

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум способствует усвоению, закреплению пройденного материала, проверке знаний и содержит основные рекомендации, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Электроснабжение», квалификация «Бакалавр техники и технологии».

Дисциплина «Электрические станции и подстанции» изучается в течении двух семестров. Лабораторный практикум по дисциплине разбит на две части: часть I — способы пуска, самозапуска синхронных и асинхронных электродвигателей, автономная работа синхронного генератора; часть II — способы включения на параллельную работу и управление режимами синхронных генераторов. Работы выполняются последовательно друг за другом (1, 2, 3, 4, 5 — первый цикл (в первом семестре изучения дисциплины); 6, 7, 8, 9 — второй цикл (во втором семестре изучения дисциплины)).

В настоящем лабораторном практикуме описан практический материал, выполняемый с помощью учебного программно-методического комплекса «Производство электрической энергии» на базе комплекта типового лабораторного оборудования «Модель одномашинной электрической системы с узлом комплексной нагрузки». В ходе лабораторных работ воспроизводится работа электрических машин переменного тока в различных режимах с одновременной регистрацией параметров машины и электрической сети.

Аппаратная часть комплекта выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- спроектированные с учебными целями натурные аналоги элементов электрической системы;
- источники питания;
- измерительные преобразователи и приборы;
- IBM-совместимый персональный компьютер с встроенной платой ввода/вывода информации фирмы National Instruments;
- составной лабораторный стол с встроенными контейнерами для хранения проводников и методических материалов, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков, выкатной полкой для клавиатуры компьютера и подставкой для системного блока последнего.

Питание модели осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением 380 В с нейтральным и защитным проводниками.

Программная часть комплекса включает:

- программную среду персонального компьютера (Windows XP);
- комплект специальных программ на языке Delphi 6.

Выполнение лабораторной работы позволяет экспериментально проверить основные положения теории, приобрести навыки по чтению и сборке электрических схем, содержащих электрические машины, трансформаторы, пускорегулирующую аппаратуру, измерительные устройства.

Прежде чем приступать к выполнению лабораторной работы, необходимо тщательно изучить содержание работы и порядок ее выполнения; повторить теоретический материал. Студент должен иметь отдельную рабочую тетрадь для записей, необходимых для составления отчета о проделанной работе.

Лабораторные работы выполняются бригадами, обычно из 3–5 человек. При завершении работы студенты составляют отчет.

В содержании отчета должны быть отображены: название лабораторной работы, цель, программа исследований, паспортные данные оборудования и приборов, схемы проведенных экспериментов, выводы по работе, содержащие практическую оценку экспериментов. Схемы и графики следует выполнять аккуратно с применением чертежных инструментов, все обозначения схем должны соответствовать ЕСКД.

Каждый студент после оформления отчета осуществляет его защиту. Преподаватель проводит индивидуальный, бригадный или в форме технической игры опрос студентов по вопросам теории, методике выполнения работы, по анализу графиков и использованию результатов исследования на практике.

Лабораторная работа засчитывается, если отчет соответствует предъявляемым требованиям и если студент ответил на вопросы преподавателя. При этом студент должен знать устройство и принцип работы объекта исследования, назначение всех элементов схемы и понимать физические процессы, объясняющие полученные результаты, а также уметь объяснить порядок действий при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

Отчет с ошибками подлежит переработке и защищается в дополнительное, назначенное преподавателем, время.

Студенты, которые по каким-либо причинам отсутствовали на лабораторном занятии, выполняют пропущенные лабораторные работы в другое, назначенное преподавателем время.

Невыполнение и/или незащита студентом отчёта хотя-бы по одной из лабораторных работ является основанием для принятия решения о неполучении зачета или недопуске его к экзамену по дисциплине.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

САМОЗАПУСК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1. Цель работы

Анализ процесса самозапуска одного асинхронного двигателя и определение мощности и состава нагрузки, при которой обеспечивается самозапуск двигателя.

2. Теоретическая часть

В электрических сетях в результате коротких замыканий случаются кратковременные, длительностью до нескольких секунд, большие понижения напряжения или перерывы питания. За это время частота вращения двигателей уменьшается. Если, перерыв продолжителен, то двигатели останавливаются полностью. При восстановлении напряжения по резервной линии двигатели снова запускаются и разворачиваются до рабочей частоты вращения.

Этот процесс называют самозапуском двигателей.

Самозапуском называется восстановление нормальной работы электродвигателя с механизмом на валу без вмешательства эксплуатационного персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения.

Самозапуск считается обеспеченным, если после восстановления напряжения агрегат разогнался до нормальной частоты вращения и продолжает длительно работать с нормальной (до аварийной) нагрузкой двигателя.

Основные отличия самозапуска от пуска заключаются в следующем:

- при быстром подключении обесточенной секции к резервному источнику питания на ней в момент подключения всегда имеется некоторое остаточное напряжение;
- в момент восстановления напряжения все двигатели или их большая часть вращаются, при пуске — стоят;
- самозапуск происходит при нагруженных двигателях, что увеличивает длительность разгона и нагрев двигателей;
- если в самозапуске участвует одновременно группа двигателей, то снижение напряжения в узле промышленной нагрузки при самозапуске больше, чем при пуске одного АД. Соответственно уменьшается вращающий момент, что приводит к увеличению времени их разгона.

