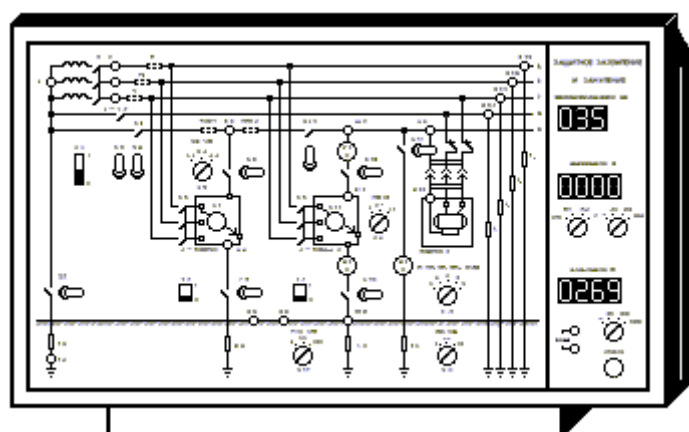


БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Часть I

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2004

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИН-
ФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Часть I

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2004

УДК 614. 8 084

Колосов Ю.В., Барановский В.В., Марковкина Н.Н. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Учебное пособие. СПб, СПбГУИТМО, 2004, - 67 с.

В учебном пособии изложены вопросы производственной санитарии и техники безопасности, приводятся необходимые теоретические сведения, описание установок и приборов, методика проведения работы и оформления полученных результатов.

Подготовлено на кафедре лазерных технологий и экологического приборостроения.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией инженерно-физического факультета в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений всех специальностей.

© Ю.В. Колосов, В.В. Барановский, Н.Н. Марковкина
2004

© Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики
2004

Содержание

1. Лабораторная работа № 1. Исследование эффективности действия общеобменной механической вентиляции.....	4
2. Лабораторная работа № 2. Исследование интенсивности теплового излучения и эффективности применения защитных средств.....	9
3. Лабораторная работа № 3. Исследование эффективности действия защитного заземления.....	15
4. Лабораторная работа № 4. Исследование эффективности действия зануления.....	24
5. Лабораторная работа № 5. Исследование электробезопасности трех-фазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В.....	30
6. Лабораторная работа № 6. Оценка эффективности и качества производственного освещения.....	40
7. Лабораторная работа № 7. Защита от сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения.....	57
Литература.....	67

Лабораторная работа №1
**Исследование эффективности действия общеобменной
механической вентиляции**

Цель работы – исследовать процессы теплообмена при наличии в помещении источника тепловыделений и эффективность работы вентиляционной установки, предназначенной для удаления избытков тепла.

Содержание работы

1. Рассчитать и провести исследование изменения температуры воздуха при наличии источника тепловыделений в помещении, оборудованном системой общеобменной механической вентиляции.

2. Рассчитать необходимый воздухообмен для удаления из помещения избытков тепла вентиляционной установкой.

3. Оценить эффективность действия вентиляционной установки.

Краткие теоретические сведения

В соответствии с Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий все производственные помещения должны быть вентилируемыми.

Вентиляция – организованный воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещений загрязненного, влажного, перегретого воздуха и подачу в него свежего наружного воздуха.

Задачей вентиляции является обеспечение в рабочей зоне помещений требуемой чистоты воздуха и допустимых метеорологических условий.

Рабочая зона – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

По способу перемещения воздуха вентиляция может быть естественной и механической. Возможно сочетание естественной и механической вентиляции – смешанная вентиляция.

При *естественной вентиляции* воздухообмен происходит в результате действия гравитационного давления или давления ветра; при *механической* – перемещение воздуха осуществляется вентилятором, создающим избыточное давление (разрежение) по сравнению с атмосферным.

В зависимости от назначения вентиляция может быть *приточной* – для подачи в помещение свежего воздуха, *вытяжной* – для удаления из помещения воздуха, не соответствующего санитарно-гигиеническим требованиям и *приточно - вытяжной* – для того и другого одновременно.

По месту действия вентиляция бывает общеобменной и местной.

Действие *общеобменной вентиляции* (приточной, вытяжной, приточно-вытяжной) основано на разбавлении загрязненного, перегретого, влажного воздуха помещения до допустимых гигиенических норм во всем объеме по-

мещения. Эту систему вентиляции, как правило, применяют при равномерном расположении источников выделения теплоты, влаги, вредных веществ по площади производственного помещения.

Местная вытяжная вентиляция обеспечивает удаление перегретого или загрязненного воздуха непосредственно от мест его образования.

В лабораторной работе исследуется эффективность действия общеобменной механической вентиляции при наличии в помещении источника тепловыделений. В связи с этим потребуются решение двух задач.

Задача 1. Рассматривается теплообмен в помещении при наличии источника тепловыделений и отсутствии в помещении вентиляции.

Исследуем изменение температуры воздуха в помещении $T(t)$ в зависимости от продолжительности работы источника тепловыделений.

Учитывая некоторые приближения, баланс теплоты в помещении можно записать следующим образом:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{ст}}, \quad (1.1)$$

где $Q_{\text{пост}}$ – теплота, поступающая в помещение от источника тепловыделений, Дж;

$Q_{\text{в}}$ – теплота, идущая на нагрев воздуха в помещении, Дж;

$Q_{\text{ст}}$ – теплота, уходящая через стены помещения, Дж.

Известно, что

$$Q_{\text{пост}} = P t, \quad (1.2)$$

где P – мощность источника тепловыделений, Вт;

t – текущее время, с.

$$Q_{\text{в}} = c V_{\text{п}} (T - T_{\text{нач}})/\rho, \quad (1.3)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха при нормальном давлении, равная 1 кДж/(кг К);

$V_{\text{п}}$ – объем помещения, м³;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

T – текущая температура воздуха в помещении, °С;

$T_{\text{нач}}$ – начальная температура воздуха в помещении, °С;

$$Q_{\text{ст}} = \lambda S_{\text{ст}} t (T - T_{\text{нач}})/d, \quad (1.4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности стен, Вт/(м °С);

$S_{\text{ст}}$ – площадь поверхности стен, м²;

d – толщина стен, м.

Подставив выражения (1.2) – (1.4) в уравнение (1.1), получим следующее решение:

$$T = A - B/(t + C), \quad (1.5)$$

где $A = T_{\text{нач}} + P d/(\lambda S_{\text{ст}})$;

$B = c \rho V_{\text{п}} P d^2/(\lambda^2 S_{\text{ст}}^2)$;

$C = c \rho V_{\text{п}} d/(\lambda S_{\text{ст}})$.

З а д а ч а 2. Рассматривается теплообмен в помещении, оборудованном общеобменной вентиляцией, при наличии в нём источника тепловыделений.

Определим необходимое количество приточного воздуха для удаления из помещения избытков теплоты, вызывающих значительный нагрев воздуха в этом помещении.

Организуемый за счет действия вентиляции воздухообмен является процессом конвекции, в ходе которого удаляемый из помещения перегретый воздух восполняется притоком более холодного наружного воздуха. В результате температура воздуха в помещении снижается до значений, соответствующих допустимым гигиеническим нормам.

Рассмотрим уравнение теплообмена в помещении, в котором для вентиляции используется по одному приточному и вытяжному отверстию (рис.1). При некоторых упрощениях оно примет следующий вид:

$$T_{уд} = T_{пр} + a D, \quad (1.6)$$

где $T_{уд}$ – температура удаляемого воздуха, °С;

$T_{пр}$ – температура приточного воздуха, °С;

D – расстояние между приточным и вытяжным отверстиями, м;

$a = P/(V_{п} c_p v)$,

где v – скорость движения воздуха в помещении, м/с.

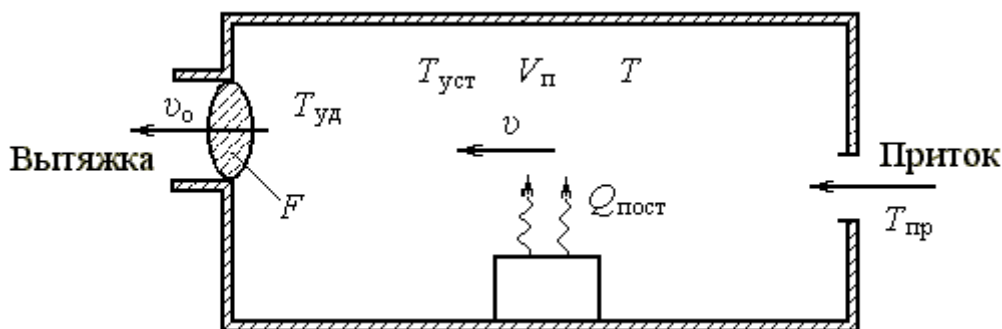


Рис .1. Схема помещения, оборудованного вентиляцией

Исследуем уравнение (1.6). В процессе вентиляции за время dt через приточное отверстие в помещение поступает и одновременно через вытяжное отверстие удаляется объем воздуха

$$dV = S v dt, \quad (1.7)$$

где S – площадь поперечного сечения помещения, м².

Количество приточного воздуха L (м³/ч) при использовании в помещении общеобменной вентиляции определяют по формуле

$$L = dV/dt. \quad (1.8)$$

С учетом того, что объем вентилируемого помещения $V_{п} = S D$, уравнение (1.6) можно представить в следующем виде:

$$T_{уд} - T_{пр} = \frac{P}{S c_p v} = \frac{P}{S c_p \left(\frac{dV}{dt} \cdot \frac{1}{S} \right)} = \frac{P}{c_p \frac{dV}{dt}},$$

откуда после преобразований получим формулу для расчета количества приточного воздуха L_Q (м³/ч), необходимого для удаления из помещения избытков теплоты за счет действия общеобменной вытяжной вентиляции

$$L_Q = \frac{dV}{dt} = \frac{P}{c\rho(T_{уд} - T_{пр})}. \quad (1.9)$$

Из практики применения механической вентиляции установлено, что для эффективной борьбы с избытками теплоты в помещении температура приточного воздуха $T_{пр}$ должна быть не менее, чем на 5 – 8 °С ниже допустимой нормы температуры воздуха в рабочей зоне $T_{доп}$.

Величина $T_{доп}$ выбирается по ГОСТ 12.1.005 – 88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”, выписка из которого приведена в таблице 1.

Описание установки

Схема установки для проведения исследований показана на рис.2.

