

**Федеральное агентство по образованию  
Пермский государственный технический университет  
Кафедра электрификации и автоматизации горных предприятий**

Утверждено  
на заседании кафедры  
“ 15 ” марта 2006 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОСТОВОГО ЗАВИСИМОГО ИНВЕРТОРА**

Методическое руководство к лабораторной работе  
для студентов всех специальностей и форм обучения  
горно-нефтяного факультета

Пермь - 2006

**УДК 621.314.2(075.8)**

**Составители:** Аристов Е.В., Хузин Р.А.

**Исследование характеристик мостового зависимого инвертора:**  
Методическое руководство к лабораторной работе по курсу «Элементы систем автоматики» для студентов всех специальностей и форм обучения горно-нефтяного факультета.

Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2006, 20 с.

Приводится анализ работы мостового зависимого инвертора и зависимости для расчета его параметров и характеристик, рассмотрены аварийные режимы работы инвертора. Содержатся порядок выполнения работы, контрольные вопросы и список литературы.

## Исследование характеристик мостового зависимого инвертора

Цель работы:

1. Изучение и анализ работы трехфазного мостового зависимого инвертора.
2. Экспериментальное определение показателей и характеристик трехфазного мостового зависимого инвертора.
3. Исследование работы однофазного мостового зависимого инвертора при опрокидывании.

### Основные теоретические положения

Устройства преобразования переменного тока в постоянный характеризуются передачей активной мощности из питающей сети переменного тока в цепь постоянного тока – цепь нагрузки. В таких устройствах нередко требуется рекуперация энергии из цепи постоянного тока в цепь переменного тока. В электроэнергетике это имеет место в передачах электроэнергии постоянным током. Подобная ситуация возникает и в тех случаях, когда выпрямительное устройство питает якорную цепь машины постоянного тока в системе электропривода какого-либо транспортного средства или грузоподъемного механизма. При движении транспорта под уклон или грузоподъемного механизма вниз (с грузом) машина постоянного тока переходит из двигательного режима работы в генераторный за счет механической энергии, подводимой к ней от исполнительного механизма. Эту энергию можно полезно использовать, преобразовав в электрическую и возвратив в цепь переменного тока.

Устройства, предназначенные для преобразования постоянного тока в переменный называются *инверторами*.

Очевидно, что изменение направления потока активной мощности в звене постоянного тока при сохранении неизменным его направления в силу наличия вентиля возможно только сменой полярности напряжения. Это изменение обеспечивается в соответствии с уравнением регулировочной характеристики управляемого вентильного преобразователя при углах регулирования  $\alpha > 90^0$ . При этом сдвигается кривая тока в первичной обмотке трансформатора, а значит и его первая гармоника, на угол  $\varphi_{1(1)} = \alpha$ . Тогда при  $\varphi_{1(1)} > 90^0$  изменится и знак активной мощности в цепи переменного тока вентильного преобразователя, т.е. действительно будет происходить отдача мощности в сеть переменного тока, а не ее потребление из сети, как в случае режима управляемого выпрямления.

*Зависимым инвертором* называется инвертор, частота, форма и величина выходного напряжения которого определены внешней сетью.

Назначение зависимого инвертора сводится к поставке дополнительной активной мощности в существующую систему переменного напряжения.

В случаях, когда требуется быстро и эффективно вывести накопленную энергию из обмоток путем сброса с них тока, полярность напряжения на

обмотке необходимо изменить на обратную, что также обеспечивает в вентильном преобразователе увеличением угла регулирования  $\alpha$  за  $90^\circ$ . В момент спада тока до нуля режим зависимого инвертирования естественно прекратится, так как исчезнет источник временной энергии в звене постоянного тока.

Таким образом, выпрямители и зависимые инверторы имеют одинаковые принципиальные схемы преобразования, но зависимые инверторы не могут быть выполнены на неуправляемых вентилях.

### Основные расчетные соотношения трехфазного мостового зависимого инвертора.

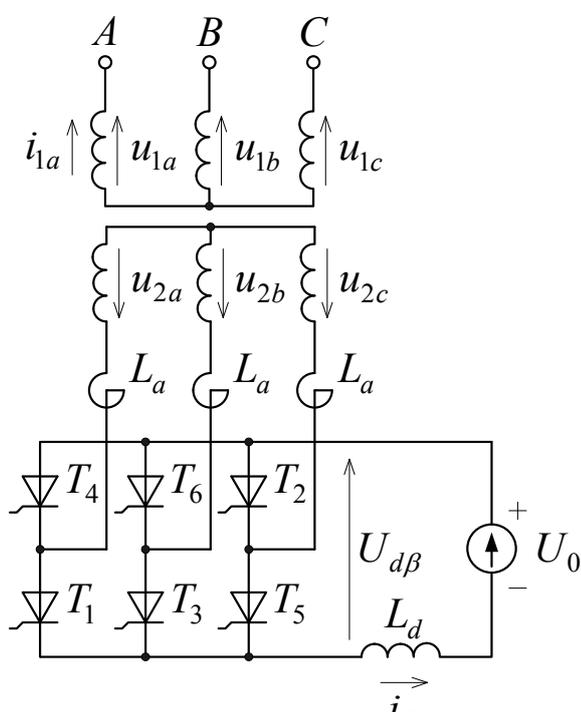


Рис. 1. Схема трехфазного мостового зависимого инвертора с учетом параметра  $L_a$  реального трансформатора

Во-первых, значительно меньшая длительность интервала приложения к вентилю обратного напряжения:

$$\delta = \beta - \gamma \geq \delta_{в},$$

которая должна быть больше паспортного времени восстановления управляющих свойств вентиля с неполным управлением (тиристоров)  $\delta_{в}$ . Эта особенность ограничивает минимально возможное значение угла регулирования  $\beta$  в инверторном режиме величиной:

$$\beta_{\min} = \gamma_{\max} + \delta_{в}.$$

Схема трехфазного мостового зависимого инвертора с учетом параметра  $L_a$  реального трансформатора показана на рис. 1, а временные диаграммы на при допущении  $X_d = \infty$  приведены на рис. 2.

