

# ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В ЖИЛЫХ И ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

## ЦЕЛЬ

Оценить эффективность действия различных средств электробезопасности в жилых и офисных помещениях.

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Электрическое сопротивление тела человека

Тело человека является проводником электрического тока. Проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только ее физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присущими лишь живой материи. Следовательно, сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг – малое сопротивление. Например, удельное сопротивление сухой кожи составляет  $3 \times 10^3 - 2 \times 10^4$  Ом м, а крови 1 – 2 Ом м.

Из этих данных следует, что кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

*Сопротивление тела человека* можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи (эпидермиса), которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека), и внутреннего сопротивления тела  $R_{в}$ .

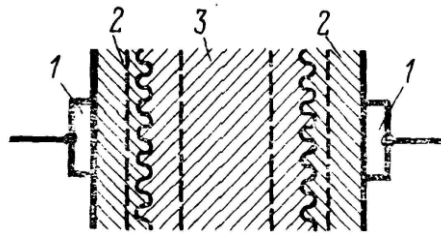


Рис. 9.1. К определению сопротивления тела человека: 1 – электроды; 2 – наружный слой кожи – эпидермис (роговой и ростковый слой); 3 – внутренние ткани тела (включая внутренний слой кожи – дерму).

Сопротивление наружного слоя кожи  $z$  состоит из активного и емкостного сопротивлений, включенных параллельно. Внутреннее сопротивление тела считается чисто активным, хотя, строго говоря, оно также обладает емкостной составляющей. Внутреннее сопротивление  $R_b$  практически не зависит от площади электродов, частоты тока, а также от значения приложенного напряжения.

Эквивалентная схема сопротивления тела человека для рассмотренных условий показана на рис. 9.2.

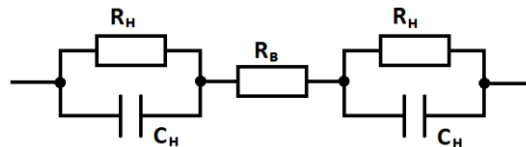


Рис. 9.2. Эквивалентная схема замещения сопротивления тела человека.

На основании этой схемы выражение для определения полного сопротивления тела человека в комплексной форме  $Z_h$ , Ом, имеет вид

$$Z_h = 2Z_n + R_b = \frac{2}{\frac{1}{R_n} + j\omega C_n} + R_b. \quad (9.1)$$

В целом, значение полного сопротивления тела человека зависит от ряда факторов: *состояния кожи, параметров электрической цепи, места приложения электродов к телу человека, значений тока, приложенного напряжения, рода и частоты тока, площади электродов, длительности воздействия, физиологических факторов окружающей среды.*

Расчетное электрическое сопротивление тела человека переменному току частотой 50 Гц при анализе опасности поражения человека током принимается равным 1 кОм.

## Виды электротравм

Большинство специалистов и исследователей в области электробезопасности указывают на следующие действия, которые производит электрический ток, проходя через организм человека:

*термическое действие* – проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высоких температур внутренних тканей человека, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства;

*электролитическое действие* – проявляется в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что вызывает значительные нарушения их физико-химического состава;

*механическое действие* – приводит к разрыву тканей и переломам костей;

*биологическое действие* – проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей в организме, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, присущих нормально действующему организму; с биологической точки зрения исход поражения человека электрическим током может быть следствием тех физиологических реакций, которыми ткани отвечают на протекание через них электрического тока.

## Средства защиты

### Заземление

*Защитное заземление* – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.). Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в карьерном залегании и т. п.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Защитное заземление следует отличать от других видов заземления, например, рабочего заземления и заземления молниезащиты.

*Рабочее заземление* – преднамеренное соединение с землей отдельных точек электрической цепи, например нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов,

дугогасящих аппаратов, реакторов поперечной компенсации в дальних линиях электропередачи, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода. Рабочее заземление предназначено для обеспечения надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях и осуществляется непосредственно (т. е. путем соединения проводником заземляемых частей с заземлителем) или через специальные аппараты — пробивные предохранители, разрядники, резисторы и т. п.

*Заземление молниезащиты* – преднамеренное соединение с землей молниеприемников и разрядников в целях отвода от них токов молнии в землю.

Принцип действия защитного заземления состоит в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (подъемом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

### ***Зануление***

*Зануление* – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Для соединения открытых проводящих частей потребителя электроэнергии с глухозаземленной нейтральной точкой источника используется нулевой защитный проводник.

*Нулевым защитным проводником (PE – проводник в системе TN-S)* называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания трехфазного тока или с заземленным выводом источника питания однофазного тока, или с заземленной средней точкой источника питания в сетях постоянного тока.