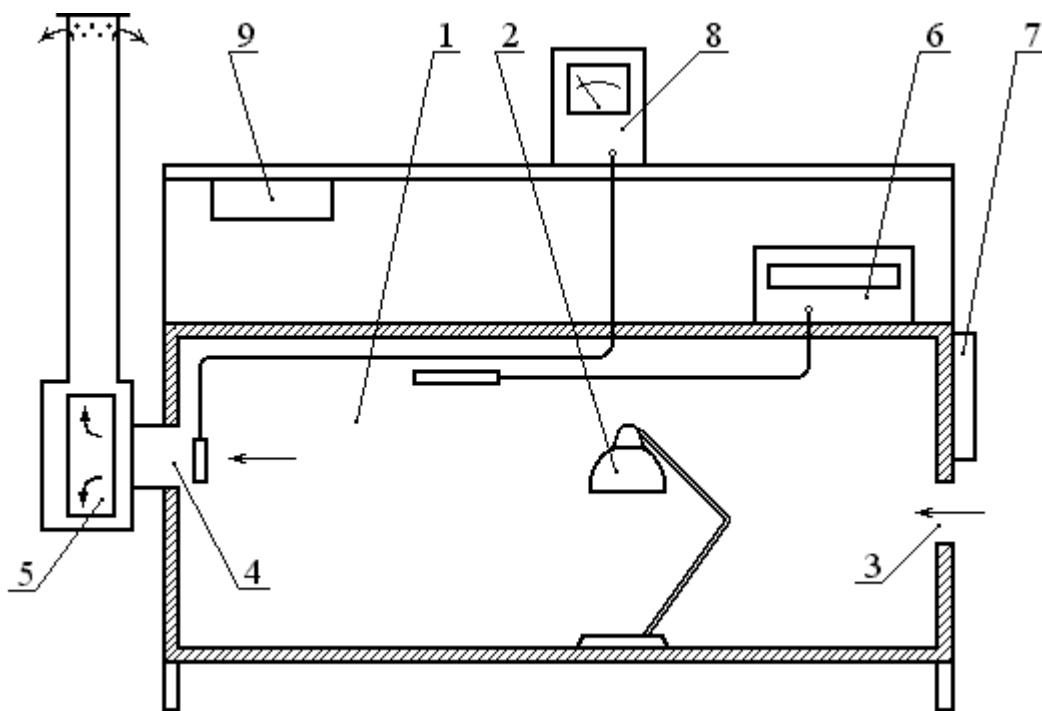


Рис.2. Схема установки для исследования эффективности работы общеобменной механической вентиляции

Внутри лабораторного стола находится камера 1, имитирующая производственное помещение, и источник тепловыделений 2 – светильник с лампой накаливания. Экспериментальная вентиляционная установка состоит из следующих элементов: вентилятора 5; приточного отверстия 3, через которое в камеру поступает воздух; вытяжного отверстия 4, через которое воздух удаляется из камеры. Температура воздуха в камере контролируется термометром 6, температура приточного воздуха – термометром 7. Ско-

рость движения воздуха в плоскости вытяжного отверстия измеряется термоанемометром 8. Включение электропитания установки, источника тепловыделений и вентилятора производится с пульта 9.

Порядок выполнения работы

1. Включить электропитание установки тумблером “Сеть” на пульте 9.
2. Измерить температуру воздуха в камере $T_{\text{нач}}$ термометром 6 и температуру приточного воздуха $T_{\text{пр}}$ термометром 7.
3. Определить значения допустимой температуры воздуха $T_{\text{доп}}$ в рабочей зоне при выполнении работы средней тяжести – Па в период года, соответствующий метеоусловиям проведения эксперимента (см. табл. 1).
4. Включить источник тепловыделений тумблером “Нагреватель” на пульте 9.
5. Измерить несколько раз с периодом 60 с температуру воздуха в камере $T(t)$ термометром 6.
6. При нагреве воздуха в камере до температуры на 1 – 2 °С выше верхней границы $T_{\text{доп}}$ включить вентиляцию с пульта 9. Наибольшее значение температуры перегретого воздуха обозначить $T_{\text{уд}}$.
7. Измерить с периодом 60 с температуру воздуха в камере при работающей вентиляции до установления баланса тепла, при котором температура воздуха в камере остается неизменной $T_{\text{уст}}$.
8. Определить скорость движения удаляемого воздуха v_0 (м/с) в плоскости вытяжного отверстия с помощью термоанемометра 8.
9. Выключить источник тепловыделений, вентиляцию и электропитание.
10. По результатам измерений построить графики изменения температуры воздуха в камере при включенной и выключенной вентиляции.
11. Рассчитать температуру воздуха T в камере при выключенной вентиляции по формуле (1.5) в интервале времени проведения эксперимента.
Данные для расчета приведены в бланке отчета.
12. Рассчитать, используя результаты эксперимента, температуру T переходного процесса при действии механической вентиляции по формуле

$$T = T_{\text{уст}} + (T_{\text{уд}} - T_{\text{уст}}) e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1.10)$$
 где $\tau = D / v$ – постоянная времени;
 D – длина камеры, равная 1 м;
 v – скорость движения воздуха в камере, м/с.
 Скорость движения воздуха v рассчитывается по формуле

$$v = v_0 F/S, \quad (1.11)$$
 где v_0 – скорость движения воздуха в плоскости вытяжного отверстия, м/с;
 F – площадь вытяжного отверстия, мм², диаметр которого – 100 мм;
 S – площадь поперечного сечения камеры – 0,36 м².
13. Рассчитать по формуле (1.8) количество приточного воздуха L , поступающего в камеру в ходе эксперимента.

14. Рассчитать по формуле (1.9) необходимое количество приточного воздуха L_Q для удаления из камеры избытков теплоты.

15. Сравнить результаты расчетов количества приточного воздуха (п.п.13, 14) и сделать вывод об эффективности работы вентиляции.

Таблица 1

Допустимые нормы температуры воздуха в рабочей зоне
производственных помещений на постоянных рабочих местах
(выписка из ГОСТ 12.1.005 – 88)

Период года	Категория работ	Температура, °С
Холодный	Легкая – Ia	21 – 25
	Легкая – Ib	20 – 24
	Средней тяжести – Pa	17 – 23
	Средней тяжести – Pb	15 – 21
	Тяжелая – III	13 – 19
Теплый	Легкая – Ia	22 – 28
	Легкая – Ib	21 – 28
	Средней тяжести – Pa	18 – 27
	Средней тяжести – Pb	16 – 27
	Тяжелая III	15 – 26

Примечания

1. Период года определяется по среднесуточной температуре наружного воздуха.
2. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С и выше, холодный период года – ниже +10 °С.

Лабораторная работа № 2

Исследование интенсивности тепловых излучений и эффективности применения защитных средств

Цель работы – научиться измерять интенсивность тепловых излучений и оценивать эффективность действия защитных экранов и воздушной завесы.

Содержание работы

1. Исследовать интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния до источника излучения.
2. Определить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов и воздушной завесы.

Краткие теоретические сведения

Между организмом человека и окружающей средой происходит непрерывный процесс теплообмена. Образование тепла в организме происходит

за счет окислительных реакций и сокращения мышц, а также поглощения тепла получаемого извне. В производственных условиях подавляющее большинство технологических процессов сопровождается выделением тепла, причем тепло выделяется как производственным оборудованием, так и материалами. Источниками выделения тепла могут быть: плавильные и нагревательные печи; расплавленный или нагретый металл; электроустановка; светильники с лампами накаливания и др.

Нагретые тела отдают свое тепло менее нагретым тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Потеря тепла организмом человека осуществляется также и при испарении влаги (пота) с поверхности кожи. Исследования и расчеты показывают, что около 60% всего теряемого тепла распространяется в окружающей среде путем излучения, называемого *тепловым* или *лучистым*.

Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения внутренней энергии, которая излучается в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной (ИК) области спектра. Длина волны видимого излучения – от 0,38 до 0,77 мкм, инфракрасного – более 0,77 мкм.

Лучистая энергия, проходя почти без потерь пространство, отделяющее одно тело от другого, поглощается облучаемыми предметами и снова превращается в тепловую в поверхностных слоях облучаемого тела.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура его не повышается.

Интенсивность теплового излучения можно рассчитать по формуле:

$$Q = 0,78 F \cdot \frac{\left(\frac{T^\circ}{100}\right)^4 - 110}{l^2}, \quad (2.1)$$

где Q – интенсивность теплового излучения, Вт/м²;

F – площадь излучающей поверхности, м²;

T° – температура излучающей поверхности, К;

l – расстояние от излучающей поверхности, м.

Лучистая энергия, попадая на человека, воздействует, прежде всего, на незащищенные части тела (лицо, руки, шею, грудь), вызывая их нагрев.

Установлено, что инфракрасное излучение (ИК – излучение), помимо усиления теплового воздействия окружающей среды на организм человека, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения важной особенностью ИК – излучения является способность этих лучей проникать в живую ткань на разную глубину.

Лучи длинноволнового диапазона ИК – излучения (от 3 мкм до 1 мм) задерживаются в поверхностных слоях кожи уже на глубине 0,1 – 0,2 мм. Поэтому их физиологическое воздействие на организм проявляется, главным образом, в повышении температуры кожи и, при определенных условиях, перегреве организма.

Лучи коротковолнового диапазона ИК – излучения (от 0,78 до 1,4 мкм) обладают способностью проникать в ткани человеческого организма на несколько сантиметров. Такие лучи легко проникают через кожу и черепную коробку в мозговую ткань и могут воздействовать на клетки головного мозга, вызывая его тяжелые поражения. В частности, ИК – излучение может привести к возникновению специфического заболевания – теплового удара, проявляющегося в головной боли, головокружении, учащении пульса, ускорении дыхания, падении сердечной деятельности, потере сознания и др.

При облучении коротковолновыми ИК – лучами наблюдается повышение температуры легких, почек, мышц и других органов. В крови, лимфе, спинномозговой жидкости появляются специфические биологически активные вещества, наблюдаются нарушения обменных процессов, изменяются функциональное состояние центральной нервной системы.

В производственных условиях при длительном облучении глаз у работающего развивается профессиональное заболевание – катаракта (помутнение хрусталика).

Действие теплового излучения на человека оценивается через величину, названную *интенсивностью теплового облучения*, Вт/м².

Тепловой эффект воздействия облучения зависит от множества факторов: температуры источника излучения, интенсивности теплового излучения на рабочем месте, спектра излучения, площади излучающей поверхности, расстояния между излучающей поверхностью и телом человека, размера облучаемого участка тела, длительности облучения, одежды и т. п.

Очевидно, что чем больше величина облучаемой поверхности, чем продолжительней период облучения и чем ближе облучаемый участок организма к важным жизненным органам, тем тяжелее эффект воздействия.

Тепловое излучение, кроме непосредственного воздействия на работающих, нагревает пол, стены, оборудование, и в результате температура воздуха внутри помещения повышается, что также ухудшает условия труда.

При длительном пребывании человека в зоне теплового облучения, как и при систематическом воздействии высокой температуры воздуха, происходит нарушение теплового баланса в организме человека. В таких условиях человек получает тепла из окружающей среды в большем количестве, чем отдает сам, и, как следствие, температура его тела повышается.

В случае резкого нарушения теплового баланса в организме затрудняется работа механизмов терморегуляции, обеспечивающих необходимое постоянство температуры тела человека в допустимых физиологических границах 36,4 – 37,5 °С. Одновременно усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, увеличивается потоотделение, происходят потери нужных организму солей и витаминов.

Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую судорожную болезнь, характеризующуюся появлением резких судорог, преимуще-

ственно в конечностях. Нарушение теплового баланса вызывает перегрев организма и, как следствие, тепловую гипертермию или тепловой удар.

При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость человека к простудным заболеваниям, наблюдается снижение внимания, наступает чувство расслабленности, резко повышается утомляемость, снижается производительность труда. Таким образом, продолжительное интенсивное тепловое облучение работающих нарушает нормальную жизнедеятельность, вызывая серьезные осложнения. Поэтому меры борьбы с лучистым теплом имеют важнейшее значение для улучшения условий труда.