В момент пуска из сети потребляется ток в 4–7 выше номинального значения тока двигателя. Пусковой ток создает дополнительное падение напряжения, например в трансформаторе, от которого питается двигатель. Мощность двигателя, как правило, меньше мощности трансформатора, поэтому дополнительное падение напряжения в трансформаторе составляет незначительную величину. Можно считать, что пуск одного двигателя происходит при номинальном напряжении.

В таком случае асинхронный момент двигателя (кривая 1) в 1,5–2,0 раза превосходит момент нагрузки (кривая 4) и под действием значительного избыточного момента происходит быстрый разворот двигателя (рисунок 1.1).

При одновременном запуске всех двигателей дополнительное падение напряжения в трансформаторе может быть значительным. Действительно, если предположить, что вся нагрузка на трансформаторе состоит только из двигателей, пусковой ток может в 4–7 раз превосходить номинальный ток

трансформатора. Реактивный характер периодической составляющей пускового тока приводит к значительному уменьшению модуля напряжения.

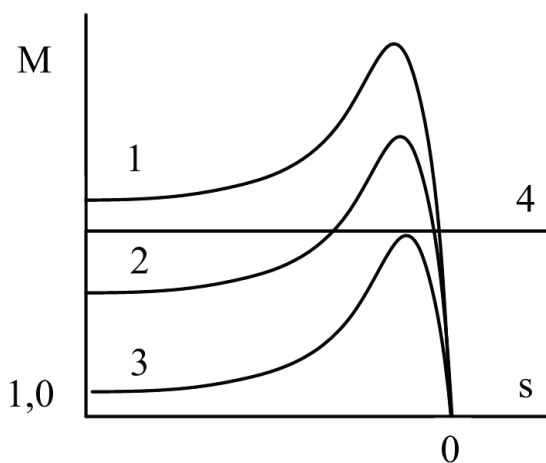


Рисунок 1.1. Характеристики асинхронного двигателя при номинальном напряжении и при снижении напряжения

Резкое и значительное снижение напряжения на шинах электроустановки влияет на нормальную и устойчивую работу остальных потребителей электроэнергии.

Вращающий момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения U^2 на зажимах двигателя. При пониженном напряжении асинхронный момент двигателя уменьшается (кривая 2). Пуск двигателя затягивается, а в особо тяжелых случаях максимальный вращающий момент электродвигателя (кривая 3) может оказаться меньше момента сопротивления нагрузки (кривая 4) и электродвигатель остановится.

В таких случаях часть двигателей должна быть отключена для запуска оставшихся двигателей наиболее ответственных потребителей. Их число должно быть рассчитано. Расчет самозапуска следует проводить с учетом характеристик двигателей, моментов сопротивления и мощности источника питания.

Процесс самозапуска состоит из двух этапов: выбега и разгона.

Этап выбега

Как только нарушается электроснабжение, электромагнитный момент двигателя исчезает и начинается процесс остановки двигателя под действием момента сопротивления нагрузки.

По количеству двигателей выбег может быть одиночным или групповым. Одиночный выбег имеет место, когда один электродвигатель оказывается отсоединённым от сети. Выбег такого двигателя называется «свободным». Если отключаются двигатели, подключённые к одной системе шин, то начинается групповой выбег.

У любого двигателя, отключённого от источника питания, при выбеге в обмотке статора наводится ЭДС. У асинхронных двигателей она невелика, у синхронных — значительна.

При групповом выбеге двигатели оказываются связанными между собой через общие шины. Запасённая ими кинетическая энергия по величине разная

у разных двигателей. Имеющие большой запас энергии двигатели переходят в генераторный режим, и у них на валу появляется дополнительный тормозной момент. Двигатели с меньшим запасом кинетической энергии получают дополнительный вращающий момент за счёт подпитки от первых.

Этап разгона

Происходит разгон от частоты вращения, примерно соответствующей моменту восстановления питания, до частоты вращения, соответствующей исходному рабочему режиму.

Бросок тока в момент подачи напряжения определяется по выражению:

$$I_{по} = \frac{U_c - E_d}{Z_\Sigma}, \quad (1.1)$$

где U_c — напряжение сети; E_d — ЭДС двигателя, Z_Σ — суммарное сопротивление от точки приложения ЭДС до источника питания.

Видно, что в самом худшем случае, когда вектор напряжения сети U_c и ЭДС двигателя E_d находятся в противофазе, ток самозапуска может значительно превышать пусковой: $I_{по} = \frac{U_c + E_d}{Z_\Sigma}$.

Однако ЭДС асинхронного двигателя затухает быстро, и к моменту восстановления напряжения она невелика. Поэтому ток включения при самозапуске асинхронного двигателя ненамного превышает пусковой.

У синхронного двигателя ЭДС в момент восстановления электроснабжения может быть равна напряжению сети или даже превышать его. Соответственно и ток включения может почти в два раза превышать пусковой и вызывать повреждения в двигателе. Однако, если в момент нарушения электроснабжения начинать гасить магнитное поле ротора, бросок тока при самозапуске будет практически равен пусковому току.

Асинхронный двигатель при наличии напряжения на его зажимах будет разгоняться только в том случае, если развиваемый им вращающий момент будет больше момента сопротивления механизма.

Таким образом, для обеспечения разгона двигателя достаточно выполнить условие $M > M_c$.

Двигатель при самозапуске разгоняется медленнее, чем при пуске. Более длительный разгон вызывает нагрев двигателя. Поэтому успешным считается такой самозапуск, когда двигатель разгонится до рабочей скорости и при этом температура обмоток не превысит допустимого значения.

