

3. Сивокобыленко В.Ф. Костенко В.И. Математическое моделирование глубококопных асинхронных машин. Электричество №4, 1980г.

4. Воротеяк Э.А. «Прогнозирование рабочих характеристик глубококопного асинхронного двигателя по каталожным данным». Академический вестник №19 2007г.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.12

УДК 621.314.632

В.К. ТЫТЮК, канд. техн. наук, доц., В.А. ХАРЧЕНКО, магистрант
Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

В имеющихся программах, предназначенных для математического моделирования технических устройств, отсутствуют средства для измерения составляющих полной мощности в несинусоидальных цепях. Такое положение дел существенно затрудняет изучение как процессов энергопотребления, так и разработку средств и методов управления энергопотреблением в современных электромеханических системах.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В существующей структуре энергопотребления электропривод является главным потребителем электрической энергии. В электроприводе используется около 60% от всей производимой электроэнергии. В условиях дефицита энергетических ресурсов это делает особенно острой проблему энергосбережения в электроприводе и средствами электропривода.

Основным научным методом, используемым для изучения процессов энергопотребления в сложных электромеханических системах, является математическое моделирование. Изучение режимов энергопотребления и процессов управления энергопотреблением сдерживается тем, что в существующих программах, предназначенных для математического моделирования электромеханических систем, отсутствуют средства для измерения составляющих полной мощности в несинусоидальных цепях. Например, подробный анализ имеющихся в составе библиотеки SimPowerSystems блоков для измерения активной и реактивной мощности показывает, что эти блоки предназначены для работы в составе линейных электрических цепей, используют расчеты составляющих мощности по первой гармонике тока и напряжения.

Улучшить можно только то, что можно измерить. Поэтому задача разработки элементов для измерения составляющих полной мощности в несинусоидальных цепях переменного тока является важной и актуальной.

Постановка задачи. Теоретические представления о составляющих полной мощности в настоящее время все еще продолжают оставаться предметом многочисленных теоретических дискуссий, а представления о природе и формировании неактивных составляющих полной мощности до сих пор являются предметом для обсуждения.

Отсутствие обоснованного ответа на вопрос о физической природе реактивной мощности приводит к непрекращающимся попыткам разработать универсальное представление этой характеристики энергетических процессов в электрических цепях. В результате этих попыток появились различные выражения реактивной мощности в виде билинейных функционалов от тока и напряжения.

Тем не менее, на промышленных предприятиях повсеместно работают счетчики активной и реактивной энергии, безусловно реализующие некий алгоритм вычисления активной и реактивной составляющих полной мощности.

Поскольку оплата за другие составляющие полной мощности, например, за мощность искажения не предусмотрена, то разумным будет сконцентрировать внимание именно на активной и реактивной составляющих полной мощности, которые непосредственно сказываются на финансовых показателях деятельности предприятия или электромеханической системы.

Целью настоящей работы является выбор метода расчета активной и реактивной составляющих полной мощности, практическая реализация блоков измерения мощности и проверка адекватности работы полученных измерительных блоков.

Материалы и результаты исследований. В теоретической электротехнике точно определено только понятие активной мощности электрической цепи, определяемой как среднее значение мгновенной мощности за период T

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (1)$$

где T - период измерений.

Понятие «реактивная мощность» и ее определение является предметом споров. К настоящему времени строгое определение реактивной мощности имеется для случая синусоидального режима в однофазной цепи. Одной из актуальных проблем для энергосистем является определение реактивной мощности при несинусоидальных режимах.

Понятие активной мощности, независимо от форм кривых тока и напряжений, определяется однозначно. Понятие полной мощности по смыслу является производной от активной мощности и определяется из положения передачи максимально возможной активной мощности при заданных значениях синусоидального тока и напряжения. Реактивная мощность определяется формально, через выражения активной и полной мощностей. Однако, при анализе работы электрических сетей и оценки работы электроэнергетического оборудования, большое значение имеет значение реактивной мощности и энергии, которое показывает степень использования возможностей элементов сети. Понятие реактивной мощности имеет еще большее значение при расчете распределения потоков энергии по электрическим сетям. Отсутствие строгой методической основы для определения реактивной мощности привело к разработке многочисленных подходов к определению этой величины [1-8].