Допустимая интенсивность теплового облучения работающих в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями (ГОСТ 12.1.005 – 88) устанавливается в зависимости от площади облучаемой поверхности тела.

Так интенсивность теплового облучения от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать:

- 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности тела и более;
- 70 Вт/м² – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50%;
- 100 Вт/м² – при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих у открытых источников (нагретый или расплавленный металл, стекло, «открытое» пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м², при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должна превышать 45 °С.

В производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. В этом случае должна быть обеспечена защита работающих от возможного перегревания: дистанционное управление ходом технологического процесса; использование защитных экранов; водяных и воздушных завес; воздушное душирование; применение спецодежды и средств индивидуальной защиты; оборудование комнат или кабин для кратковременного отдыха с подачей в них кондиционированного воздуха и др.

Одним из самых распространенных способов борьбы с тепловым излучением является экранирование нагретых поверхностей.

Различают экраны трех типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

В *непрозрачных экранах* поглощаемая энергия электромагнитных колебаний, взаимодействуя с веществом экрана, превращается в тепловую энергию. При этом экран нагревается и, как всякое нагретое тело, становится источником теплового излучения. При этом излучение поверхностью экрана,

противолежащей экранируемому источнику, условно рассматривается как пропущенное излучение источника.

К непрозрачным экранам относятся, например, металлические (жесть, алюминий), альфолевые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые, брезентовые и др.

В *прозрачных экранах* излучение, взаимодействуя с веществом экрана, минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран. К прозрачным экранам относятся выполненные из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а так же пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу) и водо – дисперсные завесы.

Полупрозрачные экраны объединяют в себе свойства прозрачных и непрозрачных экранов. К ним относятся металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Однако это деление достаточно условно, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая его способность выражена сильнее.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего они значительную часть падающей на них лучистой энергии отражают в обратном направлении. В качестве теплоотражающих материалов в конструкции экранов широко используют альфоль, листовой алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Теплопоглощающие экраны изготавливают из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, брезент, шлаковату.

В качестве *теплоотводящих* экранов наиболее широко используются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки, орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла (аквариальные экраны) или металла змеевики с принудительно циркулирующей в них холодной водой.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов n (%) можно по формуле

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где Q – интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м²;
 Q_3 – интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м².

Воздушные души применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием теплового излучения большой интенсивности – 350 Вт/м^2 и более. Поток воздуха, направленный непосредственно на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду.

Выбор скорости движения воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а так же от интенсивности облучения, но скорость потока воздуха не должна, как правило, превышать 5 м/с . Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды.

Описание установки

Общий вид установки для проведения исследований показан на рис. 3.

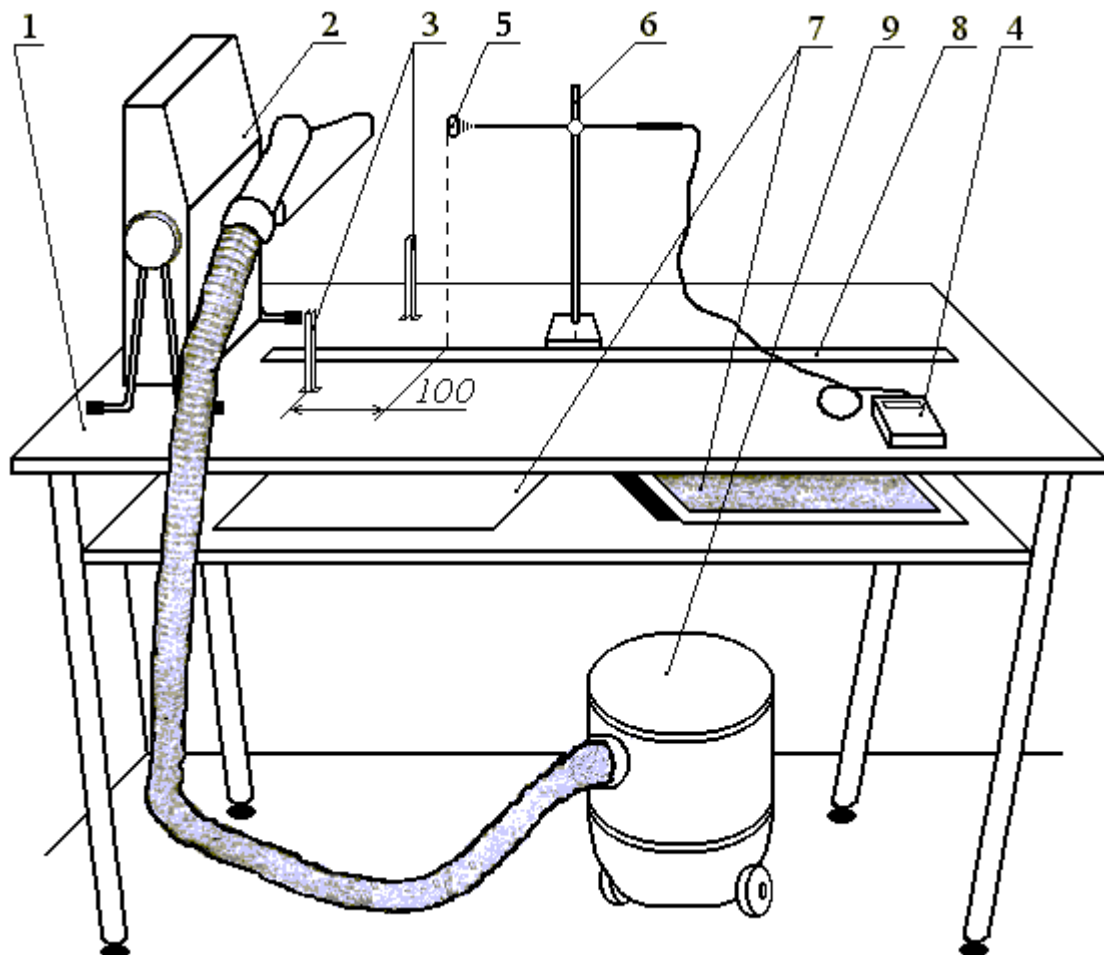


Рис. 3. Установка для исследования интенсивности теплового излучения и оценки эффективности защитных средств

На столе 1 размещаются: источник теплового излучения 2 – электрокамин; стойки 3 для установки сменных защитных экранов 7; индикаторный блок 4 измерителя плотности теплового потока ИПП-2М; штатив 6, на котором находится датчик теплового потока 5 измерителя; линейка 8 для измерения расстояния от источника излучения до датчика измерителя. Пыле-

сос 9 используется для имитации вытяжной вентиляции, воздушного душа или воздушной завесы.

Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Не включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (включены оба выключателя).
2. Запрещается прикасаться к нагревательному элементу электрокамина.
3. После выполнения лабораторной работы выключить электрокамин.

Порядок выполнения работы

1. Включить источник теплового излучения – электрокамин (только верхнюю секцию) и измеритель плотности тепловых потоков ИПП-2М.
2. Перемещая штатив, установить приемную площадку датчика теплового потока таким образом, чтобы она была смещена относительно линии расположения стоек для установки защитных экранов на 100 мм (см. рис. 3).
3. Измерить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях от источника излучения (см. отчет). Интенсивность теплового излучения в каждой точке определять как среднее значение не менее 5 замеров. Данные измерений занести в таблицу.
4. Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния до источника излучения.
5. Устанавливая различные защитные экраны, определить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях.
6. Оценить эффективность применения экранов по формуле (2.2).
7. Построить для каждого из экранов график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.
8. Установить защитный экран из алюминия. Разместить над ним широкую насадку пылесоса. Включить пылесос в режим отбора воздуха, имитируя устройство вытяжной вентиляции, и спустя 2 – 3 минуты (после установки теплового режима экрана) измерить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях.
9. Выключить пылесос, перевести его в режим «воздуходувки» и снова включить. Направляя поток воздуха на поверхность защитного экрана (режим «душирования»), повторить измерения в соответствии с п.8. Сравнить результаты измерений п.п.8 и 9.
10. Выключить электрокамин и измеритель ИПП-2М.

Лабораторная работа № 3

Исследование эффективности действия защитного заземления

Цель работы – исследовать эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от электрических сетей напряжением

до 1000 В: трехфазной трехпроводной с изолированной нейтралью; трехфазной четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью.

Содержание работы

1. Оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных сетей с изолированной нейтралью и питающихся от трехфазных четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

2. Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

3. Определить зависимость изменения напряжения прикосновения при различном расстоянии от места нахождения человека до заземлителя.

Краткие теоретические сведения

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей (корпусов электроустановок), которые могут оказаться под напряжением (рис. 4).

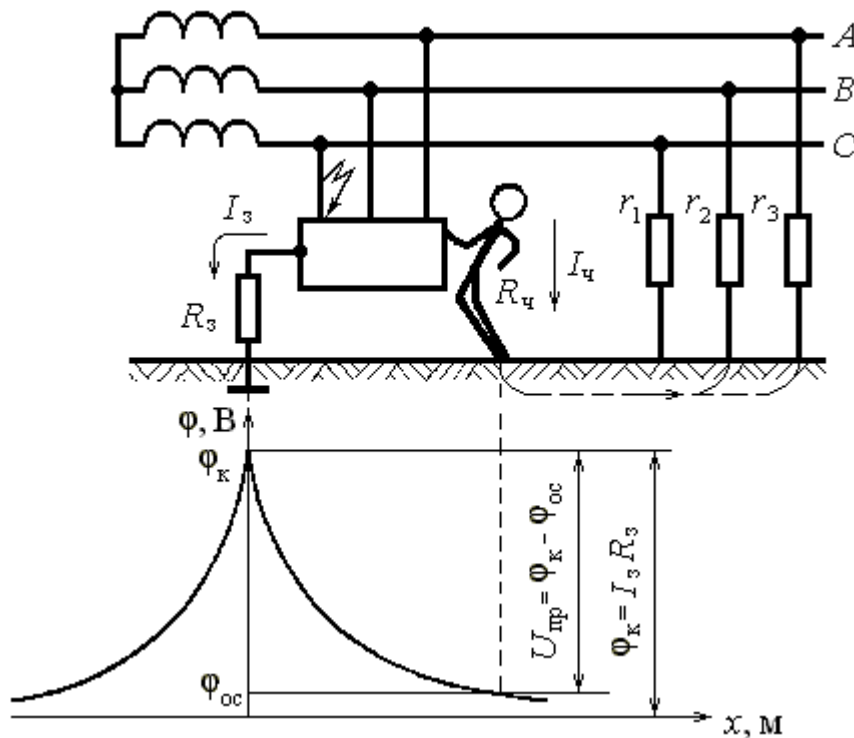


Рис. 4. Схема защитного заземления

Основная причина появления напряжения на металлических нетоковедущих частях электроустановок (например, корпусах) – повреждение электрической изоляции токоведущих частей установки, находящихся под напряжением, и замыкании их на корпус. Если корпус изолирован от земли, то прикосновение к нему будет так же опасно, как и к фазному проводу–

человек может оказаться под напряжением прикосновения $U_{\text{пр}}$ практически равным фазному напряжению сети $U_{\text{ф}}$ (220 В).

