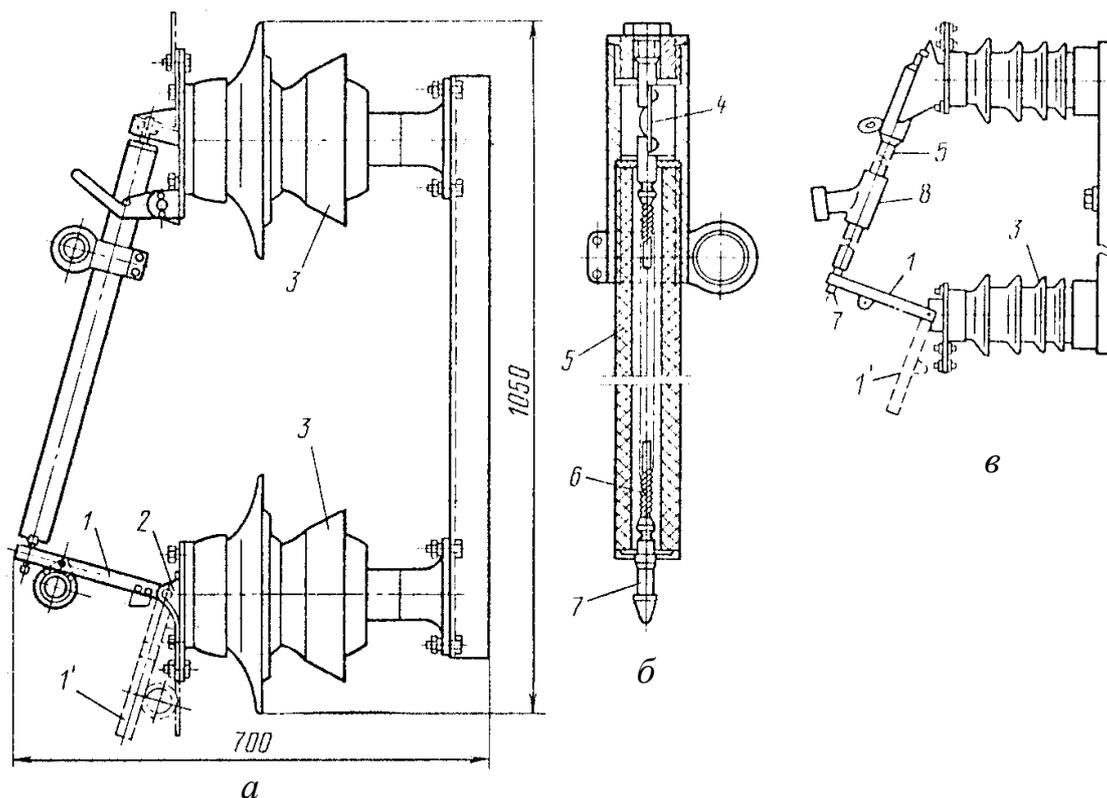


Рис. 1.5. Предохранители типа ПВТ:

*а, б* - общий вид и патрон предохранителя ПВТ (ПСН)-35;  
*в* - предохранитель ПВТ (ПС)-35 МУ1; *1* и *1'* - контактный нож; *2* - ось;  
*3* - опорный изолятор; *4* - плавкая вставка; *5* - трубка из газогенерирующе-  
 го диэлектрика; *б* - гибкая связь; *7* - наконечник; *8* - патрубок

Основной элемент патрона предохранителя – газогенерирующая трубка *5* из винипласта (рис. 1.5). Внутри трубки расположен гибкий проводник *б*, соединенный одним концом с плавкой вставкой *4*, помещенной в металлической головке патрона, а вторым – с контактным наконечником *7*. Патрон предохранителя размещается на двух опорных изоляторах *3*, укрепленных на цоколе (раме). Головка патрона зажата специальным держателем на верхнем изоляторе. На нижнем изоляторе укреплен контактный нож *1* со спиральной пружиной, которая стремится повернуть нож вокруг оси *2* в положение *1'*. Нож *1* сцеплен с контактным наконечником *7* патрона. Используются цинковые плавкие вставки, а также сдвоенные вставки из меди и стали (стальная вставка, расположенная параллельно медной, воспринимает усилие пружины, стремящейся вытащить из патрона гибкий проводник; при к.з. сначала расплавляется медная, затем стальная вставка). После перегорания плавкой вставки контактный нож освобождается и, поворачиваясь (откидываясь) под действием пружины, тянет за собой гибкий проводник, который затем выбрасывается из патрона. Под действием дуги, образовавшейся после расплавления вставки, стенки винипластовой трубки интенсивно выделяют газ. Давление в патроне повы-

шается, поток газа создает сильное продольное дутье, гасящее дугу. Процесс выброса раскаленных газов через нижнее отверстие патрона сопровождается звуком, похожим на выстрел. В связи с увеличением длины дуги по мере выброса гибкой связи в процессе отключения перенапряжений не возникает, но эти предохранители не обладают и токоограничивающим эффектом. Как видно из рисунка 1.5, плавкая вставка размещена не в трубке, а в металлическом колпаке, закрывающем один конец. Это исключает газообразование в нормальном режиме, когда плавкая вставка также может нагреваться до высокой температуры.

Промышленность выпускает выхлопной (стреляющий) предохранитель типа ПВТ-35МУ1, приведенный на рис. 5, в. Патрон этого предохранителя, в отличие от рассмотренного выше, имеет металлический патрубок  $\delta$ , в котором установлен медный клапан, закрывающий поперечное дутьевое отверстие патрубка. При гашении больших токов к.з., когда интенсивно развивается дуга, давление в патроне быстро возрастает и выбрасывает клапан, в результате чего отверстие патрубка открывается. При гашении дуги с малыми токами отверстие патрубка остается закрытым, обеспечивая повышение давления в патроне.

Для устранения одного из существенных недостатков предохранителей – трудности согласования последовательно установленных аппаратов из-за разброса характеристик – на базе предохранителей ПВТ(ПС)-35МУ1 разработаны управляемые предохранители УПС-35У1, предназначенные для защиты трансформаторов напряжением 35/6 ... 10 кВ. Имеются также разработки управляемых предохранителей на напряжение 110 кВ.

Гибкий проводник внутри патрона управляемого предохранителя соединен с плавкой вставкой не жестко, а через контактную систему, которая обеспечивает механический разрыв цепи плавкой вставки под действием привода при срабатывании релейной защиты. Когда возникает к.з., релейная защита срабатывает и в результате действия привода контактный нож (1, рис. 1.5) совместно с гибкой связью перемещается вниз. При этом контактная система, расположенная внутри патрона, размыкается. Остальные процессы – дальнейшее перемещение и выбрасывание гибкого проводника, гашение дуги – осуществляются так же, как и при перегорании плавкой вставки в неуправляемом выхлопном предохранителе. При больших токах к.з. плавкая вставка управляемого предохранителя перегорает раньше, чем сработает релейная защита. Возможен также вариант управляемого предохранителя без плавкой вставки. При этом исключается дополнительный подогрев предохранителя, можно повысить его номинальный и отключаемый токи.

### **3. Содержание отчета**

3.1 Схемы разрезов предохранителей типов ПР-2 и ПН-2;

3.2. Принцип действия рассмотренных выше предохранителей;

3.3. Дать сводную таблицу изученных предохранителей напряжения до 1000В и выше 1000В (новые и старые обозначения), указать их назначение и место использования в электротехнических установках.

#### **4. Литература**

4.1. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Н.М. Зуль. - М.: Агропромиздат, 1990.

4.2. Мукосеев Ю.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.А. Мукосеев. - М.: Энергия, 1973.

4.3. Федоров А.А. Основы электроснабжение промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергия, 1979.

4.4. Рунов Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю.А. Рунов. – Минск: Ураджай, 1998.

## ***ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2***

### **ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

#### **1. Цель работы**

1.1. Изучение методики выбора плавких вставок;

1.2. Изучение методов обеспечения избирательности (селективности) срабатывания предохранителей.

#### **2. Выбор типов предохранителей**

Выбор типов предохранителей обусловлен рядом требований, предъявляемых к ним, и соответствующими характеристиками предохранителей.

Основными параметрами и требованиями, предъявляемыми к предохранителям, являются:

2.1. Номинальное напряжение;

2.2. Род тока защищаемого элемента сети (переменный, постоянный);

2.3. Номинальный ток предохранителя (патрона, корпуса);

2.4. Номинальный ток плавкой вставки;

2.5. Назначение защиты (защита электроприемника, сети; защита только от коротких замыканий, или от коротких замыканий и перегрузки);

2.6. Предельный ток отключения и др.

Для удовлетворения указанных требований промышленностью выпускаются предохранители различных типов и номиналов. Наибольшее применение предохранители получили в сетях и установках на напряжение до 1000В. Технические характеристики таких предохранителей приведены в приложении 1.

#### **3. Выбор плавких вставок**

Различают плавкие предохранители с большой тепловой инерцией, т.е. способные выдерживать значительные кратковременные перегрузки током, и безынерционные, обладающие малой тепловой инерцией, и следовательно, весьма ограниченной способностью к перегрузкам. К первым относятся все установочные предохранители с винтовой резьбой и свинцовым токопроводящим мостиком, ко вторым - трубчатые предохранители с медным токопроводящим мостиком типов ПР-2, НПН, НПР, КП и др.

Номинальный ток плавкой вставки для предохранителей с большой тепловой инерцией определяется только по величине длительного расчетного тока ЭП или линии  $I_{дл}$  из соотношения:

$$I_{вст} \geq I_{дл} \quad (2.1)$$

Номинальный ток плавкой вставки для безынерционных предохранителей должен удовлетворять двум условиям, одно из которых соответствует соотношению (2.1), а второе – выражению:

$$I_{вст} \geq \frac{I_{пик}}{\alpha}, \quad (2.2)$$

где  $I_{пик}$  – максимальная величина кратковременного тока;

$\alpha$  - коэффициент, величина которого зависит от характеристики предохранителей и режима перегрузки.

Для ответвлений к одиночным двигателям ток  $I_{пик}$  принимается равным пусковому току  $I_{пуск}$ .

Коэффициент кратковременной тепловой перегрузки плавкой вставки  $\alpha$  принимается равным:

2,5 – для двигателей с нормальными условиями пуска (относительно редкие пуски и длительность разгона до 10 с);

2,0 ... 1,6 – для двигателей с тяжелыми условиями пуска (разгон под нагрузкой до 40 с);

1,6 – для сварочных аппаратов контактной сварки.

В качестве тока  $I_{пик}$  одного ЭП может быть принят:

а) пусковой ток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором;

б) для магистральной сети, питающей группу потребителей:

$$I_{пик} = K_{од} \cdot \sum_1^{n-1} I_i + I_{пуск.макс} = K_{од} \cdot \sum_1^n I_i + (I_{пуск.макс} - I_{н.макс}), \quad (2.3)$$

где  $K_{од}$  – коэффициент одновременности группы ЭП;

$I_i$  – рабочие токи ЭП;

$I_{н.макс}$  и  $I_{пуск.макс}$  – номинальный и пусковой токи наиболее мощного в группе ЭП.