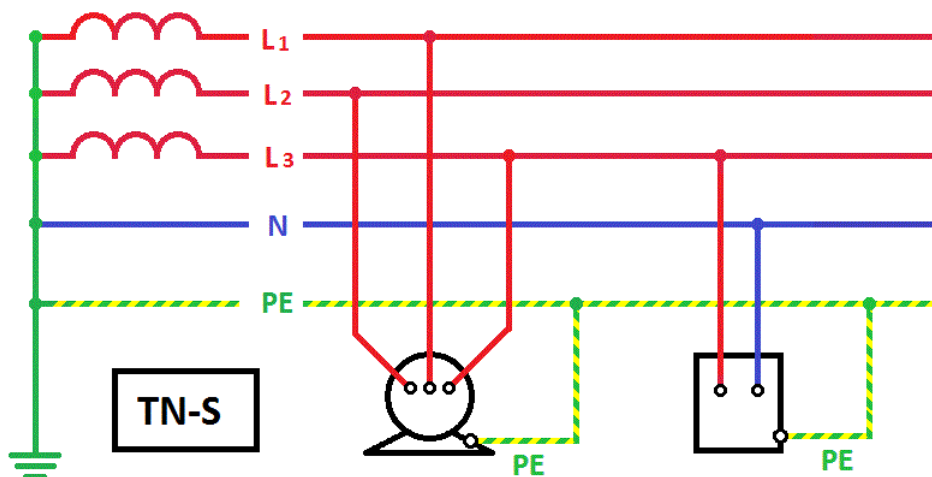


Рис. 9.3. Система заземления *TN-S*

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего и PEN проводников.

Нулевой рабочий проводник (N – проводник в системе *TN-S*) – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

*Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN – проводник в системе *TN-C*)* – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.

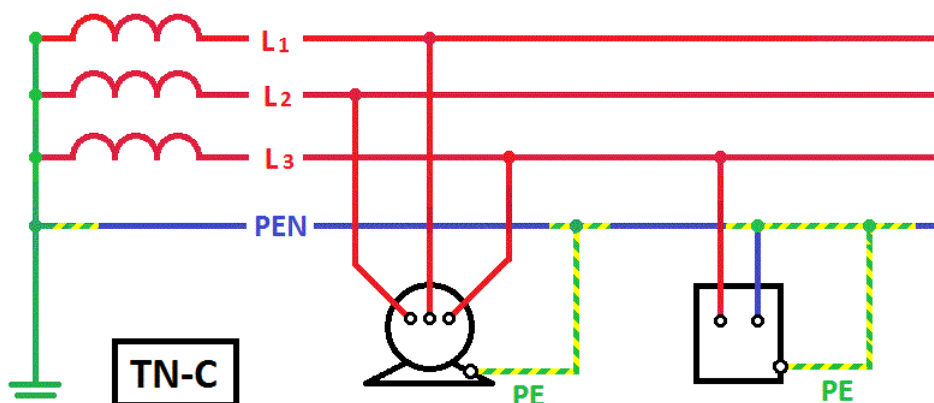


Рис. 9.4. Система заземления *TN-C*

*Зануление* необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

*Принцип действия зануления.* При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

### ***Защитное отключение***

Защитным отключением называется автоматическое отключение электроустановок при однофазном прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения.

Назначение защитного отключения – обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (**УЗО**), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует условия поражения человека электрическим током. Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали.

Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищенную электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

## МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Меры безопасности

К работе допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом работы и мерами безопасности при работе с электрооборудованием.

Запрещается вставлять вилки шнуров питания, соединяющие проводники и переключки в гнезда при включенном питании лабораторного стенда.

### Перечень оборудования

Конструкция лабораторного стенда обеспечивает возможность сборки электрической цепи требуемой конфигурации, с необходимыми параметрами ее элементов и измерения параметров режима этой цепи.

Табл. 9.1. Перечень оборудования, используемого в лабораторной работе

<b>Наименование</b>	<b>Код</b>
Однофазный источник питания	218.1
Модель человека	309.1
Устройство защитного отключения	321.1
Модель питающей электрической сети	387
Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1
Модель электроприемника с двойной изоляцией	388.2
Блок мультиметров	509.2
Рама настольная одноуровневая с контейнером	708.3
Набор аксессуаров	855

Общий вид лабораторного стенда изображен на рис. 9.5.