Для расчета характеристик зависимого инвертора удобнее вместо угла  $\alpha$  пользоваться углом регулирования  $\beta$ , дополняющим угол  $\alpha$  до  $180^\circ$ :

$$\alpha + \beta = 180^\circ.$$

Это делает все зависимости характеристик от угла  $\beta$  в инверторе подобными зависимостям соответствующим характеристикам от угла  $\alpha$  в выпрямителе.

Методика построения временных диаграмм та же, что и при выпрямительном режиме работы. Для инверторного режима характерны две особенности временных диаграмм.

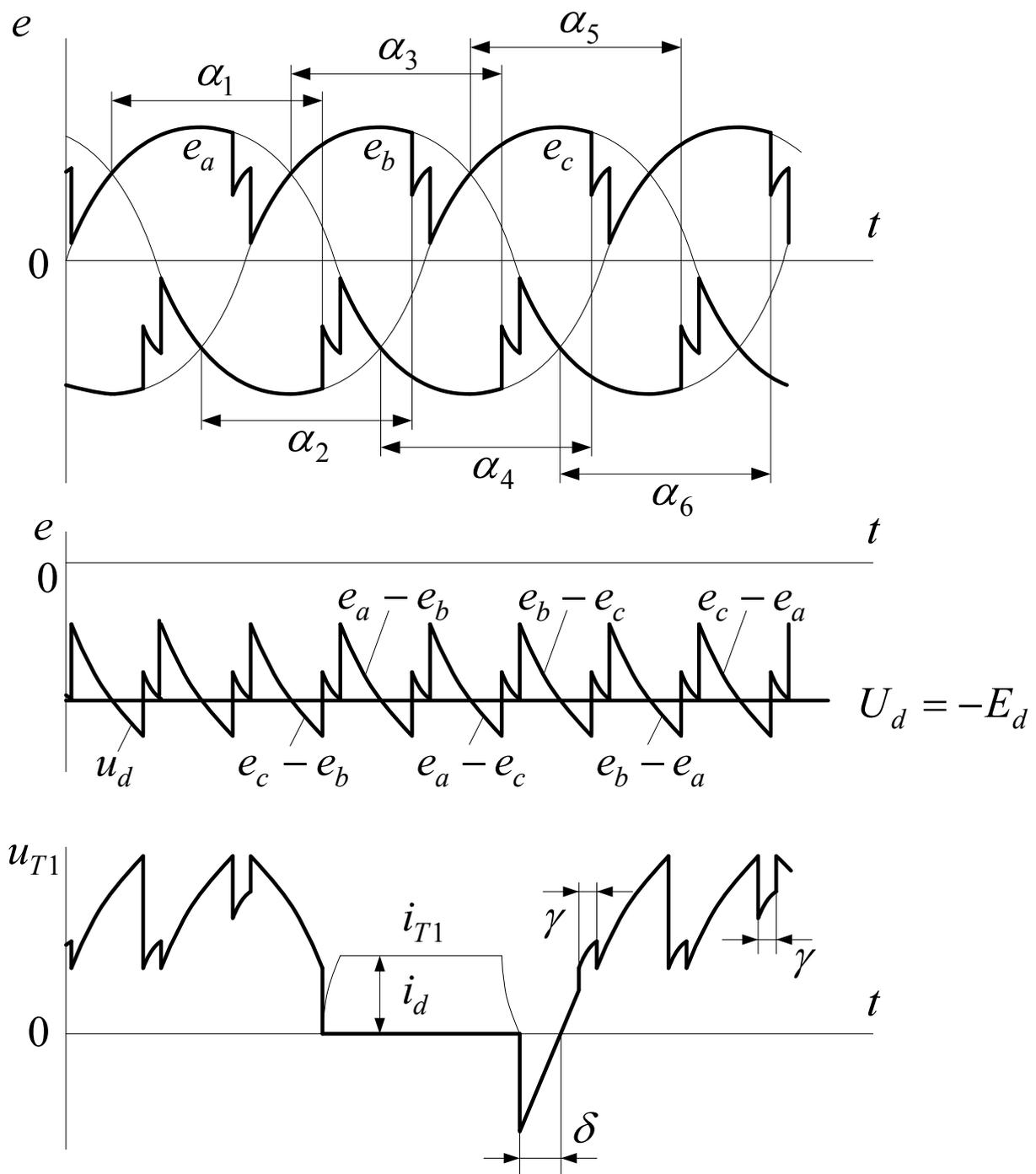


Рис. 2. Временные диаграммы работы трехфазного мостового зависимого инвертора

Методика расчета зависимого инвертора аналогична методике расчета выпрямителя с той только особенностью, что минимальный угол регулирования в инверторном режиме  $\beta_{\min}$  не может быть равен нулю, в то время как расчетный режим выпрямителя выполняется при  $\alpha = 0$ .

При малых значениях углов регулирования  $\beta$  в инверторном режиме углы вступления вентилей в работу  $\alpha$  близки  $180^\circ$ .

### **Входная характеристика трехфазного мостового зависимого инвертора**

Входом преобразователя в режиме зависимого инвертирования является цепь постоянного тока, поэтому здесь значима зависимость среднего значения инвертируемого напряжения  $U_d$  от среднего значения инвертируемого тока  $I_d$  при постоянном угле регулирования  $\beta$ , называемая *входной характеристикой зависимого инвертора*. Формально ее уравнение получается из уравнения внешней характеристики управляемого выпрямителя, нагруженного на противоЭДС при замене в ней  $\alpha$  на  $\beta$ :

$$U_{d\beta} = -\frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_{2m} \left( \cos \beta + \frac{x_a I_d}{\sqrt{3} E_{2m}} \right). \quad (1)$$

Знак минус у напряжения  $U_{d\beta}$  подтверждает смену полярности напряжения в звене постоянного тока инвертора по сравнению с выпрямителем. Смена знака здесь у среднего значения коммутационного падения напряжения  $\Delta U_x$  свидетельствует о том, что входные характеристики инвертора поднимаются с ростом тока с таким же наклоном, с каким падают внешние характеристики выпрямителя.