Напряжение прикосновения – это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. В случае включения человека в электрическую цепь от величины напряжения прикосновения и электрического сопротивления тела человека зависит сила проходящего через тело тока, величину которого можно рассчитать по закону Ома:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения, В; $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения $U_{\text{пр}}$.

При замыкании фазы сети на корпус заземленной электроустановки напряжение прикосновения, под которым окажется прикоснувшийся к корпусу человек, (см. рис. 4) будет

$$U_{\text{пр}} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{ос}}, \quad (3.2)$$

где $\varphi_{\text{к}}$ – потенциал на корпусе электроустановки, В; $\varphi_{\text{ос}}$ – потенциал основания (площадки) в том месте, где стоит человек, В.

Безопасность в случае применения защитного заземления обеспечивается как за счет резкого снижения потенциала заземленного корпуса установки $\varphi_{\text{к}} = I_{\text{з}} R_{\text{з}}$ при стекании тока $I_{\text{з}}$ в землю через малое сопротивление заземления $R_{\text{з}}$ (несколько Ом), так и за счет повышения в зоне растекания тока потенциала поверхности в месте, где стоит человек, $\varphi_{\text{ос}}$ до потенциала корпуса. В результате человек, прикоснувшись к неисправной заземленной установке, окажется под напряжением $U_{\text{пр}}$ значительно меньше фазного напряжения сети.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление электроустановок, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), следует выполнять: при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока во всех случаях; в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при напряжении 42 В и выше переменного и 110 В и выше постоянного тока; во взрывоопасных помещениях независимо от величины напряжения.

Для заземления используют заземляющее устройство (рис. 5).

Заземляющим устройством называется совокупность *заземлителя* – металлических проводников 7, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и *заземляющих проводников* 3, соединяющих заземляемые части электроустановки 1 с заземлителем.

Так как по условиям безопасности необходимо снижать сопротивление заземления R_z (Ом), то в практике используется, как правило, *групповой заземлитель*, состоящий из нескольких конструктивно объединенных одиночных заземлителей, которые могут располагаться в один ряд или по контуру.

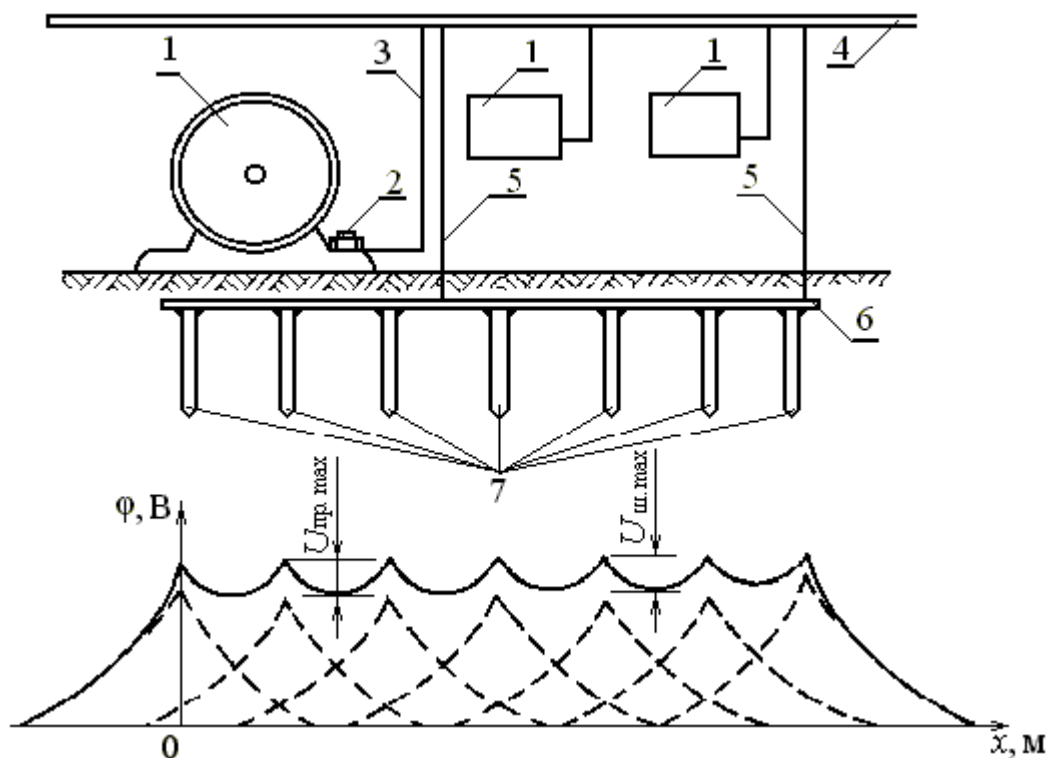


Рис. 5. Заземляющее устройство и кривая распределения потенциала на поверхности защищаемой площадки:

1 – электроустановка; 2 – заземляющий болт; 3 – заземляющий проводник; 4 – магистраль заземления; 5 – соединительный проводник; 6 – полоса; 7 – заземлители (электроды)

В зависимости от места расположения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Заземлители *выносного заземляющего устройства* располагают сосредоточенно за пределами площадки, на которой установлено заземляемое оборудование, т. е. вне здания. Поскольку заземленное оборудование располагается за пределами зоны растекания тока – на расстоянии более 20 м от выносного заземлителя, то в случае замыкания на корпус человек, прикоснувшись к оборудованию, попадает под максимальное напряжение прикосновения $U_{пр} = \phi_k = I_z R_z$. Поэтому выносное заземляющее устройство применяется только при малых токах замыкания на землю I_z , когда напряжение на корпусе (напряжение прикосновения) не превышает допустимой величины.

В *контурном заземляющем устройстве* заземлители 7 (см. рис. 5), соединенные между собой стальными горизонтальными полосами 6 сваркой,

размещают по периметру (контур) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или заземлители распределяют по всей защищаемой площадке по возможности равномерно.

При использовании контурного заземляющего устройства в случае замыкания на корпус электроустановки происходит стекание тока в землю со всех заземлителей одновременно, и на поверхности площадки появляется потенциал ϕ (В). В результате наблюдается частичное выравнивание потенциалов корпуса оборудования и поверхности площадки, где находятся работающие, и одновременно достаточно равномерное распределение потенциалов на поверхности (см. рис.5).

График распределения потенциалов на поверхности защищаемой площадки получили, просуммировав потенциалы от каждого заземлителя в отдельности.

При размещении заземлителей на расстоянии не более 8 – 10 м друг от друга максимальные значения напряжения прикосновения в этом случае не превышают допустимых значений (табл.2).

Таблица 2

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок переменного тока частотой 50 Гц

Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни (не более) при продолжительности воздействия тока t , с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
U , В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
I , А												6

Заземлители применяют естественные или искусственные.

В качестве *естественных заземлителей* можно использовать: различные металлоконструкции зданий, имеющие соединение с землей; арматуру железобетонных конструкций; проложенные в земле свинцовые оболочки кабелей, водопроводные и другие металлические трубы, за исключением трубопроводов для горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии.

Для *искусственных заземлителей* применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют заложенные в землю стальные трубы, стальные уголки, металлические стержни, стальные прутки и т. п. Для соединения вертикальных электродов используют полосовую сталь или круглые стальные прутки.

Согласно требованиям ПУЭ сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать: 4 Ом – в установках напряжением до

1000 В; если мощность источника тока 100 кВА и менее, то сопротивление заземляющего устройства допускается 10 Ом.

Контроль сопротивления заземляющего устройства проводят перед вводом заземления в эксплуатацию и периодически, но не реже одного раза в год при наибольшем промерзании и подсыхании грунта.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. Лицевая панель стенда представлена на рис.6.

В стенде в качестве источника питания используется трехфазный трансформатор. Стенд включается выключателем $S\ 2$ – положение I. При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные на фазных проводах A, B, C .

Режим нейтрали сети изменяется переключателем $S\ 1$, причем правое положение ручки переключателя соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое положение – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка источника питания заземляется через сопротивление $R_0 = 4$ Ом.

Сопротивления фазных проводов сети A, B, C и N -проводника относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями R_A, R_B, R_C, R_N . В стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления фазных проводов относительно земли, причем рассматривается случай симметричной проводимости проводов т. е. $R_A = R_B = R_C = R_N$. Значения указанных сопротивлений изменяются переключателем $S\ 18$.

Электроустановки (электропотребители) на мнемосхеме показаны в виде их корпусов 1, 2, 3. Электроустановки «Корпус 1» и «Корпус 2» являются трехфазными и подключаются к сети через автоматические выключатели $S\ 5$ и $S\ 10$ соответственно. Положение рукоятки выключателей – I означает включение автоматов, при этом напряжение подается на электроустановки. Для питания током однофазной электроустановки «Корпус 3» к нейтрали источника питания с помощью выключателя $S\ 3$ подключается *нулевой рабочий провод* (N -проводник).

Переключатель $S\ 4$ предназначен для подключения к нейтрали источника питания нулевого защитного проводника (PE -проводника).

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты человека в случае электрического замыкания фазного провода на корпус электроустановки: защитное заземление и зануление.

Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями $R\ 31, R\ 32$ осуществляется с помощью переключателей $S\ 9$ и $S\ 15$ соответственно. Сопротивление защитного заземления «Корпуса 1» $R\ 31$ является постоянным и равным 4 Ом. Сопротивление заземления «Корпуса 2» $R\ 32$ – 4; 10 и 100 Ом устанавливается с помощью переключателя $S\ 11$.