Практически все асинхронные двигатели, выпускаемые промышленностью, допускают возможность, как минимум, одного самозапуска без превышения температуры обмоток сверх допустимой.

Данная работа позволяет смоделировать процесс самозапуска одного асинхронного двигателя в предположении того, что от этой же секции шин питается еще некоторая реактивная нагрузка.

3. Оборудование

Таблица 1.1

Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе № 1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трёхфазная трансформаторная группа	347.3	3×80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A2	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50 Гц; 3×40 Вар
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~ 400 В/16 А
G2	Преобразователь угловых перемещений	104	2500 импульсов за оборот
P1	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹
P2	Блок мультиметров	509.2	Три мультиметра

4. Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования» и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению и при его наблюдении. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на неё напряжения проверяется преподавателем.

6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схемы осуществляют по разрешению преподавателя.

7. При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или оборудования, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (рисунок Г.1).

3. Соедините гнезда защитного заземления « \oplus » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 1.2).

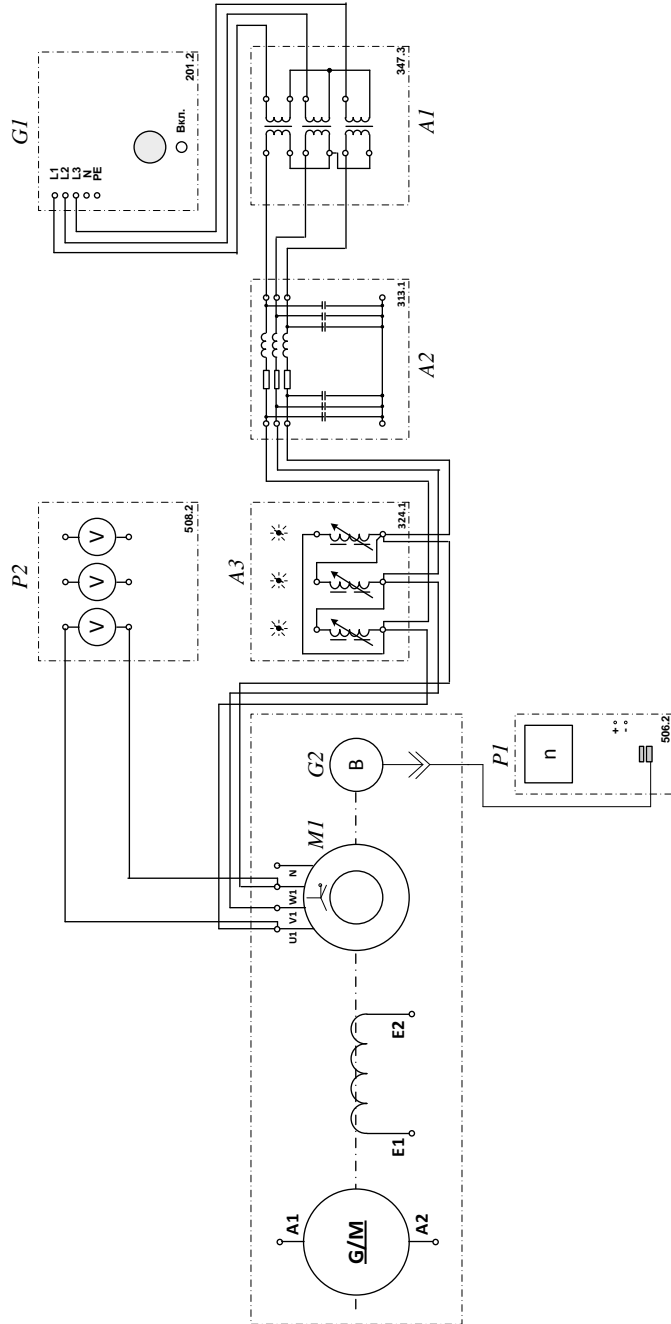


Рисунок 1.2. Электрическая схема соединений

5. Переключатели номинальных первичного и вторичного фазных напряжений трехфазной трансформаторной группы А1 установите соответственно равными 220 и 133 В.

6. Параметры линии электропередачи А2 установите следующими: $R = 0$ Ом, $L/RL = 0,9$ Гн/ 24 Ом, $C1=C2=0$ мкФ.

7. Установите в каждой фазе индуктивной нагрузки А3 ее величину, равную 100%.

8. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков Р1 и Р2. Активизируйте мультиметр блока Р2.

9. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

Двигатель М1 окажется подключенным к электрической сети и может прийти во вращение. Если двигатель не запустился, то это говорит о недостаточном уровне напряжения на нем для самозапуска.

10. Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.

11. Подобрать максимально возможную нагрузку А3, при которой обеспечивается самозапуск двигателя М1.

12. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

6. Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю. В соответствии с общими требованиями отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы;
2. Перечень используемой аппаратуры
3. Электрическая схема соединений;
4. Порядок выполнения работы;
5. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Поясните термин «самозапуск двигателя».
2. Какой параметр режима сети определяет величину электромагнитного момента двигателя?
3. В чем заключаются отличия самозапуска от пуска?
4. Поясните характеристики асинхронного двигателя при номинальном напряжении и при снижении напряжения.
5. Из каких этапов состоит процесс самозапуска?
6. Чему равен ток включения при самозапуске асинхронного двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 АСИНХРОННЫЙ ПУСК СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1. Цель работы

Изучить принцип действия и устройство трехфазного синхронного двигателя. Ознакомиться с особенностями и порядком асинхронного пуска в ход синхронного двигателя.