В случае если вентильный преобразователь поочередно работает в выпрямительном и инверторном режимах, их внешние и входные характеристики изображают на совместном графике соответственно в первом и четвертом квадрантах.

### **Коэффициент полезного действия зависимого инвертора**

Коэффициент полезного действия зависимого инвертора:

$$\eta = \frac{P_1}{P_d} = \frac{P_d - \Delta P}{P_d}, \quad (2)$$

где  $P_1$  - активная мощность, отдаваемая инвертором в сеть переменного тока;

$P_d$  - активная мощность, потребляемая инвертором от источника постоянного тока.

$\Delta P$  - потери активной мощности внутри вентильного преобразователя, которые складываются из потерь в трансформаторе  $\Delta P_T$ , вентилях  $\Delta P_B$ , фильтре  $\Delta P_\Phi$ , системе управления  $\Delta P_Y$ :

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_B + \Delta P_\Phi + \Delta P_Y. \quad (3)$$

Потери в трансформаторе состоят из потерь в стали трансформатора и потерь в меди обмоток. Первые можно приравнять потерям, определенным из опыта холостого хода  $\Delta P_{XX}$ , когда магнитный топик номинальный, а токов в обмотке нет (пренебрегая током намагничивания). Вторые при номинальной нагрузке можно приравнять потерям, определенным из опыта короткого замыкания  $\Delta P_{КЗ}$ , когда в обмотках трансформатора протекают номинальные токи, а магнитного потока практически нет при малых значениях напряжения короткого замыкания трансформатора, прикладываемого в этом опыте к первичным обмоткам трансформатора. Тогда

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{КЗ} \left( \frac{I_d}{I_{дН}} \right)^2. \quad (4)$$

Потери активной мощности в вентилях складываются из потерь от протекания прямого анодного тока через открытый вентиль  $\Delta P_{ПР}$ , протекания обратного тока через закрытый вентиль  $\Delta P_{ОБ}$ , потерь на переключение, связанных с конечными временами включения и выключения вентиля,  $\Delta P_{ПЕР}$ :

$$\Delta P_B = \Delta P_{ПР} + \Delta P_{ОБ} + \Delta P_{ПЕР}. \quad (5)$$

Для упрощения расчета  $\Delta P_{ПР}$  нелинейная вольт-амперная характеристика вентиля в прямом направлении аппроксимируется кусочно-линейными зависимостями. Это приводит к схеме замещения вентиля в прямом направлении, состоящей из источника постоянного напряжения  $\Delta U_0$  (напряжение отсечки) и активного динамического сопротивления  $R_{дин}$ . Тогда активная мощность, выделяемая в такой цепи, будет равна:

$$\Delta P_{ПР} = I_a \Delta U_0 + I_{А.д}^2 R_{дин} = I_a \Delta U_0 + I_a^2 K_\Phi^2 R_{дин}. \quad (6)$$

Потери активной мощности при действии на вентиле обратного напряжения  $\Delta P_{ОБ}$ , как правило, пренебрежимо малы в силу малости обратного тока вентиля.

Потери активной мощности при переключении вентиля также относительно невелики по сравнению с  $\Delta P_{ПР}$  при частотах переключения (частоте питающего напряжения), не превышающей 400 Гц. При работе вентилях на высоких частотах эти потери становятся заметными или даже основными в общих потерях. В этих случаях расчет потерь на переключение существенно определяется формами токов и напряжений вентиля.

Активная мощность в звене постоянного тока  $P_d$  в общем случае при конечном значении сглаживающего реактора  $P_d$  равна сумме активных мощностей от взаимодействия одноименных гармоник напряжения и тока:

$$P_d = \sum_{k=0}^{\infty} P_{d(k)} = \sum_{k=0}^{\infty} U_{d(k)} I_{d(k)} \cos \varphi_{(k)} \quad (7)$$

При идеально сглаженном токе ( $X_d = \infty$ ) получаем

$$P_d = U_d I_d. \quad (8)$$

Знание  $P_d$  и  $\Delta P$  позволяет рассчитывать КПД преобразователя в зависимости от изменения нагрузки или при регулировании  $U_d$ .

### Коэффициент мощности зависимого инвертора

Как известно, коэффициент мощности преобразователя с синусоидальными напряжениями и несинусоидальными токами определяется выражением

$$\chi = \frac{P_1}{S_1} = \nu |\cos \varphi_{(1)}|, \quad (9)$$

где  $P_1$  - активная мощность, отдаваемая инвертором в сеть переменного тока;  $S_1$  - полная мощность инвертора;  $\nu = I_{(1)} / I$  - коэффициент искажения, равный отношению действующего значения первой гармоники тока к действующему значению тока;  $\varphi_{(1)}$  - угол сдвига фаз между напряжением и первой гармоникой

тока.

Если положительные направления токов и напряжений (ЭДС) на выходе преобразователя (в трансформаторе) считать одинаковыми в режимах выпрямления и инвертирования, то активная мощность, будучи положительной при выпрямлении, оказывается отрицательной при инвертировании. Это способствует передаче энергии от источника постоянного тока в сеть переменного тока. Тогда значение  $\cos \varphi_{(1)}$  получается также отрицательным. Коэффициент же мощности  $\chi$  принято считать положительным. Именно поэтому в

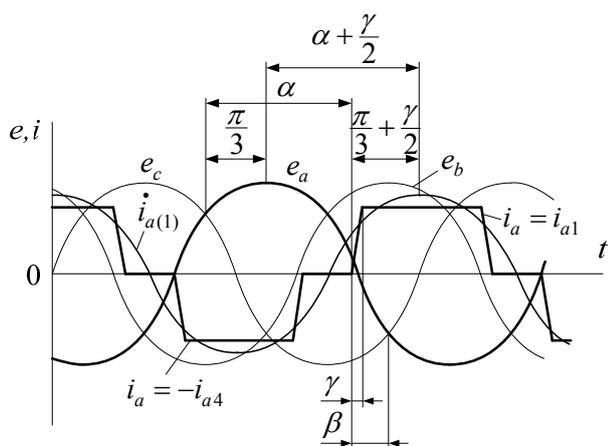


Рис. 3. Временные диаграммы тока фазы и ЭДС трансформатора трехфазного мостового инвертор, ведомого сетью.