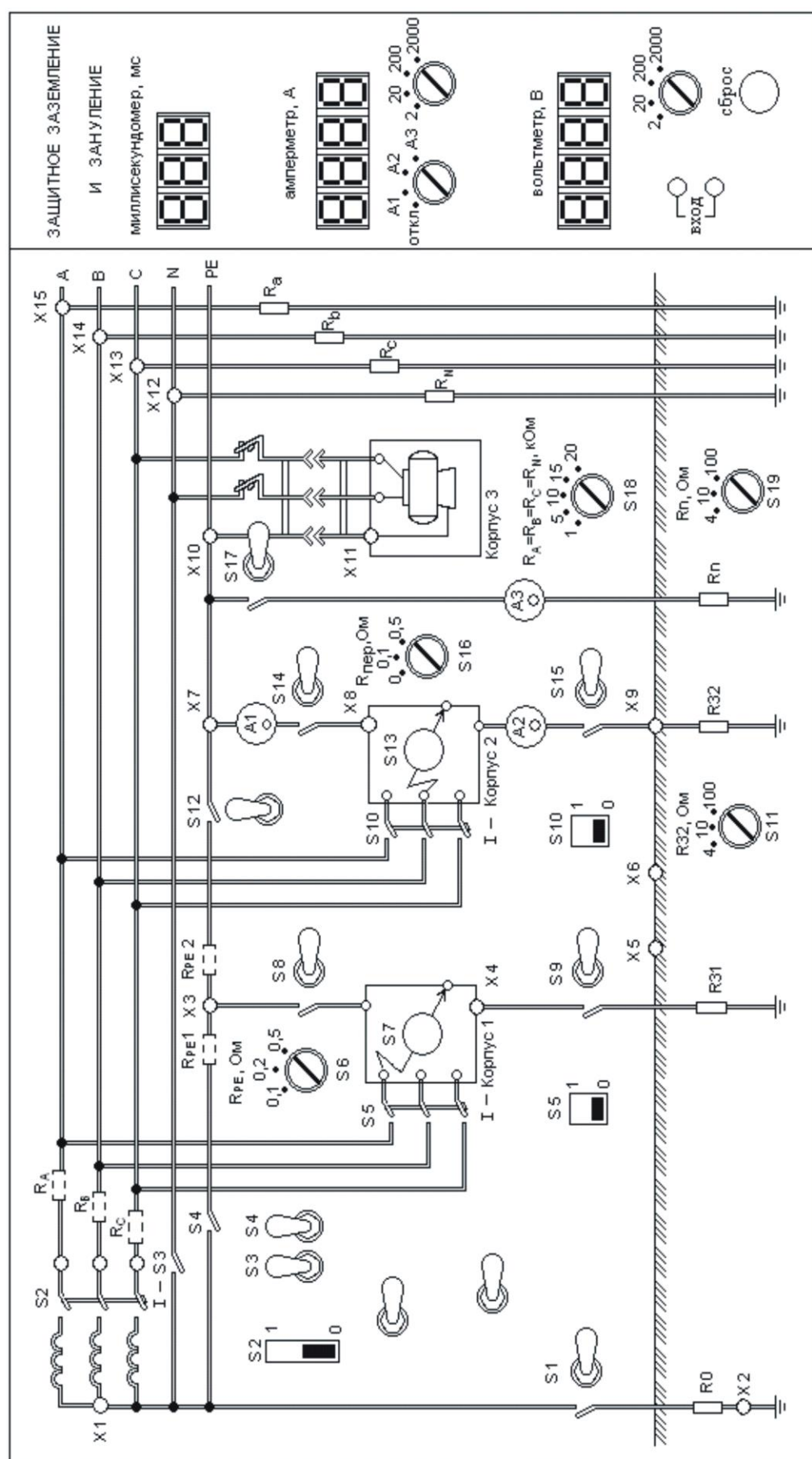


Рис. 6. Лицевая панель стенда для исследования эффективности действия защитного заземления и зануления

Моделирование замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляется кнопками $S 7$ и $S 13$ соответственно, причем на «Корпус 1» замыкается фазный провод A , на «Корпус 2» – фазный провод B .

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 В; цифровой амперметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 А; цифровой миллисекундомер с диапазоном измерения от 0 до 999 мс.

Амперметр включается в цепь тока с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении амперметра загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение переключателя «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания; в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя «Корпуса 2»; в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление PE -проводника.

Вольтметр включается с помощью гибких проводников с наконечниками в измерительные цепи через гнезда $X 1, \dots, X 15$, установленные в соответствующих точках схемы, с одной стороны и в гнезда «ВХОД» – с другой.

ВНИМАНИЕ!

1. При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении «ОТКЛ».
2. Для устранения режима замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 необходимо нажать на кнопку «СБРОС» и удерживать ее в таком состоянии не менее 20 с.

Порядок выполнения работы

З а д а н и е № 1. Исследовать эффективность действия защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

1. Изолировать нейтраль источника питания – перевести переключатель $S 1$ в левое положение.

2. Отключить N и PE - проводники – перевести переключатели $S 3$ и $S 4$ в нижнее положение.

3. Установить значение активных сопротивлений изоляции фазных проводов переключателем $S 18$, равное 5 кОм.

4. Убедиться, что:

- переключатели $S 8, S 14, S 17, S 9, S 15$ находятся в левом положении;
- переключатель $S 12$ – в положении «вниз»;
- автоматические выключатели $S 5$ и $S 10$ – в положении 0;
- переключатель амперметра в положении «ОТКЛ».

5. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I, при этом загораются лампы на фазных проводах.

6. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести автоматический выключатель $S 10$ в положение I.

7. Имитировать замыкание фазы B на «Корпус 2», нажав на кнопку $S 13$.
 8. Установить гибкие проводники в гнезда «ВХОД» и измерить вольтметром следующие напряжения U (В):
 - напряжение «Корпуса 2» относительно земли $U_{к2}$ (гнезда $X 2$ и $X 8$);
 - напряжение фазных проводов относительно земли U_A, U_B, U_C (гнезда $X 2$ и $X 15$; $X 2$ и $X 14$; $X 2$ и $X 13$).
 9. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС» и удерживая ее в таком состоянии не менее 20 с.
 10. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.
 11. Выполнить защитное заземление. Для подключения корпуса 2 к заземляющему устройству перевести переключатель $S 15$ в правое положение.
 12. Переключателем $S 11$ установить значение сопротивление заземляющего устройства $R 32 = 4$ Ом.
 13. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.
 14. Имитировать замыкание фазы на “Корпус 2”, нажав на кнопку $S 13$.
 15. Измерить вольтметром следующие напряжения U (В):
 - напряжение «Корпуса 2» относительно земли $U_{к2}$ (гнезда $X 2$ и $X 8$);
 - напряжение фазных проводов относительно земли U_A, U_B, U_C (гнезда $X 2$ и $X 15$; $X 2$ и $X 14$; $X 2$ и $X 13$).
 - напряжения прикосновения $U_{пр}$ при различных расстояниях до заземлителя (гнезда $X 8$ и $X 9$; $X 8$ и $X 6$; $X 8$ и $X 5$).
 16. Установить переключатель амперметра в положение A2 и произвести измерение тока замыкания I_3 (А) на землю.
- Примечания:
- а) при переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дожидаться установившегося показания прибора;
 - б) при измерениях с помощью цифровых приборов наблюдается дрейф последней цифры, поэтому в таблицу измерений следует заносить среднее значение показания прибора.
17. Переключатель амперметра перевести в положение «ОТКЛ».
 18. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
 19. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

З а д а н и е № 2. Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

1. Выполнить защитное заземление корпуса 1 – установить переключатель $S 9$ в правое положение.
2. Подключить электроустановку 1 («Корпус 1») к сети – перевести автоматический выключатель $S 5$ в положение I.
3. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.
4. Одновременно нажатием на кнопки $S 7$ и $S 13$ произвести замыкания фаз A и B на корпуса установок 1 и 2 соответственно.

5. Измерить вольтметром следующие напряжения U (В):
 - напряжение корпуса 1 относительно земли $U_{к1}$ (гнезда $X 2$ и $X 4$);
 - напряжение корпуса 2 относительно земли $U_{к2}$ (гнезда $X 2$ и $X 8$).
6. Установить переключатель амперметра в положение $A2$ и измерить ток замыкания на землю I_3 (А).
7. Переключатель амперметра перевести в положение «ОТКЛ».
8. Устранить замыкание фаз на корпуса 1 и 2, нажав на кнопку «СБРОС».
9. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

З а д а н и е № 3. Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

1. Отключить «Корпус 1» от сети – перевести автоматический выключатель $S 5$ в положение 0.
2. Произвести заземление нейтрали источника питания – установить переключатель $S 1$ в правое положение.
3. Подключить N и PE -проводники к нейтрали источника питания – переключатели $S 3$ и $S 4$ перевести в верхнее положение.
4. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.
5. Произвести замыкание фазы B на «Корпус 2», нажав на кнопку $S 13$.
6. Измерить вольтметром следующие напряжения:
 - напряжение корпуса 2 относительно земли $U_{к}$ (гнезда $X 2$ и $X 8$);
 - напряжение нейтрали источника питания относительно земли U_0 (гнезда $X 2$ и $X 1$).
7. Установить переключатель амперметра в положение $A2$ и измерить ток замыкания на землю I_3 .
8. Перевести переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».
9. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
10. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

Лабораторная работа № 4

Исследование эффективности действия зануления

Цель работы – исследовать эффективность действия зануления в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

Содержание работы

1. Оценить эффективность действия зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника (PE -проводника).
2. Оценить эффективность действия зануления в сети с повторным заземлением PE -проводника.
3. Оценить эффективность использования повторного заземления PE -проводника при его обрыве и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

Краткие теоретические сведения.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 7).

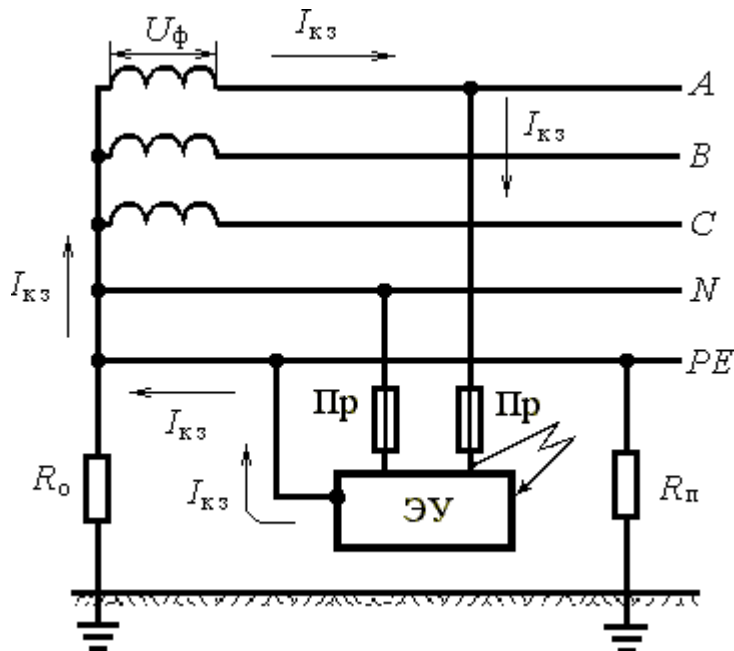


Рис.7. Принципиальная схема зануления

Нулевым защитным проводником называется проводник PE , соединяющий зануляемые части (корпус электроустановки ЭУ и др.) с глухозаземленной нейтралью – нейтральной точкой источника питания (трехфазного трансформатора или генератора).

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль трехфазного генератора (трансформатора), присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление R_0 .

Нулевой защитный проводник следует отличать от *нулевого провода* N , который также соединен с глухозаземленной нейтралью, но предназначен для питания током электрооборудования.

Зануление применяется для устранения опасности поражения током при замыкании на корпус электроустановки, работающей от трехфазной четырехпроводной сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

Замыкание на корпус – случайное электрическое соединение токоведущей части (например, фазы) с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Основная причина замыкания на корпус – повреждение электрической изоляции токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание между фазой и нулевым защитным проводником, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита – плав-

кие предохранители или автоматические выключатели, и обеспечивается автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети.

Назначение нулевого защитного проводника – создание цепи с малым сопротивлением, чтобы ток короткого замыкания был достаточно большим для быстрого срабатывания защиты. Согласно требованиям ПУЭ этот ток должен быть не менее чем в 3 раза больше номинального тока плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя.

Скорость отключения электроустановки с момента появления напряжения на корпусе составляет 5 – 7 с при защите электроустановки плавкими предохранителями и 1 – 2 с при защите автоматическими выключателями.