Предохранитель, выбранный по этим условиям, обеспечивает нормальную работу проводника при длительном прохождении по нему

наибольшего рабочего тока, а также, при кратковременных пусковых токах.

#### 4. Обеспечение избирательности (селективности) срабатывания предохранителей

Избирательность (селективность) защиты обеспечивается подбором плавких вставок таким образом, чтобы при возникновении короткого замыкания, например, на ответвлении к ЭП, срабатывал ближайший предохранитель, защищающий этот ЭП, но не срабатывал предохранитель, защищающий головной участок сети.

Выбор плавких вставок по условию селективности следует производить, пользуясь типовыми время-токовыми характеристиками  $t=f(I)$  предохранителей с учетом возможного разброса реальных характеристик по данным завода-изготовителя.

При защите сетей предохранителями типов ПН, НПН и НПР с типовыми характеристиками, приведенными на рис. 1, 2, селективность действия защиты будет выполняться, если между номинальным током плавкой вставки, защищающей головной участок сети  $I_{\Gamma}$ , и номинальным током плавкой вставки на ответвлении к потребителю  $I_0$  выдерживаются определенные соотношения. Например, при небольших токах перегрузки плавкой вставки (около 180-250 %) селективность будет выдерживаться, если  $I_{\Gamma}$  больше  $I_0$  хотя бы на одну ступень стандартной шкалы номинальных токов плавких вставок.

При КЗ селективность защиты предохранителями типа НПН будет обеспечиваться, если будут выдерживаться следующие соотношения:

$$\frac{I_{\text{к}}}{I_0} \leq \dots 50; 100; 200.$$

$$\frac{I_{\Gamma}}{I_0} \dots 2,0; 2,5; 3,3.$$

Здесь  $I_{\text{к}}$  – ток КЗ ответвления, А;  $I_{\Gamma}$  – номинальный ток плавкой вставки головного участка сети, А;  $I_0$  – номинальный ток плавкой вставки на ответвлении, А.

Соотношения между номинальными токами плавких вставок  $I_{\Gamma}$  и  $I_0$  для предохранителей типа ПН2, обеспечивающие надежную селективность, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Номинальные токи последовательно включенных плавких вставок предохранителей ПН2, обеспечивающих надежную селективность

Номинальный ток меньшей плавкой вставки $I_0$ , А	Номинальный ток большей плавкой вставки $I_T$ , А, при отношении $\frac{I_K}{I_0}$			
	10	20	50	100 и более
30	40	50	80	120
40	50	60	100	120
50	60	80	120	120
60	80	100	120	120
80	100	120	120	150
100	120	120	150	150
120	150	150	250	250
150	200	200	250	250
200	250	250	300	300
250	300	300	400	более 600
300	400	400	более 600	-
400	500	более 600	-	-

**Примечание.**  $I_K$  – ток КЗ в начале защищаемого участка сети.

Для выбора плавких предохранителей по условию селективности можно использовать метод согласования характеристик предохранителей, в основу которого положен принцип сопоставления сечений плавких вставок по формуле:

$$a = \frac{F_1}{F_2}, \quad (2.4)$$

где  $F_1$  – сечение плавкой вставки, расположенной ближе к источнику питания;  $F_2$  – сечение плавкой вставки, расположенной дальше от источника питания, т.е. ближе к нагрузке.

Полученное значение  $a$  сравнивают с данными табл. 2.2, где приведены наименьшие значения  $a$ , при которых обеспечивается селективность. Селективность защиты будет обеспечена, если расчетное значение  $a$  равно табличному или больше него.

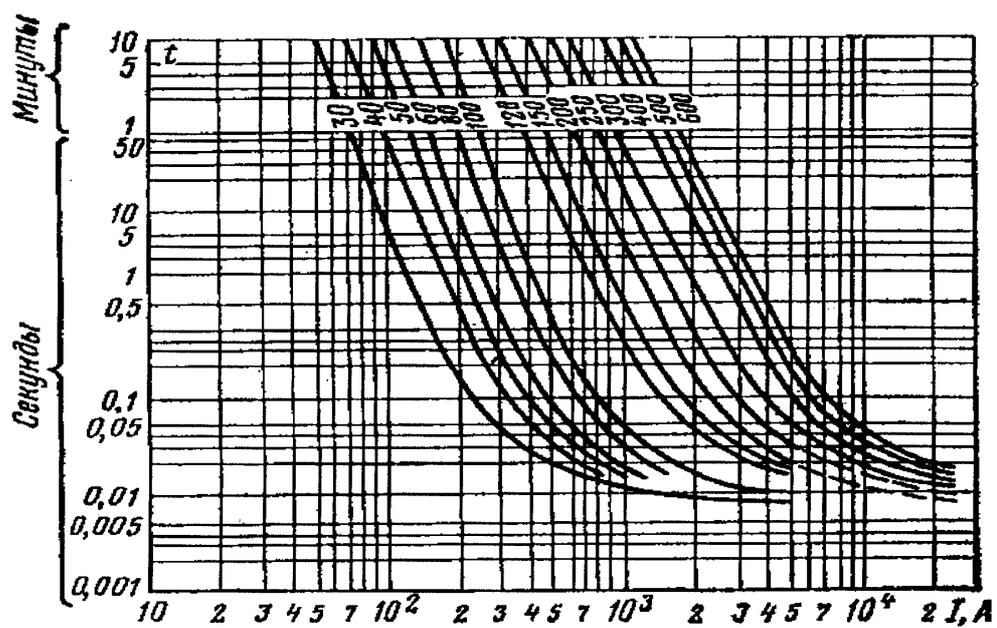


Рис. 2.1. Ампер-секундные характеристики плавких предохранителей ПН-2

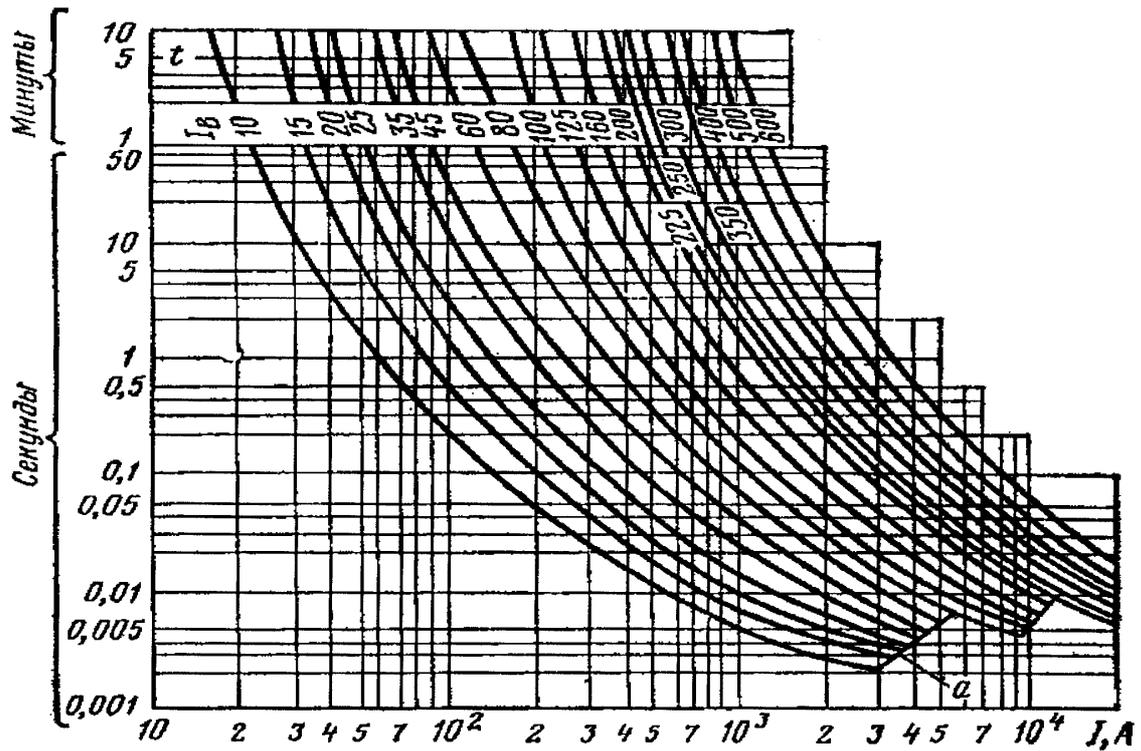


Рис. 2.2. Ампер-секундные характеристики плавких предохранителей НИР и НПИ

Таблица 2.2

Наименьшие значения  $a$ , при которых обеспечивается селективность защиты

Металл плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания (для любого типа предохранителя)	Отношение $a$ сечений плавких вставок смежных предохранителей, если предохранитель, расположенный ближе к нагрузке, изготовлен							
	с заполнителем при плавкой вставке из				без заполнителя при плавкой вставке из			
	меди	серебра	цинка	свинца	меди	серебра	цинка	свинца
Медь	1,55	1,33	0,55	0,2	1,15	1,03	0,4	0,15
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	4,5	3,95	1,65	0,6	3,5	3,06	1,2	0,44
Свинец	12,4	10,8	4,5	1,65	9,5	8,4	3,3	1,2

## 5. Содержание отчета

5.1. Цель работы;

5.2. Используя приложения 1 и 2 по заданию преподавателя,

- а) составить схемы питания одиночного электродвигателя и группы из 3-х электродвигателей, защитив их предохранителями от токов КЗ;
- б) выбрать предохранители;
- в) рассчитать и выбрать стандартные плавкие вставки, обеспечив селективность срабатывания защиты;
- г) привести времятоковые характеристики защиты и доказать правильность выбора плавких вставок.

## 6. Литература

- 6.1. Рунов Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю.А. Рунов. - Минск: Ураджай, 1998.
- 6.2. Ганелин А.М. Справочник сельского электрика / А.М. Ганелин, С.И. Коструба. - М.: Агропромиздат, 1988.