2. Теоретическая часть

Синхронный двигатель — это электрическая машина, работающая от переменного тока. Главная ее особенность заключается в том, что скорость (частота), с которой вращается ротор, равна частоте вращения магнитного поля и остается неизменной вне зависимости от подключаемой нагрузки.

Синхронная машина в обычном исполнении состоит из неподвижной части — статора, в пазах которого помещается трехфазная обмотка, и вращающейся части — ротора с электромагнитами, к обмотке возбуждения которых подводится постоянный ток при помощи контактных колец и наложенных на них щеток.

Статор синхронной машины ничем не отличается от статора асинхронной машины. Ротор ее выполняется или явнополюсным (с выступающими полюсами), или неявнополюсным (цилиндрический ротор).

Частота вращения ротора остается неизменной вне зависимости от подключаемой нагрузки благодаря тому, что ротор синхронного двигателя — это электромагнит (как вариант — постоянный магнит), чье число пар полюсов полностью совпадает с числом пар полюсов у вращающегося магнитного поля.

Зависимость число оборотов ротора n от частоты тока f (Гц) и числа пар полюсов p имеет следующий вид:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ об/мин.} \quad (2.1)$$

Питание обмотки возбуждения осуществляется либо от генератора постоянного тока, вал которого механически связан с валом синхронной машины, либо через вентили от источника переменного тока. Мощность, необходимая для питания обмотки возбуждения, невелика и составляет 1÷3% от мощности машины.

Ротор синхронного электродвигателя создает постоянное магнитное поле, а статор — вращающееся магнитное поле. Работа синхронного электродвигателя основана на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и постоянного магнитного поля ротора.

Синхронный двигатель не имеет начального пускового момента. Если его подключить к сети переменного тока, когда ротор неподвижен, а по обмотке возбуждения проходит постоянный ток, то за один период изменения тока, электромагнитный момент будет дважды изменять свое направление, т. е. средний момент за период равняется нулю. При этих условиях двигатель не сможет прийти во вращение, так как его ротор, обладающий определенной инерцией, не может быть в течение одного полупериода разогнан до синхронной частоты вращения. Следовательно, для пуска синхронного двигателя необходимо разогнать его ротор с помощью внешнего момента до частоты вращения, близкой к синхронной.

Существуют несколько способов пуска синхронного двигателя: при помощи вспомогательного пускового двигателя, частотного и асинхронного пуска.

Пуск с помощью вспомогательного двигателя

Пуск в ход синхронного двигателя с помощью вспомогательного двигателя может быть произведен только без механической нагрузки на его валу, т. е. практически вхолостую. В этом случае на период пуска двигатель временно превращается в синхронный генератор, ротор которого приводится во вращение небольшим вспомогательным двигателем. Статор этого генератора включается параллельно в сеть с соблюдением всех необходимых условий этого соединения. После включения статора в сеть вспомогательный приводной двигатель механически отключается. Магнитные полюсы статора, взаимодействуя с полюсами ротора, заставят ротор вращаться далее самостоятельно без посторонней помощи, в такт с полем статора, т. е. синхронно (откуда эти двигатели и получили свое название).

Сложность пуска и необходимость вспомогательного двигателя являются существенными недостатками этого способа пуска синхронных двигателей. Поэтому в настоящее время он применяется редко.

Частотный пуск

При частотном пуске синхронного двигателя частота питающего напряжения плавно изменяется от нуля до номинальной. При этом ротор вращается синхронно с магнитным полем статора. Недостатками частотного пуска являются высокая стоимость преобразователя частоты, а также необходимость реализации сложных законов регулирования исходного напряжения и частоты в процессе разгона двигателя. В последнее время стали широко внедряться преобразователей частоты на принципиально новой элементной базе, на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT. В чистом виде частотное регулирование частоты вращения синхронных двигателей применяется только при малых мощностях.

Асинхронный пуск

Для осуществления асинхронного пуска на роторе в полюсных наконечниках размещают дополнительную пусковую обмотку, которая также называется демпферной обмоткой. Эта обмотка выполняется по типу короткозамкнутой обмотки асинхронного двигателя («беличья клетка»).

При включении трехфазной обмотки статора в сеть образуется вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с током в пусковой обмотке, создает электромагнитные силы и увлекает за собой ротор. После разгона ротора до частоты вращения, близкой к синхронной (95–97% синхронной скорости), постоянный ток, проходящий по обмотке возбуждения, создает синхронизирующий момент, который втягивает ротор в синхронизм.

Применяют две основные схемы пуска синхронного двигателя. Первая схема пуска, обмотку возбуждения сначала замыкают на гасящий резистор, сопротивление которого превышает в 8–12 раз активное сопротивление обмотки возбуждения. После разгона ротора до частоты вращения, близкой к синхронной (при $s \approx 0,05$), обмотку возбуждения отключают от гасящего резистора и подключают к источнику постоянного тока (возбудителю), вследствие чего ротор втягивается в синхронизм. Осуществить пуск двигателя с разомкнутой обмоткой возбуждения нельзя, т. к. во время пуска в обмотке возбуждения двигателя наводится большая ЭДС, которая может вызвать пробой изоляции.