Нулевой защитный проводник должен иметь повторное заземление для уменьшения опасности поражения током, возникающей при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус электроустановки, подключенной к защитному проводнику за местом обрыва.

Если нулевой защитный проводник повторно заземлен, то при его обрыве сохранится цепь тока через землю, в результате напряжение зануленных корпусов электроустановок, находящихся за местом обрыва, снизится приблизительно до $0,5 U_{\phi}$. При отсутствии повторного заземления нулевого защитного проводника корпуса окажутся под напряжением равным фазному напряжению сети U_{ϕ} .

Следовательно, повторное заземление значительно уменьшает опасность поражения током, возникающую в результате обрыва нулевого защитного проводника, но не может устранить ее полностью.

В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва по любой причине. Поэтому в нулевом защитном проводнике в отличие от нулевого провода запрещается ставить предохранители, рубильники и другие приборы, которые могут нарушить его целостность.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. Лицевая панель стенда показана на рис.6.

В лабораторном стенде в качестве источника питания используется трехфазный трансформатор. Стенд включается трехфазным автоматом $S 2$ – положение I. При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами A, B, C .

Режим нейтрали сети изменяется переключателем $S 1$, причем правое положение ручки переключателя соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое положение – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка источника питания заземляется через сопротивление $R_0 = 4 \text{ Ом}$.

Сопротивления фазных проводов сети A, B, C и N -провода относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями R_A, R_B, R_C, R_N .

В стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления фазных проводов относительно земли, причем рассматривается случай симметричной проводимости проводов, т. е. $R_A = R_B = R_C = R_N$. Значения указанных сопротивлений изменяются переключателем $S 18$.

(Электроустановки электропотребители) на мнемосхеме показаны в виде их корпусов 1, 2, 3. Электроустановки «Корпус 1» и «Корпус 2» являются трехфазными и подключаются к сети через автоматические выключатели $S 5$ и $S 10$ соответственно. Положение рукоятки выключателей – I означает включение автоматов, при этом напряжение подается на электроустановки. Для питания током однофазной электроустановки «Корпус 3» к нейтрали источника питания с помощью выключателя $S 3$ подключается *нулевой рабочий провод* (N -проводник).

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты человека в случае замыкания фазы на корпус электроустановки: защитное заземление и зануление.

В стенде для зануления электроустановок с помощью переключателя $S 4$ к нейтрали источника питания подключается *нулевой защитный проводник* (PE -проводник). Подключение корпусов 1 и 2 к нулевому защитному PE -проводнику осуществляется переключателями $S 8$ и $S 14$ соответственно. Правое положение переключателей означает, что корпуса занулены.

Сопротивление фазного провода от нейтральной точки до корпуса 2 не изменяется и имеет значение $R_{\phi} = 0,1$ Ом. Сопротивление PE -проводника может изменяться с помощью переключателя $S 6$, причем сопротивления участков «нейтраль» – «Корпус 1» и «Корпус 1» – «Корпус 2» равны, и принимают значения 0,1; 0,2; 0,5 Ом.

Обрыв PE -проводника между точками подсоединения корпусов 1 и 2 имитируется с помощью переключателя $S 12$, нижнее положение ручки которого соответствует обрыву PE -проводника.

Повторное заземление PE -проводника R_{Π} подключается к проводнику с помощью переключателя $S 17$. Значение сопротивления R_{Π} изменяется переключателем $S 19$ (4; 10; 100 Ом).

Переходное сопротивление $R_{\text{пер}}$ между корпусом 2 и зануляющим проводником изменяется переключателем $S 16$ и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

Замыкание фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляется кнопками $S 7$ и $S 13$ соответственно, причем на «Корпус 1» замыкается фаза A , а на «Корпус 2» – фаза B .

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 В; цифровой амперметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 А; цифровой миллисекундомер с диапазоном измерения от 0 до 999 мс.

Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение ручки переключателя «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания, в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя «Корпуса 2», в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление *РЕ*-проводника.

Вольтметр включается с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками, в измерительные цепи через гнезда X_1, \dots, X_{15} , установленные в соответствующих точках схемы, с одной стороны и в гнезда «ВХОД» – с другой.

ВНИМАНИЕ!

1. При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении «ОТКЛ».

2. Для устранения режима замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 необходимо нажать на кнопку «СБРОС» и удерживать её в таком состоянии не менее 20 с.

Миллисекундомер включается при нажатии кнопки S_{13} , а отключается при срабатывании автоматического выключателя S_{10} .

Порядок выполнения работы

З а д а н и е № 1. Определить в случае применения зануления и замыкания фазы на корпус электроустановки время срабатывания автоматических выключателей (автоматов защиты) и величину тока короткого замыкания при различном сопротивлении в электрической цепи «фаза-нейтраль».

1. Заземлить нейтраль источника питания – перевести переключатель S_1 в правое положение.

2. Подключить N и *РЕ*-проводники к источнику питания – рукоятки переключателей S_3, S_4, S_{12} перевести в верхнее положение.

3. Подключить корпуса электроустановок 1 и 2 к *РЕ*-проводнику – перевести рукоятки переключателей S_8 и S_{14} в правое положение.

4. Убедиться, что переключатели S_9, S_{15}, S_{17} – в левом положении.

5. Включить стенд – перевести выключатель S_2 в положение I.

6. Подключить корпуса электроустановок 1 и 2 к сети – перевести автоматы защиты S_5 и S_{10} в положение I.

7. Переключателем S_6 установить значение электрического сопротивления нулевого защитного проводника $R_{PE} = 0,1$ Ом и переходного сопротивления между фазой корпусом $R_n = 0,1$ Ом.

8. Установить переключатель амперметра в положение А1.

9. Имитировать замыкание фазы B на «Корпус 2», нажав на кнопку S_{13} .

10. Произвести измерение времени срабатывания автомата защиты $t_{ср}$ (мс) и тока короткого замыкания $I_{кз}$ (А) с помощью миллисекундомера и амперметра соответственно.

11. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
12. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести выключатель $S 10$ в положение I.
13. Установить последовательно переключателем $S 6$ значения $R_{PE} = 0,2; 0,5$ Ом, соответственно произвести измерения времени срабатывания автомата защиты и тока короткого замыкания аналогично п.п. 9, 10, 11, 12.
14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
15. Подключить электроустановку 2 «Корпус 2» к сети – перевести выключатель $S 10$ в положение I.
16. Установить значение сопротивления R_{PE} , равное 0,2 Ом.
17. Последовательно переключателем $S 16$ установить значение переходного сопротивления между фазой и корпусом $R_{пер} = 0; 0,1; 0,5$ Ом и измерить время срабатывания автомата защиты и величины тока короткого замыкания в соответствии с п.п. 9, 10, 11, 12.
18. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
19. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

З а д а н и е № 2. Исследовать распределение потенциалов вдоль PE -проводника без его повторного заземления и при его наличии.

1. Установить значения $R_{PE} = 0,1$ Ом; $R_{пер} = 0$.
2. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.
3. Подключить корпуса 1 и 2 к сети – перевести автоматы защиты $S 5$ и $S 10$ в положение I.
4. Установить переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».
5. Имитировать замыкание фазы B на «Корпус 2», нажав на кнопку $S 13$.
6. Установить гибкие проводники в гнезда «ВХОД» и измерить вольтметром следующие напряжения U (В):
 - напряжение нулевой точки относительно земли U_0 (гнезда $X 2$ и $X 1$);
 - напряжения корпусов 1, 2, 3 относительно земли $U_{к1}, U_{к2}, U_{к3}$ (гнезда $X 2$ и $X 4, X 2$ и $X 8, X 2$ и $X 11$).
7. Установить переключатель амперметра в положение A1 и измерить ток короткого замыкания и время срабатывания автоматов защиты.
8. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
9. Произвести повторное заземление PE -проводника – переключатель $S 17$ перевести в правое положение.
10. Установить переключателем $S 19$ значение сопротивления повторного заземления $R_n = 4$ Ом.
11. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести выключатель $S 10$ в положение I.

12. В соответствии с п.п. 3, 4, 5, 6, 7 измерить напряжение относительно земли на корпусах 1, 2, 3 и в нейтрали источника питания, а также время срабатывания автоматов защиты и величину тока короткого замыкания.

13. Установить переключатель амперметра в положение АЗ и измерить ток замыкания на землю I_3 .

14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

15. Подключить «Корпус 2» к сети – перевести выключатель $S 10$ в положение I

16. Последовательно установить переключателем $S 19$ значения сопротивления повторного заземления $R_n = 10$ и 100 Ом, соответственно произвести измерения аналогично п.п. 13, 14, 15.

17. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

З а д а н и е № 3. Оценить эффективность повторного заземления нулевого защитного проводника (PE -проводника) при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

1. Отключить повторное заземление R_n от PE -проводника – переключатель $S 17$ перевести в левое положение.

2. Смоделировать обрыв PE -проводника между корпусами 1 и 2, для чего установить рукоятку переключателя $S 12$ в нижнее положение.

3. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.

4. Подключить электроустановки 1 и 2 («Корпус 1» и «Корпус 2») к сети – перевести автоматы защиты $S 5$ и $S 10$ в положение I.

5. Поставить переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».

6. Имитировать замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку $S 13$.

7. Измерить вольтметром следующие напряжения U (В):

- напряжение нулевой точки относительно земли U_0 (гнезда $X 2$ и $X 1$);

- напряжения корпусов 1, 2, 3 относительно земли $U_{к1}$, $U_{к2}$, $U_{к3}$ (гнезда $X 2$ и $X 4$, $X 2$ и $X 8$, $X 2$ и $X 11$).

8. Установить переключатель амперметра в положение АЗ и измерить ток замыкания на землю I_3 .

9. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

10. Подключить повторное заземление к PE -проводнику – переключатель $S 17$ установить в правое положение.

11. Установить переключателем $S 19$ величину сопротивления повторного заземления PE -проводника $R_n = 4$ Ом.

12. Включить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение I.

13. В соответствии с п.п. 4, 5, 6, 7, 8 измерить величину напряжения относительно земли на корпусах 1, 2, 3 и нейтрали источника питания, а также значение тока замыкания на землю.

14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

15. Последовательно установить переключателем $S 19$ значения сопротивления повторного заземления PE -проводника $R_n = 10$ и 100 Ом, соответственно произвести измерения аналогично п.п. 13, 14, 15.

17. Выключить стенд – перевести выключатель $S 2$ в положение 0.

Лабораторная работа № 5
**Исследование электробезопасности трехфазных сетей
 переменного тока напряжением до 1000 В**

Цель работы – исследовать опасность поражения электрическим током промышленной частоты (50 Гц) в трехфазных сетях напряжением до 1000 В.

Содержание работы

1. Исследование опасности поражения током при случайном прикосновении человека к фазе в трехфазных сетях: а) трехпроводной с изолированной нейтралью; б) четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью.
2. Исследование эффективности применения метода компенсации емкостных токов в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Краткие теоретические сведения

Все случаи поражения человека током являются результатом замыкания электрической цепи через его тело или, иначе говоря, результатом одновременного прикосновения человека к двум точкам цепи тока, между которыми существует напряжение – напряжение прикосновения.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая величиной тока, проходящего через тело человека $I_{\text{ч}}$, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей фазных проводов сети (фаз) от земли, величины емкости фаз относительно земли и т. п.