## Технические характеристики предохранителей

Тип и конструкция предохранителя	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой, Сечение плавкой вставки, мм <sup>2</sup>	Предельно отключаемый ток (действующее значение тока короткого замыкания), кА, при напряжении, В			
			I габарит		II габарит	
			220	380	380	500
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
ПР2 Закрытый, патрон разборный, без заполнителя, вставка фигурная из цинка	15	$\frac{6}{0,2}; \frac{10}{0,4}; \frac{15}{0,48}$	1,2	0,8	0,8	0,7
	60	$\frac{15}{0,48}; \frac{20}{0,75}; \frac{25}{1,0}; \frac{35}{1,2}; \frac{60}{1,5}$	5,5	1,8	4,5	3,5
	100	$\frac{60}{1,5}; \frac{80}{2,3}; \frac{100}{3,0}$	11	6,0	13	11
	200	$\frac{100}{3,0}; \frac{125}{3,8}; \frac{160}{4,7}; \frac{200}{6,0}$	11	6	13	11
	350	$\frac{200}{6,0}; \frac{225}{7,8}; \frac{260}{10,5}; \frac{300}{13,0}; \frac{350}{14,0}$	11	6	13	11
	600	$\frac{350}{13}; \frac{430}{22}; \frac{500}{26}; \frac{600}{38}$	15	13	23	20

Продолжение приложения 2.1

1	2	3	4	5	6	7
<p>ПН2</p> <p>Закрытый, патрон разборный, с наполнителем, вставка из листовой меди с оловянным шариком</p>	100	$\frac{30}{0,17}$ ; $\frac{40}{0,225}$ ; $\frac{50}{0,34}$ ; $\frac{60}{0,426}$ ; $\frac{80}{0,595}$ ; $\frac{100}{0,765}$	-	-	-	50
	250	$\frac{100}{0,765}$ ; $\frac{120}{0,935}$ ; $\frac{150}{1,085}$ ; $\frac{200}{1,53}$ ; $\frac{250}{2,3}$	-	-	-	40
	400	$\frac{200}{1,53}$ ; $\frac{250}{2,04}$ ; $\frac{300}{2,88}$ ; $\frac{350}{2,88}$ ; $\frac{400}{3,81}$	-	-	-	25
	600	$\frac{300}{2,88}$ ; $\frac{400}{4,08}$ ; $\frac{500}{5,1}$ ; $\frac{600}{6,12}$	-	-	-	25
<p>НПН</p> <p>Закрытый, патрон неразборный, с наполнителем, вставка из меди с оловянным шариком</p>	15	$\frac{6}{0,0354}$ ; $\frac{10}{0,098}$ ; $\frac{15}{0,141}$	-	-	-	10
	60	$\frac{15}{0,141}$ ; $\frac{20}{0,215}$ ; $\frac{25}{0,282}$ ; $\frac{35}{0,48}$ ; $\frac{45}{0,72}$ ; $\frac{60}{0,96}$	-	-	-	10
<p>НПР</p> <p>Закрытый, патрон разборный, с наполнителем, вставка из меди с оловянным шариком</p>	100	$\frac{60}{0,96}$ ; $\frac{80}{0,04}$ ; $\frac{100}{1,7}$	-	-	-	-
	200	$\frac{100}{1,7}$ ; $\frac{125}{2,27}$ ; $\frac{160}{2,83}$ ; $\frac{200}{3,4}$	-	-	-	-

Продолжение приложения 2.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
ПРС Однополюсный, резьбовой, разборный, с заполнителем	6	$\frac{1}{0,138}$ ; $\frac{2}{0,312}$ ; $\frac{4}{0,482}$ ; $\frac{6}{0,635}$	-	-	-	-
	20	$\frac{10}{1,3}$ ; $\frac{16}{1,54}$ ; $\frac{20}{2,55}$	-	-	-	-
	63	$\frac{25}{3,8}$ ; $\frac{40}{7,6}$ ; $\frac{63}{10,4}$	-	-	-	-

Приложение 2.2

Технические показатели электродвигателей  
( $U = 380/220$  В,  $n = 1500$  об/мин)

№	Мощность, кВт	К.п.д., %	cosφ	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$
1	1,1	75	0,81	5,0
2	1,5	77	0,83	5,0
3	2,2	80,0	0,83	6,0
4	3,0	82,0	0,83	6,5
5	4,0	84,0	0,84	6,5
6	5,5	85,5	0,85	7,0
7	7,5	87,5	0,86	7,5
8	11,0	87,5	0,87	7,5
9	15,0	88,5	0,88	7,0
10	18,5	89,5	0,88	7,0
11	22,0	90,0	0,90	7,0
12	30,0	90,5	0,90	7,0
13	37,0	91,0	0,90	7,0
14	45,0	92,0	0,90	7,0
15	55,0	92,5	0,90	7,0
16	75,0	93,0	0,90	7,0

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **КАЛИБРОВКА ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

#### **1. Цель работы**

1.1. Изучить способы калибровки плавких вставок предохранителей и обеспечения селективности их срабатывания.

1.2. Изучить схему стенда для испытания автоматических выключателей и предохранителей и порядок испытаний.

#### **2. Предварительный выбор проволоки для плавкой вставки предохранителя**

Перегоревшую плавкую вставку, если нет заводского изготовления, можно заменить калиброванной медной проволокой. При калибровке медной проволоки для плавких вставок предохранителей следует исходить из следующих требований ГОСТ:

1. При токе  $I_{\text{макс}} = (1,62 \dots 2,1) I_{\text{пл.вст.}}$  плавкая вставка должна сгорать в течение 1 ... 2 ч.;

2. При токе  $I_{\text{мин}} = (1,25 \dots 1,5) I_{\text{пл.вст.}}$  плавкая вставка не должна сгорать.

Предварительно диаметр медной проволоки можно определить по формуле:

$$d \approx 0,1 \sqrt[3]{I_{\text{пл.вст.}}^2}$$

где  $d$  – диаметр проволоки, мм;

$I_{\text{пл.вст.}}$  – ток плавкой вставки, А.

#### **3. Лабораторный стенд для испытания автоматических выключателей и предохранителей**

Принципиальная схема стенда для испытания автоматических выключателей и предохранителей приведена на рис. 3.1.

Питание стенда осуществляется от сети переменного тока 220 В (вход Х1). Для защиты силовой и вспомогательной цепей от короткого замыкания предусмотрены предохранители F1 и F2. Включение силовой и вспомогательной цепей осуществляется с помощью магнитного пускателя КМ. При нажатии кнопки "Пуск" магнитного пускателя напряжение 220 В подается на автотрансформатор АТ в силовой цепи, трансформатор Т2 в цепи сигнализации, а также на электросекундомер РТ.

Автотрансформатор АТ служит для регулирования тока и напряжения, подаваемого на первичную обмотку трансформатора Т1.

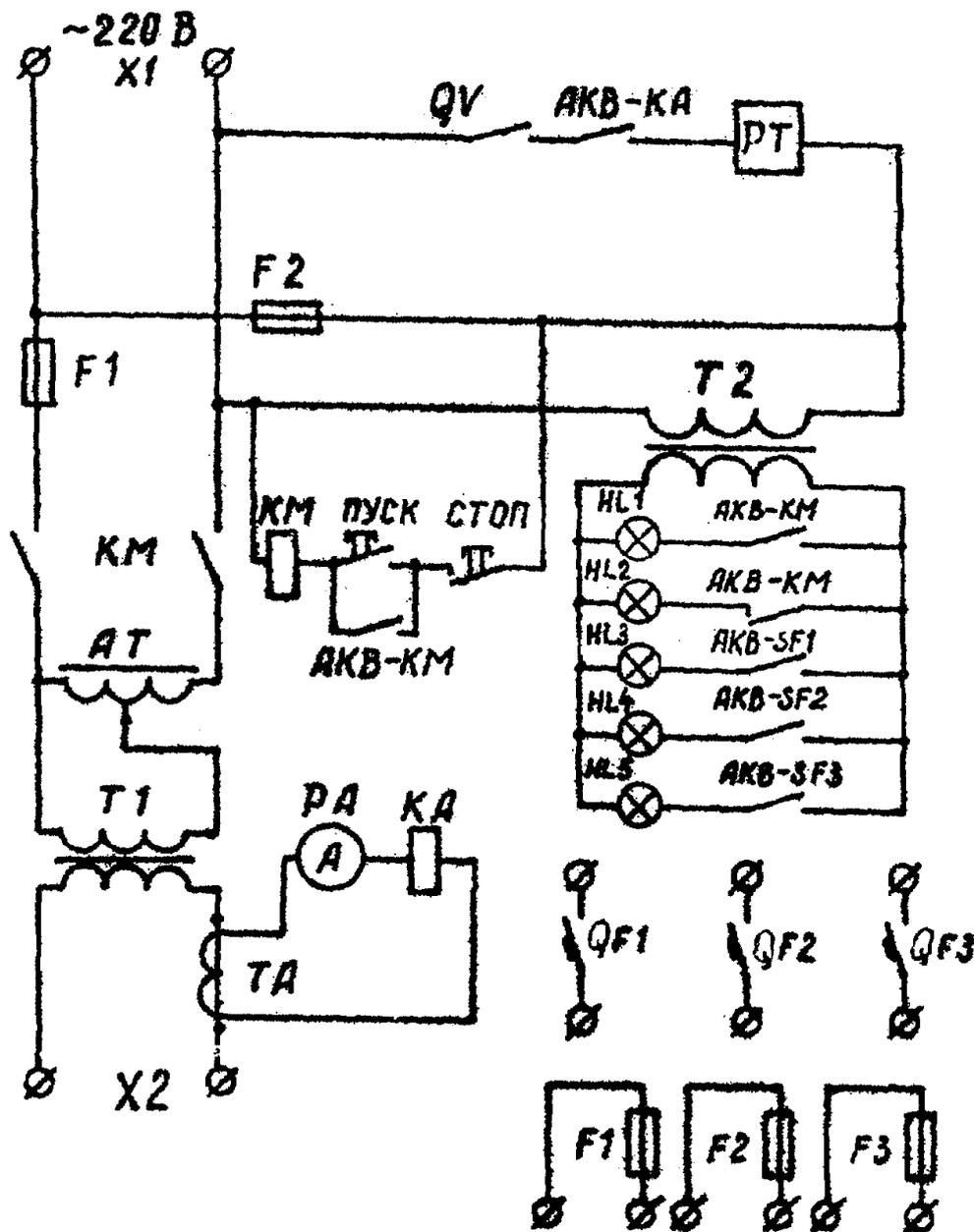


Рис. 3.1. Принципиальная схема для испытания автоматических выключателей и предохранителей

Основные функции трансформатора Т1:

1. гальваническое разъединение входной и выходной цепей, что диктуется требованиями техники безопасности;
2. понижение выходного напряжения (до единиц вольт) и получение возможности иметь во вторичной цепи трансформатора (на выходе X2) значительные токи (до 100 А; для этого вторичная обмотка трансформатора Т1 намотана проводом большого сечения).

Во вторичную обмотку трансформатора Т1 включен трансформатор ТА. Во вторичную обмотку трансформатора тока ТА последовательно

включен амперметр РА, необходимый для контроля тока и реле тока КА, который своими контактами АКВ-КА в цепи электросекундомера РТ отключает последний при исчезновении тока в силовой цепи.

Выключатель QV (тумблер) в цепи электросекундомера служит для отключения последнего, когда это необходимо.