В [1] отмечается ошибочность определения реактивной мощности как суммы различных гармоник и последовательностей.

В [2,3] предлагается использовать интегральные выражения от произведения тока на функцию, ортогональную напряжению, либо наоборот.

В [4] предложено связать реактивную мощность с обменными процессами.

В [6] динамические и энергетические показатели при несинусоидальных и несимметричных режимах предлагается определить по мгновенным значениям токов и напряжений.

В [7] предлагается метод расчета мощности и энергии искажения на основе мгновенных значений напряжения и тока гармоник как мощности и энергии, искажающих синусоидальный характер переменной составляющей мощности основной гармоники.

В [8] предлагается измерение реактивной мощности по действующим значениям реактивной мощности гармоник.

Понятие «реактивная мощность» определено только для синусоидального режима в линейной электрической цепи, что не позволяет без серьезных допущений производить анализ режимов работы энергосистемы с потребителями, искажающими форму тока и напряжения.

Широкое развитие получила группа методов определения составляющих полной мощности, базирующаяся на разложении токов и напряжений в ряд Фурье. При этом реактивная мощность определяется по выражению

$$Q = \sum_{n=0}^{\infty} Q_n = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + \dots + U_j I_j \sin \varphi_j + \dots \quad (2)$$

Квадрат полной мощности не равен сумме квадратов активной и реактивной мощностей. В связи с этим неравенством вводят еще один вид мощности, характеризующий различие в форме кривых тока и напряжения; эту мощность называют мощностью искажения

Для нелинейной электрической цепи понятие реактивной мощности не определено. Поэтому при решении некоторых практических задач были предприняты попытки, использовать интегральные выражения для оценки консервативных процессов [3,4]. Эти выражения представляют собой интегралы либо от произведения тока на функцию, ортогональную напряжению, либо наоборот. Такой, по существу формальный, подход привел к появлению двух совершенно равноправных интегральных выражений

$$Q = -\frac{1}{\omega T} \int_0^T i \cdot \frac{du}{dt} dt = \frac{1}{\omega T} \int_0^T u \cdot \frac{di}{dt} dt \quad (3)$$

Интегральные формулы позволяют определить реактивную мощность без разложения несинусоидальной функции в ряд Фурье.

Наиболее общей формулировкой пространственно-временных преобразований электромагнитной энергии является теорема Умова - Пойнтинга, которая позволяет количественно характеризовать энергетический обмен при произвольно изменяющихся во времени токах и напряжениях, [6].

Реактивная мощность в некоторых электрических цепях обусловлена определенными свойствами, вызывающими сдвиг по фазе между кривыми токов и напряжений элементов цепи, определяющий непропорциональное изменение мгновенного тока при изменении мгновенного напряжения на выводах элемента. В схемах с управляемыми ключевыми элементами, составляющими основу современного регулируемого электропривода, эта составляющая полной мощности обусловлена смещением основной гармоники сетевого тока относительно напряжения. Можно утверждать, что оценки реактивной мощности по формулам (2) и (3) дают реактивную мощность даже при отсутствии в электрической цепи накопителей энергии.

Теоретическая дискуссия о сущности реактивной мощности далека от завершения, поэтому для практической реализации блока измерения активной и реактивной мощности воспользуемся соответственно выражениями (1) и (3), так как эти выражения структурно похожи, однако, формула (3), в отличие от (2), позволяет определить реактивную мощность, минуя разложение кривых тока и напряжения в тригонометрические ряды.

В качестве интервала интегрирования для вычисления средних значений естественным образом будем использовать период сетевого напряжения $T = 1/f$, с. До завершения очередного периода измерений значение измеренной активной и реактивной мощности не определены, а на выходе измерительного блока должно поддерживаться предыдущее измеренное значение. По завершению периода интегрирования накопленные значения интеграторов необходимо обнулять.

Значения составляющих потребленной электроэнергии можно определить путем интегрирования соответствующих составляющих мощности. Алгоритм определения составляющих полной мощности по формулам (1), (3) приведен на рис. 1.

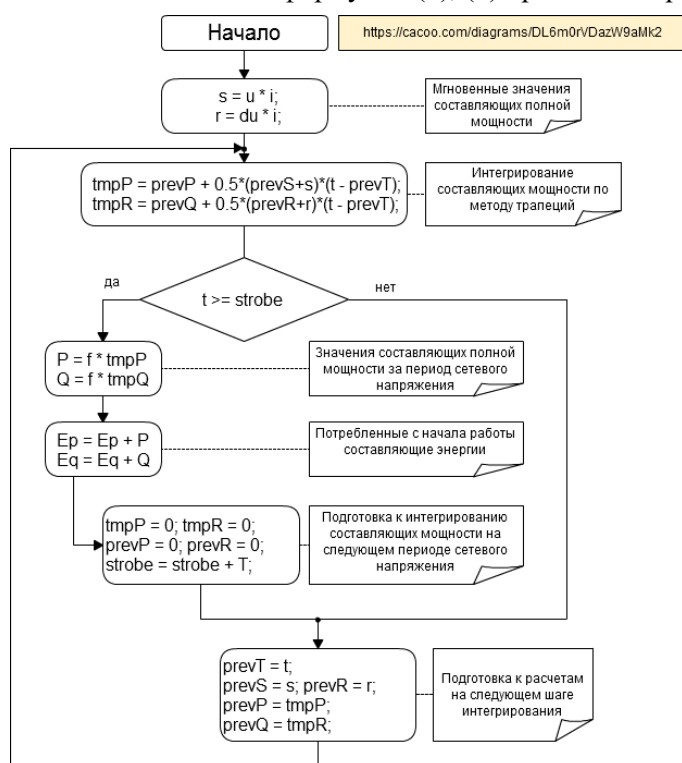


Рис. 1. Алгоритм расчета составляющих полной мощности

Предложенный алгоритм был реализован на языке программирования C в виде блока программы Simulink с использованием механизма пользовательских S-функций.

Рассмотрим работу разработанного блока в составе моделей с другими блоками Simulink и SimPowerSystems для проверки адекватности разработанного измерительного блока.

Проведенные разработанным блоком измерения на виртуальной схеме цепи постоянного тока подтвердили работоспособность этого блока в цепи постоянного тока. На вход сигнала производной напряжения в этом случае подаем нулевой сигнал. Проведенные измерения в модели линейной цепи переменного тока показали полное совпадение результатов измерений, полученных разработанным блоком PQmeter и

стандартным блоком библиотеки SimPowerSystems под названием Active&Reactive Power.

Рассмотрим работу измерительных блоков в цепи с ключевыми элементами, рис. 2.

На рис. 2а приведена виртуальная схема измерения мощности в цепи переменного тока, управляемой симистором. Параметры нагрузки: $\dot{U} = 100 \cdot \text{В}$; $R = 10 \text{ Ом}$; $X_l = 10 \text{ Ом}$.

а

б

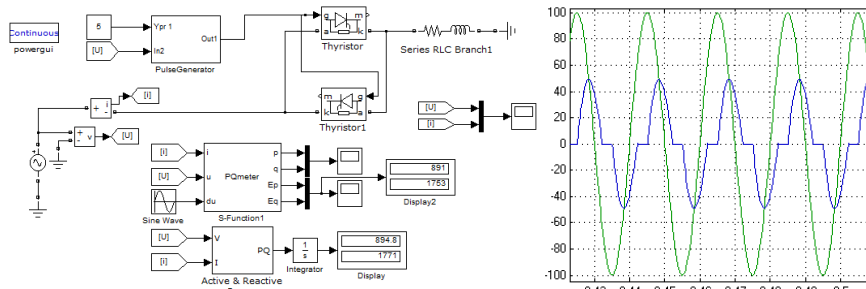


Рис. 2. Использование блока измерения составляющих мощности в виртуальных моделях линейной *a* и нелинейной *b* электрических цепях

Тут же приведены графики напряжение и тока через источник питания, на основании которых выполнялись измерения мощности.

Результаты измерений представлены на рис. 2а. Как показывают вычислительные эксперименты, блок Active&Reactive Power систематически дает завышенные показания по активной и реактивной мощности. В целом показания обоих измерительных блоков достаточно близки друг к другу.

Рассмотрим еще один практически очень важный случай – запуск асинхронного электродвигателя. В этом случае реализуется принципиально другой тип несинусоидальности, чем в ключевых цепях. Ток статора в процессе запуска имеет сложную форму, изменяется его амплитуда, в связи с чем измерение составляющих полной мощности затруднено. Запуск АД осуществляется с номинальным моментом сопротивления на валу.

На рис. 3а изображена виртуальная модель асинхронного электропривода и результаты измерений мощности различными измерительными блоками по результатам запуска.

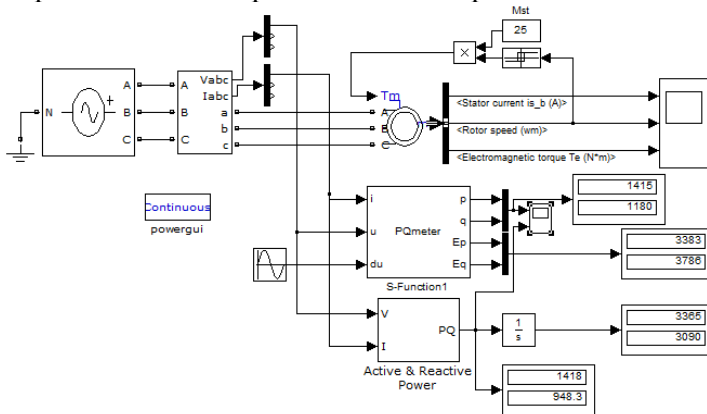


Рис. 3. Схема измерения составляющих полной мощности при прямом пуске АД

Из рис. 3 видно, что результаты измерения активной мощности практически идентичны, а измерения реактивной мощности отличаются на 20 %.

На рис. 4 приведены временные диаграммы активной и реактивной мощности, измеряемые в процессе запуска АД разработанным блоком и стандартным измерителем в среде Simulink Active&Reactive Power соответственно.

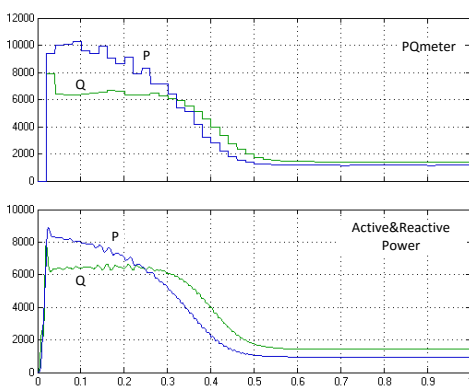


Рис. 4. Сравнительные графики активной и реактивной мощности при прямом пуске АД

Определим коэффициент мощности АД по результатам измерения составляющих полной мощности в установившемся номинальном режиме работы. Для блока PQmeter имеем $km=0,77$, для блока Active&Reactive Power получим $km=0,83$. Второй результат, полученный по измерениям блока Active&Reactive Power, представляется завышенным.

Выводы. В работе проанализированы основные известные подходы к вычислению составляющих полной мощности в электрических цепях. Показано, что активная и реактивная мощности могут быть вычислены с помощью функционалов от тока и напряжения с использованием сигнала производной напряжения. На основе предложенного алгоритма с использованием механизма пользовательских S-функций разработан блок измерений активной и реактивной мощности и потребленной энергии, совместимый с другими библиотечными блоками Simulink. Разработанный

блок прошел успешную апробацию, показана его работоспособность в электрических цепях несинусоидального переменного тока.

Список литературы

1. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. М.: Энергия, 1975.
2. Маевский О.А. Энергетические показатели вентиляльных преобразователей. - М.: Энергия, 1978.
3. Савиновский Ю.А., Королев С.Я., Стратонов А.В. К интегральному понятию «реактивная мощность». Изв. вузов. Энергетика. 1981, №7, с. 55-57.
4. Демирчян К.С. Реактивная или обменная мощность. Изв. АН СССР Энергетика и транспорт. 1984, №2.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. М.:Л.: Госэнергоиздат, 1963.
6. Копылов И.П. К определению динамических энергетических показателей при несинусоидальном и несимметричном напряжении / Изв. АН Энергетика. 2001, №2.
7. Фархадзаде Э.М., Гулиев Г.Б. Расчет показателей несинусоидального режима узла нагрузки. Электричество. 2002, №8.
8. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Новый подход к измерению электрической мощности. - Промышленная энергетика. 2004. №2, с.30-33.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.12

УДК 697.112.2.001.57

О.А. ЛОГИНОВ, аспирант, В.П. ЩОКІН, д-р техн. наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ В ПРИМІЩЕННІ

Проаналізовано вплив конструктивних особливостей приміщень на їх температурний стан, побудовано математичну модель, що характеризує зміну температури повітря в приміщенні під впливом різних збурень

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Опалюваний об'єкт являє собою складну архітектурно-конструктивну систему з різноманітним її енергетично взаємопов'язаних елементів: огороження, вікна, нагрівальні прилади, обладнання приміщень, повітряна середа (зовнішня та внутрішня), побутові та виробничі теплонадходження.

Зовнішні огорожувальні конструкції захищають приміщення від несприятливих впливів клімату, спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря підтримують в приміщенні протягом всього року певні параметри внутрішньої середи. Сукупність всіх інженерних засобів та приладів, що забезпечують заданий тепловий режим в приміщеннях будівлі, є системою кліматизації будівлі.

Головним завданням створення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму є організація взаємодіючих та взаємопов'язаних теплових потоків в складній архітектурно-конструктивній системі з різноманітним елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, кожний з яких є енергоносієм та передавачем енергії. Принциповою особливістю цієї системи є та обставина, що будівля з системою опалення як єдина енергетична система являє собою не лише підсумовування цих елементів, але й особливе їх поєднання, що надає всій системі в цілому нові якості, отримані в результаті суперпозиційних підходів.

Динамічні властивості опалення приміщень визначаються наступними конструктивними особливостями:

- розміщення приміщень (квартир) в будівлі;
- спосіб вентиляції приміщень;
- геометрія приміщень;
- коефіцієнт повітропроникності вікон;
- геометричні розміри та теплофізичні параметри огорожувальних конструкцій.

Обґрунтування вибору типу системи кліматизації будівлі має за мету мінімізувати витрати енергії на створення необхідного теплового режиму. Вибір типу системи кліматизації є результатом вирішення завдання оптимального керування, тобто знаходження такого керування витратами енергії, що витрачається на теплопостачання будівлі або приміщення, яке б задовольняло рівнянню теплового балансу приміщення з відповідними обмеженнями і для якого виконується умова .

При використанні систем регулювання подачі тепла, які засновані на керуванні за даними про температуру теплоносія в зворотному трубопроводі, може спостерігатись значна невідповідність очікуваної та фактичної температури повітря в приміщенні. Тому необхідною є по-