Для подключения электроустановок напряжением до 1000 В применяют две схемы трехфазных электрических сетей: трехпроводную с изолированной нейтралью и четырехпроводную с глухозаземленной нейтралью (рис.8).

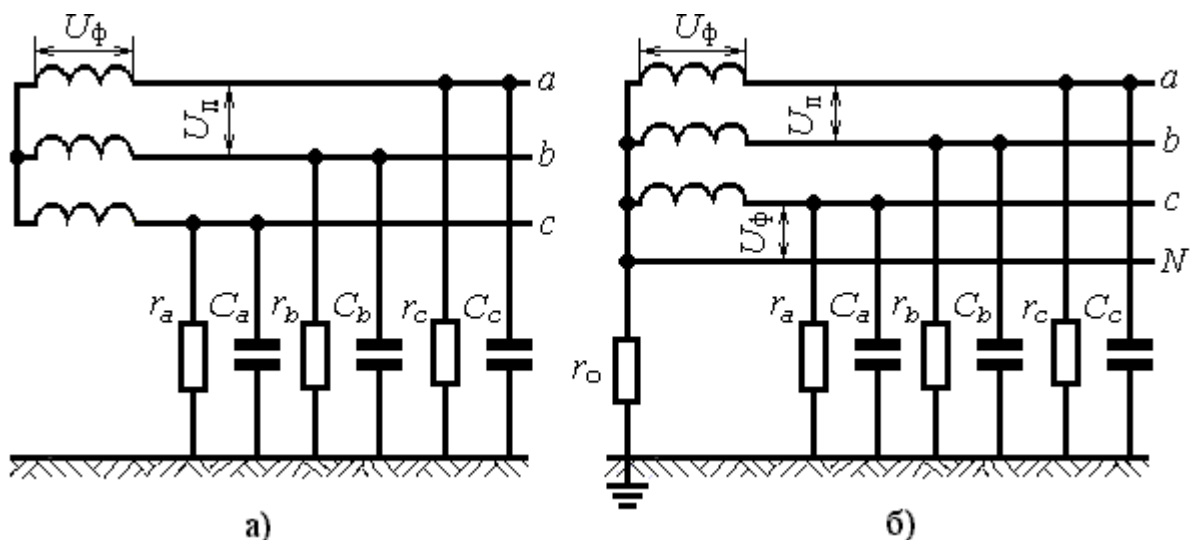


Рис.8. Схемы трехфазной сети: а – трехпроводной с изолированной нейтралью; б – четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью

Нейтралью называется нейтральная точка соединения обмоток источника питания, например, трехфазного трансформатора*. Обмотки источника в этом случае должны быть соединены в симметричную схему «звезда».

Изолированной нейтралью называется нейтраль источника питания (трансформатора или генератора), не связанная с землей или связанная с заземляющим устройством через аппараты, имеющие большое сопротивление – индуктивные катушки; воздушные пробивные предохранители; трансформаторы напряжения.

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление, (например, трансформатор тока).

При эксплуатации трехфазных сетей наиболее характерными схемами включения человека в цепь тока являются две схемы: между двумя фазными проводами – *двухфазное включение*; между фазным проводом (*a, b* или *c*) и землей – *однофазное включение*. Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей, например, через заземление нейтрали или несовершенную изоляцию проводов сети относительно земли.

Двухфазное включение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное $U_{\text{л}}$, а ток, проходящий через тело человека, оказываясь независимым от схемы сети, режима нейтрали и других факторов, имеет также наибольшее значение:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}}, \quad (5.1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение – напряжение между двумя фазными проводами сети, равное $\sqrt{3} U_{\text{ф}}$, В; $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение – напряжение между началом и концом одной обмотки источника питания (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым *N* проводами, В; $R_{\text{ч}}$ – электрическое сопротивление тела человека, Ом.

Однофазное включение, возникающее в случае прикосновения человека к фазе сети или к токопроводящему корпусу электроустановки, на который замкнулась фаза, менее опасно, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через тело человека, ограничивается влиянием многих факторов: сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления пола, на котором стоит человек, сопротивления обуви и других факторов. Однако однофазное включение происходит значительно чаще и является основной схемой, вызывающей поражение людей током.

* На рисунках показаны только вторичные обмотки трансформаторов, питающих рассматриваемые сети. Кроме того, распределенные по длине провода сети активное сопротивление изоляции и емкости фаз относительно земли на схемах представлены сосредоточенными элементами *R* и *C*.

Опасность поражения оценивается рядом факторов, среди которых главное место занимает величина тока, проходящего через тело человека.

Опасным неотпускающим считается переменный ток частотой 50 Гц силой 10 – 15 мА и более. При прохождении такого тока через тело возникают судороги мышц, и человек не может самостоятельно разжать руку, в которой зажата токоведущая часть.

Ток силой 25 – 50 мА приводит к нарушению деятельности легких. При длительном воздействии этого тока – несколько минут – возможно прекращение дыхания и, вследствие этого, остановка сердца.

Ток силой 100 мА и более уже через 1 – 2 с может вызвать фибрилляцию сердца – хаотическое разновременное сокращение волокон сердечной мышцы (фибрилл), в результате сердце перестает нормально сокращаться, и кровообращение в организме прекращается, что может стать причиной смертельного исхода.

В сетях напряжением до 1000 В при однофазном включении человека величина тока, проходящего через его тело, а следовательно и опасность поражения, зависят, прежде всего, от режима нейтрали сети: заземлена нейтральная точка источника питания или нет, а также от активной и емкостной проводимостей между фазными проводами (a, b, c) и землей.

В трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью потенциал нейтральной точки источника питания близок к потенциалу земли. Поэтому при нормальном режиме работы сети в случае однофазного включения (рис.9) человек попадает под фазное напряжение U_ϕ и сила тока, проходящего через тело человека и заземленную нейтраль, будет

$$I_\text{ч} = \frac{U_\phi}{R_\text{ч} + r_0}, \quad (5.2)$$

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

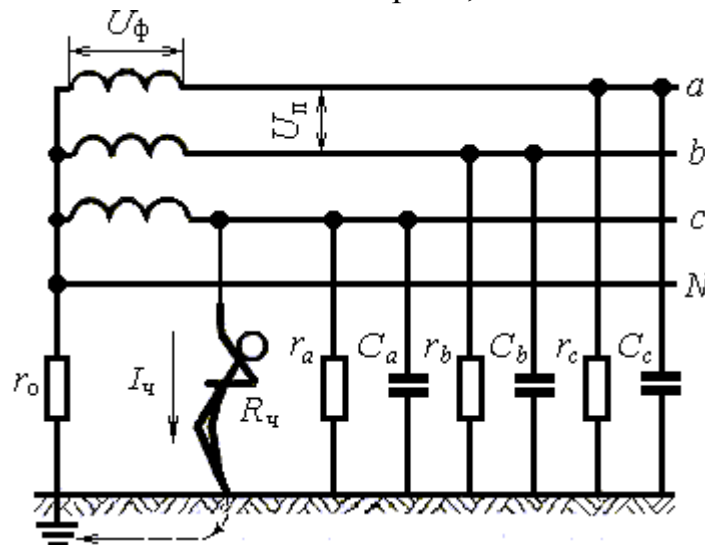


Рис. 9. Прикосновение человека к фазе трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью

Как правило, в сетях напряжением до 1000 В сопротивление заземления нейтрали $r_0 \leq 10$ Ом; сопротивление же тела человека $R_{\text{ч}}$ в расчетах принимают равным 1000 Ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнении можно пренебречь значением r_0 и считать, что при прикосновении человека к одной из фаз сети с глухозаземленной нейтралью ток, проходящий через его тело, равен

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}}. \quad (5.3)$$

В рассмотренном случае большое значение для уменьшения опасности поражения током будет иметь сопротивление обуви $r_{\text{об}}$ и сопротивление пола $r_{\text{п}}$, так как они включаются последовательно с сопротивлением тела человека. С учетом этих сопротивлений формула для тока принимает вид:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + r_{\text{об}} + r_{\text{п}}}. \quad (5.4)$$

При однофазном включении человека в трехфазную сеть с изолированной нейтралью (рис. 10) ток протекает от места контакта, как и ранее, через руку, тело, обувь, пол и одновременно – через несовершенную изоляцию фазных проводов к двум другим фазам сети.

Если обувь и пол токопроводящие, то в трехфазной сети с изолированной нейтралью величину тока, проходящего через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период ее нормальной работы определяют следующим выражением

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{ч}}^2(1 + r^2\omega^2C^2)}}}, \quad (5.5)$$

где r – активное сопротивление изоляции проводов (фаз) относительно земли, Ом; C – емкость проводов (фаз) относительно земли, Ф.

Для упрощения сопротивление изоляции и емкость фазных проводов сети относительно земли приняты равными между собой: $r_a = r_b = r_c = r$; $C_a = C_b = C_c = C$.

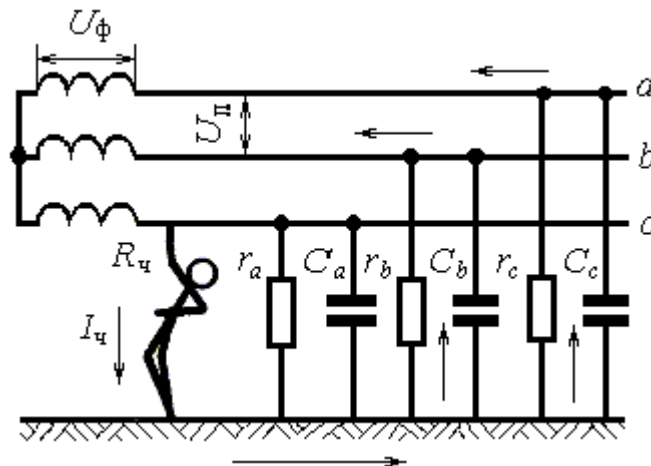


Рис.10. Схема однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью

В воздушных сетях небольшой протяженности емкость проводов относительно земли мала, т.е. $C \approx 0$. В этом случае сила тока, проходящего через тело человека, будет

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + \frac{r}{3}}. \quad (5.6)$$

В кабельных сетях большой протяженности емкость проводов C относительно земли значительна. В таких сетях, если активное сопротивление изоляции весьма велико ($r \approx \infty$), то уравнение (5.5) примет вид

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R_{\text{ч}}^2 + \left(\frac{1}{3\omega C}\right)^2}}. \quad (5.7)$$

Из выражения (5.6) видно, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от величины сопротивления изоляции проводов r : с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Поэтому в таких сетях необходимо обеспечивать высокое качество изоляции и ее контроль.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), сопротивление изоляции новых силовых и осветительных электропроводок напряжением до 1000 В относительно земли должно быть не менее 0,5 МОм.

Однако защитная роль изоляции в обеспечении безопасности утрачивается при прикосновении к фазе в сетях с большой емкостью проводов относительно земли [см. уравнение (5.7)]. Если емкость проводов C велика, и, следовательно, емкостное сопротивление x_C , равное $x_C = 1/\omega C$, мало, то ток, проходящий через тело человека, может оказаться опасным для жизни.