Трансформатор Т2 служит для получения нужного напряжения для питания цепи сигнализации. В цепь сигнализации включены сигнальные лампочки HL1 и HL2, включаемые соответствующими контактами магнитного пускателя АКВ-КМ, и сигнализирующие о включении пускателя; сигнальные лампочки HL3, HL4, HL5 сигнализируют о включении соответствующего автомата.

На стенде размещены три автоматических выключателя разных типов QF1, QF2, QF3 и три предохранителя разных типов F1, F2, F3, которые включаются в силовую цепь для соответствующего исследования отдельными проводниками.

#### **4. Калибровка плавких вставок предохранителей и обеспечение селективности их срабатывания**

Калибровку плавких вставок из медной проволоки можно произвести на стенде, который описан выше. Для этого заготавливают проволоку различных диаметров. Если диаметр проволоки неизвестен, его можно определить с помощью микрометра.

Приблизительно для данного диаметра номинальный ток плавкой вставки можно определить по формуле:

$$I_{\text{н.пл.вст}}^{\text{нр}} \geq 32\sqrt{d^3},$$

где  $I_{\text{н.пл.вст}}^{\text{нр}}$  - предполагаемый номинальный ток плавкой вставки, А;

$d$  - диаметр проволоки, мм.

Для этого на стенде снимают часть время - токовой характеристики  $t_{\text{сгор}} = f(I)$ , т.е. получают зависимость времени сгорания  $t_{\text{сгор}}$  проволоки от величины тока  $I$ .

Величины токов при снятии указанной характеристики принимаются:

$$I = K \cdot I_{\text{н.пл.вст}}^{\text{нр}},$$

где  $K$  - коэффициент кратности.

Обычно бывает достаточно снять часть характеристики при  $K = 1,5; 2,0; 3,0; 4,0$ .

Опыт проводят в следующем порядке:

1. Заряжают патрон предохранителя проволокой. Нельзя устанавливать проволоку без патрона в связи с возможным разбросом металла и несоответствием условиям работы будущей плавкой вставки.

2. Заряженный патрон устанавливают на стенд в соответствующие губки и подключают к клеммам Х2.

3. Отключают тумблером QV электросекундомер РТ и устанавливают его в нулевое положение.

4. Устанавливают перемычку на клеммы X2, шунтируя предохранитель.

5. Автотрансформатор устанавливают в нулевое положение.

6. Включают магнитный пускатель, нажав кнопку “Пуск”.

7. Вращением ручки автотрансформатора АТ устанавливают нужную величину тока, которая контролируется с помощью амперметра РА.

8. Установив нужную величину тока, с помощью кнопки “Стоп” выключают магнитный пускатель КМ. Снимают перемычку с клемм X2 и тумблером QV включают электросекундомер.

9. Выключают магнитный пускатель. При этом начинает работать электросекундомер РТ. Величину тока контролируют с помощью амперметра РА.

10. После сгорания проволоки электросекундомер автоматически выключается. Кнопкой “Стоп” выключают магнитный пускатель. Величина тока и показания электросекундомера заносятся в журнал.

Затем проводятся опыты для других значений тока. Строится зависимость  $t_{\text{сгор}} = f(I)$ .

С помощью полученной зависимости  $t_{\text{сгор}} = f(I)$  для времени  $t=10$  с находят  $I_{10}$ . Номинальный ток плавкой вставки определится:

$$I_{\text{н.пл.вст}}^{\text{пр}} = \frac{I_{10}}{2,5}.$$

Часто возникает необходимость подбора диаметра медной проволоки для предохранителя с заданным значением номинального тока плавкой вставки, т.е. нужно решить задачу, обратную вышеописанной. Для этого ориентировочно определяют диаметр медной проволоки по формуле:

$$d = 0,1 \sqrt[3]{I_{\text{н.пл.вст}}^2}.$$

Находят медную проволоку нужного диаметра и проверяют на стенде при токе

$$I = 2,5 I_{\text{н.пл.вст}}.$$

Если время перегорания проволоки окажется более 10 с, выбирают проволоку на одну ступень меньшего диаметра, и снова проводят опыт, пока не будет найден диаметр проволоки, при котором она сгорает за 10 с.

Проверку плавких вставок на селективность срабатывания производят при последовательном подключении предохранителей к зажимам X2. При этом устанавливают ток, превышающий номинальный ток плавкой вставки меньшего из предохранителей в 2,5 раза, и убеждаются, что перегорает только его плавкая вставка за время не более 10 с.

## 5. Требования техники безопасности

5.1. Стенд питается от сети переменного тока напряжением 220 В. Напряжение на клеммах, выведенных на лицевую панель стенда, понижено до безопасной величины. Однако в силовой цепи могут быть значительные токи (до 100 А), поэтому необходимо собирать схему только при снятом, с помощью магнитного пускателя, напряжении.

#### **5.2. Запрещается:**

а) устанавливать проволоку при проведении опыта без патрона на губки предохранителя, в связи с возможным разбрызгиванием расплавленного металла;

б) проводить опыт, не защелкнув щиток для предохранителей;

в) включать стенд без разрешения преподавателя.

### **6. Программа работы и порядок ее выполнения**

6.1. Выполнить калибровку медной проволоки для двух диаметров ( $\varnothing 0,3 \dots 0,5$  мм).

6.2. Построить время-токовые характеристики, на которых показать определение тока  $I_{10}$ . Рассчитать значения токов плавких вставок  $I_{н..пл.вст.}$  для соответствующих диаметров проволоки.

6.3. Проверить предохранители на селективность их срабатывания.

### **7. Содержание отчета**

7.1. Цель работы.

7.2. Электрическая схема стенда для калибровки плавких вставок предохранителей.

7.3. Таблицы опытных данных и время - токовые характеристики калиброванной проволоки.

7.4. Результаты проверки предохранителей на селективность их срабатывания.

### **8. Литература**

8.1. Ганелин А.М. Справочник сельского электрика / А.М. Ганелин, С.И. Коструба. - М.: Агропромиздат, 1988.

8.2. Рунов Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю.А. Рунов. – Минск: Ураджай, 1998.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

#### 1. Цель работы

Изучить конструкции автоматических выключателей, установленных на стенде. Снять защитные характеристики автоматического выключателя.

#### 2. Краткие теоретические сведения

Автоматические воздушные выключатели (автоматы) служат для защиты электрических установок при коротком замыкании, от недопустимых перегрузок, а также для нечастой (до 6 раз в час) коммутации цепей постоянного (до 220 В) и переменного (до 500 В, 50 Гц) тока.

В сельских электроустановках применяют автоматы типов АП50, АЗ100 и АК63. Автоматы АП50 изготавливаются на номинальные токи нагрузки до 50 А; АЗ100 - от 15 до 600 А; АК63 - от 0,63 до 63 А.

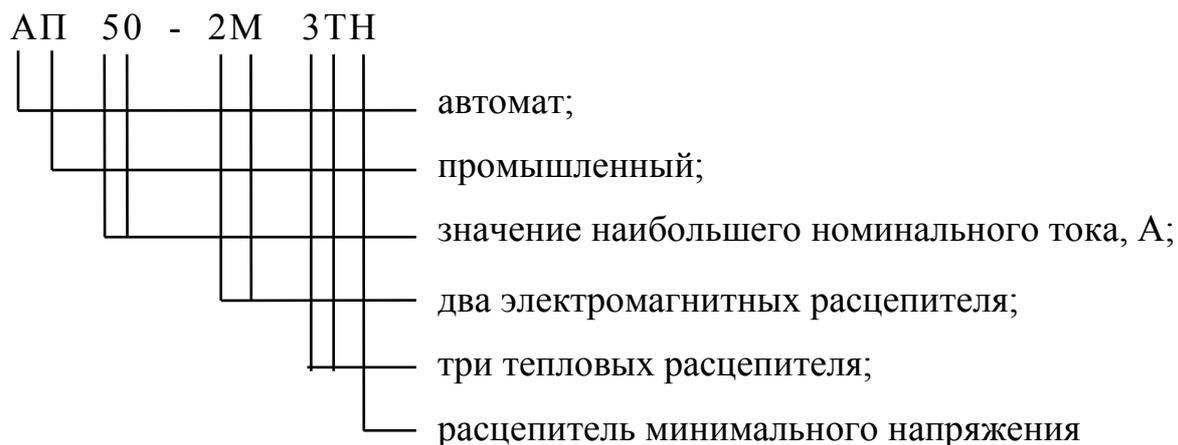
Постепенно автоматы этих серий будут заменены новой серией автоматов АЕ-2000 сельскохозяйственного назначения с номинальным током до 100 А.

Шкала номинальных токов расцепителей максимального тока имеет следующие ступени: 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80 А.

При токе нагрузки, равном  $1,2I_n$ , автоматы срабатывают не более, чем за 20 мин; при токе  $6I_n$  - за время - 5-20 с.

Конструкция автоматов допускает регулировку тока установки и имеет температурную компенсацию.





Более точные сведения об автоматах приведены в [1, с. 97...116].

### 3. Выбор автоматических выключателей

3.1. Для защиты от перегрузки одиночных трехфазных электродвигателей при небольшой частоте включений и продолжительности пуска до 2,5 с выбирает автоматы с тепловым расцепителем. Номинальный ток нерегулируемого теплового расцепителя  $I_{н.р.}$  для автоматов АЗ100 определяет по формуле:

$$I_{н.р.} \geq I_{н.дв.},$$

а регулируемого расцепителя (для автоматов АП-50)

$$I_{н.р.} \geq 1,25 I_{н.дв.},$$

где  $I_{н.дв.}$  - номинальный ток электродвигателя, А.

3.2. Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме или с тяжелыми условиями пуска (5...12 с.), номинальный ток нерегулируемого теплового расцепителя выбирают, исходя из условия:

$$I_{н.р.} \geq 1,25 I_{н.дв.},$$

а регулируемого

$$I_{н.р.} \geq (1,25...1,50)I_{н.дв.}$$

3.3. При выборе комбинированных автоматов для защиты электродвигателей от перегрузки и коротких замыканий уставка теплового расцепителя должна быть:

$$I_{н.р.} \geq 1,25 I_{н.дв.}$$

В то же время ток уставки электромагнитного расцепителя должен быть:

$$I_{эм.р.} \geq 1,25 K_n I_{н.дв.},$$

где  $K_n$  - кратность пускового тока электродвигателя.

