

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



**СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

УДК 621.31

Составители: О.М. Ларин, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»
В.Н. Алябьев

Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий : методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.М. Ларин, Д.В. Куделина. – Курск, 2017. – 32 с.: ил. 9, табл. 8. – Библиогр.: с. 32.

Содержат сведения по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий», исследованию потребителей и источников реактивной мощности, компенсации реактивной мощности.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. . Уч.–изд.л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы проводятся на комплексных лабораторных стендах, позволяющих создать физическую модель системы электроснабжения и исследовать электромагнитные и электромеханические процессы в ней. Один комплексный лабораторный стенд рассчитан на работу 3-4 студентов.

В состав каждого комплексного лабораторного стенда входят:

- лабораторные столы (с контейнером для блоков, проводников и методических материалов);
- лабораторные столы (2 шт.);
- электромашинный агрегат (машина постоянного тока, машина переменного тока, маховик, преобразователь угловых перемещений);
- блок розеток;
- трехфазный источник питания;
- возбудитель машины переменного тока;
- источник питания двигателя постоянного тока;
- трехполюсный выключатель (4 шт.);
- блок синхронизации;
- блок однофазных трансформаторов (2 шт.);
- модель линии электропередачи (2 шт.);
- устройство продольной емкостной компенсации;
- активная нагрузка;
- индуктивная нагрузка;
- емкостная нагрузка;
- линейный реактор;
- блок с двумя мультиметрами;
- измеритель напряжений и частот;
- измеритель мощностей (активной, реактивной);
- указатель частоты вращения, фазометр (указатель угла нагрузки синхронной машины);
- набор аксессуаров (соединительные провода, электрические шнуры, удлинители);
- IBM-совместимый компьютер;
- плата ввода-вывода данных PCI-6024E;
- коннектор (для связи с компьютером);
- блок ввода/вывода цифровых сигналов;
- терминал;
- блок датчиков тока и напряжения.

Для проведения лабораторных работ составляются соответствующие схемы, для чего блоки стендов, входящие в схему для проведения лабораторной работы, соединяются между собой проводами. Далее на блоках устанавливаются необходимые параметры и производится подача напряжения на схему и выполнение работы.

Лабораторная работа №7 проводится на компьютерных моделях, созданных в программной системе MATLAB.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ КАК ПОТРЕБИТЕЛЬ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель работы: экспериментальное исследование изменения потребления реактивной мощности асинхронными электродвигателями при отклонении напряжения от номинального значения и определение по опытным данным статических характеристик асинхронных электродвигателей.

Краткие методические указания.

Во время работы систем электроснабжения происходит изменение напряжения на зажимах работающих электроприемников, в том числе и у асинхронных электродвигателей (АД), составляющих значительную часть нагрузки промышленных предприятий. Поэтому при решении тех или иных задач эксплуатации систем электроснабжения часто требуется проводить анализ работы АД при отклонении напряжения от номинального значения.

Для выполнения такого анализа удобно использовать статическую характеристику – зависимость потребления реактивной мощности от значения напряжения, подведенного к АД. Статические характеристики АД имеют сложный характер, так как их вид зависит от номинальной мощности АД, коэффициента загрузки, характеристики момента сопротивления со стороны производственного механизма и т.д.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис.1. В этой схеме нагрузка на валу АД создается с помощью машины постоянного тока (МПТ). Эта нагрузка изменяется путем регулирования напряжения питания МПТ.

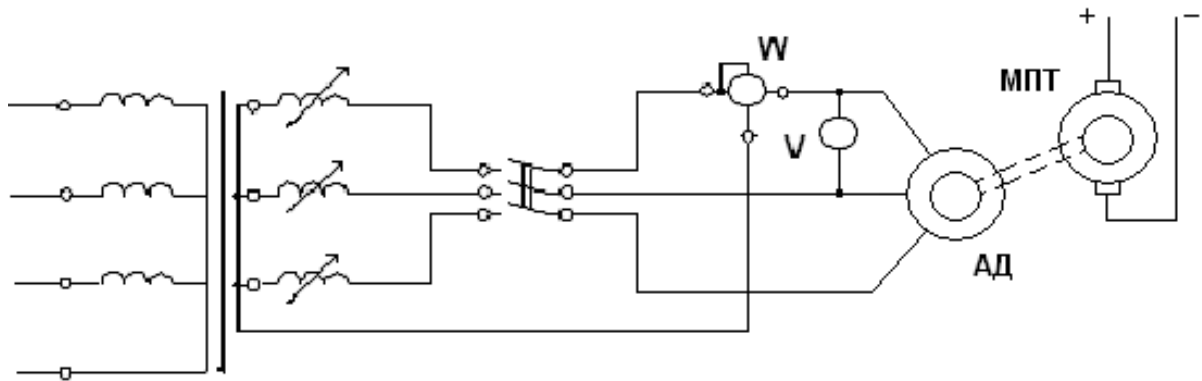


Рис.1. Схема проведения опыта по изучению статической характеристики АД

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для определения статических характеристик АД, обмотки АД соединить в Δ .

2. Подать напряжение на собранную схему, установить междуфазное напряжение на выходе регулировочного трансформатора, равное 220 В. Напряжение питания МПТ установит равное нулю.

3. Подключить АД к схеме, проверить направление вращения, оно должно быть левым (стрелка измерителя частоты вращения должна отклониться влево). Если направление вращения правое, то отключить АД от схемы и поменять местами два провода.

4. Изменяя питающее напряжение с помощью регулировочного трансформатора, записывать показания вольтметра и утроенное показание ваттметра в таблицу 1.

Построить графики зависимости $Q=f(U)$.

5. Перевести полученные значения реактивной мощности и напряжения в относительные единицы по следующим формулам:

$$Q_* = \frac{Q}{Q_{220}}, \quad (1)$$

где Q – текущее значение потребляемой активной мощности;
 Q_{220} – значение реактивной мощности, потребляемой нагрузкой при величине питающего напряжения 220 В.

Таблица 1. Зависимость потребления мощности АД от напряжения питания

Q, вар					
U, В					
Q_*					
U_*					

$$U_* = \frac{U}{220}, \quad (2)$$

где U – текущее значение питающего напряжения.

6. Снова установить междуфазное напряжение на выходе регулирующего трансформатора, равное 220 В. Создать нагрузку на валу АД регулированием напряжения питания МПТ до значения, указанного преподавателем. Снижая напряжение питания АД, проводить измерения реактивной мощности и напряжения. Результаты опытов занести в таблицы, аналогичные табл.1.

7. Повторить несколько раз пункт 6, для каждого из опытов построить графики зависимости $Q=f(U)$.

8. Используя компьютерные математические системы (MATLAB и подобные) найти коэффициенты уравнений второго порядка, представляющих найденные статические характеристики в относительных единицах. В системе MATLAB это выполняется в следующем порядке (для активной нагрузки):

- создать вектор Q , содержащий значения потребляемой мощности в относительных единицах;
- создать вектор U , содержащий значения питающего напряжения в относительных единицах;
- найти с помощью функции `polyfit(U, Q, 2)` коэффициенты полинома a_1, a_2, a_3 , представляющего статическую характеристику по реактивной мощности как:

$$P_* = a_1 \cdot U_*^2 + a_2 \cdot U_* + b. \quad (4)$$

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимости потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется реактивная мощность, потребляемая АД?
2. Основные потребители реактивной мощности.
3. Значения отклонения напряжения по ГОСТ 13109-97.
4. Какие мероприятия следует использовать для сохранения питающего напряжения на АД в пределах, заданных ГОСТ 13109-97.
5. Как определить отклонение напряжения на АД расчетным путем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ КАК ИСТОЧНИК РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель работы: экспериментальное исследование генерации реактивной мощности синхронными электродвигателями при различных режимах работы и определение по опытным данным угловой характеристики по реактивной мощности.

Краткие методические указания.

В системах электроснабжения промышленных предприятий одним из наиболее важных источников реактивной мощности являются синхронные машины (синхронные электродвигатели – СД). Их достоинствами являются возможность плавного регулирования вырабатываемой реактивной мощности, работы как с опережающим (источник) так и отстающим (потребитель) значением угла φ . Поэтому при решении тех или иных задач компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения часто требуется проводить анализ работы СД при отклонении напряжения от номинального значения.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис. 1.

Обмотка возбуждения машины постоянного тока, используемой как первичный двигатель М1 с независимым возбуждением, присоединена к нерегулируемому выходу "ВОЗБУЖДЕНИЕ" источника G2, к регулируемому выходу "ЯКОРЬ" которого присоединена якорная обмотка этой же машины. Вход питания источника G2 присоединен с помощью электрического шнура к розетке "380 В" трехфазного источника питания G1.

Обмотка ротора СД – G4, через гнезда "F1", "F3" присоединена к выходу возбудителя G3, вход питания которого присоединен с помощью электрического шнура к розеток "220 В" трехфазного источника питания G1.