Анализ формул (5.3) и (5.6) показывает, что величина тока, протекающего через тело человека, при однофазном включении его в сеть с изолированной нейтралью гораздо меньше, чем в сеть с глухозаземленной нейтралью, так как величина сопротивления изоляции проводов r достаточно велика по сравнению с величиной сопротивления заземления нейтрали r_0 .

При наличии возможности непрерывного или периодического контроля за состоянием изоляции отдают предпочтение сетям с изолированной нейтралью, в противном случае – четырехпроводным трехфазным сетям с глухозаземленной нейтралью.

В целях уменьшения опасности поражения током при обслуживании и эксплуатации электроустановок необходимо: покрывать токопроводящий пол (бетонный, кирпичный, металлический) линолеумом; надевать обувь на резиновой подошве, применять на рабочем месте изолирующие подставки и резиновые коврики; использовать при работе монтерский инструмент с изолированными рукоятками; поддерживать влажность и температуру воздуха в помещении, от которых зависит величина электрического сопротивления тела человека, не выше допустимых значений.

Компенсация емкостных токов

В сети с изолированной нейтралью сила тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении, как было отмечено выше, зависит не только от сопротивления изоляции r , но и от емкости проводов относительно земли C [см. уравнение (5.5)].

В кабельных и разветвленных сетях большой протяженности емкость проводов относительно земли весьма значительна. Следовательно, в таких сетях емкостное сопротивление x_C мало и при случайном прикосновении к фазе сила тока, проходящего через тело человека, $I_{\text{ч}}$ [см. уравнение (5.7)] может достигать опасной величины даже, если сопротивление изоляции проводов r принять бесконечно большим ($r \approx \infty$).

В целях обеспечения безопасности при случайном прикосновении человека к одной из фаз сети, обладающей большой емкостью проводов относительно земли, уменьшают величину тока, проходящего через тело человека, $I_{\text{ч}}$, за счет компенсации емкостной составляющей тока I_C с помощью индуктивной катушки L_K , включаемой между нейтральной точкой источника питания и землей (рис. 11).

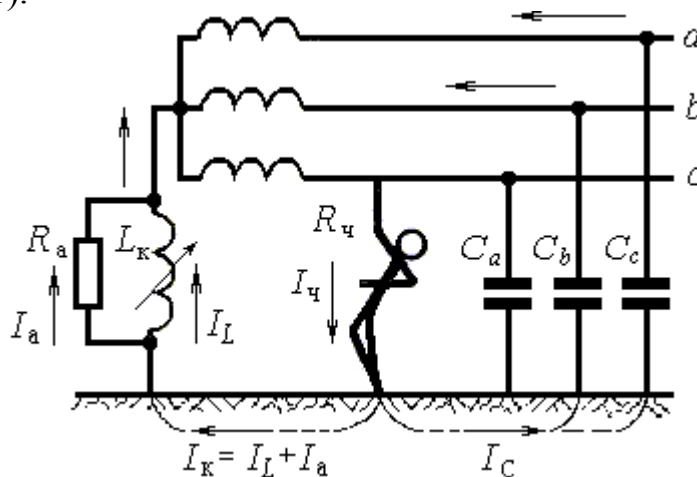


Рис.11. Схема компенсации емкостного тока:

L_K – компенсирующая катушка индуктивности; R_a – активное сопротивление компенсирующей катушки

Индуктивность L_K вместе с емкостью проводов сети C образует колебательный контур. Теперь в случае прикосновения к фазе сети ток, проходящий через тело человека, $I_{\text{ч}}$ будет

$$I_{\text{ч}} = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}, \quad (5.8)$$

где I_a – активная, I_L – индуктивная и I_C – емкостная составляющие тока, А.

Активная составляющая тока I_a обусловлена активными потерями в катушке индуктивности L_K и потерями на гистерезис в сердечнике катушки; индуктивная I_L и емкостная I_C составляющие тока – наличием L и C .

Если индуктивное сопротивление компенсирующей катушки $x_L = \omega L_k$ подобрано равным полному емкостному сопротивлению фазных проводов сети $x_C = 1/3\omega C$, т. е. выполняется условие

$$\omega L_k = \frac{1}{3\omega C}, \quad (5.9)$$

то в колебательном контуре возникает резонанс токов, при котором индуктивный ток I_L и емкостной I_C по величине равны, а по фазе противоположны. Практически эти токи находятся в противофазе и взаимно исключаются.

В этом случае при однофазном включении ток, проходящий через тело человека, будет равен только активной составляющей $I_{\text{ч}} = I_a$, что значительно меньше, чем в сети без компенсации емкостной составляющей, так как активное сопротивление компенсирующей катушки R_a значительно больше емкостного сопротивления проводов x_C ($R_a \gg x_C$).

На рис. 12 приведены векторные диаграммы для трех случаев:

1) полная компенсация $I_L = I_C$: ток, проходящий через тело человека, $I_{\text{ч}}$ равен только активной составляющей $I_{\text{ч}} = I_a$;

2) недокомпенсация $I_L < I_C$: индуктивное сопротивление катушки x_L больше емкостного сопротивления проводов сети x_C ;

3) перекомпенсация $I_L > I_C$: индуктивное сопротивление x_L меньше емкостного x_C .

В двух последних случаях сила тока, проходящего через тело человека, будет больше, чем при полной компенсации емкостной составляющей тока.

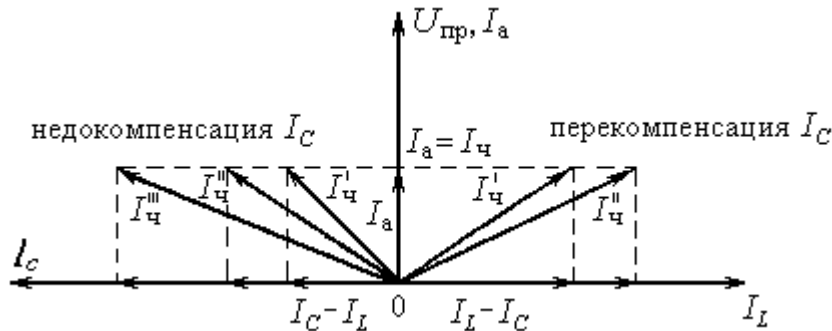


Рис. 12. Векторные диаграммы компенсации емкостного тока

Описание стенда

Лабораторный стенд позволяет смоделировать несколько типовых задач по электробезопасности в трехфазной электрической сети, исследовать зависимость величины тока, проходящего через тело человека, $I_{\text{ч}}$ (мА) от сопротивления изоляции проводов r (кОм) и емкости фаз сети C (мкФ) относительно земли, оценить эффективность применения метода компенсации емкостного тока и защитного заземления.

В стенде смоделированы: сосредоточенные сопротивления изоляции r_a , r_b , r_c и емкости C_a , C_b , C_c фазных проводов относительно земли; сопротив-

ление тела человека $R_{\text{ч}}$, сопротивление заземления нейтрали r_0 , сопротивление защитного заземления r_3 .

Установка имеет мнемопанель, на которой при исследовании различных цепей высвечиваются соответствующие участки трехфазной сети. В измерительной схеме установки амперметром A_2 фиксируется величина тока, проходящего через тело человека $I_{\text{ч}}$ (мА), вольтметром V – напряжение прикосновения $U_{\text{пр}}$ (В) при заданных условиях.

Порядок выполнения работы

З а д а н и е № 1. Исследовать опасность поражения электрическим током при случайном прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью.

А. Определить зависимость силы тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении его в сеть от величины сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли.

1. Привести стенд в исходное положение: ручки переключателей сопротивления изоляции фазных проводов r_a , r_b , r_c поставить в положение 1 кОм; емкости фаз относительно земли C_a , C_b , C_c установить на нулевые деления; сопротивления тела человека $R_{\text{ч}}$ в положение «Выкл»; тумблеры «Устр.», «Шунтирующий», « r_0 – Заземление нейтрали», «Компенсация», «Зануление», « r_p », « r_3 » – в положение «Выключено» (рукоятки вниз).

2. Переключателем $R_{\text{ч}}$ установить значение сопротивления тела человека 1 кОм.

3. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.» (рукоятка вверх). При этом на мнемопанели высвечивается обмотка трехфазного трансформатора.

4. Нажать кнопку «Замыкание», что имитирует замыкание фазы сети a на корпус электроустановки, изображенной на мнемопанели.

5. Установить переключатели величины сопротивления изоляции проводов относительно земли r_a , r_b , r_c последовательно на деления 1, 2 кОм и т.д. Определить: по показаниям миллиамперметра «А» силу тока, проходящего через тело человека $I_{\text{ч}}$ (мА); по показаниям вольтметра «V» величину напряжения прикосновения $U_{\text{пр}}$ (В). Показания приборов занести в табл. 1 отчета.

6. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

Б. Определить зависимость силы тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении его в сеть от величины емкости фаз относительно земли.

1. Переключателем $R_{\text{ч}}$ установить значение сопротивления тела человека 1 кОм.

2. Ручки переключателей сопротивления изоляции проводов r_a , r_b , r_c установить в положение « ∞ » (крайнее левое положение).

3. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.».
4. Нажать кнопку «Замыкание».
5. Ручки переключателей « C_a », « C_b », « C_c » установить последовательно на деления 0,1; 0,2 мкФ и т.д., что соответствует указанной величине емкости фаз относительно земли. Показания приборов « A_2 » и « V » занести в табл. 1 отчета.
6. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

З а д а н и е № 2. Исследовать опасность поражения электрическим током при случайном прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью.

1. Включить тумблер « r_0 ». Это означает, что осуществлено заземление нейтрали источника питания – трехфазного трансформатора.
2. Включить тумблерами «Сеть» и «Устр.»
3. Нажать кнопку «Замыкание».
4. Переключателем « $R_{\text{ч}}$ » последовательно установить значение сопротивления тела человека 1; 2 кОм и т.д. Показания приборов « A_2 » и « V » занести в табл. 2 отчета.
5. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

З а д а н и е № 3. Исследование эффективности применения метода компенсации емкостных токов.

1. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.»
2. Ручки переключателей величины емкости фаз относительно земли C_a , C_b , C_c установить в положение 0,6 мкФ;
3. Ручки переключателей величины сопротивления изоляции проводов r_a , r_b , r_c установить в положение 400 кОм;
4. Переключатель сопротивления тела человека $R_{\text{ч}}$ установить в положение 1 кОм;
5. Нажать кнопку «Замыкание». Показания приборов « A_2 » и « V » занести в табл. 3 отчета.
6. Включить тумблер «Компенсация».
7. Ручки переключателей величины емкости фаз относительно земли C_a , C_b , C_c последовательно установить в положения 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6 мкФ. Показания приборов « A_2 » и « V » занести в табл. 3 отчета.
8. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).
9. Рассчитать индуктивность катушки $L_{\text{к}}$, компенсирующей емкостной ток, по формуле

$$L_{\text{к}} = \frac{1}{3\omega^2 C}, \quad (5.10)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, рад/с; f – промышленная частота тока, равная 50 Гц.