Автоматы типов АЗ123 и АЗ124 с комбинированным расцепителем на номинальный ток  $I_n$  до 30 А

$$I_{\text{эм.р.}} = (28...14) I_{\text{н.}}$$

а на токи больше 30 А

$$I_{\text{эм.р.}} = (15...10) I_{\text{н.}}$$

Эти же типы автоматов с электромагнитным расцепителем могут иметь:

$$I_{\text{эм.р.}} = 4,3; 6; 8I_{\text{н.}}$$

3.4. Автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем применяют для защиты от коротких замыканий и выбирают по условиям для одного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя:

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}}$$

с проверкой на возможность пуска двигателя:

$$I_{\text{н.р.}} \geq (1,5...1,8)I_{\text{н.дв.}}$$

для двигателя с фазным ротором:

$$I_{\text{н.р.}} \geq (2,5...3,0)I_{\text{н.дв.}}$$

для групповой силовой линии или группы короткозамкнутых двигателей:

$$I_{\text{н.р.}} \geq (1,5...1,8)[I_{\text{р}} + (K_{\text{н}} - 1) I_{\text{н.дв.макс.}}],$$

где  $I_{\text{р}}$  - расчетный ток силовой линии, А;

$I_{\text{н.дв.макс.}}$  - номинальный ток самого мощного из электродвигателей, А;  
в сетях освещения и в силовых сетях при отсутствии значительных пусковых токов:

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{р}}$$

для сетей освещения при одновременном включении группы ламп по 500 Вт:

$$I_{\text{н.р.}} \geq 1,5 I_{\text{р}}$$

для сетей освещения с лампами ДРЛ или другими приборами, имеющими значительные пусковые токи:

$$I_{\text{н.р.}} \geq 1,25 I_{\text{р}}$$

Во всех случаях при установке регулируемых расцепителей вместо нерегулируемых величину их номинального тока увеличивают в 1,25 раза.

#### **4. Обеспечение избирательности (селективности) срабатывания автоматов**

Условия обеспечения селективности срабатывания автоматов те же, что и для предохранителей (см. п. 4 лабораторной работы 2. Выбор предохранителей для защиты электроустановок), с той лишь разницей, что при использовании время-токовых характеристик вместо номинальных токов плавких вставок  $I_{\text{н. вст.}}$  используются номинальные токи расцепителей  $I_{\text{н.р.}}$ .

#### **5. Лабораторный стенд для испытания автоматических выключателей**

Описание стенда и его принципиальной схемы приведены в лабораторной работе №3. “Калибровка плавких вставок предохранителей для защиты электроустановок”. Там же см. “Требования техники безопасности”.

## **6. Программа работы и порядок ее выполнения**

6.1. Ознакомьтесь с типами и конструкциями выключателей, установленных на стенде.

6.2. У выключателя, который (по указанию преподавателя) предназначен для разборки, снимите крышку и ознакомьтесь с его устройством. При замкнутых контактах нажмите отверткой на биметаллическую пластину так, чтобы защелка освободилась, и проследите за работой рычажного механизма при размыкании контактов.

6.3. Для одного из автоматических выключателей (по указанию преподавателя) нужно снять зависимость времени срабатывания выключателя  $t$  от величины тока  $I$  -  $t = f(I)$ .

Для получения зависимости  $t = f(I)$  и определения номинального тока расцепителя необходимо провести опыт, аналогичный опыту для калибровки плавких вставок предохранителей (см. п. 4 лабораторной работы 3 “Калибровка плавких вставок предохранителей для защиты электроустановок”).

6.4. Выполнить проверку автоматов на селективность их срабатывания.

## **7. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

7.1. Цель работы.

7.2. Таблицу опытных данных и время - токовую характеристику  $t = f(I)$  для одного автомата.

7.3. Результаты проверки автоматов на селективность их срабатывания.

## **8. Вопросы для подготовки**

8.1. Назначение, основные типы и конструкции автоматических воздушных выключателей.

8.2. Условия выбора автоматов для защиты электроустановок.

8.3. Условия выбора автоматов для обеспечения селективности их срабатывания.

## **Литература**

1. Рунов Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю. А. Рунов. – Минск: Ураджай, 1998.

2. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев. - М.: Энергия, 1973.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**

### **ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОДНОТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

#### **1. Цель работы**

1.1. Освоить методику определения расчетным путем оптимальных режимов использования трансформаторов по минимуму потерь мощности, электроэнергии и удельным приведенным затратам.

1.2. Опытное определение оптимального режима (по максимуму к.п.д.) загрузки трансформатора, установленного на лабораторном стенде.

#### **2. Краткие теоретические сведения**

Коэффициент полезного действия трансформатора равен

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (5.1)$$

где  $P_1$  - подведенная к трансформатору мощность;

$P_2$  - полезная мощность.

Поскольку к.п.д. трансформаторов обычно высок и мощности  $P_1$  и  $P_2$  отличаются незначительно, то для определения к.п.д. метод непосредственного измерения мощностей не применяется, а для определения к.п.д. пользуются методом измерения отдельных потерь. При этом одну из мощностей выражают через другую и потери мощности в трансформаторе.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p}. \quad (5.2)$$

Потери мощности в трансформаторе  $\sum p$  складывается из потерь в стали сердечника  $\Delta p_{\text{ст}}$  и потерь в обмотках трансформатора  $\Delta p_{\text{об}}$

Потери в стали сердечника не зависят от нагрузки, а потери в обмотках изменяются пропорционально квадрату тока нагрузки. При малых нагрузках потери в стали больше потерь в обмотках, а при больших нагрузках преобладают потери в меди.

Если подставить в уравнение (5.2) значение потерь, то получим

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ст}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{об}}}{K_3 \cdot S_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{\text{ст}} + K_3^2 \Delta P_{\text{об}}}, \quad (5.3)$$

где  $\Delta P_{\text{об}}$  - потери в обмотках при номинальной нагрузке;

$K_3$  - коэффициент нагрузки,  $K_3 = \frac{S}{S_H} = \frac{I}{I_H}$ ;

$S$  и  $I$  - текущие значения мощности и тока;

$S_H$  и  $I_H$  - номинальные значения мощности и тока.

Взяв производную от  $\eta$  по  $K_3$  и приравняв ее нулю, из полученного уравнения можно определить оптимальные значения  $K_{3, \text{опт}}$  и  $S_{\text{опт}}$ , при которых к.п.д. будет максимален:

$$K_{3, \text{опт.}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{кн}}}}; \quad (5.4)$$

$$S_{\text{опт}} = S_H \cdot K_{3, \text{опт.}} \quad (5.5)$$

Зависимость к.п.д. трансформатора от нагрузки имеет вид, представленный на рис. 5.1.

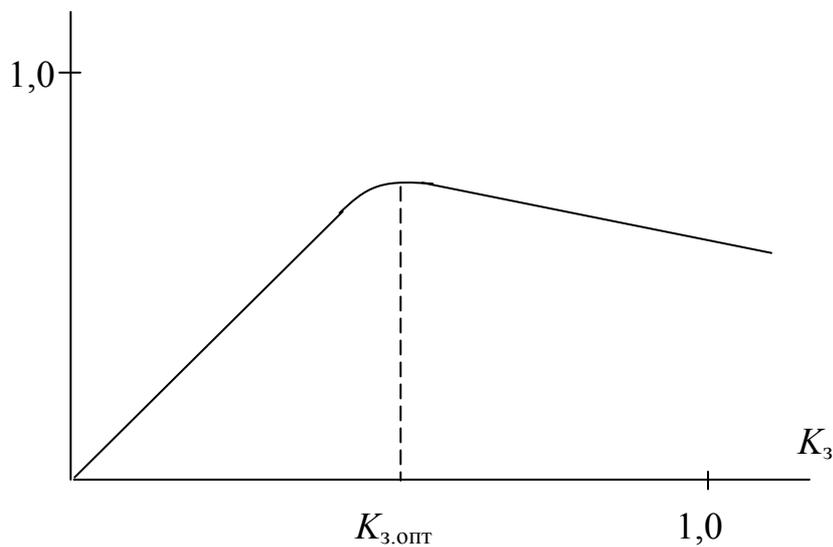


Рис. 5.1. Зависимость к.п.д. трансформатора от коэффициента нагрузки  $K_3$

При работе трансформатора с нагрузкой менее  $K_{3, \text{опт}}$  к.п.д. трансформатора резко падает и поэтому эксплуатировать его при малых нагрузках не выгодно. Если трансформатор постоянно работает в режиме малых нагрузок, то его целесообразно заменить менее мощным трансформатором, у которого потери в стали будут меньше, а  $K_3$  выше и, следовательно, к.п.д. будет выше. При нагрузке, большей  $K_{3, \text{опт}}$ , к.п.д. трансформатора будет немного снижаться из-за увеличивающихся потерь в меди. Поэтому желательно, чтобы трансформатор эксплуатировался с нагрузками более  $K_{3, \text{опт}}$ . Полученное значение оптимального коэффициента загрузки трансформатора  $K_{3, \text{опт}}$ , действительно, если трансформатор нагружен постоянной нагрузкой (равномерный график нагрузки). На практике же более характерным является неравномерный график нагрузки. В этом случае опти-

мальный коэффициент загрузки следует определять исходя из минимума годовых потерь электроэнергии в трансформаторах:

$$\Delta W_{т.г} = \Delta P_{кн} \left( \frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \tau + \Delta P_{xx} \cdot T_{г}, \quad (5.6)$$

где  $\tau$  - время максимальных потерь;

$T_{г}$  - время включенного состояния трансформатора в течение года (обычно  $T_{г} = 8760$  ч).

Удельные годовые потери электроэнергии определяются:

$$\Delta W_{т.г.уд} = \frac{\Delta W_{т.г}}{S} = \frac{\Delta P_{кн} \cdot \tau}{S_H^2} \cdot S + \frac{\Delta P_{xx} \cdot T_{г}}{S}. \quad (5.7)$$

Взяв производную от  $\Delta W_{т.г.уд}$  по  $S$  и приравняв полученное выражение нулю, получим уравнение, решение которого даст:

$$S_{опт} = S_H \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} \cdot T_{г}}{\Delta P_{кн} \cdot \tau}}; \quad (5.8)$$

$$K_{з.опт} = \frac{S_{опт}}{S_H} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} \cdot T_{г}}{\Delta P_{кн} \cdot \tau}}. \quad (5.9)$$

Сравните зависимости (5.8) и (5.9) с зависимостями (5.4) и (5.5)!

Если в формулу (5.9) подставить известную зависимость:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 T_{г},$$

получим

$$K_{з.опт} = \frac{10000}{1240 + T_M} \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кн}}}. \quad (5.10)$$

В формуле (5.10)  $T_M$  - время использования максимальной нагрузки.

Как следует из (10),  $K_{з.опт}$  сильно зависит от значения  $T_M$  (для сельских потребителей  $T_M = 1500 \dots 3000$  ч). Значения  $K_{з.опт}$ , рассчитанные по формуле (10), обычно значительно больше 1. В формулах (5.8), (5.9), (5.10)  $K_{з.опт}$  определяется только одной составляющей приведенных затрат - потерями электроэнергии. Полные приведенные затраты  $Z$  определяются зависимостью:

$$Z = pK + \Delta P_{xx} \cdot C_3 + \Delta P_{кн} \left( \frac{S}{S_H} \right)^2 \tau \cdot C_3, \quad (5.11)$$

где  $p$  - коэффициент ежегодных отчислений;

$K$  - капитальные затраты на трансформатор (ТП);

$C_3$  - стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии.