Вторая схема пуска, обмотка возбуждения постоянно подключена к возбудителю, сопротивление которого по сравнению с сопротивлением обмотки возбуждения весьма мало, поэтому эту обмотку в режиме асинхронного пуска можно считать замкнутой накоротко.

В данной лабораторной работе обмотки ротора универсальной машины переменного тока выполняют роль пусковых при разгоне двигателя. По окончании разгона в обмотки ротора подается постоянный ток и происходит втягивание машины в синхронизм.

Выход из синхронизма

Синхронные электродвигатели имеют постоянную скорость независимую от нагрузки (при условии, что нагрузка не превышает максимально допустимую). Если момент нагрузки больше, чем момент, создаваемый самим электродвигателем, то он выйдет из синхронизма и остановится. Низкое напряжение питания и низкое напряжение возбуждения также могут быть причинами выхода двигателя из синхронизма.

Синхронный компенсатор

Синхронные электродвигатели могут также использоваться для улучшения коэффициента мощности системы. Когда единственной целью использования синхронных электродвигателей является улучшение коэффициента мощности, их называют синхронными компенсаторами. В таком случае вал электродвигателя не соединяется с механической нагрузкой и вращается свободно.

Синхронные двигатели имеют следующие достоинства:

1. Возможность работать без потребления или отдачи реактивной энергии. При этом коэффициент мощности двигателя $\cos \varphi = 1$. При таких условиях синхронный двигатель переменного тока будет нагружать сеть исключительно активной составляющей. Побочным эффектом будет уменьшение габаритов двигателя (у асинхронного двигателя обмотка статора рассчитывается и на активный, и на реактивный токи).

2. Меньшую чувствительность к колебаниям напряжения, так как их максимальный момент пропорционален напряжению в первой степени, а не квадрату напряжения.

3. Строгое постоянство частоты вращения независимо от механической нагрузки на валу.

Недостатки синхронных двигателей:

1. Сложность конструкции.

2. Сравнительная сложность пуска в ход.

3. Трудности с регулированием частоты вращения, которое возможно путем изменения частоты питающего напряжения или количества полюсов.

Указанные недостатки синхронных двигателей делают их менее выгодными, чем асинхронные двигатели, при ограниченных мощностях до 100 кВт. Однако при более высоких мощностях, когда особенно важно иметь высокий $\cos \varphi$ и уменьшенные габаритные размеры машины, синхронные двигатели предпочтительнее асинхронных.

Наибольшее распространение синхронный двигатель получил в промышленности, где есть электроприводы, работающие на постоянных скоростях. Например, приводы мощных насосов, компрессоров, воздуходувок, вентиляторов, аэродинамических труб и т. д. Также синхронный двигатель является неотъемлемой частью и многих бытовых приборов, например, он есть в часах.

3. Оборудование

Таблица 2.1

Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе № 2

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250 В / 3 А (якорь) / -200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40 В / 3,5 А
G4	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	2500 импульсов за оборот
A1	Трёхфазная трансформаторная группа	347.3	3×80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A2	Блок варисторов	393	100 В
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт;
A3, A4, A5	Трёхполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~230 В / 1500 мин ⁻¹
P1	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹
	Ограничители перенапряжения		100 В

4. Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования» и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению и при его наблюдении. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на неё напряжения проверяется преподавателем.


6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схемы осуществляют по разрешению преподавателя.

7. При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или оборудования, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (рисунок 2.1).

3. Соедините гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 2.1).

5. Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и выключателей А3, А4 и А5 установите в положение «РУЧН.».

6. Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

7. Установите в каждой фазе активной нагрузки А10 ее суммарную величину 100%.

8. В трехфазной трансформаторной группе А1 установите номинальное напряжение первичных и вторичных обмоток трансформаторов, равное 220 В.

9. Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсных выключателей А3, А4, А5 и указателя частоты вращения Р1.

10. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

11. Включите выключатель «СЕТЬ» возбудителя G3 и, вращая его регулировочную рукоятку, установите на его выходе напряжение, равное, например, 14 В.

12. Замыкаем обмотку возбуждения двигателя. Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ».

13. Включаем двигатель как асинхронный. Включите выключатель А5 кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.

14. Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель (действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание).

15. Отключите выключатель А3 кнопкой «ОТКЛ.» и сразу же включите выключатель А4 кнопкой «ВКЛ.». Двигатель М1 должен втянуться в синхронизм.

16. Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.

17. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

6. Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю. В соответствии с общими требованиями отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы;
2. Перечень используемой аппаратуры
3. Электрическая схема соединений;
4. Порядок выполнения работы;
5. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. В чем заключается главная особенность работы синхронного двигателя?
2. Какова конструкция синхронного двигателя?
3. Как осуществляется пуск синхронного двигателя?
4. Чем определяется скорость вращения двигателя?
5. Какими достоинствами и недостатками обладают синхронные двигатели?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРЯМОЙ/РЕАКТОРНЫЙ ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1. Цель работы

Изучить принцип действия и устройство асинхронного двигателя. Ознакомиться со способами пуска асинхронных двигателей.

2. Теоретическая часть

Асинхронная машина — это электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой отличается от частоты вращения магнитного поля. Для оценки частоты вращения ротора вводится специальный параметр — скольжение ротора $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$. Скольжение — это относительная

разность частот вращения магнитного поля и ротора.