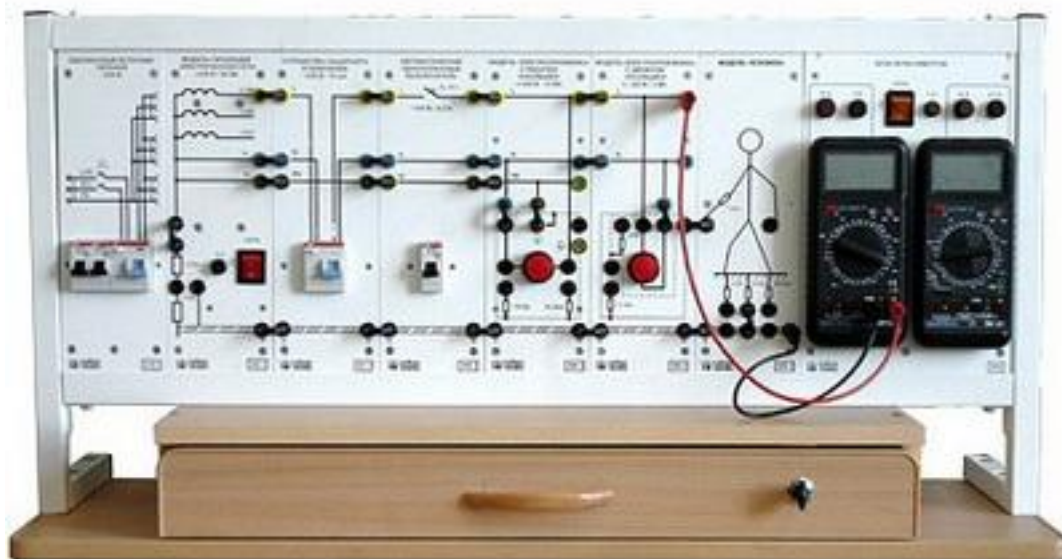


Рис. 9.5. Лабораторный стенд по электробезопасности

### Подготовка стенда и проведение измерений

При выполнении работы функциональные модули комплекта собираются в соответствии с прилагаемой в задании схемой. После сборки проводится внешний осмотр стенда и проверка его соответствия принципиальной электрической схеме.

Для измерения трех базовых электрических величин используется мультиметр. До включения мультиметра необходимо выполнить следующие операции:

1. Установить род тока (постоянный или переменный).
2. Выбрать диапазон измерения соответствующий ожидаемому результату измерений («700V» для вольтметра, «2A» для амперметра).
3. Правильно включить в схему мультиметр см. рис. 9.6–9.8.





Рис. 9.6. Подключение мультиметра для измерения напряжения



Рис. 9.7. Подключение мультиметра для измерения сопротивления



Рис. 8. Подключение мультиметра для измерения тока

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Определение силы электрического тока при прямом и косвенном прикосновении.

#### *Прямое прикосновение*

Для измерения силы тока при прямом прикосновении и прохождении тока от одной руки к другой собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.9. При правильно собранной электрической цепи амперметр показывает значение силы тока через тело человека, а вольтметр – напряжение прикосновения, в данном случае фазное напряжение в сети.

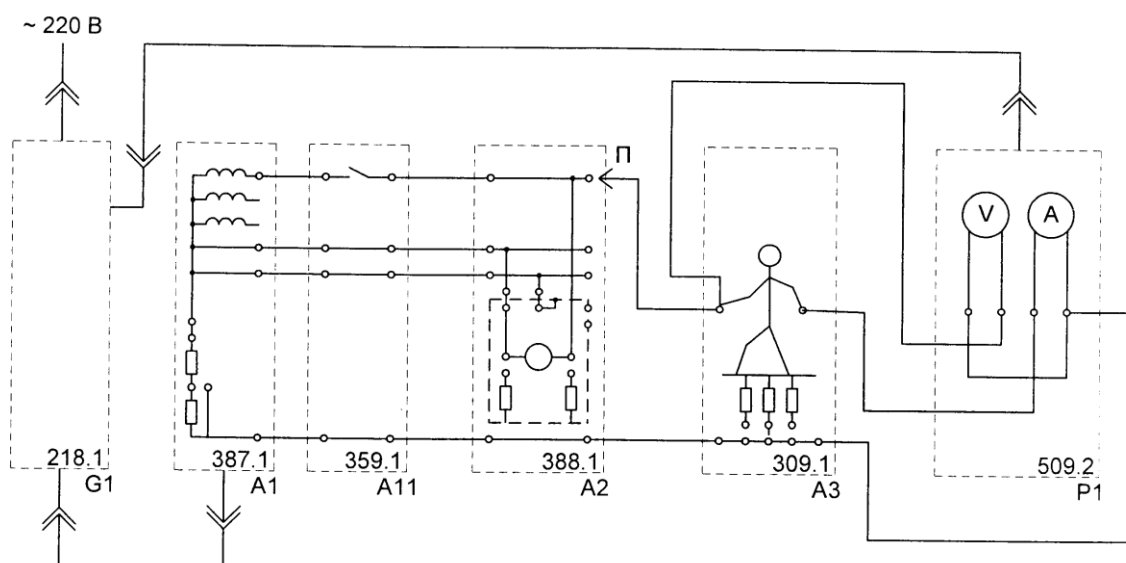


Рис. 9.9. Схема для определения силы тока при прямом прикосновении, путь прохождения тока «рука–рука».