Формула для определения  $K_{з.опт}$ , полученное на основе зависимости (5.11), имеет вид:

$$K_{3.опт} = \frac{107}{1240 + T_m} \sqrt{\frac{pK + \Delta P_{xx} \cdot T_{\Gamma} \cdot C_3}{\Delta P_{кн} \cdot C_3}}. \quad (5.12)$$

Из сопоставления зависимостей (5.9), (5.10) и (5.11) можно установить, что в формуле (5.12) числитель дроби под корнем больше на величину  $p \cdot K$ , что дает значительное увеличение значения  $K_{3.опт}$  (для различных типов КТП и  $T_m$  величина  $K_{3.опт} = 1,5 \dots 2,5$ ). Это означает, что минимум приведенных затрат сильно смещен в сторону нагрузок трансформатора, значительно превышающих номинальную.

Из изложенного следует, что наибольший экономический эффект использования трансформаторов достигается при предельной, допустимой по техническим (тепловым) характеристикам, загрузке трансформаторов.

Максимально допустимые значения перегрузок (ГОСТ 14209-85):

- 1,5 - при систематических нагрузках (перегрузки более 1,5 допускаются с разрешения предприятия-изготовителя);
- 2,0 - при аварийных перегрузках.

### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Внимательно изучить  $\rho\Sigma$  данной лабораторной работы.

3.2. По заданию преподавателя для соответствующего силового трансформатора (см. Приложение) выписать все параметры, необходимые для расчета и построения зависимости  $\eta = f(K_3)$ . Значение  $\cos \varphi_2$  задает преподаватель для каждого студента индивидуально.

3.3. Рассчитать и настроить график зависимости  $\eta = f(K)$  используя формулу 3. На графике показать максимальное значение к.п.д.  $\eta_{\max}$  и соответствующее ему значение  $K_{3.опт}$ .

3.4. Определить  $K_{3.опт}$  аналитически, по формуле (4). Оценить сходимость результатов по п. 3.3 и 3.4.

3.5. Определить значение  $K_{3.опт}$ , полученное по формулам (5.9) и (5.10). Значение  $T_m$  задает преподаватель ( $T_m = 1200 \dots 3000$  ч). Сравнить полученное значение  $K_{3.опт}$  с результатами, полученными в п. 3.3 и 3.4. Сделать выводы.

### 4. Содержание отчета

4.1. Основные зависимости, определяющие  $K_{3.опт}$ .

4.2. Параметры трансформатора, необходимые для определения  $K_{3.опт}$ .

4.3. Таблица и график зависимости  $\eta = f(K_3)$ .

4.4. Привести значения  $K_{3.опт}$ , определенные по формулам (5.4), (5.9) и (5.10).

4.5. Привести максимально допустимые значения перегрузок по ГОСТ 14209-85.

## **5. Литература**

5.1. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. - Л.: Энергия, 1974. - С. 308-311.

5.2. Рунов Ю.А. Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий / Ю.А. Рунов. – Минск: Ураджай, 1998. – С. 206-209.

5.3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. Государственный комитет СССР по стандартам. - М., 1987.

Приложение 5.1

Параметры современных трансформаторов

№	Тип трансформатора	Верхний предел номинального напряжения обмоток, кВ		Напряжение короткого замыкания $U_k, \%$	Ток холостого хода $I_{xx}, \%$	Потери, кВт	
		ВН $U_1$	НН $U_2$			холодного хода при номинальном напряжении $\Delta P_{xx}$	короткого замыкания при номинальном токе $\Delta P_{кз}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Трансформаторы классов напряжения 10 и 35 кВ, соответствующие требованиям ГОСТ 12022-66 (ПВВ)							
1	ТМ-25/10	10	0,4	4,5	3,2	0,125	0,600
2	ТМ-40/10	10	0,4	4,5	3,0	0,180	0,880
3	ТМ-63/10	10	0,4	4,5	2,8	0,265	1,280
4	ТМ-100/10	10	0,4	4,5	2,6	0,365	1,970
5	ТМ-160/10	10	0,69	4,5	2,4	0,540	2,650
6	ТМ-250/10	10	0,69	4,5	2,3	0,870	3,700
7	ТМ-400/10	10	0,69	4,5	2,1	1,080	5,500
8	ТМ-630/10	10	3,15	5,5	2,0	1,680	7,600
9	ТМ-100/35	35	0,4	6,5	2,6	0,465	1,970
10	ТМ-160/35	35	0,69	6,5	2,4	0,660	2,650
11	ТМ-250/35	35	0,69	6,5	2,3	0,960	3,700
12	ТМ-400/35	35	0,69	6,5	2,1	1,350	5,500
13	ТМ-630/35	35	11	6,5	2,0	2,000	7,600
Трансформаторы классов напряжения 10 и 35 кВ, соответствующие требованиям ГОСТ 11920-66 (ПВВ)							
14	ТМ-1000/10	10	6,3	5,5	1,4	2,45	12,2
15	ТМ-1600/10	10	6,3	5,5	1,3	3,30	18,0
16	ТМ-2500/10	10	6,3	5,5	1,0	4,60	25,0
17	ТМ-4000/10	10	6,3	6,5	0,9	6,40	33,5
18	ТМ-6300/10	10	6,3	6,5	0,8	9,00	46,5
19	ТМ-1000/35	35	10,5	6,5	1,5	2,75	12,2
20	ТМ-1600/35	35	10,5	6,5	1,4	3,65	18,0
21	ТМ-2500/35	35	10,5	6,5	1,1	5,10	25,0
22	ТМ-4000/35	35	10,5	7,5	1,0	6,70	33,5
23	ТМ-6300/35	35	10,5	7,5	0,9	9,40	46,5

1	2	3	4	5	6	7	8
24	ТМ-10000/35	38,5	10,5	7,5	0,8	14,50	65,0
25	ТМ-16000/35	38,5	10,5	8,0	0,75	21,00	90,0
26	ТМ-40000/35	38,5	10,5	8,5	0,65	39,00	180,0
27	ТМ-80000/35	38,5	10,5	9,0	0,60	65,00	330,0
Трансформаторы классов напряжения 110 кВ, соответствующие требованиям ГОСТ 12965-67 (РПН до мощности 80000 кВ·А включительно)							
28	ТМН-2500/110	110	28	10,5	1,5	6,5	22,0
29	ТМН-6300/110	115	38,5	10,5	1,0	13,0	50,0
30	ТДН-10000/110	115	38,5	10,5	0,9	14,0	60,0
31	ТДН-16000/110	115	38,5	10,5	0,85	21,0	85,0
32	ТРДН-25000/110	115	2×10,5 38,5	10,5	0,80	29,0	120,0
33	ТРДН-32000/110	115	2×10,5 38,5	10,5	0,75	35,0	145,0
34	ТРДН-40000/110	115	2×10,5 38,5	10,5	0,7	42,0	175,0
35	ТРДЦН-63000/110	115	2×10,5 38,5	10,5	0,65	59,0	260,0
36	ТРДЦН-80000/110	115	2×10,5 38,5	10,5	0,60	70,0	315,0
37	ТДЦ-125000/110	121	20	10,5	0,55	120,0	520,0
38	ТДЦ-200000/110	121	20	10,5	0,50	170,0	700,0
39	ТДЦ-250000/110	121	20	10,5	0,50	200,0	790,0

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА**

#### **1. Цель работы**

1.1. Освоить методику опытного определения основных параметров трехфазного трансформатора, характеризующих его экономические показатели.

1.2. На лабораторном стенде для одного из трансформаторов выполнить измерения: потерь мощности холостого хода -  $\Delta p_{xx}$  ; тока холостого хода -  $I_{xx}$  ; потерь мощности короткого замыкания при номинальном токе -  $\Delta p_{кн}$  ; напряжения короткого замыкания -  $U_k$  .

#### **2. Краткие теоретические сведения**

См. п.2 лабораторной работы 5.

#### **3. Описание лабораторного стенда**

На стенде установлены два трансформатора типа ТС-1,5/0,5 с напряжением 380/36 В, предназначенные для испытаний, электроизмерительные приборы и коммутационная аппаратура, позволяющие испытывать их в режиме холостого хода, короткого замыкания и нагрузки, как одного, так и двух трансформаторов.

При проведении опыта короткого замыкания питание трансформатора осуществляется от трехфазного регулятора напряжения типа РНТ. Нагрузка осуществляется на проволочные реостаты.

Принципиальная электрическая схема стенда и использование его в различных режимах показаны на рис. 6.1, 6.2, 6.3.

#### **4. Требования техники безопасности**

**В стенде используются трансформаторы с напряжением первичной обмотки 380 В!** Поэтому необходимо соблюдать осторожность и не прикасаться к клеммам и другим частям стенда, находящимся под напряжением.