Неподвижная часть машины переменного тока называется статором, а подвижная часть — ротором. Сердечники статора и ротора асинхронных машин собираются из листов электротехнической стали, которые до сборки обычно покрываются с обеих сторон масляно-канифольным изоляционным лаком. Сердечник статора закрепляется в корпусе, а сердечник ротора — на валу. На внутренней поверхности статора и на внешней поверхности ротора имеются пазы, в которых размещаются проводники обмоток статора и ротора. Обмотка статора выполняется обычно трехфазной, присоединяется к сети трехфазного тока и называется первичной обмоткой.

Обмотка ротора тоже может быть выполнена трехфазной аналогично обмотке статора. Концы фаз такой обмотки ротора соединяются обычно в звезду, а начала выводятся наружу. К ним обычно присоединяется трехфазный пусковой или регулировочный реостат. Такая асинхронная машина называется *машиной с фазным ротором*. Фазная обмотка ротора выполняется с тем же числом полюсов магнитного поля, как и статор.

Другая разновидность обмотки ротора — обмотка в виде беличьей клетки. При этом в каждом пазу находится медный или алюминиевый стержень и концы всех стержней с обоих торцов ротора соединены с медными или алюминиевыми кольцами, которые замыкают стержни накоротко. Такая асинхронная машина называется *машиной с короткозамкнутым ротором*. Они проще по устройству и обслуживанию, а также дешевле и надежнее в работе, чем двигатели с фазным ротором. Большинство асинхронных машин выпускается с короткозамкнутым ротором.

Пуск трехфазных асинхронных двигателей

При рассмотрении возможных способов пуска в ход асинхронных двигателей необходимо учитывать следующие основные положения:

1) двигатель должен развивать при пуске достаточно большой пусковой момент, который должен быть больше статического момента сопротивления на валу;

2) величина пускового тока должна быть такой, чтобы не происходило повреждения двигателя и нарушения нормального режима работы сети;

3) схема пуска должна быть по возможности простой и дешевой.

Прямой пуск

Наиболее простым способом пуска двигателя с короткозамкнутым ротором является включение обмотки его статора непосредственно в сеть, на номинальное напряжение обмотки статора (рисунок 3.1, а). При этом пусковой ток двигателя $I_n = (4 \div 7) \cdot I_n$. Прямой пуск возможен, когда пусковые токи двигателей вызывают падение напряжения в сети не более чем 10–15%.

В тех случаях, когда из-за большого падения напряжения в сети прямой пуск для короткозамкнутых двигателей недопустим, применяют подключение их обмоток статора на пониженное напряжение, при этом пусковой ток уменьшается, что приводит к снижению падения напряжения в сети. Различают пуск через реактор, через автотрансформатор, переключение со звезды на треугольник.

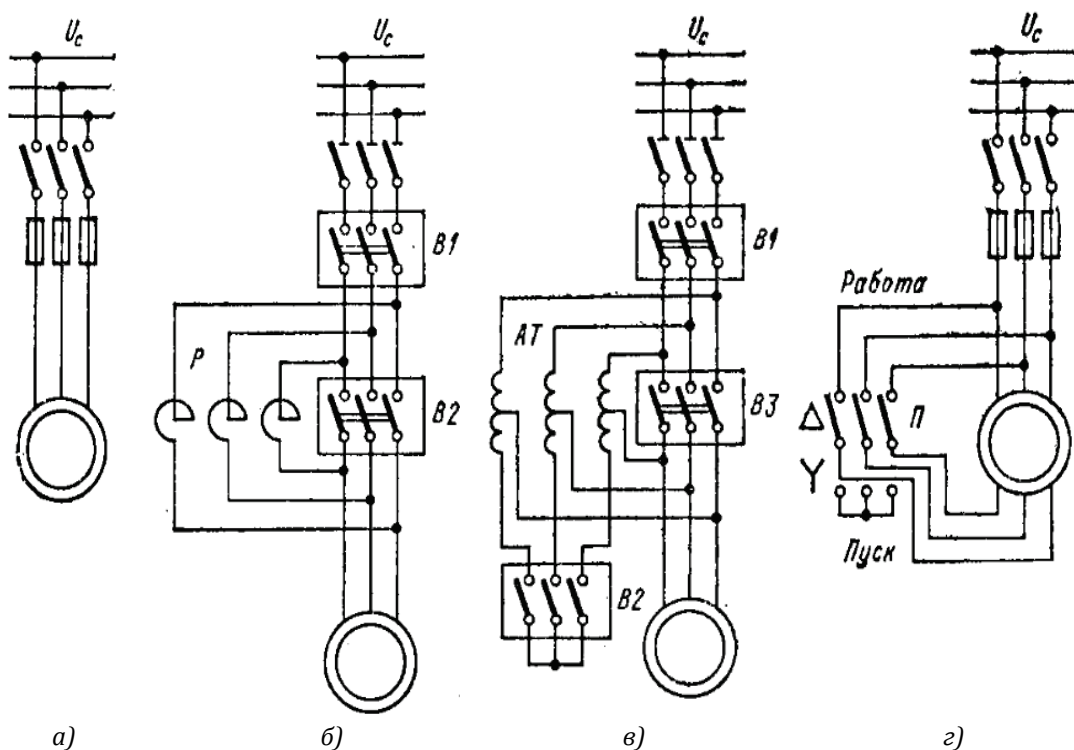


Рисунок 3.1. Схемы способов пуска двигателей с короткозамкнутым ротором: а — прямой; б — реакторный; в — автотрансформаторный; г — с переключением со звезды на треугольник

Реакторный пуск

Реакторный пуск осуществляется согласно схеме на рисунке 3.1, б. Сначала включается выключатель В1, и двигатель получает питание через трехфазный реактор (реактивную или индуктивную катушку) Р, сопротивление которого x_p ограничивает величину пускового тока. По достижении нормальной скорости вращения включается выключатель В2, в результате чего на двигатель подается нормальное напряжение сети.