Электрическая схема соединений

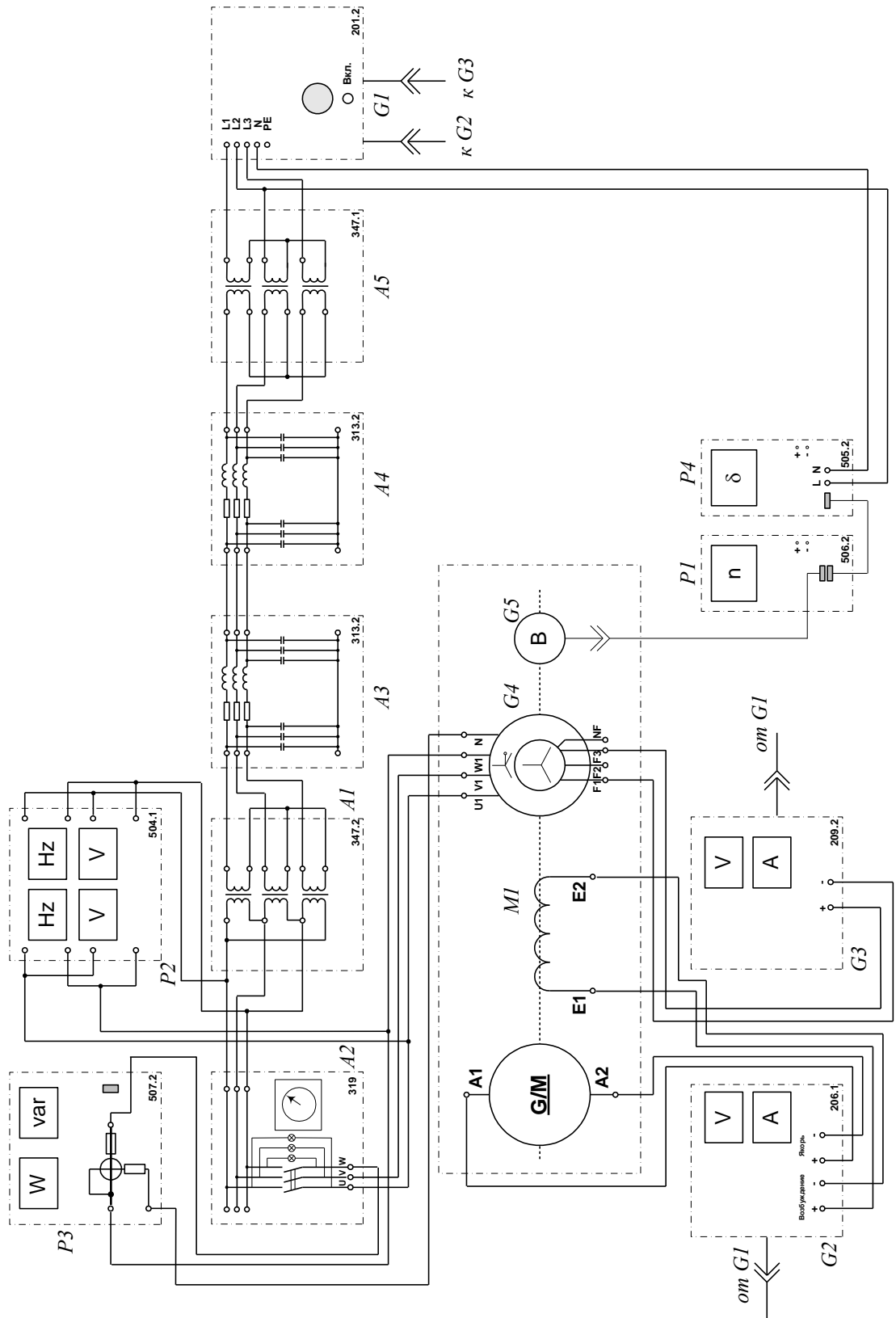


Рис.1. Схема проведения испытаний синхронного двигателя

Фазы статорной обмотки СД G4 через блок синхронизации A2 и трехфазную трансформаторную группу A1 с номинальными

фазными напряжениями 230/230 В присоединены к выходу трехфазного источника G1, через две последовательно соединенные модели линии электропередачи A3, A4 и трехфазную трансформаторную группу A5 с номинальными фазными напряжениями 230 / 230 В.

Частоту вращения СД G4 можно контролировать с помощью указателя P1, соединенного с выходом преобразователя G5. Величину и частоту напряжения генератора G4 и сети можно контролировать с помощью измерителя напряжений и частот P2. Активную P и реактивную Q мощности генератора G4 можно измерять с помощью измерителя мощностей P3.

Фазовый угол δ сдвига ЭДС СД и напряжения сети можно измерять с помощью указателя P4 угла нагрузки синхронной машины, связанного контрольным кабелем с преобразователем угловых перемещений G5 и выходом источника G1 (сетью).

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для испытания СД.
2. Осуществите ручное подключение к сети синхронного двигателя G4 методом точной синхронизации в соответствии с указаниями по проведению эксперимента раздела 1 настоящего руководства.
3. Включите выключатель "СЕТЬ" указателя угла нагрузки P4.
4. Вращая регулировочные рукоятки источника G2 и возбuditеля G3, установите равными нулю значения активной и реактивной мощностей генератора G4.
5. С помощью потенциометров «ГРУБО» и «ТОЧНО» установки нуля указателя P4 настройте последний путем установки его стрелки на нулевое значение (середину) шкалы. Если этого сделать не удастся, то проводник, соединяющий гнездо «L» указателя P4 с гнездом «L2» источника G1, пересоедините так, чтобы он соединял гнездо «L» указателя P4 с гнездом «L1» или «L3» источника G1.
6. Установите вращением регулировочной рукоятки возбuditеля G3 требуемый ток возбуждения I_f генератора G4, например 1,5 А, и поддерживайте его неизменным в ходе эксперимента.

7. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте угол δ нагрузки и записывайте показания указателя P4 угла нагрузки синхронной машины, ваттметра и варметра измерителя мощностей P3 и вольтметра, блока P2 в таблицу 1.

7. Повторить несколько раз пункт 6, для каждого из опытов построить графики зависимости $Q=f(U)$.

Таблица 1. Исследование генерации реактивной мощности СД

δ , град									
P, Вт									
Q, ВАр									
$U_{г}$, В									

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимости потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется реактивная мощность, потребляемая или вырабатываемая СД?
2. Основные источники реактивной мощности.
3. Как регулируется реактивная мощность, вырабатываемая СД?
4. Достоинства и недостатки СД как источника реактивной мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель работы: ознакомиться с основными принципами компенсации реактивной мощности и эффектами от применения компенсирующих устройств.

Краткие методические указания.

Компенсация реактивной мощности широко используется в современных системах электроснабжения для сокращения потерь электроэнергии, повышения качества электроэнергии и уменьшения установленной мощности элементов системы электроснабжения.

Наиболее распространенным источником реактивной мощности являются конденсаторные батареи, устанавливаемые на разных ступенях системы электроснабжения. Эти батареи имеют ряд достоинств по сравнению с другими источниками реактивной мощности: низкую стоимость, отсутствие вращающихся частей, небольшие потери активной мощности при выработке активной.

В лабораторной работе исследуются процессы компенсации реактивной мощности. В качестве потребителя реактивной мощности используется индуктивная нагрузка, источником реактивной мощности служит емкостная нагрузка.

Схема проведения опыта приведена на рис.1.