Результаты измерений тока и напряжения при различном сопротивлении обуви и пола заносятся в табл. 9.2. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

Табл. 9.2. Определение силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении

Путь тока	$R_{п}, \text{кОм}$	$I_{ч}, \text{мА}$	$U_{пр}, \text{В}$
Рука–рука	1		
	10		
	100		
Рука–ноги	1		
	10		
	100		

Для измерения силы тока при прямом прикосновении и прохождении тока от руки к ногам собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.10.

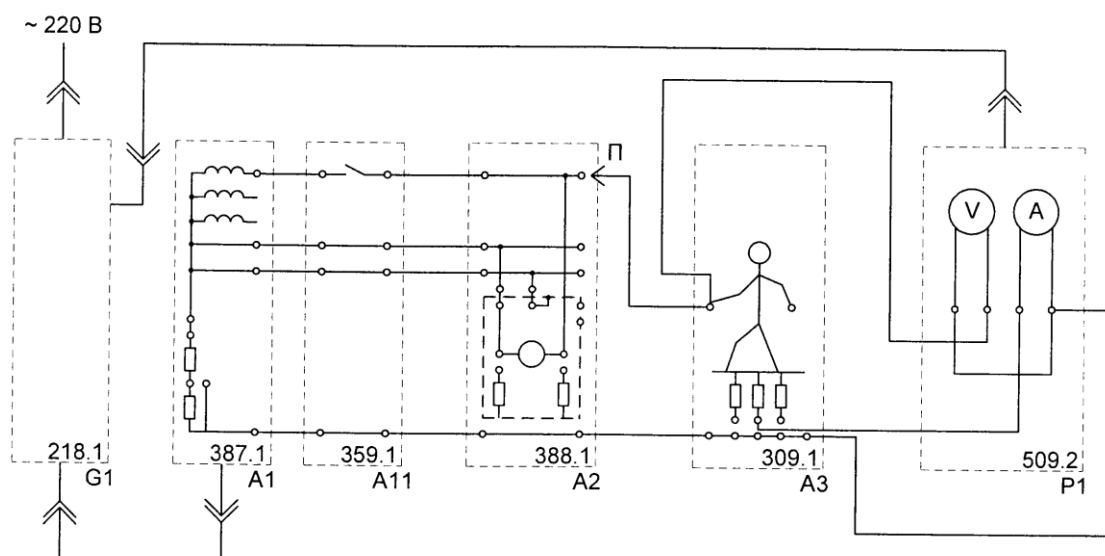


Рис. 9.10. Схема для определения силы тока при прямом прикосновении, путь прохождения тока «рука-ноги».

Результаты измерений тока и напряжения при различном сопротивлении обуви и пола заносятся в табл. 9.2. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

### ***Косвенное прикосновение***

Для измерения силы тока при косвенном прикосновении собираются электрические схемы, изображенные на рис. 9.11, 9.12. При правильно собранной электрической цепи амперметр показывает значение силы тока через тело человека, а вольтметр – напряжение прикосновения.

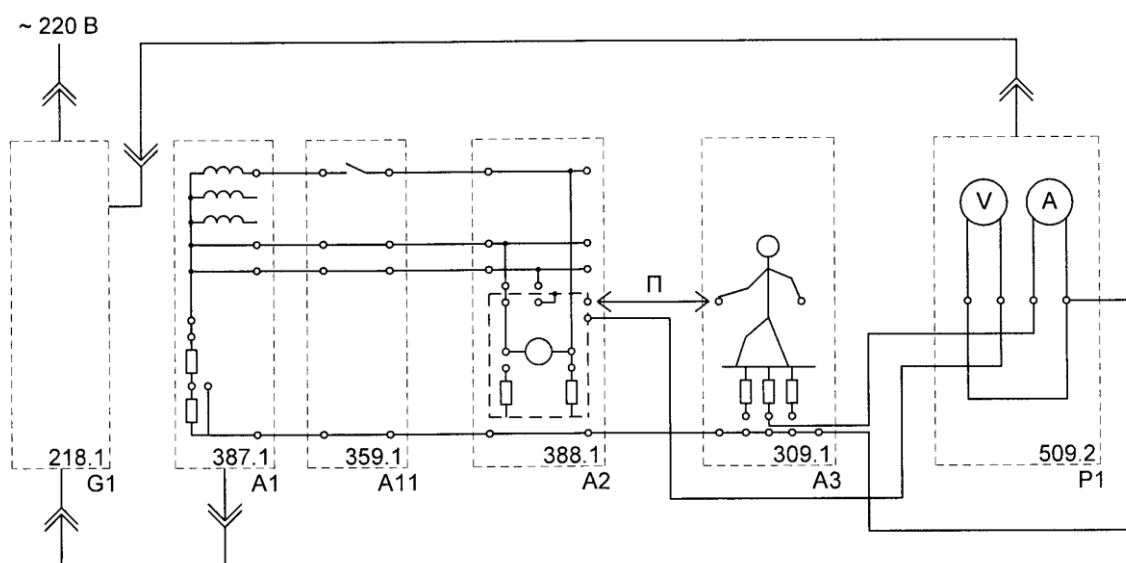


Рис. 9.11. Косвенное прикосновение, сопротивление основной изоляции 15 кОм

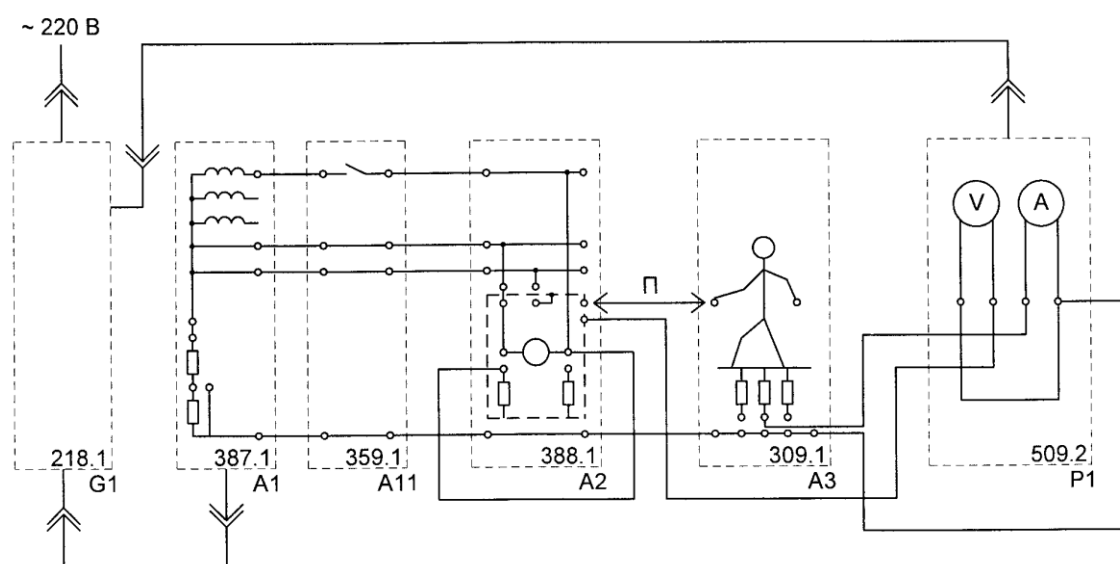


Рис. 9.12. Косвенное прикосновение, сопротивление основной изоляции 10 Ом

На схеме рис. 9.11 сопротивление основной изоляции электроприемника составляет 15 кОм, а на схеме рис. 9.12 сопротивление основной изоляции снижается до 10 Ом.

Результаты измерений тока и напряжения при различных сопротивлениях обуви и пола заносятся в табл. 9.3. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

Табл. 9.3. Определение силы электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении

$R_{из}$	$R_{п}, \text{кОм}$	$I_{ч}, \text{мА}$	$U_{пр}, \text{В}$
15 кОм	1		
	10		
	100		
10 Ом	1		
	10		
	100		

## 2. Исследование действия средств защиты от поражения электрическим током

### Защитное зануление

Для исследования действия защитного зануления при косвенном прикосновении собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.13. В данной схеме сопротивление основной изоляции электроприемника составляет 15 кОм. Для моделирования схемы без зануления необходимо удалить перемычку, соединяющую корпус с нулевым проводником в блоке 388.1.

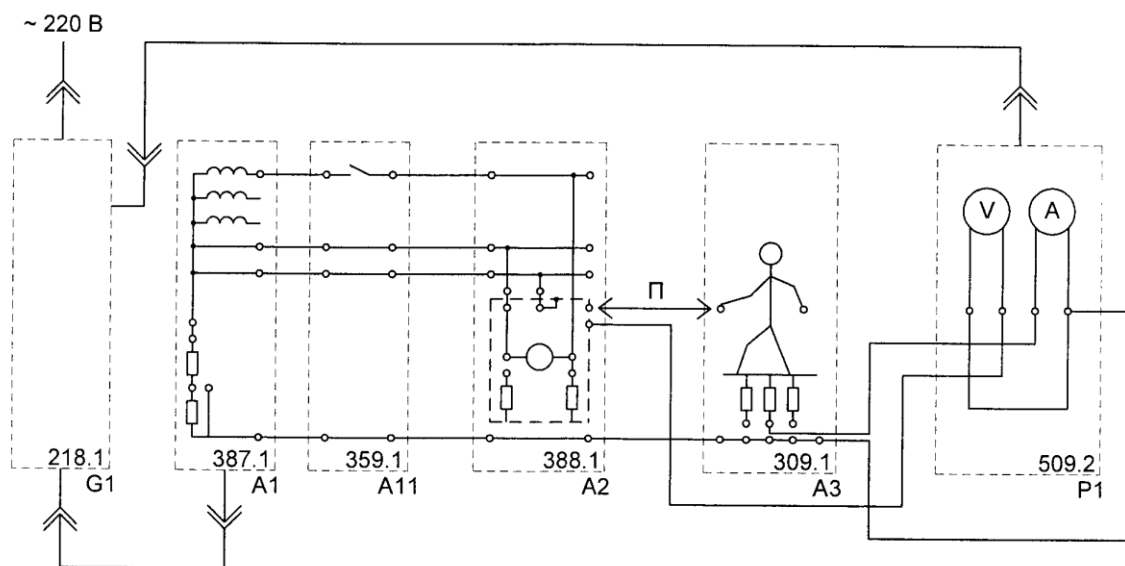


Рис. 9.13. Схема для изучения действия защитного зануления

При правильно собранной электрической цепи амперметр показывает значение силы тока через тело человека, а вольтметр – напряжение прикосновения, в данном случае фазное напряжение в сети.

Результаты измерений тока и напряжения при различном сопротивлении обуви и пола заносятся в табл. 9.4. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

Табл. 9.4. Определение силы электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении с занулением и без него

Зануление	$R_{п}$ , кОм	$I_{ч}$ , мА	$U_{пр}$ , В
есть	1		
	10		
	100		
нет	1		
	10		
	100		

### ***Устройство автоматического отключения питания при сверхтоках***

Для исследования устройства автоматического отключения питания при сверхтоках собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.14.

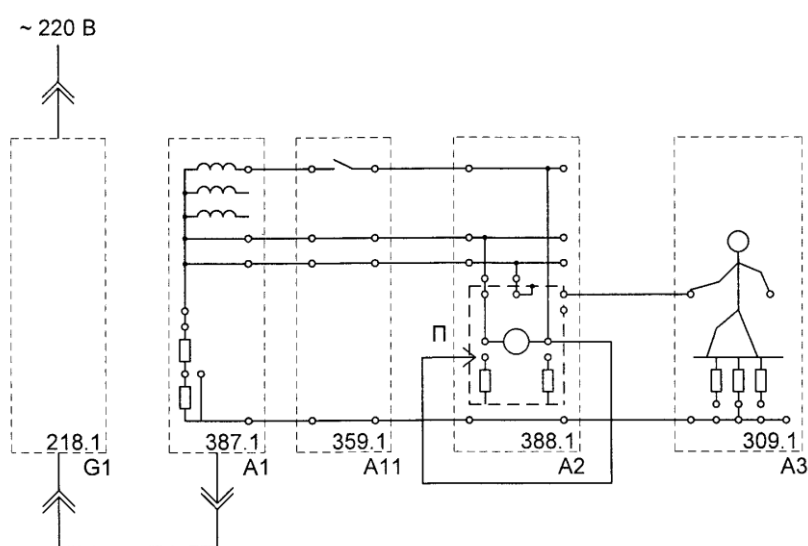


Рис. 9.14. Схема для исследования устройства автоматического отключения питания при сверхтоках

В данной схеме разрушение основной изоляции электроприемника моделируется установкой перемычки в блоке 388.1. Перед включением источника питания перемычку необходимо вытащить из гнезда. При

правильно собранной электрической схеме после включения источника питания и установки переключки, срабатывает автоматическое отключение питания при сверхтоках.

Результаты данного эксперимента должны быть отражены в выводе по лабораторной работе. В общем выводе также следует отразить Ваше мнение о необходимости установки блока 309.1.