выражении (9) берут абсолютные величины активной мощности и  $\cos \varphi_{(1)}$ .

Для определения  $\varphi_{(1)}$  аппроксимируем ток в вентилях и обмотках трансформатора трапецией. На рис. 3. показаны временные диаграммы тока фазы и ЭДС трансформатора трехфазного мостового инвертора.

Током намагничивания трансформатора пренебрегаем. Такими же будут токи и ЭДС сетевой обмотки трансформатора в инверторе с уравнительным реактором, так что коэффициент мощности в обоих случаях одинаков.

Очевидно, ось симметрии трапецеидального тока совпадает во времени с максимумом первой гармоники этого тока  $i_{a(1)}$ . Угол сдвига фаз находим между моментами времени, соответствующими максимумам ЭДС и тока фазы а, этот угол равен

$$\varphi = \alpha + \frac{\pi}{3} + \frac{\gamma}{2} - \frac{\pi}{3} = \alpha + \frac{\gamma}{2}. \quad (10)$$

Учитывая, что  $\alpha = \pi - \beta$  и что в режиме инвертирования  $\beta < \frac{\pi}{2}$  получаем:

$$|\cos \varphi_{(1)}| = \left| \cos \left( \alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right| = \left| \cos \left( \beta - \frac{\gamma}{2} \right) \right| \quad (11)$$

Таким образом,

$$\chi = \nu \cos \left( \beta - \frac{\gamma}{2} \right) \quad (12)$$

Коэффициент искажения формы тока при мгновенной коммутации (когда форма тока прямоугольная) равен  $3/\pi \approx 0,955$ ; с увеличением угла коммутации коэффициент искажения повышается, достигая величины 0,966 при  $\gamma = 40^\circ$ .

Из выражения (12) видно, что для повышения коэффициента мощности инвертора следует стремиться, чтобы инвертор работал с меньшими углами опережения  $\beta$ . Однако, как было выяснено, уменьшение угла  $\beta$  приводит к уменьшению угла  $\delta = \beta - \gamma$  и соответственно к увеличению вероятности опрокидывания инвертора.

## Аварийные режимы работы зависимых инверторов

Характерной особенностью работы зависимого инвертора является то, что в течении времени, большего половины непроводящей части периода, напряжение на тиристоре положительно и он удерживается в запертом состоянии лишь управляющим импульсом, поскольку отрицательная постоянная составляющая напряжения  $U_d$  может уравновешиваться лишь положительной постоянной составляющей напряжения на тиристоре.

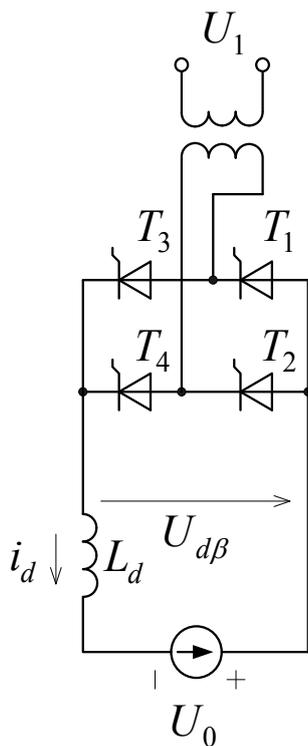


Рис. 4. Схема однофазного мостового зависимого инвертора.

Тиристор должен успеть восстановить свои запирающие свойства за промежуток времени, в течении которого напряжение на тиристоре, вышедшем из работы, остается отрицательным. Этому времени соответствует угол  $\delta$  (рис. 2). В противном случае тиристор вступает в работу, т.е. начинает проводить ток. ЭДС вентильной обмотки при этом не препятствует, как это должно быть при инвертировании, а содействует протеканию тока. Поэтому ток под действием двух согласно направленных ЭДС – ЭДС вентильной обмотки трансформатора и ЭДС внешнего источника цепи постоянного тока – резко возрастает.

Этот режим является аварийным и называется опрокидыванием инвертора. Таким образом для устойчивой работы инвертора необходимо, чтобы угол  $\delta$  превышал угол восстановления запирающих свойств тиристора.

Возможна и другая причина опрокидывания инвертора, связанная с неполадкой в управлении тиристором – пропуск отпирания очередного тиристора. Если не произошла коммутация в тиристоре  $T_2$  (см. рис. 4), в работе остается вентиль  $T_1$ ; выпрямленное напряжение становится положительным и, действуя, согласно с противоЭДС, приводит к нарастанию тока, т.е. аварийный процесс имеет тот же характер, как и повторном вступлении тиристора в работу. Развитие этого процесса зависит от величины индуктивности сглаживающего реактора в цепи выпрямленного тока; в случае одиночного пропуска отпирания или одиночного повторного вступления тиристора в работу инвертор может восстановить нормальный режим без отключения. Из-за достаточно большой индуктивности сглаживающего реактора аварийный ток нарастает медленно, и через период после пропуска может произойти коммутация тока в тиристоре  $T_2$ , после чего втягивается в нормальную работу (правда, угол запаса  $\delta$  тиристора  $T_1$  оказывается очень малым, поскольку произошла коммутация большого тока). При небольшой индуктивности сглаживающего реактора аварийный ток нарастает быстро и через период после пропуска коммутации на тиристор  $T_2$  не может завершиться – ток слишком велик. После этого ток продолжает нарастать до отключения инвертора. Опрокидывание инвертора может произойти и вследствие уменьшения напряжения сети.

Учитывая отмеченные особенности; индуктивность сглаживающего реактора при инвертировании тока следует выбирать гораздо больше, чем при выпрямлении.