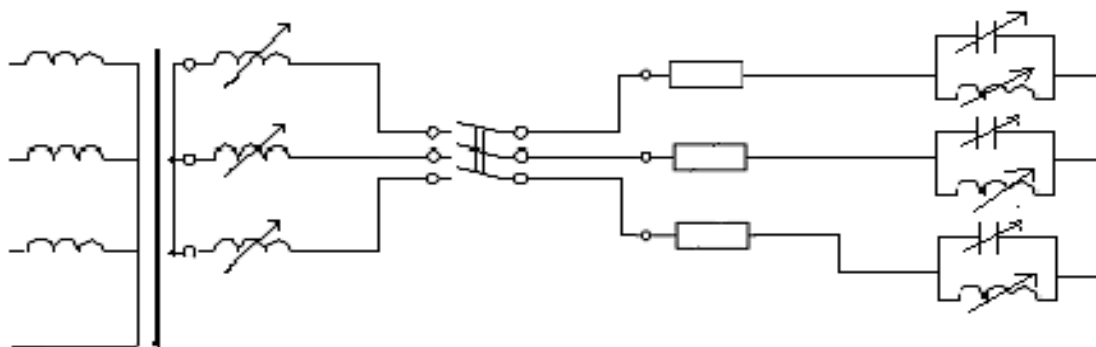


Рисунок 1. Схема проведения опыта

Таблица 1. Опытные и расчетные данные

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	$\cos\varphi$

Порядок выполнения работы.

1. Для заданной преподавателем электрической сети собрать модель на стенде.
2. Включить стенд и подать напряжение на модель. Установить значение индуктивной нагрузки, заданное преподавателем. Измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели, результаты измерений занести в табл.1.
3. Подключить к схеме источник реактивной мощности – емкостную нагрузку. Устанавливая величину емкостной нагрузки, заданную преподавателем, измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели.
4. Рассчитать суммарные значения потерь активной мощности, величину $\cos\varphi$ на входе схемы.
5. Построить график зависимости значений потерь от $\cos\varphi$ на входе схемы.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель проведения работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными и расчетными данными.
5. График зависимости значений потерь от $\cos\varphi$ на входе схемы.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Основные источники реактивной мощности в системах электроснабжения.
2. Основные потребители реактивной мощности в системах электроснабжения.
3. Баланс реактивной мощности и его составляющие.
4. Цели применения устройств компенсации реактивной мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: ознакомиться с основными принципами распределения компенсирующих устройств и основными свойствами способов распределения компенсирующих устройств по различным ступеням системы электроснабжения.

Краткие методические указания.

Компенсирующие устройства для компенсации реактивной мощности могут устанавливаться на различных ступенях современных систем электроснабжения. В зависимости от места их установки различают индивидуальную компенсацию – компенсирующее устройство устанавливается рядом с электроприемником, реактивная мощность которого должна быть скомпенсирована; групповую компенсацию – компенсирующее устройство устанавливается рядом с группой электроприемников, реактивная мощность которых должна быть скомпенсирована; централизованную компенсацию – компенсирующее устройство устанавливается на шинах источника питания.

Каждый из этих способов размещения компенсирующих устройств имеет свои достоинства и недостатки. Так, теоретически, индивидуальная компенсация позволяет достичь полной компенсации реактивной мощности электроприемников и довести тем самым потери электроэнергии в сети до минимального значения, но при этом способе размещения компенсирующих устройств требуется наибольшее количество устанавливаемых устройств компенсации и как следствие этого – большие капитальные затраты по сравнению с другими способами размещения компенсирующих устройств.

В лабораторной работе исследуются различные способы размещения устройств компенсации реактивной мощности. В качестве потребителей реактивной мощности используется индуктивная нагрузка, источниками реактивной мощности служит емкостная нагрузка.

Схема проведения опыта приведена на рис.1.

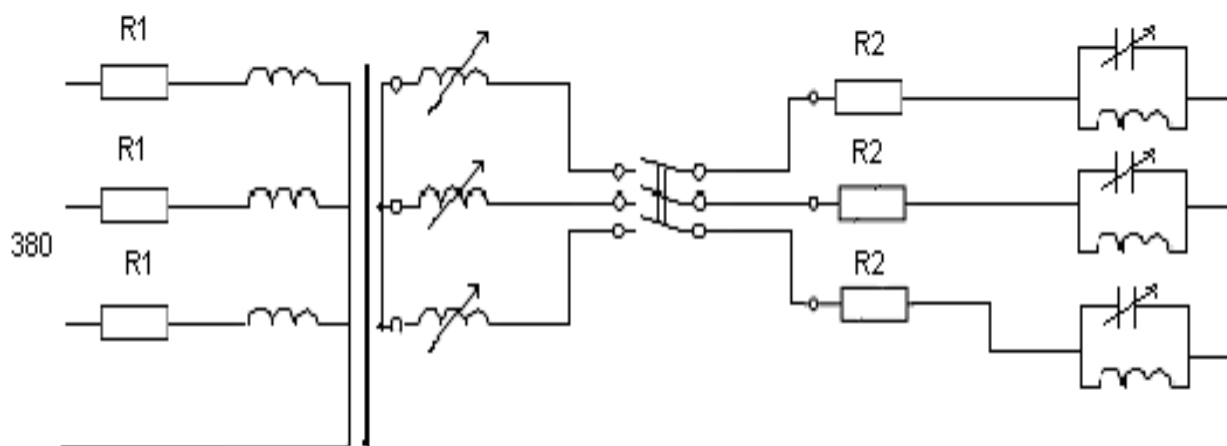


Рисунок 1. Схема проведения опыта

Таблица 1. Опытные и расчетные данные

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	$\cos\varphi$

Порядок выполнения работы.

1. Для заданной преподавателем электрической сети собрать модель на стенде.
2. Включить стенд и подать напряжение на модель. Установить значение индуктивной нагрузки, заданное преподавателем. Измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели, результаты измерений занести в табл. 1.
3. Подключить к схеме источник реактивной мощности – емкостную нагрузку. Устанавливая величину емкостной нагрузки, заданную преподавателем, измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели.
4. Рассчитать суммарные значения потерь активной мощности, величину $\cos\varphi$ на входе схемы.

5. Построить график зависимости значений потерь от $\cos\varphi$ на входе схемы.

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель проведения работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными и расчетными данными.
5. График зависимости значений потерь от $\cos\varphi$ на входе схемы.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Основные источники реактивной мощности в системах электроснабжения.
2. Основные потребители реактивной мощности в системах электроснабжения.
3. Баланс реактивной мощности и его составляющие.
4. Цели применения устройств компенсации реактивной мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТИ С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ И НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Цель работы: ознакомиться с основными способами и особенностями компенсации реактивной мощности в сети с несимметричными и нелинейными нагрузками.

Краткие методические указания.

В современных системах электроснабжения широко используются различные несимметричные (одно и двухфазные) и нелинейные (газоразрядные лампы и т.д.) электроприемники. Это приводит к необходимости производить компенсацию реактивной мощности в таких сетях с учетом особенностей работы этих электроприемников.

Компенсирующие устройства для компенсации реактивной мощности несимметричной нагрузки должны иметь пофазное управление, что позволит регулировать выработку реактивной мощности отдельно по каждой фазе.

В сети с нелинейной нагрузкой имеются высшие гармоники тока и напряжения, в связи с чем применение обычных конденсаторных батарей здесь должно быть ограничено из-за опасности перегрузки их значительными токами высших гармоник, что может привести к сокращению срока их службы и преждевременному выходу батарей из строя. Применять обычные батареи можно только при низком уровне содержания высших гармоник, если же высшие гармоники имеют большой уровень, то требуется применение специальных конденсаторных батарей с встроенной защитой или фильтро-компенсирующих устройств.

В лабораторной работе исследуется компенсация реактивной мощности при наличии в сети несимметричной и нелинейной нагрузки. В качестве несимметричных потребителей реактивной мощности используется индуктивная нагрузка, нелинейной нагрузкой служит люминесцентная лампа, источниками реактивной мощности служит емкостная нагрузка.

Схема проведения опыта приведена на рис.1.

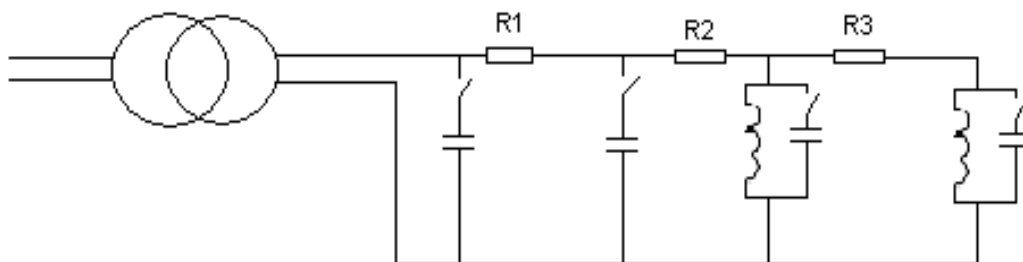


Рисунок 1. Схема проведения опыта

Таблица 1. Опыт с несимметричной нагрузкой

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	$\cos\varphi$

Таблица 2. Опыт с нелинейной нагрузкой

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	I_C , А	$\cos\varphi$

Порядок выполнения работы.

1. Для заданной преподавателем электрической сети собрать модель на стенде.
2. Включить стенд и подать напряжение на модель. Установить значение индуктивной нагрузки, заданное преподавателем. Измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели, результаты измерений занести в табл.1.

3. Подключить к схеме источник реактивной мощности – емкостную нагрузку. Устанавливая величину емкостной нагрузки, заданную преподавателем, измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели.
4. Рассчитать суммарные значения потерь активной мощности, величину $\cos\varphi$ на входе схемы.
5. Собрать схему с нелинейной нагрузкой, провести опыт компенсации реактивной мощности, контролируя при этом значения тока, протекающего по конденсаторным батареям.

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель проведения работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными и расчетными данными.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Особенности компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения при наличии несимметричной нагрузки.
2. Особенности компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения при наличии нелинейной нагрузки.
3. Способы защиты конденсаторных батарей от токов высших гармоник.
4. Причины выхода из строя конденсаторных батарей при наличии нелинейной нагрузки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: ознакомиться с основными способами регулирования мощности компенсирующих устройств при изменении реактивной нагрузки.

Краткие методические указания.

В современных системах электроснабжения нагрузка изменяется в широких пределах в течении суток. Это приводит к постоянным колебаниям напряжения и другим неблагоприятным факторам. Одним из основных способов поддержания напряжения в нормальных пределах является регулирование мощности компенсирующих устройств в зависимости от тех или иных параметров режимов работы электрических сетей и нагрузки.

В лабораторной работе исследуется регулирование мощности компенсирующих устройств. В качестве потребителей реактивной мощности используется индуктивная нагрузка, величина которой изменяется в соответствии с заданным графиком нагрузки, источником реактивной мощности служит емкостная нагрузка.

В работе производится опыт с нерегулируемыми компенсирующими устройствами, когда изменяется мощность реактивной нагрузки и опыт с регулированием мощности компенсирующих устройств, когда их величина меняется в соответствии с изменением реактивной нагрузки.

Схема проведения опыта приведена на рис.1.

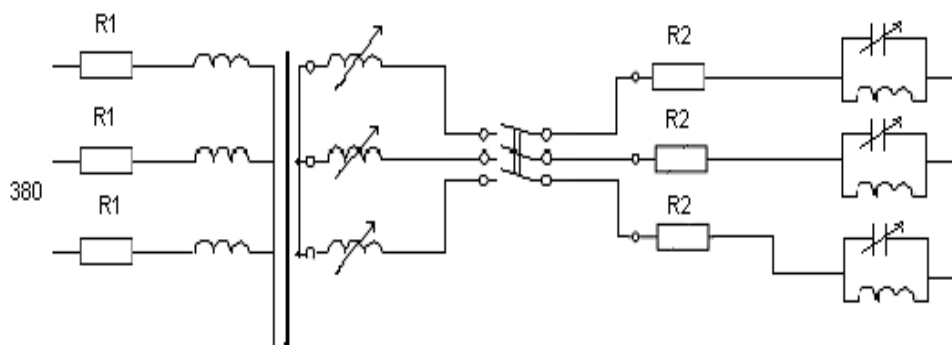


Рисунок 1. Схема проведения опыта

Таблица 1. Опыт с нерегулируемыми компенсирующими устройствами

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	$\cos\varphi$

Таблица 2. Опыт с регулируемыми компенсирующими устройствами

Q_L , вар	Q_C , вар	ΔP_1 , Вт	ΔP_2 , Вт	ΔP_3 , Вт	$\cos\varphi$

Порядок выполнения работы.

1. Для заданной преподавателем электрической сети собрать модель на стенде.
2. Включить стенд и подать напряжение на модель. Установить значение индуктивной нагрузки, заданное преподавателем. Измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели, результаты измерений занести в табл.1.
3. Подключить к схеме источник реактивной мощности – емкостную нагрузку. Устанавливая величину емкостной нагрузки, заданную преподавателем, измерить напряжения в характерных точках схемы и значения потерь активной мощности в элементах модели.
4. Рассчитать суммарные значения потерь активной мощности, величину $\cos\varphi$ на входе схемы.
5. Повторить опыт с регулированием мощности компенсирующих устройств.

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель проведения работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными и расчетными данными.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Особенности компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения при наличии больших изменений нагрузки.
2. Основные способы управления мощностью устройств компенсации реактивной мощности.
3. Схемные решения регулирования мощности конденсаторных батарей.
4. Способы регулирования реактивной мощности синхронных двигателей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: ознакомиться с особенностями работы асинхронного двигателя в неполнофазном режиме работы

Краткие методические указания

Трехфазные асинхронные электродвигатели (АД) широко применяются для привода различных производственных механизмов, поэтому их моделирование достаточно актуально.

Часть окна настройки параметров АД показано на рис.1. В полях окна необходимо задать следующие параметры:

- тип ротора (Rotor Type), здесь следует выбрать либо короткозамкнутый (Squireel-cage) или фазный (Wound);
- система отсчета при анализе (Reference frame), выбирается параметр Stationary;
- номинальная мощность в Вт, номинальное действующее линейное напряжение и частота питающей сети.

Далее вводятся параметры схемы замещения статора и ротора, а также параметры ветви намагничивания (Mutial inductance L_m). В следующем поле необходимо задать значения момента инерции, коэффициента вязкого трения и числа пар полюсов. В самом последнем поле задаются начальные условия моделирования, к которым относятся:

- скольжение в начальный момент времени и положение ротора (эти значения будут зависеть от состояния двигателя, при неподвижном роторе или в начале пуска их можно задавать 1 и 0);
- токи статора и их начальные фазы – они также зависят от состояния двигателя, в начале пуска можно считать нулевыми).

Parameters

Rotor type:

Reference frame:

Nom. power,L-L volt. and freq. [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]:

Stator [Rs,Lls] (pu):

Rotor [Rr',Llr'] (pu):

Mutual inductance Lm (pu):

Inertia constant,friction factor and pairs of poles [H(s) F(pu) p()]:

Initial conditions (read the details in the description above)

Рисунок 1. Поля ввода параметров АД

Требуемые параметры АД частично выбираются из паспортных данных рассматриваемого двигателя, остальные рассчитываются по схемам замещения и паспортным данным. Для расчета необходимых параметров можно использовать программу, текст которой приведен ниже. Программа рассчитывает параметры статорной и роторной цепей, а также ветви намагничивания для нескольких значений принятых (в качестве параметров цикла вычислений) и расчетных коэффициентов приведения. Из полученных на экране величин R и L следует выбрать те значения, для которых числа в первом и втором столбцах справа наиболее близки друг к другу.

```
%% расчет параметров асинхронного двигателя
%% ras_ad.m
clc; clear;
%% постоянные величины
f=50; Unom=380;
```

```

%%% ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
Pnom=input('номинальная мощность, Вт = ');
Ns=input('синхронная скорость вращения, об/мин = ');
Nnom=input('номинальная скорость вращения, об/мин = ');
eta=input('КПД = ');
cosfi=input('cos fi = ');
Inom=input('номинальный ток, А = ');
krat_i=input('кратность пускового тока = ');
krat_M=input('кратность пускового момента = ');
krat_MM=input('кратность максимального момента = ');
Jad=input('момент инерции, кг*м^2 = ');
%%% расчет параметров АД
Snom=(Ns-Nnom)/Ns;          Skrit=(krat_MM+sqrt(krat_MM^2-
1))*Snom;
Ufaz=Unom/sqrt(3); ws=pi*Ns/30; wn=pi*Nnom/30;
w=2*pi*f;
Mnom=Pnom/wn;
clc;
disp('  Rs      Rr      Lls= Llr  Lm      ')
for k=1.0:0.01:1.08
    Rrot=(1.015*Pnom)/(3*Inom^2*((1-Snom)/Snom));
    Rstat=((Ufaz*cosfi*(1-eta))/Inom)- ....
    (Rrot*k^2)-(0.015*Pnom/(3*Inom^2));
    Lrot=Ufaz/(2*w*(1+k^2)*krat_i*Inom);
    Lst = Ufaz/(w*Inom*sqrt(1-cosfi^2)-...
    (2*w*krat_MM*Mnom*Snom)/(3*Ufaz*Skrit*(3000/Ns)));
    Lm=Lst-Lrot;
    k1=1+Lrot/Lm;
    disp([Rstat Rrot Lrot Lm k k1])
end

```

Для составления модели и исследования АД необходимо использовать следующие блоки.

1. Блок источника трехфазного переменного напряжения - Inductive source with neutral.

2. Блок измерения трехфазного напряжения и тока - Three-Phase V-I Measurement из библиотеки Measurements раздела SimPower-System .

3. Блок моделирования АД (Asynchronous Machine) из библиотеки Machines раздела, при этом следует учитывать, что возможно использование двух вариантов данного блока pu Units и SI Units. Различие между этими двумя вариантами состоит в способе задания параметров. Вариант pu Units требует задания параметров в относительных единицах, а вариант SI Units в именованных или единицах системы СИ. Выше приведенная программа рассчитывает параметры АД для варианта SI Units.

4. Блок измерения активной и реактивной мощности Active & Reactive Power из библиотеки SimPowerSystem\Extra Library.

5. Блок RMS из библиотеки SimPowerSystem\Extra Library для получения действующих значений из мгновенных на переменном токе .

6. Блок задания момента нагрузки на валу АД (Constant) из библиотеки Simulink\Sources .

7. Блок измерения переменных состояния АД Machines Measurements из библиотеки SimPowerSystem\ Machines.

8. Блок смешения сигналов Mux из библиотеки Simulink\Signal Routing.

Расставим блоки на модели, введем новые имена блоков и проведем связи между ними как показано на рис.1111.

Произведем моделирование АД типа 4АН250М6У3 со следующими паспортными данными:

Номинальная мощность - 75 кВт.

Синхронная скорость вращения – 1000 об/мин.

Номинальная скорость вращения – 985 об/мин.

КПД – 93%.

Cos φ - 0,87.

Кратность пускового тока – 7.

Кратность максимального момента – 2.

Кратность пускового момента – 1,2.

Момент инерции – 1,0 кг*м².

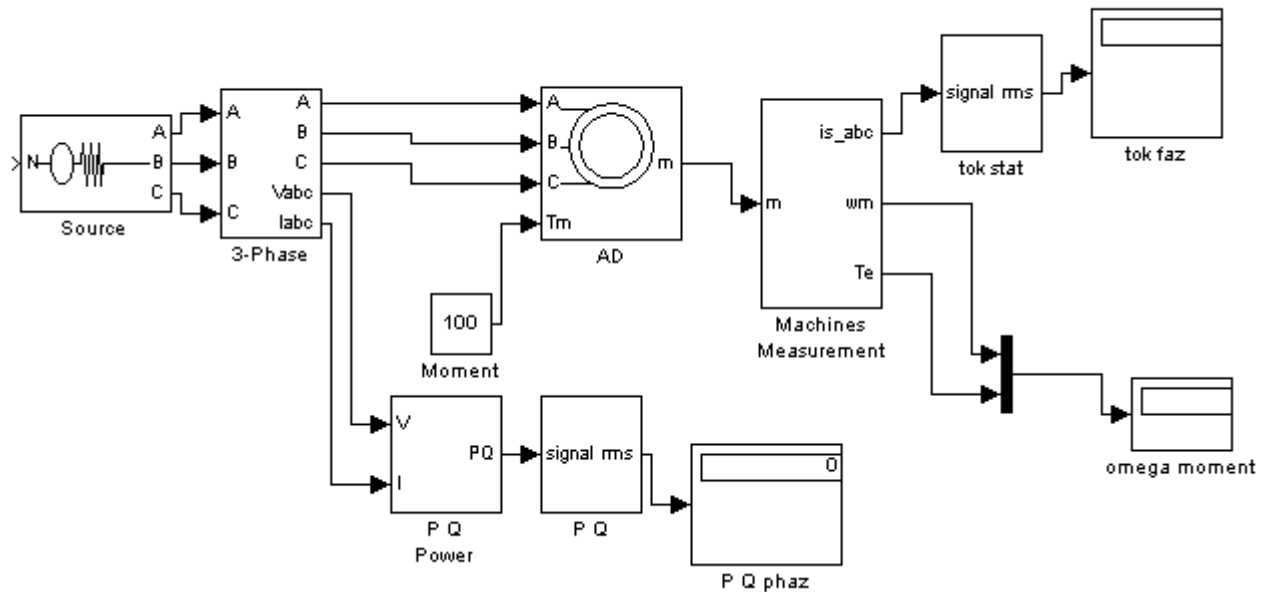


Рисунок 2. Собранная модель для исследования работы АД

Для расчета параметров АД запустим программу `ras_ad.m` и получим на экране следующие итоги расчета.

R_s	R_r	$L_{ls} = L_{lr}$	L_m		
0.0577	0.0229	0.0002	0.0108	1.0000	1.0178
0.0573	0.0229	0.0002	0.0108	1.0100	1.0176
0.0568	0.0229	0.0002	0.0108	1.0200	1.0175
0.0563	0.0229	0.0002	0.0108	1.0300	1.0173
0.0559	0.0229	0.0002	0.0108	1.0400	1.0171
0.0554	0.0229	0.0002	0.0108	1.0500	1.0169
0.0549	0.0229	0.0002	0.0108	1.0600	1.0168
0.0544	0.0229	0.0002	0.0108	1.0700	1.0166
0.0539	0.0229	0.0002	0.0108	1.0800	1.0164

Для ввода выберем данные из третьей строки сверху.

Произведем настройку блоков модели.

В блоке источника установим значение действующего междуфазного напряжения равным 380 В, частоту – 50 Гц и угол фазы А равным 0, зададим активное сопротивление источника – 0,01 Ом и индуктивное – 0 (значения сопротивлений взяты произвольно). При этом предварительно надо выбрать задание сопротивлений, сбросив флажок Specify impedance using short-circuit level.

Блок измерения трехфазных величин настроим на измерение междуфазных напряжений и установим измерение токов. В блоке измерения активной и реактивной мощности установим значение частоты измерений равным 50 Гц. В блоках RMS также выставим значение частоты преобразований, равное 50 Гц.

Блок АД настроим в соответствии с полученными выше значениями параметров статорной, роторной цепей и ветви намагничивания. Также введем значение момента инерции и число пар полюсов, равное 3. В качестве начальных условий примем неподвижное положение ротора. Выберем также короткозамкнутый ротор (Squirrel-cage) и стационарную систему отсчета (Stationary).

В блоке измерения переменных состояния АД установим тип машины – асинхронный, затем выберем для вывода измеренных величин: ток статора (Stator current), скорость вращения ротора (Rotor speed) и электромагнитный момент (Electromagnetic torque).

У блока смещения сигналов установим два входа. Значение момента нагрузки примем 100 Н*м.

Затем в пункте меню Simulation выберем пункт Simulation parameters и в появившемся окне установим тип решателя дифференциальных уравнений ode23tb (Solver) и установим время окончания процесса моделирования, равное 3 с (Stop time). После этого запускаем модель на выполнение. По окончании процесса моделирования получаем выходные данные в виде показаний измерительных приборов:

- потребляемая активная мощность (по фазам) 6766, 6768 и 6782 Вт;
- потребляемая реактивная мощность 3*24640 вар;
- токи фаз статора 67,67 А, 67,59 А, 67,53 А;
- скорость вращения ротора 104,8 рад/с;
- момент на валу двигателя 102,3 Н*м.

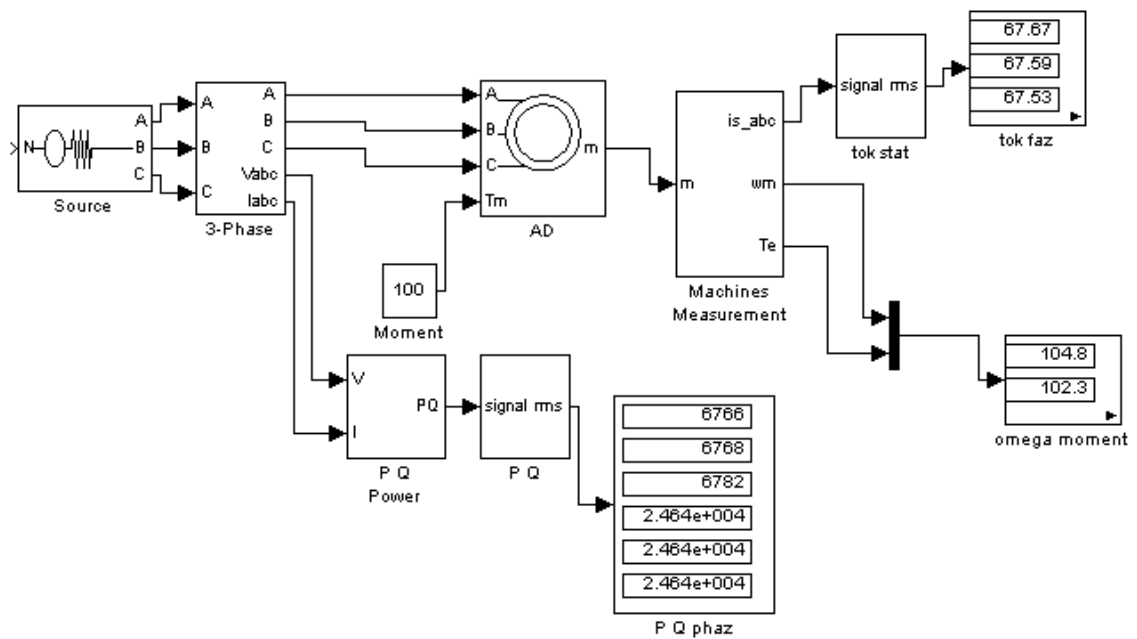


Рисунок 3. Модель для исследования работы АД по окончании вычислительного процесса

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель проведения работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными и расчетными данными.
5. Выводы по работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений/Б.И.Кудрин. – М.:Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.:ил.

2. Кудрин Б.И. Электроснабжение (2-е изд., перераб. и доп.) [Текст]: Учебник/Б.И.Кудрин. – М.: Академия, 2012. – 352 с.

3. Правила устройства электроустановок [Текст]. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 4-й выпуск. – Новосибирск; Сиб.унив.изд-во, 2006. – 854 с.:ил.

4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов (10-е изд., стер.) [Текст]: Учебное пособие – М.: Академия, 2012. – 320 с.

5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.:Стандартинформ, 2014. – 19 с.