### *Двойная изоляция электроприемника*

Для исследования защитного действия двойной изоляции электроприемника собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.15.

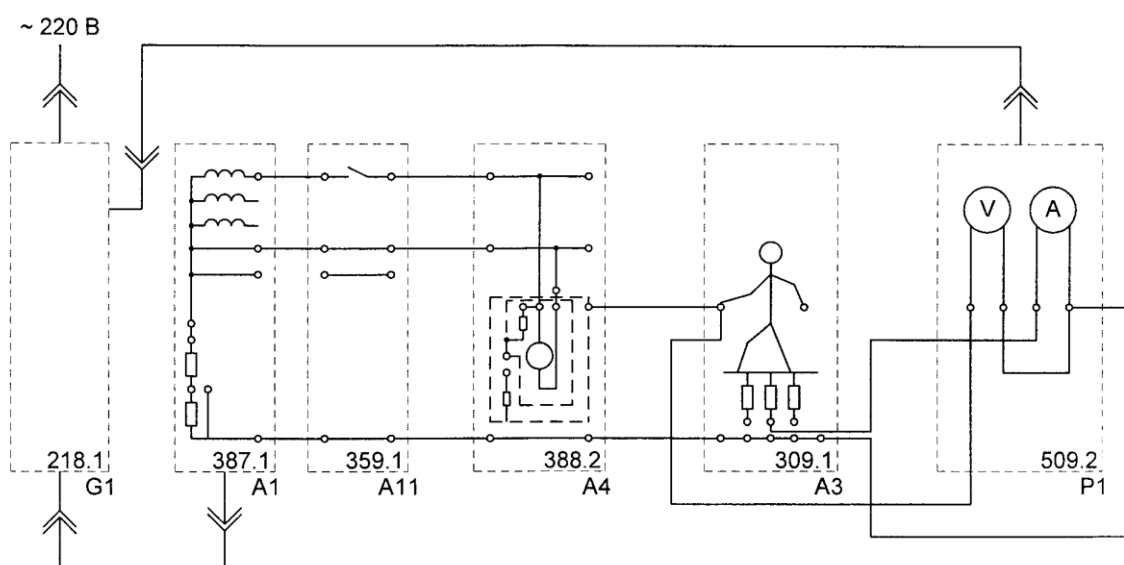


Рис. 9.15. Снижение сопротивления основной изоляции до 7,5 кОм



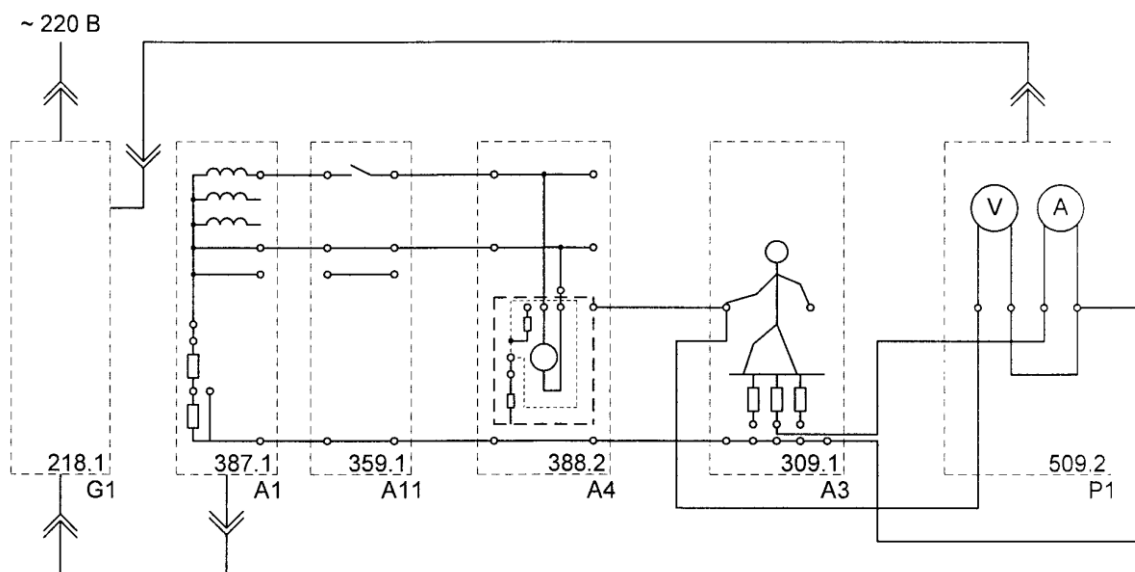


Рис. 9.16. Снижение сопротивления дополнительной изоляции до 7,5 кОм

В данной схеме моделируется снижение сопротивления основной и дополнительной изоляции электроприемника до 7,5 кОм установкой перемычки. При правильно собранной электрической схеме после включения источника питания и установки перемычки, срабатывает автоматическое отключение питания при сверхтоках

При правильно собранной электрической схеме амперметр показывает значение силы тока через тело человека, а вольтметр – напряжение прикосновения.

Результаты измерений тока и напряжения при снижении сопротивления изоляции заносятся в табл. 9.5. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

Табл. 9.5. Определение силы электрического тока через тело человека при снижении основной и дополнительной изоляции электроприемника

Снижение сопротивления изоляции	$R_{п}$ , кОм	$I_{ч}$ , мА	$U_{пр}$ , В
основная	1		
	10		
	100		
дополнительная	1		
	10		
	100		

### **Устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток**

Для измерения силы тока при прямом прикосновении собирается электрическая схема, изображенная на рис. 9.17.

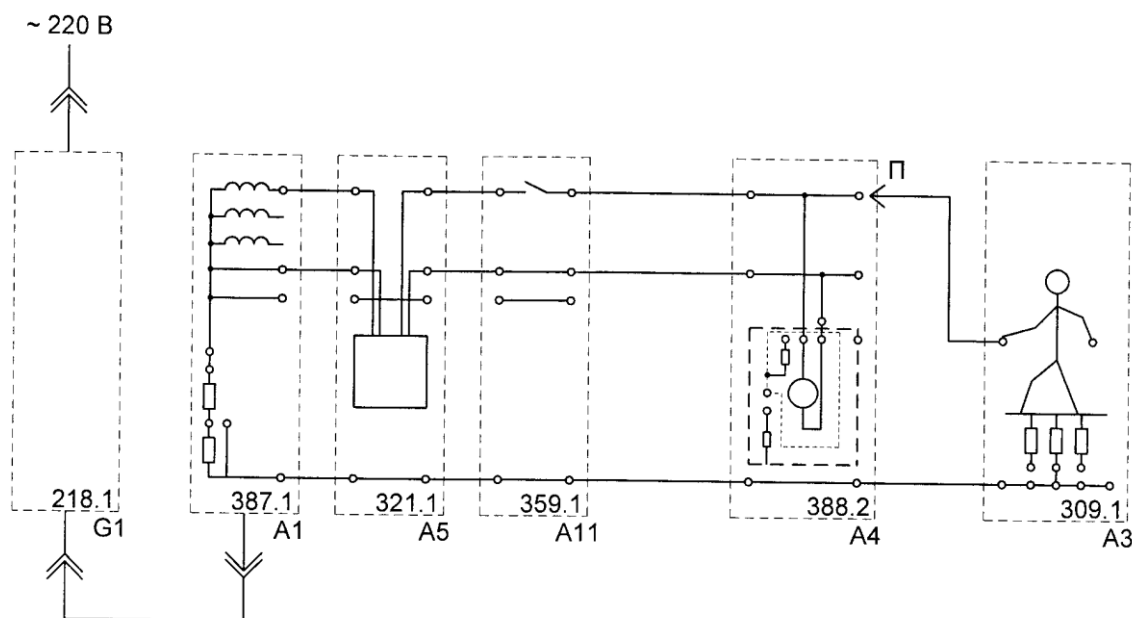


Рис. 9.17. Исследование действия устройства защитного отключения

При правильно собранной электрической цепи амперметр показывает значение силы тока через тело человека, а вольтметр – напряжение прикосновения, в данном случае фазное напряжение в сети.

Результаты измерений тока и напряжения при различном сопротивлении обуви и пола заносятся в табл. 9.6, при этом УЗО необходимо исключить из схемы. Вид обуви и тип пола варьируется различными положениями щупа амперметра в блоке 309.1.

При включении в цепь устройства защитного отключения заполняется первый столбец табл. 9.6, если защита срабатывает, то в соответствующей ячейке ставится знак «+», в противном случае – «-».

Табл. 9.6. Определение силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении и действии УЗО

Действие УЗО	$R_{\text{п}}, \text{кОм}$	$I_{\text{ч}}, \text{мА}$	$U_{\text{пр}}, \text{В}$
	1		
	10		
	100		

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током.
2. Дайте определения следующим понятиям: *напряжение шага, напряжение прикосновения, токоведущая часть, электроустановка.*
3. Какие существуют средства защиты человека от прямого и косвенного прикосновения?
4. Перечислите существующие системы заземления.
5. На какие классы делится электрооборудование согласно ГОСТ Р МЭК 536–94?