## Экспериментальные исследования.

Задание:

1. Получить естественную входную характеристику трехфазного мостового инвертора.
2. Получить параметры и показатели, характеризующие работу трехфазного мостового зависимого инвертора.
3. Исследование работы трехфазного мостового зависимого инвертора при опрокидывании.

### Порядок выполнения работы.

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рис. 5 и рис. 6.
- Переключатели реостата A10 установите в положение «50 Ом».
- Переключатели блока дросселей A11 установите в положение «3 Гн».
- Переключатели номинальных фазных напряжений вторичных полуобмоток трансформаторов A3 и A4 установите в положение «73 В».
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A18 установите в положение «1:1»
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A19, войдите в каталог с программным обеспечением учебного комплекса и запустите прикладную программу «ВП Преобразовательная техника.exe».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока датчиков тока и напряжения A17. Регулировочную рукоятку автотрансформатора A13 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя A8.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя A8, установите по его индикатору желаемое значение угла управления  $\alpha$  (указывается преподавателем).
- Нажмите кнопку «3Ф ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» на лицевой панели преобразователя A8 и удерживайте ее до тех пор, пока не загорится расположенный рядом с ней светодиод.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1, P2.
- Включите источник G1. О наличии фазных напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора A13.

- Выберите режим работы каналов запущенной программы, а именно переключатель режима работы каналов входов АСН0-АСН8, АСН2-АСН10 и АСН4-АСН12 установите в положение «3А/3В», входов АСН1-АСН9, АСН3-АСН-11 и АСН5-АСН13 - в положение «600В/3В».

**Опыт №1. Снятие естественной входной характеристики  $U_d = f(I_d)$  трехфазного мостового зависимого инвертора.**

1. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А13 по часовой стрелке добейтесь появления входного тока  $I_d$  инвертора А8 (ток контролируйте по амперметру Р1.1), то есть запуска инвертора А8.
2. Продолжая вращать регулировочную рукоятку автотрансформатора А13 в ту же сторону, увеличивайте входной ток  $I_d$  инвертора А8 (не *превышая 1,0 А*) и записывайте показания вольтметра Р1.1 и амперметра Р1.2 в табл. 1.

Таблица 1.

$I_d, A$						
$U_d, B$						

3. Используя данные таблицы 1 постройте график естественной входной характеристики трехфазного мостового зависимого инвертора.

**Опыт №2. Определение параметров и показателей, характеризующих работу трехфазного мостового зависимого инвертора.**

В главном меню программы «ВП преобразовательная техника» выберите пункт «Параметры преобразователей». В раскрывающемся списке нового окна выберите пункт «Параметры инвертора». На экране отобразятся рассчитанные параметры, а именно:

- Коэффициент полезного действия инвертора

$$\eta = \frac{P_2}{P_d},$$

где  $P_2$  - активная мощность, отдаваемая инвертором в сеть переменного тока;

$P_d$  - активная мощность, потребляемая инвертором от источника постоянного тока.

- Коэффициент мощности инвертора:

$$\chi = \frac{P_2}{S_2},$$

где  $S_2$  - полная мощность, отдаваемая инвертором в сеть переменного тока.

- Коэффициент искажения кривой тока, отдаваемого инвертором в сеть переменного тока

$$\nu = \frac{I_{(1)}}{I},$$

где  $I, I_{(1)}$  - действующие значения тока, отдаваемого инвертором в сеть переменного тока и его первой гармоники.

- Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$k_{\text{пульс}} = \frac{U_{d\sim}}{U_d},$$

где  $U_{d\sim}$  - действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения;

$U_d$  - среднее значение выпрямленного напряжения.

### **Опыт №3. Изучение аварийного режима работы зависимого инвертора (опрокидывание инвертора).**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рис. 7 и рис. 8.
- Переключатели реостата A10 установите в положение «70 Ом».
- Переключатели блока дросселей A11 установите в положение «3 Гн».
- Переключатели номинальных фазных напряжений вторичных полуобмоток трансформаторов A3 и A4 установите соответственно в положение «73 В» и «127 В».
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A18 установите в положение «1:1»
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока датчиков тока и напряжения A17. Регулировочную рукоятку автотрансформатора A13 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя A8.
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя A8, установите по его индикатору желаемое значение угла управления  $\alpha$  (такой же как и в опыте №1)
- Нажмите кнопку «1Ф ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» на лицевой панели преобразователя A8 и удерживайте ее до тех пор, пока не загорится расположенный рядом с ней светодиод.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Включите источник G1. О наличии фазных напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора A13.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A19, войдите в каталог с программным обеспечением учебного комплекса и запустите прикладную программу «Опрокидывание инвертора.exe».
- Задайте параметры записи, нажав на соответствующую виртуальную кнопку.
  1. Ток КЗ (короткого замыкания): **0,8 А**;
  2. Время записи предварительного режима: **0,5 с**;
  3. Время записи режима КЗ: **3 с**;
  4. Частота сканирования: **10000**.
- Для начала сбора данных нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись» на экране компьютера.
- Вращая по часовой стрелке рукоятку автотрансформатора A13, плавно увеличивайте его выходное напряжение до тех пор, пока сбор данных не прекратится (виртуальная кнопка «Начать запись» не станет активной, а кнопка «Остановить запись» - неактивной). Сразу после этого отключите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора A13 и поверните его регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора.
- Изучите переходный процесс по осциллограммам токов и напряжений, которые отобразятся на экране монитора компьютера.
- При работе с программой следует использовать ее возможности:
  - масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх;
  - двигать график напряжения относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону;
  - для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.

Перечень аппаратуры используемой в экспериментах

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400В $\sim$ ; 16А
A1,A2	Линейный реактор	314.2	0,5 А; 50 Гц 0,3 Гн / 9 Ом
A3,A4	Преобразовательный трансформатор	333.2	Первичная обмотка: Y – 380 В / 320 В*А; 2 вторичные обмотки: 0,5 А каждая / номинальные фазные напряжения 42, 73, 125 В
A8	Тиристорный преобразователь / регулятор	207.2	3 x 400В $\sim$ / 2 А 6 тиристоров
A10	Реостат	323.2	2x0..100 Ом / 1А
A11	Блок дросселей	342	2x3 Гн / 0,5 А
A13	Регулируемый автотрансформатор	318.1	0...240 В / 2 А
A14	Выпрямитель	322	Трехфазный мост 3x400 В / 2 А
A15	Сглаживающий конденсатор	339	350 В / 1000 мкФ
A17	Блок датчиков тока и напряжения	402.1	3 измерительных преобразователя “ток-напряжение” 3 А / 3 В; 3 измерительных преобразователя “напряжениянапряжение” 600 В / 3 В
A18	Коннектор	330	8 аналог. Диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов / выходов
A19	Персональный компьютер	550	IBM совместный, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E
P1,P2	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0...1000В $\approx$ ; 0...10 А $\approx$ ; 0...20 МОм

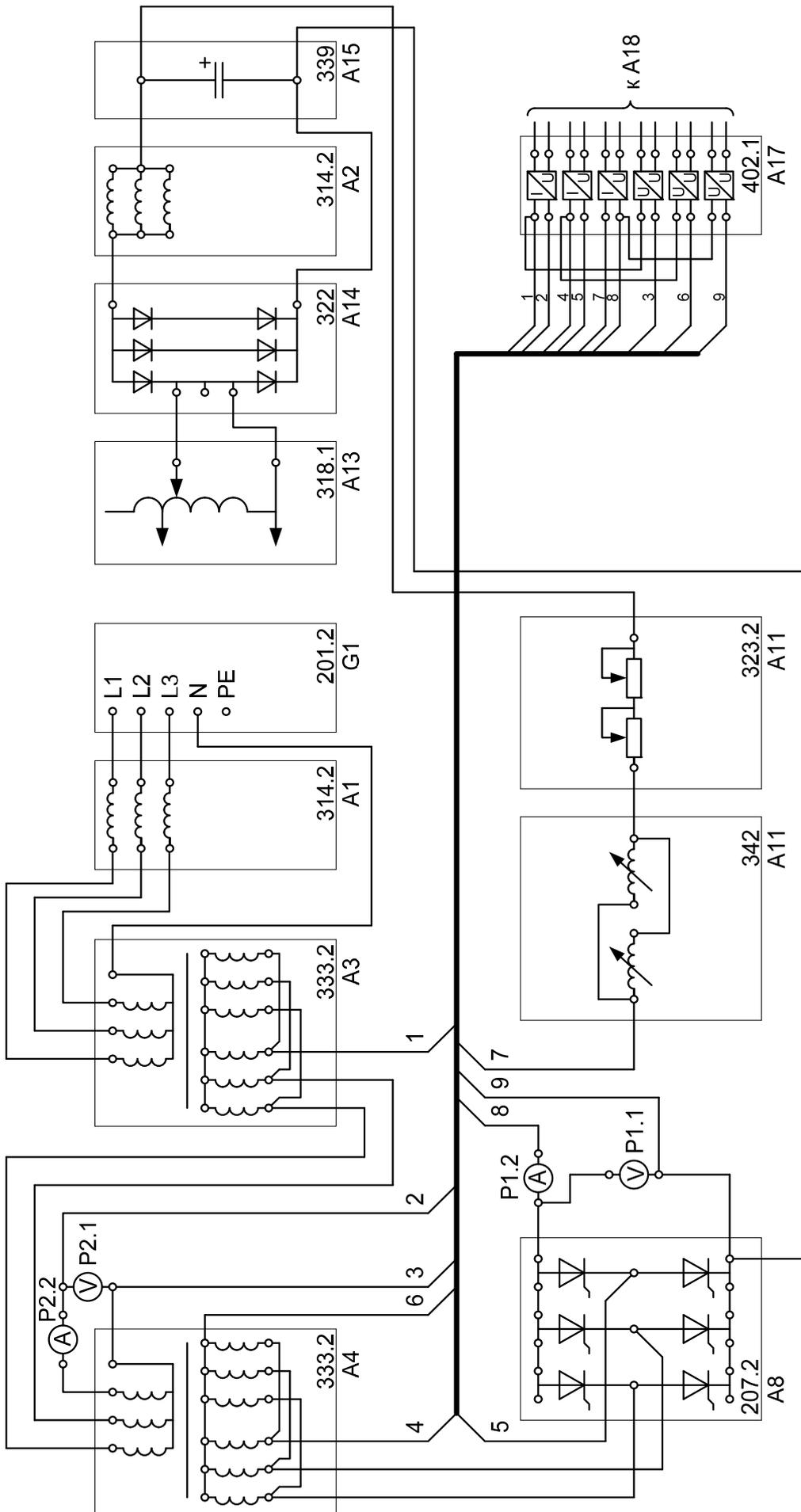


Рис. 5. Электрическая схема соединений

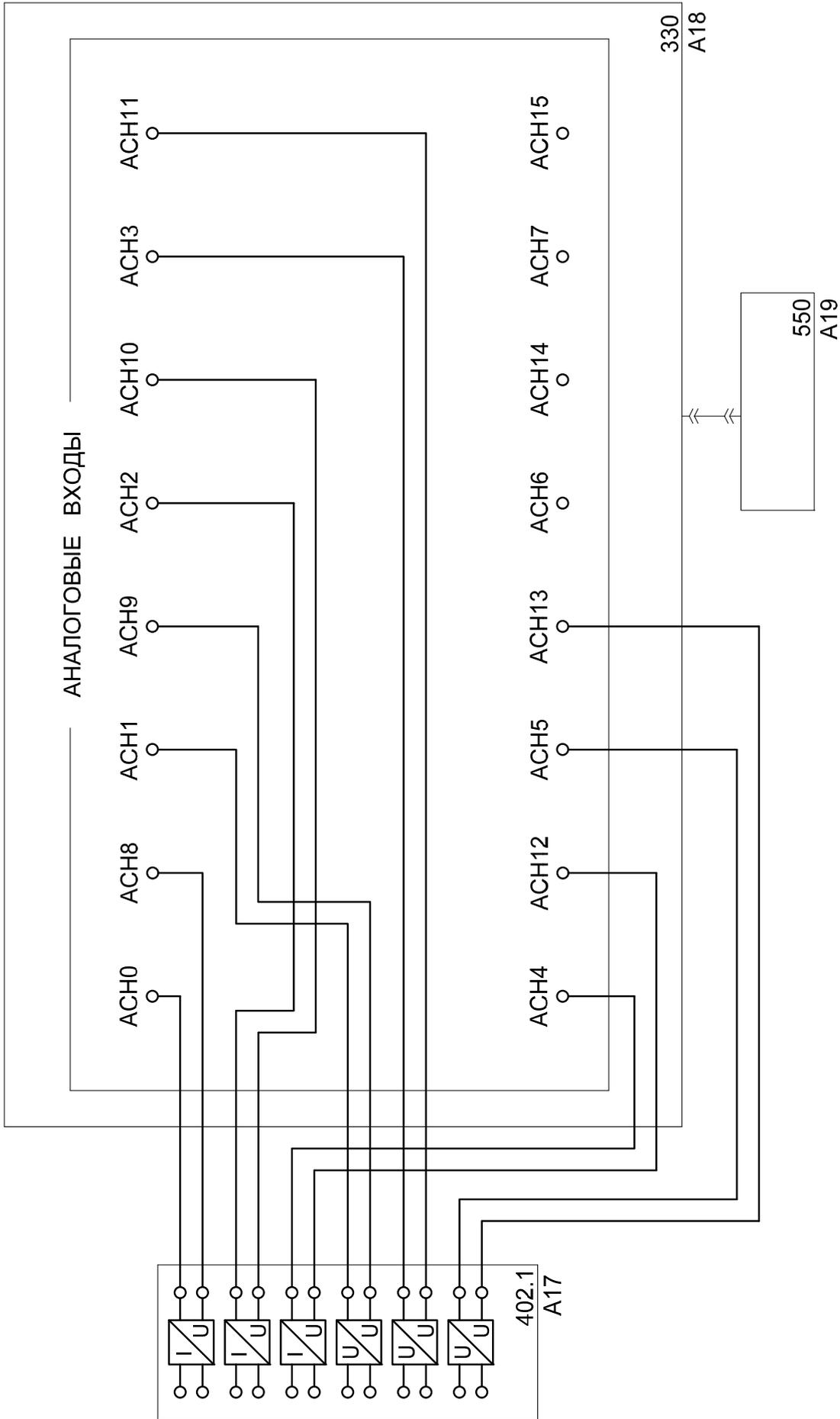


Рис. 6. Электрическая схема соединений

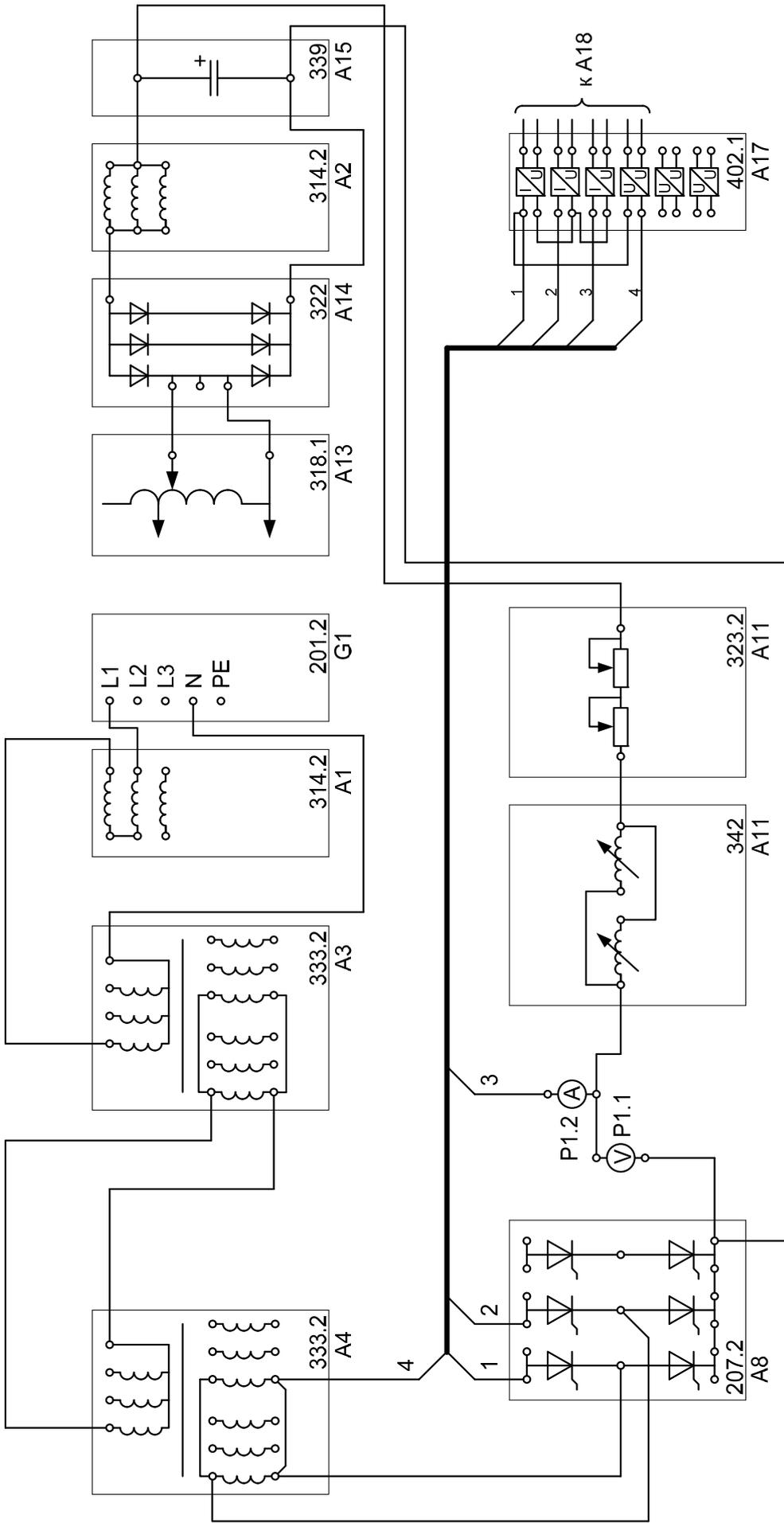


Рис.7. Электрическая схема соединений

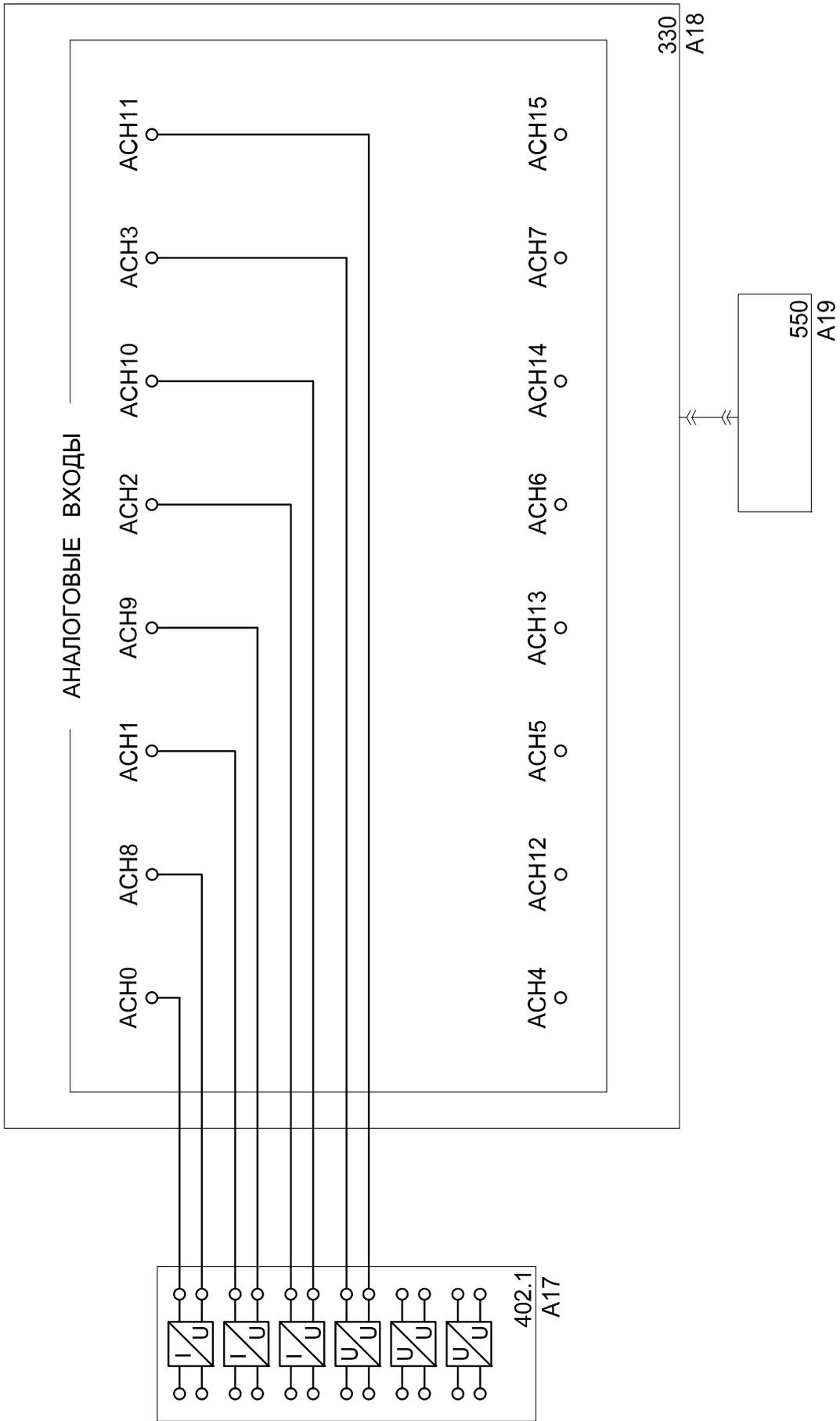


Рис.8. Электрическая схема соединений

## **Содержание отчета.**

Отчет оформляется каждым студентом и должен содержать следующее:

1. Название работы, фамилию и инициалы исполнителя, группу, дату выполнения работы.
2. Цель работы
3. Краткие теоретические сведения
4. Электрическую схему экспериментальной установки.
5. Таблицы измеренных и вычисленных величин.
6. По одному числовому примеру нахождения каждой из вычисляемых величин.
7. Результаты исследований в графическом исполнении.
8. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Объясните разницу между режимами выпрямления и инвертирования тиристорного преобразователя?
2. Условия перехода преобразователя из режима выпрямления в режим инвертирования?
3. Из чего складываются потери активной энергии внутри преобразователя при работе его в режиме инвертирования?
4. Опрокидывание инвертора?
5. Для чего цепь выпрямленного тока инвертора содержит большую индуктивность?
6. Какие ограничения накладываются на угол опережения для осуществления нормальной работы преобразователя в режиме инвертирования?
7. Как необходимо изменить угол опережения, чтобы повысить коэффициент мощности инвертора?

## **Литература**

1. Зиновьев Г.С. “Основы силовой электроники”, Новосибирск, НГТУ, 2003.
2. В.С. Руденко и др. “Основы преобразовательной техники”, М.: Высшая школа, 1980.
3. “Справочник по преобразовательной технике” под редакцией Чиженко М.И., Киев, Техника, 1978.