

Министерство образования Российской Федерации
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО
ЗАЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине БЖД
для студентов всех направлений подготовки

Нижегород
2014

9

УДК 658.345.43

Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трех-фазных сетях Метод. указания к лаб. работе по курсу БЖД для студентов всех направлений подготовки /НГТУ; Сост.: А.Б. Елькин, Г.В. Пачурин, В. И. Миндрин. Н.Новгород, 2014 . 17 с.

Утверждено на заседании кафедры ПБЭиХ 20 ноября 2014 г., протокол № 2.

1. Цель работы

Исследование эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной и заземлённой нейтралью.

Назначение, область применения и устройство зануления.

2. Теоретическая часть

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм местного и общего характера. Степень поражения человека электрическим током зависит в конечном итоге от величины тока, которая в свою очередь определяется родом и частотой тока, сопротивлением тела человека и временем протекания тока через организм человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 "ССБТ.

Электробезопасность. Общие требования" Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

К техническим способам и средствам защиты относятся: защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, применение малого (до 42 В) напряжения, электрическое разделение сетей, защитное отключение, изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная), ограждающие устройства, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности, средства индивидуальной защиты и предохранительные устройства.

В настоящей работе рассматриваются два способа защиты-защитное заземление и зануление.

Защитное заземление - это преднамеренное соединение с "землей" или ее эквивалентом металлических частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции фаз. Связь металлических конструкций электрических установок и корпусов электроприёмников с землей осуществляется посредством заземляющих проводников и металлических электродов (труб, стержней, уголков, полос), располагаемых в земле и называемых заземлителями. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.

Назначение защитного заземления - это устранение опасности поражения электрическим током, если человек коснется корпуса электрической установки, находящегося под напряжением при нарушении изоляции фаз.

Защитное заземление применяется в электрических сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением более 1000 В с любым режимом нейтрали.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ - 85) защитное заземление корпусов электроустановок обязательно при напряжении свыше 36 В переменного и 110 В постоянного тока в помещениях повы-

шенной опасности, а в помещениях без повышенной опасности - при напряжении 500 В и выше.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения на корпусе электроустановки до безопасного значения. Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя φ_3 основания φ_{03}

$$U_{np} = \varphi_3 - \varphi_{oc} = \varphi_3 - \varphi_{oc} \cdot (1 - r/x) = \varphi_3 \cdot \alpha \quad (1)$$

где α - коэффициент прикосновения;

r - радиус заземлителя;

x - расстояние от электрооборудования до заземлителя.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока, замыкания на землю I_3 и величиной сопротивления заземляющего устройства R_3 :

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (2)$$

Величина потенциала основания, т.е. места, на котором установлено электрооборудование и зона обслуживания, зависит от расстояния его до заземлителя (формула 9.1). В случае, когда заземлитель расположен непосредственно под защищаемым электрооборудованием, ($x=r$), потенциал основания равен потенциалу заземлителя и напряжение прикосновения равно нулю. Если же заземлитель удален от электроустановки на расстояние более 20 м ($x \geq 20$), то потенциал основания можно считать равным нулю, а напряжение прикосновения будет максимальным и равным напряжению на корпусе электроустановки U_k , которое соответствует потенциалу заземлителя ($U_k = I_3 \cdot R_3$).

Учитывая это, с целью уменьшения напряжения на корпусе электроустановки, ПУЭ ограничивают сопротивление защитного заземления в установках до 1000 В следующими значениями: если суммарная мощность источников питания сети $P \leq 100$ кВт, то $R_3 \leq 10$ Ом, если $P > 100$ кВт, то $R_3 \leq 4$ Ом. Кроме того, из выражения (9.2) видно, что напряжение прикосновения определяется также силой тока, стекающего на землю через заземлитель. Чем больше сила тока, стекающего на землю, тем выше напряжение на корпусе.

Величина тока замыкания на землю зависит от режима нейтрали сети. В случае трехфазной сети с изолированной нейтралью (рис.9.1) ток замыкания на землю

$$I_3 = U_{\phi} / (R_3 + z/3) \quad (3)$$

где U_{ϕ} ~ фазное напряжение сети. В;

z - полное сопротивление фазных проводов относительно земли

$$z=r/(1+j\omega rc);$$

r и c - соответственно активное сопротивление изоляции провода и емкость провода относительно земли,

j - оператор комплексной величины;

ω - угловая частота тока, c^{-1} .

Для электрической сети малой протяженности емкость фаз относительно земли незначительна ($C = 0$). В этом случае сопротивление изоляции, определяется величиной активного сопротивления изоляции фаз относительно земли, а величина тока замыкания на землю вычисляется из выражения:

$$I_z = U_f / (R_z + z/3) \quad (4)$$

Согласно ПУЭ сопротивление изоляции фаз относительно земли должно быть не менее 0,5 мОм, следовательно, величина тока замыкания на землю будет малой, а напряжение на корпусе незначительным. Даже в случае неисправной изоляции, когда ее сопротивление может снизиться до нескольких сотен Ом, защитное заземление в сети с изолированной нейтралью обеспечивает защиту.

Например, при $r = 300$ Ом, $R_z = 4$ Ом и $U_f = 220$ В ток замыкания на землю равен $I_z = 220 / (4 + 300/3) = 2,2$ А, напряжение на корпусе $U_k = 2,2 \cdot 4 = 8,8$ В, что не опасно для человека.

Защитное заземление в сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью не применяется, так как не обеспечивает безопасности человека. Это объясняется тем, что ток замыкания на землю в сети с заземленной нейтралью не зависит от сопротивления изоляции фаз и величина его значительно больше, чем в сети с изолированной нейтралью:

$$I_z = U_f / (R_z + R_0), \quad (5)$$

где R_0 - сопротивление заземления нейтрали;

R_z и R_0 - согласно ПУЭ-85 принимаются равными 4 Ом в сетях напряжением 380/220 В. При этом напряжение на корпусе заземленной установки будет опасным.

Для защиты человека в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В применяется зануление..

Занулением называется преднамеренное соединение металлических корпусов электрооборудования к нулевому защитному проводнику. Назначение зануления - устранение опасности поражения человека электрическим током при "пробое" на корпус электроустановки. Это достигается автоматическим отключением поврежденной установки от сети. Принцип действия зануления иллюстрирует рис. 2.

При замыкании фазы на корпус электроустановки в цепи источник питания - фазный провод — аппарат защиты — корпус электроустановки -

нулевой защитный проводник будет протекать ток короткого замыкания $I_{кз}$. Так как сопротивление нулевого защитного проводника меньше суммы сопротивлений R_n и R_o , то $I_{кз} \geq I_z$ и приближенно можно считать, что

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_n + Z_T / 3); \quad (6)$$

где Z_n - полное сопротивление петли проводников фаза-нуль;
 Z_T - полное сопротивление трансформатора.

Для быстрого и надежного срабатывания аппарата защиты необходимо, чтобы

$$I_{кз} \geq K I_{ном}$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток срабатывания защиты;

K - коэффициент кратности тока, который для предохранителей с плавкой вставкой берется равным 3, а для электромагнитных автоматических выключателей принимается в пределах 1,25 - 1,4.

Повторное заземление необходимо на случай обрыва нулевого защитного проводника со стороны источника питания.

Во избежание нарушения целостности нулевого защитного проводника в нем запрещается устанавливать выключатели и предохранители.

3. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на стенде (рис. 9.3), который позволяет имитировать "пробой" изоляции фаз на корпус электроустановки в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью, а также демонстрирует принцип действия зануления.

Включение стенда производится тумблером Р (вверх), при этом загораются индикаторные лампочки Л1, Л2, Л3. Тумблер В1 служит для включения заземления нейтрали. Выключатели В2-В10 предназначены для подключения набора сопротивлений R и емкостей С, имитирующих активное сопротивление изоляции и ёмкость фаз относительно земли. Переключатели П1 и П2 позволяют подключить различные фазы к корпусам электроустановок ЭУ1 и ЭУ2. "Пробой" изоляции осуществляется с помощью кнопок К1 и К2. Для регистрации напряжения на корпусах электроустановок применяются вольтметры V3 и V2, включающиеся соответственно тумблерами В11 и В14. Вольтметр V1 показывает линейное напряжение на стенде. Выключатели В12, В13 и В15 служат для подключения корпусов ЭУ1 и ЭУ2 к защитному заземлению Rз1 и Rз2. Подсоединение корпуса ЭУ2 к нулевому защитному проводнику осуществляется с помощью тумблера В16. Для автоматического отключения установки при "пробое" изоляции на корпус ЭУ2 используются автоматические предохранители ПР1, ПР2 и ПР3. Нулевой защитный проводник имеет повторное заземление R_n .

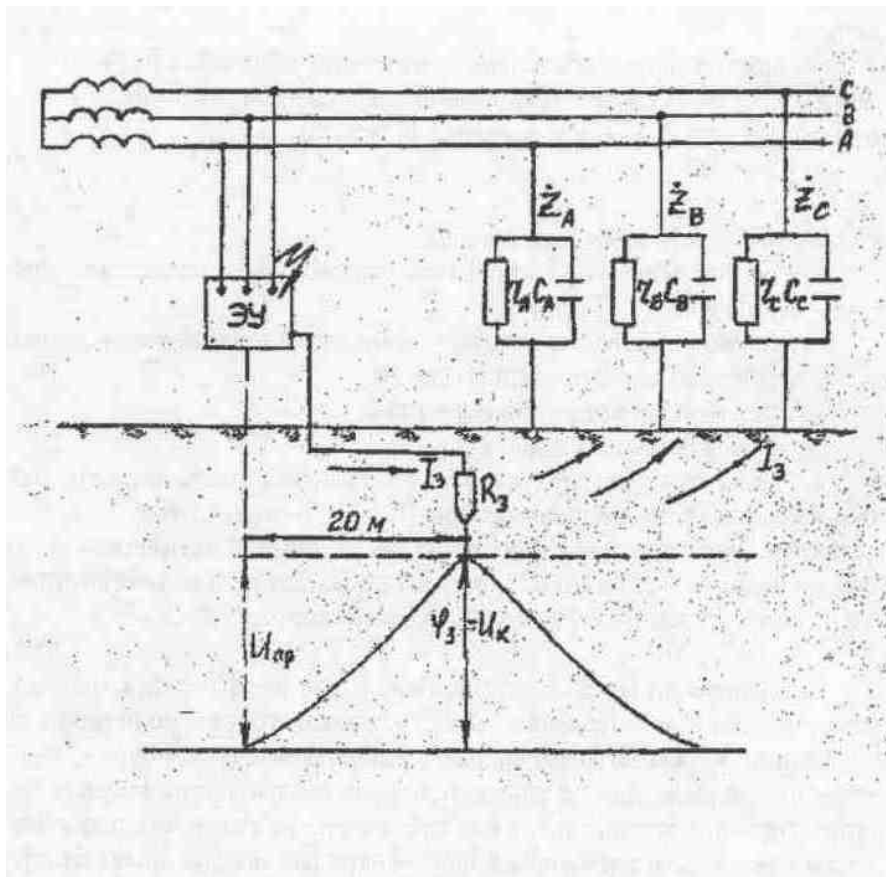


Рис.9.1, Схема защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью:

ЭУ - электрическая установка; R_3 - сопротивление защитного заземления; Z_A , Z_B , Z_C - комплекс полного сопротивления фаз относительно земли; I_3 - ток замыкания на землю

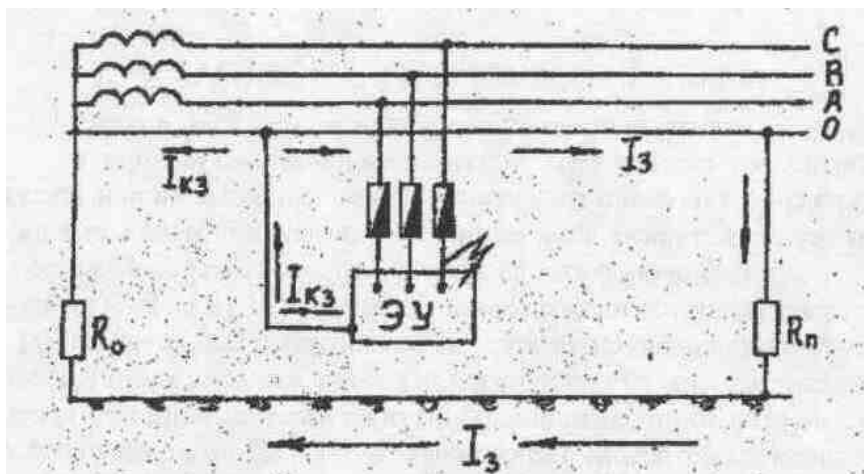


Рис.9.2, Схема зануления в трехфазных сетях с заземленной нейтралью:

ЭУ - электроустановка; АЗ - автомат защиты; R_0 - заземление нейтрали сети; R_n - заземление нулевого защитного проводника

4. Охрана труда

4.1. При выполнении лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Перед началом исследования убедиться по внешнему виду в исправном состоянии стенда.

4.3. Запрещается включать стенд при отсутствии преподавателя или лаборанта.

4.4. Замыкать кнопки К1 и К2 разрешается после подготовки и проверки схемы исследования согласно заданию.

4.5. При замеченных неполадках в схеме лабораторного стенда, неисправностях приборов, выключателей, прекратить исследования, отключить стенд от сети и поставить в известность преподавателя.

Самостоятельно устранять неисправность запрещается.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

5.1.1. Подготовить схему стенда для исследования трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Выключатели В1, В12, В13, В14, В15 и В16 поставить в положение "выключено" (вниз), а выключатели В2-В10 – в положение "включено" (вверх).

Переключатель П1 поставить в положение "А" (замыкание фазы А на корпус ЭУ1).

Включить вольтметр V3 выключателем В11.

Переключателями П3-П8 установить сопротивление изоляции фаз относительно земли соответственно R1-R4-R7 и С3-С6-С9 (наименьшее сопротивление изоляции фаз относительно земли).

5.1.2. Включить питание стенда (выключатель Р).

5.1.3. Замкнуть фазу А на корпус ЭУ 1, для чего нажать кнопку К1 и по вольтметру V3 измерить напряжение на незаземленном корпусе ЭУ1. Результат записать в таблицу 1.

5.1.4. Подключить корпус ЭУ 1 к защитному заземлению, для чего включить тумблеры В12 и В13. Произвести измерения величины тока замыкания на землю при замыкании фазы А на корпус для различных значений сопротивлений изоляции и емкостей фаз относительно земли, устанавливаемых с помощью переключателей П3-П8: 1) R1-R4-R7; 2) R2-R5-R8; 3) R3-R6-R9; 4) C1-C4-C7; 5) C2-C5-C8; 6) C3-C6-C9.

При измерениях 1,2,3 выключатели В6, В8, В10 отключить, чтобы исключить влияние емкостей фаз, а при измерениях 4,5,6 включить В6, В8, В10 и выключить В5, В7, В9 для исключения влияния активной составляющей сопротивления изоляции фаз. Замыкание фазы А производить кнопкой К1 после подготовки схемы к каждому измерению. Результаты записать в таблицу 9.1.

По формуле 9.2 подсчитать значение напряжения на заземленном корпусе, при этом принять $R_3=4 \text{ Ом}$. Результаты записать в таблицу 9.1.

5.2. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с заземленной нейтралью.

5.2.1. Подготовить схему стенда, для чего включить тумблер В1, переключатель П2 поставить в положение "В".

Выключатели В11, В12 и В13 выключить.

5.2.2. По вольтметру V2 измерить напряжение на незаземленном корпусе установки ЭУ2 при замыкании на него фазы "В". Для этого включить тумблер В14 и нажать кнопку К2.

Результат записать в таблицу 9.1.

5.2.3. Подключить корпус ЭУ2 к защитному заземлению с помощью выключателя В15. Измерить напряжение на заземленном корпусе по вольтметру V2 и ток замыкания на землю по амперметру А при замыкании фазы В на корпус ЭУ2. Результаты записать в таблицу 9.1.

5.3. Подготовить схему стенда для демонстрации действия зануления.

5.3.1. Подключить корпус ЭУ2 к нулевому защитному проводнику, для чего включить тумблер В16.

5.3.2. Проверить действие зануления при замыкании на корпус ЭУ2 фаз А, В и С. Подключение фаз к корпусу ЭУ2 осуществляется переключателем П2, замыкание на корпус кнопкой К2. Отметить в таблице 9.1 действие зануления при замыкании фаз А, В и С на корпус ЭУ2.

5.4. Отключить питание стенда выключателем Р.

5.5. Сделать вывод о эффективности защитного заземления при использовании его в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

6. Указания к составлению отчета

Назначение работы и список исполнителей. Цель работы, схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью и схема зануления в сети с заземленной нейтралью. Таблица результатов экспериментов и выводы.

7. Вопросы для самоподготовки

7.1 Назначение защитного заземления.

7.2 Область применения защитного заземления.

7.3 Принцип действия защитного заземления.

7.4 В каких сетях применяется зануление.

7.5 Принцип действия зануления.

7.6 Перечислить основные способы и средства защиты от поражения электрическим током.

Таблица 1 - Результаты экспериментов

Характеристика сети	Сопротивление изоляции фаз r, Ом, и емкость фаз относительно земли	Напряжение на незаземленном корпусе, В (при R1-R4-R7 и C3-C6-C9)	Ток замыкания на землю, А	Напряжение на заземленном корпусе, В
1.Трехфазная сеть с изолированной нейтралью	R1=R4=R7=1200			
	R2=R5=R8=2200			
	R3=R6=R9=3600			
	C1=C4=C7=0,5			
	C2=C5=C8=1,0			
	C3=C6=C9=2,0			
2. Трехфазная сеть с заземленной нейтралью;	R1-R4-R7 C3-C6-C9			
3.Трехфазная сеть с заземленной нейтралью; (зануление)	фаза А фаза В фаза С			

Литература

1. Охрана труда в электроустановках /Под ред. Б.А.Князевского, Т.П.Марусовой, Н.А.Чемалина и др. М: Энергоиздат, 1983, 336с., ил.
2. ССБТ ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования.
3. ПУЭ

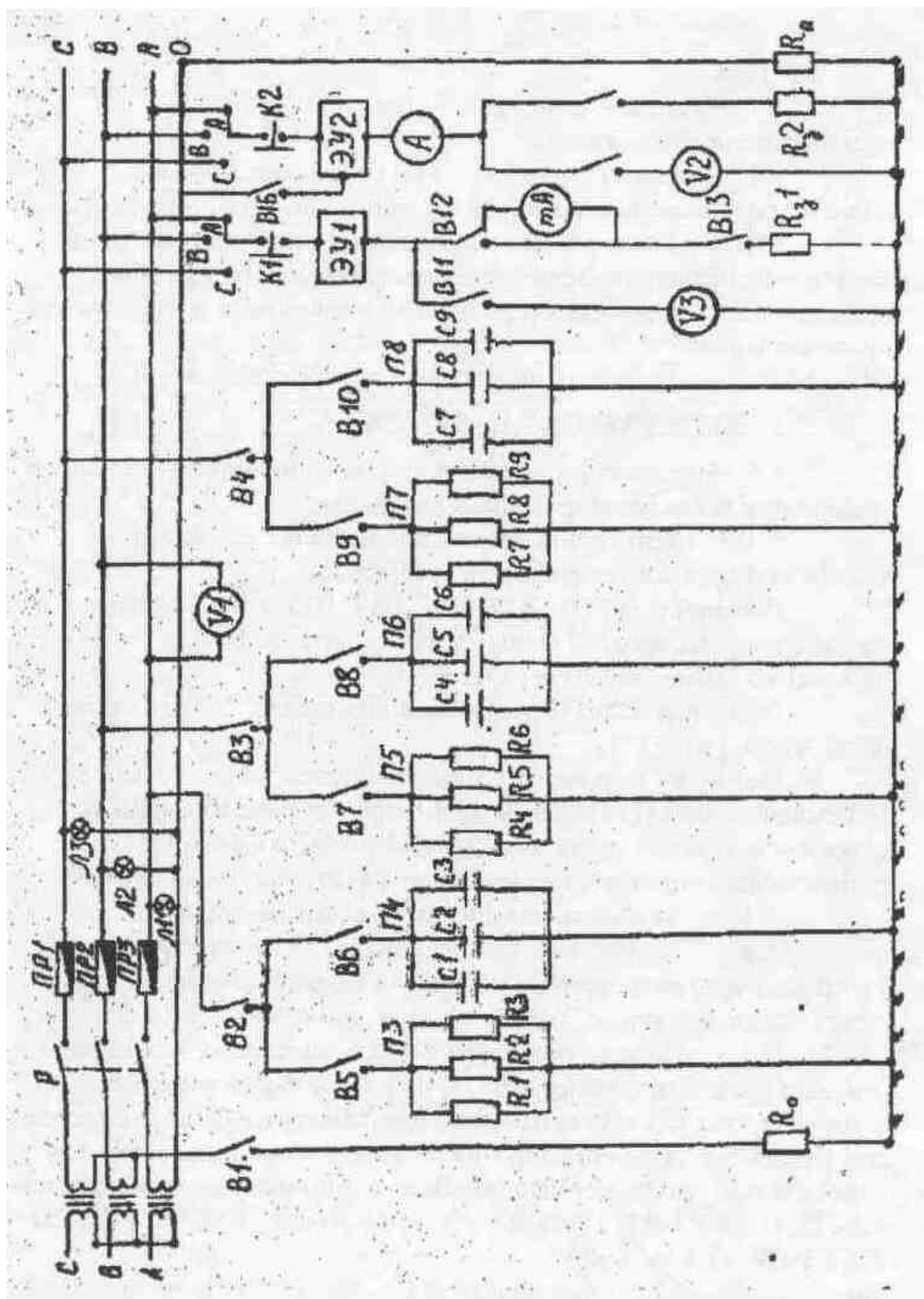


Рис. 9.3. Электрическая схема испытательного стенда