Если составляющие сопротивления короткого замыкания двигателя равны r_k и x_k то начальный пусковой ток при прямом пуске $I_{n.n} = \frac{U_n}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}$, а при ре-

акторном пуске $I_{n.p} = \frac{U_n}{\sqrt{r_k^2 + (x_k + x_p)^2}}$. Следовательно, при реакторном пуске

начальный пусковой ток уменьшается в $\frac{I_{n.n}}{I_{n.p}}$ раз. Во столько же раз уменьша-

ется также напряжение на зажимах двигателя в начальный момент пуска.

Начальный пусковой момент при реакторном пуске $M_{n.p}$ уменьшается по сравнению с моментом при прямом пуске $M_{n.n}$ в

$$\frac{M_{n.n}}{M_{n.p}} = \left(\frac{I_{n.n}}{I_{n.p}} \right)^2 = \frac{r_k^2 + (x_k + x_p)^2}{r_k^2 + x_k^2} \text{ раз.}$$

Недостаток этого способа пуска состоит в том, что уменьшение напряжения сопровождается существенным уменьшением пускового момента.

Автотрансформаторный пуск

Сначала включаются выключатели В1 и В2 (рисунок 3.1, в), и на двигатель через автотрансформатор АТ подается пониженное напряжение. После достижения двигателем определенной скорости выключатель В2 отключается, и двигатель получает питание через часть обмотки автотрансформатора АТ, который в этом случае работает как реактор. Включается выключатель В3 — двигатель получает полное напряжение.

Если пусковой автотрансформатор понижает пусковое напряжение двигателя в k_{am} раз, то пусковой ток в двигателе или на стороне НН автотрансформатора $I_{n.d}$ уменьшается также в k_{am} раз, а пусковой ток на стороне ВН автотрансформатора или в сети $I_{n.c}$ уменьшается в k_{am}^2 раз. Пусковой момент M_n , пропорциональный квадрату напряжения на зажимах двигателя, уменьшается также в k_{am}^2 раз.

Таким образом, при автотрансформаторном пуске M_n и $I_{n.c}$ уменьшаются в одинаковое число раз. В то же время при реакторном пуске пусковой ток двигателей $I_{n.d}$ является также пусковым током в сети $I_{n.c}$ и пусковой момент M_n уменьшается быстрее пускового тока (в квадратичном отношении). Поэтому при одинаковых величинах $I_{n.c}$ при автотрансформаторном пуске пусковой момент будет больше. Однако это преимущество автотрансформаторного пуска достигается ценой значительного усложнения и удорожания пусковой аппаратуры. Поэтому автотрансформаторный пуск применяется реже реакторного, при более тяжелых условиях, когда реакторный пуск не обеспечивает необходимого пускового момента.

Пуск переключением «звезда-треугольник»

Пуск переключением «звезда-треугольник» может применяться в случаях, когда выведены все шесть концов обмотки статора и двигатель нормально

работает с соединением обмотки статора в треугольник. В этом случае при пуске обмотка статора включается в звезду (нижнее положение переключателя П на рисунке 3.1, г), а при достижении нормальной скорости вращения переключается в треугольник (верхнее положение переключателя П). При соединении обмотки в треугольник напряжение фаз обмоток уменьшается в $\sqrt{3}$ раза, пусковой момент уменьшается в $(\sqrt{3})^2 = 3$ раза, пусковой ток в фазах обмотки уменьшается в $\sqrt{3}$ раза, а в сети — в $\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 3$ раза. Таким образом, рассматриваемый способ пуска равноценен автотрансформаторному пуску при $k_{ам} = \sqrt{3}$.

Недостатком этого способа пуска является то, что при пусковых переключениях цепь двигателя разрывается, что связано с возникновением коммутационных перенапряжений (электрической дуги). Этот метод в настоящее время используется сравнительно редко.

При пуске двигателя с фазным ротором в цепь ротора включается добавочное активное сопротивление — пусковой реостат. Пусковой реостат обычно имеет несколько ступеней и рассчитывается на кратковременное протекание тока. По мере разгона двигателя сопротивление пускового реостата уменьшают, переходя с одной его ступени на другую.

В данной работе имеется возможность смоделировать одно- и двухступенчатый реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с одновременным отображением параметров на экране компьютера.

3. Оборудование

Таблица 3.1

Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе № 3

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250 В / 3 А (якорь) / -200 В / 1 А (возбуждение)
G4	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~ 230 В / 1500 мин ⁻¹
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.3	3×80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A4	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выходов; 8 цифр. входов / выходов
A5	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows XP, плата сбора информации PCI-6024E
A6, A8	Трёхполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт;
A12	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A14	Линейный реактор	314.2	3 × 0,3 Гн / 0,5 А
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

4. Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования» и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранный цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению и при его наблюдении. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на неё напряжения проверяется преподавателем.


6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схемы осуществляют по разрешению преподавателя.

7. При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или оборудования, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (рисунок Г.1).

3. Соедините гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" трехфазного источника питания G1.

4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунки 3.2).

5. Переключатели режима работы источника G2 и выключателей А6, А8 установите в положение «РУЧН.».