**Запрещается производить какие-либо изменения в схеме под напряжением!**

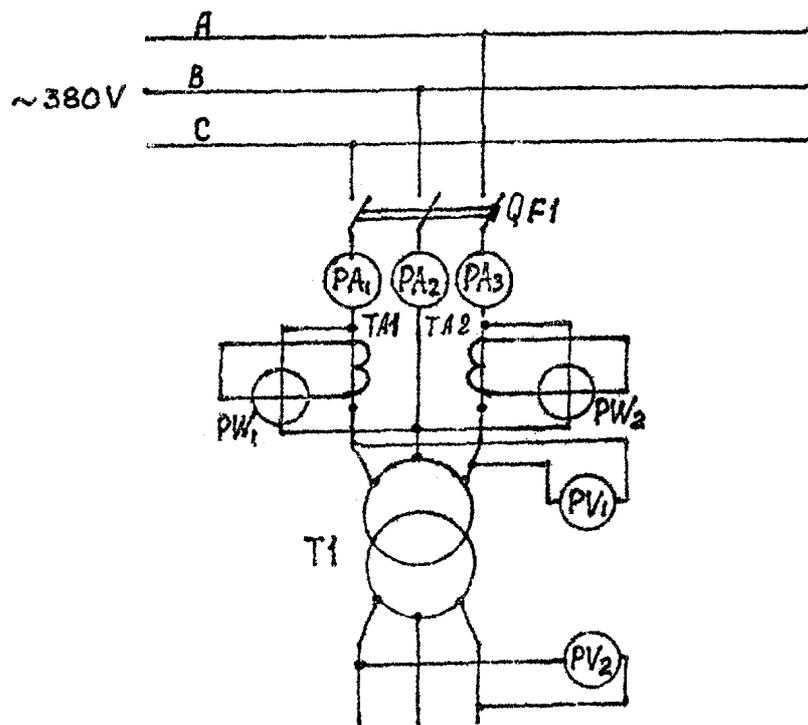


Рис. 6.1. Схема опыта х.х. трансформатора

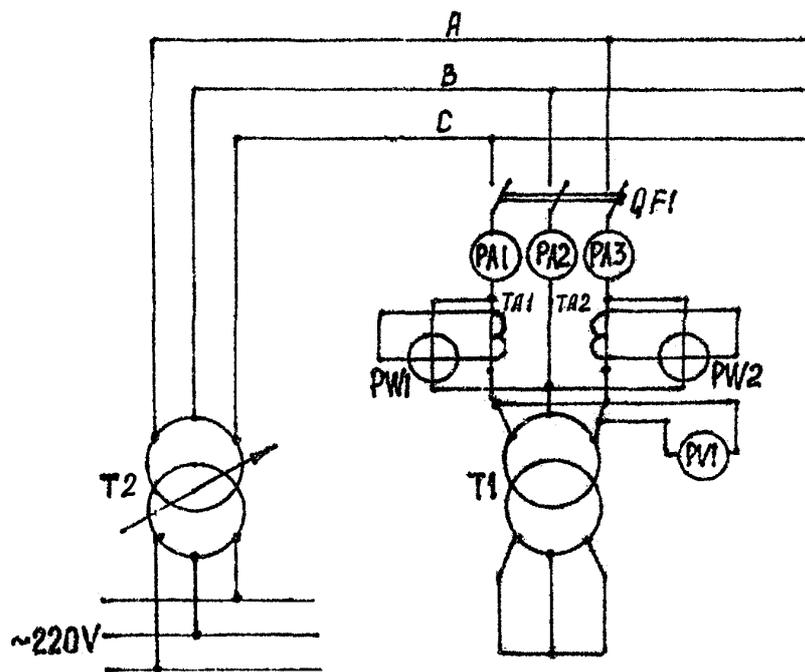


Рис. 6.2. Схема опыта к.з. трансформатора

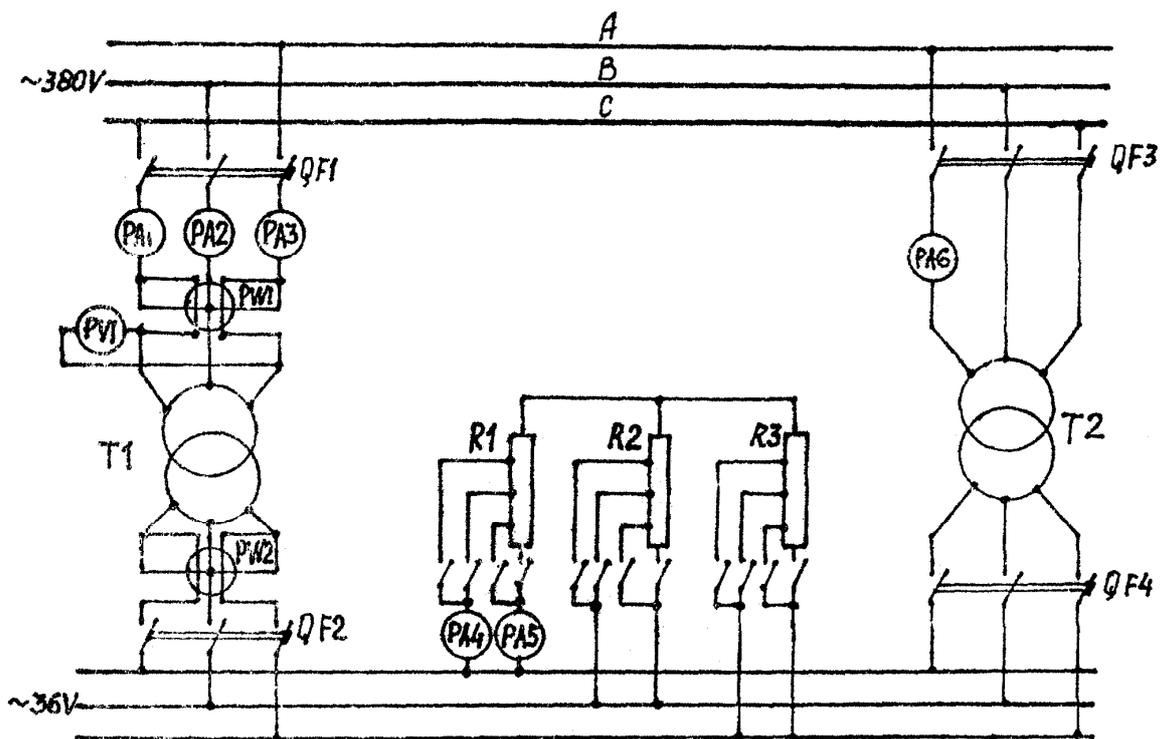


Рис. 6.3. Схема испытания трансформаторов в режиме нагрузки

## 5. Порядок выполнения работы.

5.1. Внимательно изучить р.2 данной лабораторной работы.

5.2. Ознакомьтесь со стендом и запишите данные трансформаторов и приборов.

5.3. Выполнить опыт холостого хода и определить  $\Delta p_{xx}$ ,  $I_{xx}$  для одного из трансформаторов. Для этого собрать схему по рис. 1. Для измерения  $\Delta p_{xx}$  использовать низкосинусные ваттметры.

5.4. Выполнить опыт к.з. и определить потери  $\Delta p_{кз}$  и  $U_k$  одного из трансформаторов при номинальном токе. Для этого собрать схему по рис. 2. С помощью РНТ повышать напряжение до значения  $U_{кн}$ , при котором по обмоткам будут протекать номинальные токи. Мощность измерить низкокonusным ваттметром.

5.5. Для полученных опытных данных выполнить расчеты и построения аналогично п.п. 3.3 - 3.5 лабораторной работы 5.

## 6. Содержание отчета

Аналогично п.4 лабораторной работы 5, но для полученных опытных данных.

## 7. Литература

См. п. 5 лабораторной работы 5.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫЕ РЕЖИМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

#### 1. Цель работы

Освоить методику выбора экономичного режима эксплуатации двухтрансформаторной подстанции (ТП), включая в работу (в зависимости от нагрузки) один или два трансформатора.

#### 2. Краткие теоретические сведения

Потери мощности в трансформаторе  $\Sigma P$  складываются из потерь в стали сердечника (потери холостого хода)  $\Delta P_{xx}$  и потерь в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания)  $\Delta P_k$ . Потери в стали сердечника не зависят от нагрузки трансформатора, а потери в обмотках изменяются пропорционально квадрату нагрузки (мощности  $S$  или тока  $I$ ). В паспортных данных для данного типа трансформатора приводится значение потерь к.з. для номинальной нагрузки  $\Delta P_{кн}$ .

Суммарные потери мощности в одном трансформаторе при нагрузке  $S$  определяются зависимостью:

$$(\Sigma P)_1 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кн} \left( \frac{S}{S_H} \right)^2 = \Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{кн}}{S_H^2} \cdot S^2, \quad (7.1)$$

где  $S$  - заданная нагрузка;

$S_H$  - номинальная мощность трансформатора.

Зависимость (7.1) имеет вид, показанный на рис. 7.1 (кривая 1).

Суммарные потери в двух однотипных трансформаторах при общей нагрузке  $S$  определяются зависимостью:

$$(\Sigma P)_2 = 2\Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{кн}}{2S_H^2} \cdot S^2. \quad (7.2)$$

Зависимость (2) имеет вид, показанный на рис. 7.1 (кривая 2). При значении  $S_{гр}$  (граничная мощность) потери мощности в одном трансформаторе и двух одновременно включенных оказываются равными.

Величину  $S_{гр}$  можно получить, если приравнять правые части зависимостей (1) и (2) и решить полученное уравнение относительно  $S$ . Получим

$$S_{гр} = S_H \sqrt{\frac{2\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кн}}}. \quad (7.3)$$

Величина  $S_{гр}$  имеет важное практическое значение, т.к. позволяет выбрать оптимальный режим эксплуатации трансформаторной подстанции. При нагрузках  $S \leq S_{гр}$  целесообразна работа при включении одного транс-

форматора; при  $S \geq S_{гр}$  целесообразно включать два трансформатора. При этом достигается минимум потерь мощности и энергии. Оценить эффект от снижения потерь мощности можно, определив разность потерь  $\Delta P_{1-2}$  для нагрузки  $S$  при включении одного трансформатора  $(\Sigma P)_1$  и двух -  $(\Sigma P)_2$ ;

$$\Delta P_{1-2} = \left| \Delta P_{xx} - \frac{\Delta P_{KH}}{2S_H^2} \cdot S^2 \right|. \quad (7.4)$$

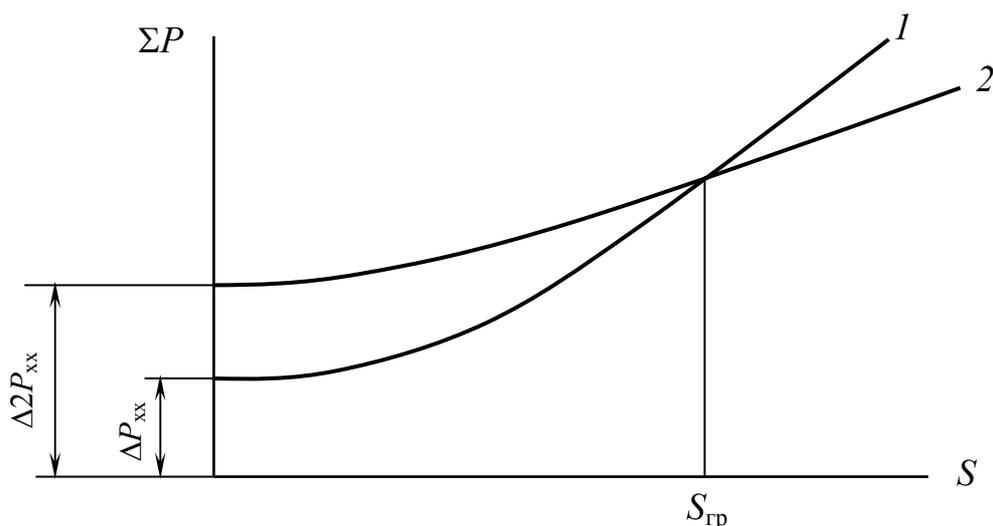


Рис. 7.1. Зависимость потерь мощности от нагрузки при включении одного и двух трансформаторов

### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Для заданных преподавателем типов трансформаторов (приложение к лабораторной работе 5) по формулам (7.1) и (7.2) рассчитать и построить зависимости потерь мощности от нагрузки при включении одного и двух трансформаторов (см. рис. 7.1). По рисунку определить  $S_{гр}$  и показать на рисунке.

3.2. Определить значение  $S_{гр}$  по формуле (7.3). Сравнить этот результат с данными п. 3.1.

3.3. По заданной преподавателем величине  $\Delta P_{1-2}$  (в пределах 0,1...0,2 % от  $S_H$ ), используя формулу (4), определить зону нагрузок  $S_1 \dots S_2$ , в пределах которой значение  $\Delta P_{1-2}$  будет меньше заданной величины.

3.4. Расчеты и построения, аналогичные приведенным в п. 3.1.-3.3, выполнить для опытных данных, полученных в лабораторной работе № 6.

### 4. Содержание опыта

4.1. Цель работы.

4.2. Основные расчетные формулы.

- 4.3. Исходные данные и результаты расчетов и построений.  
4.4. Получить аналитическую зависимость, аналогичную формулу (7.3) для двух трансформаторов разных типов.  
4.5. Выводы.

## 5. Литература

См. п. 5 лабораторной работы 5.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

### 1. Цель работы

Изучить влияние установившегося отклонения напряжения на работу асинхронных электродвигателей и ламп накаливания.

### 2. Краткие теоретические сведения

Потребители могут работать эффективно только при определенном качестве электрической энергии.

Показатели качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 13109-97 являются:

- установившееся отклонение напряжения  $S_{u_y}$  ;
- размах изменения напряжения  $S_{u_t}$  ;
- доза фликера  $P_t$  ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_u$  ;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения  $K_{u(n)}$  ;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2u}$  ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0u}$  ;
- отклонение частоты;
- длительность провала напряжения  $\Delta t_n$  ;
- импульсное напряжение  $U_{имп}$  ;
- коэффициент временного перенапряжения  $K_{пер U}$  .

В данной работе рассматривается только влияние на работу приемников установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  .

Значение установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  в процентах определяется по формуле:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100, \quad (8.1)$$

где  $U_y$  - усредненное значение напряжения в течение расчетного периода, равного 24 ч;

$U_{\text{НОМ}}$  - номинальное междуфазное (для трехфазной сети) или фазное (для однородной сети) напряжение.

ГОСТ 13109-97 установлены следующие нормы для  $\delta U_y$  :

$\pm 5\%$  - нормально допустимые значения;

$\pm 10\%$  - предельно допустимые значения.

Если в сети при эксплуатации имеют место колебания напряжения, характеризующиеся размахом изменения напряжения  $\delta U_t$ , то предельно допустимое значение суммы  $\delta U_y$  и  $\delta U_t$  в точках присоединения к электрическим сетям 0,38 кВ не должно превышать  $\pm 10\%$  от номинального напряжения.

Рассмотрим примеры влияния отклонений напряжения на работу отдельных электроприемников и на протекание технологических процессов.

В настоящее время наиболее распространенными электроприемниками в промышленности являются синхронные двигатели. В табл. 8.1 приведены данные по влиянию отклонений напряжения на характеристики электродвигателей.

Значительное влияние оказывает отклонение напряжения на протекающие электротермических процессов.

Таблица 8.1

Характеристики двигателей	Изменение характеристик, %; при изменении напряжения	
	-10 %	+ 10 %
Пусковой и максимальный вращающий момент	-19,0	+21,0
Скольжение	+23,0	-17,0
Частота вращения при номинальной нагрузке	-1,5	+1,0
К.п.д. при номинальной нагрузке	-2,0	+1,0
Ток ротора при ном. нагрузке	+14,0	-11,0
Ток статора при номинальной нагрузке	+10,0	-7,0
Пусковой ток	-10,0 ... -12,0	+10,0 ... +12,0

Для оценки этого влияния рассмотрим один из примеров, приведенных в [1]. На одном из заводов при отжиге заготовок из цветного металла в печах сопротивлений общей мощностью 675 кВт при снижении заготовок из цветного металла в печах сопротивлений общей мощностью 675 кВт

при снижении напряжения на 7 % технологический процесс продолжался 5 часов вместо 3 часов при номинальном напряжении. В таком же соотношении увеличивалось электропотребление. При снижении напряжения на 10 % технологический процесс был невозможен. Задержка отжига в электрических печах приводила к удлинению всего технологического процесса. В результате имело место повышение себестоимости продукции. Годовой убыток из-за повышения издержек производства при удлинении технологического процесса составил более 12 тыс. рублей (цены 1970 года).

Отклонение напряжения оказывает влияние и на электрическую сварку. Снижение напряжения ухудшает качество сварных швов. Цикл времени сварки при снижении напряжения на 10 % удлиняется примерно на 20 % (для прогрева швов). В таком же соотношении возрастает электропотребление.

Изменение напряжения оказывает влияние на работу батарей статических конденсаторов, реактивная мощность которых также пропорциональна квадрату подведенного напряжения. При частых повышениях напряжения наблюдается массовый выход из строя конденсаторов.

Отклонение напряжения существенно влияет на работу осветительных установок. От подведенного напряжения зависят световой поток  $F$ , освещенность  $E$ , срок службы  $N$ , потребляемая мощность  $P$  и к.п.д. осветительных приемников электрической энергии.

Аналитические зависимости основных параметров для ламп накаливания, люминесцентных низкого давления и дуговых ртутных люминофорных (ДРЛ) приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Аналитическое выражение зависимости параметров ламп	Степенной показатель зависимости параметров ламп от величины напряжения		
	для ламп накаливания	для люминесцентных ламп низкого давления	для дуговых ртутных люминофорных ламп (ДРЛ)
Световой поток .....	$\alpha = 3,61$	$\alpha = 1,5$	$\alpha = 3,0$
Срок службы .....	$\varphi = -14$	$\varphi = -1,81$	$\varphi = -3,72$
Потребляемая мощность .....	$\nu = 1,58$	$\nu = 2,75$	$\nu = 1,78$

При повышении напряжения на 10 % срок службы ламп накаливания сокращается почти в 3 раза. Уменьшение напряжения на 10 % приводит к

уменьшению светового потока ламп ДРЛ на 27 %, а ламп накаливания - более чем на 30 %.

Отсюда прямые убытки, связанные со стоимостью преждевременно перегоревших ламп, их заменой, а уменьшение освещенности рабочих мест приводит к уменьшению производительности труда, быстрому утомлению глаз рабочих и браку продукции.

### 3. Описание лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда приведена на рис. 1. Объектами исследования являются асинхронный двигатель и лампа накаливания. Тормозной момент на валу двигателя создается электромагнитным тормозом. Для регулирования напряжения используется трехфазный регулятор напряжения типа РНТ. Для измерения освещенности, создаваемой лампой накаливания, используется люксметр Ю116.

На стенде установлены необходимые коммутирующие аппараты, регулирующие и измерительные приборы.

### 4. Требование техники безопасности

В стенде используется трехфазный регулятор напряжения РНТ с напряжением 220 В, поэтому при регулировании необходимо соблюдать осторожность и не прикасаться к токоведущим частям. Запрещается производить какие-либо измерения в схеме под напряжением.

### 5. Порядок выполнения работы

5.1. Собрать схему для проведения испытания асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (рис. 8.1).

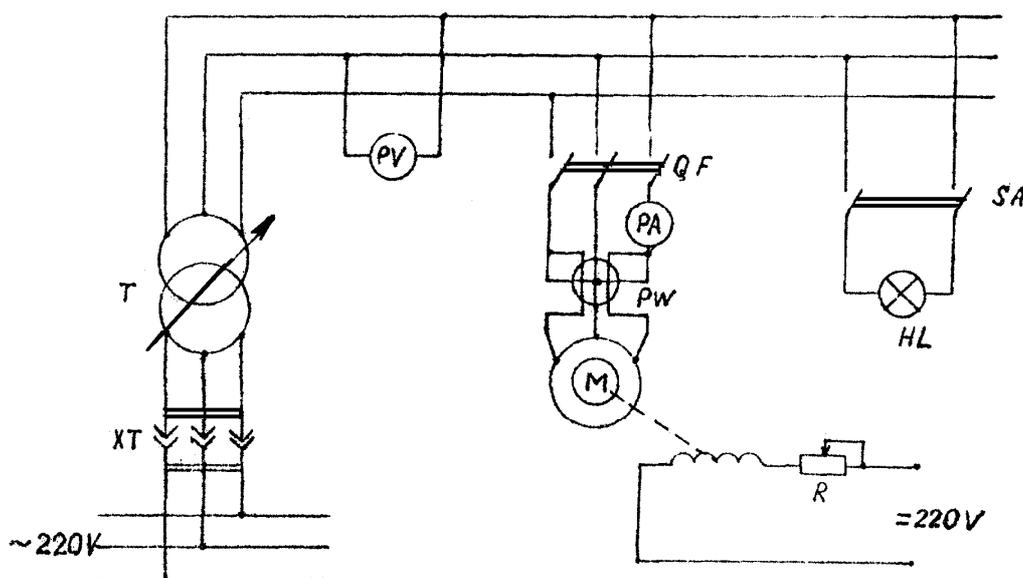


Рис. 8.1. Схема проведения опытов

5.2. Подать на зажим двигателя номинальное напряжение, измерить при номинальной нагрузке  $I_1$ ,  $M_n$ ,  $P_1$ ,  $\cos\varphi$ ,  $n$ . Измерить начальный пусковой момент  $M_n$ .

5.3. Подать на зажимы двигателя пониженное напряжение  $U=0,9U_n$ . Измерить при том же значении момента  $M_n$  величины  $I_1$ ;  $P_1$ ;  $\cos\varphi$  и  $n$ . Определить начальный пусковой момент  $M_n$ .

5.4. Подать на зажимы двигателя повышенное напряжение  $U=1,1U_n$ , измерить при  $M_n$  величины  $I_1$ ;  $P_1$ ;  $\cos\varphi$  и  $n$ . Определить начальный пусковой момент  $M_n$ .

5.5. Построить зависимости  $I_1$ ;  $P_1$ ;  $\cos\varphi$ ,  $M_n$  и  $n=f(U)$ .

5.6. Включить лампу накаливания и измерить освещенность поверхности стола при  $U_n=1,1U_n$  и  $0,9U_n$ .

5.7. Построить зависимость освещенности от  $U$ .

5.8. Рассчитать и построить зависимости (см. табл. 8.2) светового потока  $F$ , срока службы  $N$  и потребляемой мощности  $P$  от напряжения  $U$  для заданного преподавателем типа лампы.

## 6. Содержание отчета

6.1. Цель работы.

6.2. Показатели качества электроэнергии.

6.3. Нормы для параметра  $\delta U_y$ .

6.4. Основные зависимости параметров отдельных электроприемников от величины  $\delta U_y$ ;

6.5. Результаты измерений на стенде; построение графические зависимости на основе экспериментальных данных и по заданию преподавателя (для заданного типа ламп).

6.6. Выводы.

## 7. Литература

7.1. Карпов, Ф.Ф. Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий / Ф.Ф. Карпов, Л.А. Солдаткина. - М.: Энергия, 1970.

7.2. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергия, 1979.

Учебное издание

**Грунтович Надежда Владимировна  
Маркарянц Лариса Михайловна**

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати. 2016 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага печатная. Усл. п. л. 2,9. Тираж 200 экз. Изд. №

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета.  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