6. Установите в каждой фазе активной нагрузки А10 ее суммарную величину равную, например, 100 %.

7. В трехфазной трансформаторной группе А2 переключателем установите желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 133 В.

8. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5 и запустите прикладную программу «Многоканальный осциллограф».


9. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

10. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

11. Вращением рукоятки на передней панели источника G2 установите напряжение, например, 100 В на его регулируемом выходе «ЯКОРЬ».

12. В персональном компьютере нажмите на виртуальные кнопки «ВКЛ.» — включения сканирования используемых каналов осциллографа.

13. Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя А6 и спустя, например, 2 с выключателя А8.

14. Остановите сбор данных в персональном компьютере нажатием на виртуальную кнопку «Остановить» . В результате должен осуществиться двухступенчатый пуск нагруженного асинхронного двигателя М1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на интервале пуска.

14. Отобразите записанный процесс нажатием в персональном компьютере на виртуальную кнопку .

15. Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.

16. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

6. Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю. В соответствии с общими требованиями отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы;
2. Перечень используемой аппаратуры
3. Электрическая схема соединений;
4. Порядок выполнения работы;
5. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Объясните устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2. Объясните устройство трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.

3. Что характеризуется величиной скольжения асинхронного двигателя?

4. Какими достоинствами и недостатками обладает трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором?

5. Перечислить и сравнить различные способы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

6. Способ пуска асинхронного двигателя с фазным ротором.

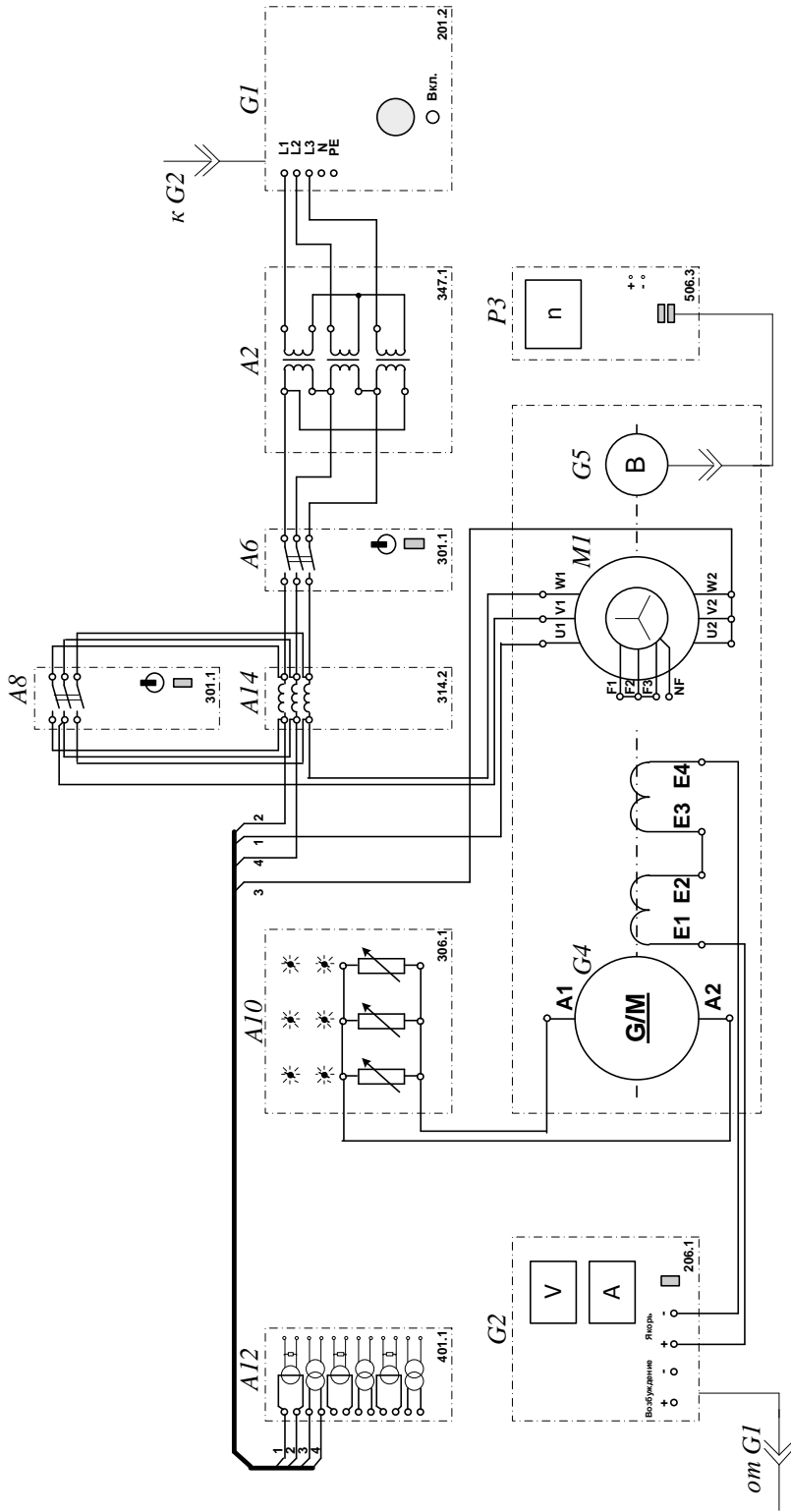


Рисунок 3.2. Электрическая схема соединений

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru