

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ УСТАНОВКАМИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

*Н. И. Муха, к.т.н., доц., С. А. Дудко, асс.
Одесская национальная морская академия
ул. Дидрихсона, 8, 65029, г. Одесса, Украина
E-mail: nm52@mail.ru*

Приведены способы компенсации реактивной мощности в промышленности. Обоснована необходимость применения новых алгоритмов компенсации реактивной энергии в судовых условиях. Проведен анализ алгоритмов компенсации реактивной энергии и сделан выбор наиболее оптимального алгоритма, при котором реактивная нагрузка сводится к минимуму, а коэффициент мощности примерно равен единице.

Ключевые слова: оптимальный алгоритм, реактивная мощность, коэффициент мощности, система компенсации.

Введение. Разработка и внедрение на судах компенсаторов реактивной энергии сопряжено с решением комплекса научно-технических проблем, связанных с судовыми условиями работы электростанции.

Анализ предыдущих исследований. В промышленности в настоящее время применяют два способа компенсации реактивной мощности: по усредненному и по мгновенным значениям реактивной мощности нагрузки [1, 2].

До настоящего времени на судах нашли применение только конденсаторные компенсаторы, реагирующие на средние значения реактивного тока нагрузки. В таких устройствах переключение секций конденсаторов происходит один раз за несколько секунд. Учитывая быстрдействие судовых электрических сетей, такие компенсаторы не способны реагировать на переходные процессы, вызванные переключениями судовой нагрузки.

Цель работы. Исследование алгоритмов управления судовыми установками компенсации реактивной энергии и программ их реализации.

Материал и результаты исследования. В работе найдены схемные решения управления блоками конденсаторов компенсирующего устройства для достижения максимально быстрого генерирования необходимого ёмкостного тока, определены законы управления устройством компенсации реактивной мощности с учетом особенностей структуры судовой энергетической установки, соизмеримости по мощности и взаимного влияния процессов в генераторах, нагрузке и в компенсирующем устройстве.

Для этого проанализированы процессы включения и отключения дискретных блоков конденсаторов с помощью различных тиристорных схем и определено минимальное время дискретности по времени для процесса тиристорной коммутации. Это время может быть исходным при разработке средств измерения реактивного тока или угла между напряжением и током нагрузки.

Выбор количества трехфазных секций конденсаторов и величины их емкостей должен быть согласован с параметрами дискретных сигналов управления компенсирующим устройством, таки-

ми, как количество разрядов и «вес» разрядов. Количество блоков конденсаторов, их емкость определяют точность регулирования реактивного тока и существенно влияют на стоимость устройства.

В работе рассмотрены варианты схемных решений устройств компенсации реактивной энергии, использующих усредненный способ компенсации реактивной мощности.

Упрощенная функциональная схема установки Varset компании Schneider Electric показана на рис. 1, а.

В качестве ключей, коммутирующих конденсаторы, в модулях Varset применяются специально разработанные контакторы (рис. 1, б).

Отсутствие синхронизации моментов включения конденсаторов с напряжением сети приводит к переходным процессам в моменты коммутации, что проиллюстрировано на рис. 2.

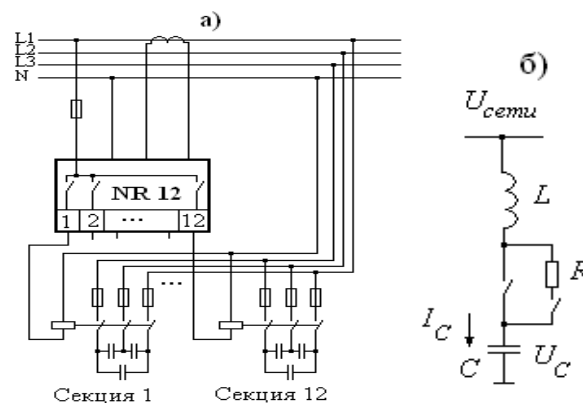


Рисунок 1 – Установка компенсации реактивной энергии Varset: а) функциональная схема контакторной УКРМ; б) схема контакторного ключевого элемента

Использование в качестве ключей силовых полупроводниковых элементов позволяет осуществлять коммутацию конденсатора в каждой фазе в момент равенства напряжения сети и конденсатора. Фирма Schneider Electric выпускает тиристорные УКРМ типа Varset FAST с временем срабатывания ключа меньше 40 мс.

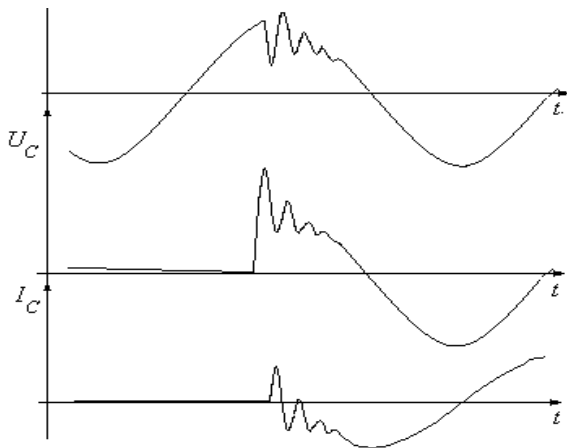


Рисунок 2 – Иллюстрация переходных процессов в цепи коммутации конденсатора

Другим примером регулятора реактивной мощности с контакторной коммутацией конденсаторов можно назвать контроллер MULTICOMP 96 Eco фирмы MKS technology (рис. 3).

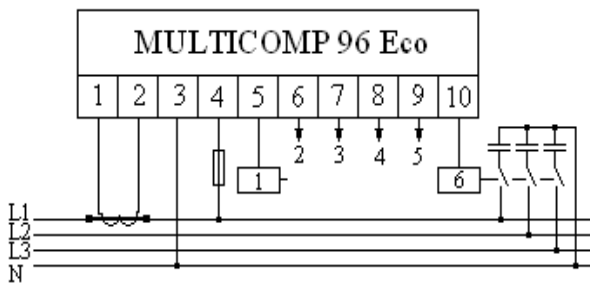


Рисунок 3 – Регулятор реактивной энергии MULTICOMP 96 Eco

Для выполнения аналогичных операций по изменению параметров электроэнергии и коммутации конденсаторных секций предназначен контроллер BR7000 фирмы EPCOS.

Изменение реактивной мощности и заданного $\cos \varphi$ в контакторных установках осуществляется с определенной тактовой частотой по заданной программе регулирования.

Требуемая величина емкостного тока достигается за счет подключения и отключения соответствующих ступеней конденсаторов устройства компенсации. Программы регулирования учитывают мощности ступеней.

Ниже приведены программы регулирования величины емкостного тока путем подключения и отключения соответствующих ступеней конденсаторов устройства компенсации [3]:

а) Линейная программа. Все ступени одинаковой мощности (например: 1.1.1.1). Последовательность подключения ступеней соответствует принципу «last-in – first-out», т. е. последняя подключаемая ступень отключается первой и наоборот;

б) Нормальная программа. Эта программа может использоваться в устройстве компенсации, где отношение мощностей ступеней равно 1.2.4.4. Линей-

ная последовательность начинается с третьей ступени. Две первые ступени используются для точного регулирования. Коммутация всегда начинается с первой ступени, потом со второй. Следующие ступени коммутируются одна за другой;

с) Круговая программа А. Все ступени одинаковой мощности (например: 1.1.1.1). Последовательность подключения ступеней соответствует принципу «first-in – first-out», т. е. первая подключаемая ступень отключается первой. Затем коммутация осуществляется по круговой схеме. Для нормального функционирования количество указанных ступеней должно строго соответствовать реальному количеству ступеней;

д) Круговая программа В. Программа может использоваться в устройствах компенсации реактивной мощности, где отношение мощностей ступеней равно 1.2.2.2. Первая ступень используется для точного регулирования. Круговая последовательность запускается со второй ступени;

е) Оптимальная программа. Эта программа соответствует многочисленным конфигурациям ступеней: 1.1.1.1.1; 1.2.2.2.2; 1.2.4.4.4; 1.2.4.8.8; 1.1.2.2.2; 1.1.2.3.3; 1.1.2.4.4; 1.2.3.3.3; 1.2.3.4.4; 1.2.3.6.6 и т.д.

Заданный $\cos \varphi$ достигается минимальным количеством ступеней за минимальное время. Он определяет оптимальные выдаваемые мощности и в то же время уменьшает время поиска, особенно если необходимо выдать большую реактивную мощность или когда сеть приобретает емкостный характер.

Выполним сравнение между «нормальной» (рис. 4, а) и «оптимальной» (рис. 4, б) программами.

Обозначим Q_0 – реактивную мощность нагрузки, а Q_K – мощность с учетом действия компенсирующего устройства.

Нормальная программа достигает нужного $\cos \varphi$ за счет последовательных подключений или отключений ступеней, изменяя каждый раз мощность устройства компенсации на мощность самой малой ступени.

Оптимальная программа достигает нужного $\cos \varphi$ за счет последовательных подключений или отключений ступеней, изменяющих каждый раз мощность устройства компенсации на мощность, наиболее соответствующую потребностям.

Время полной компенсации по «оптимальной» программе оказывается несколько меньше.

Если контроллер учитывает уже подключенные ступени и вычисляет необходимую конфигурацию подключенных конденсаторных секций, то существует возможность установки необходимой компенсирующей мощности за один тактовый цикл (рис. 4, в).

Например, в логическом блоке MULTICOMP 96 Eco фирмы MKS technology период коммутации может задаваться от 5 до 1200 секунд. В этом контроллере также осуществляется контроль за током подключенных конденсаторов, что значительно повышает надежность УКРМ.

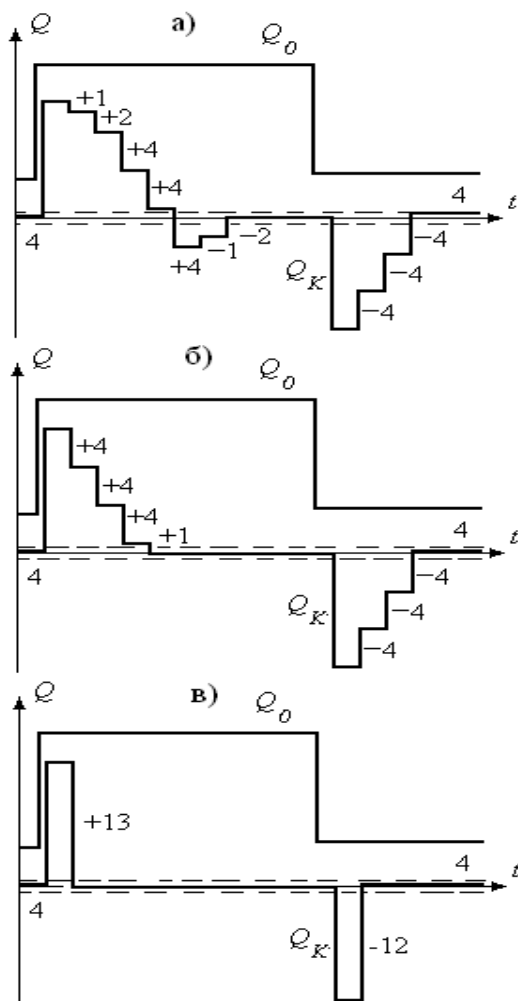


Рисунок 4 – Пояснения к алгоритмам работы

Реализация наиболее быстрого алгоритма (рис. 4, в) сопряжена с проблемой слишком больших переходных токов коммутации в течение короткого времени. Если активно-индуктивная нагрузка соизмерима с мощностью генератора, то мгновенная коммутация конденсаторов большой емкости приводит к повышению колебательности и даже к потере устойчивости электроэнергетической системы.

Принципиально другим алгоритмом управления УКРМ является закон управления, реализуемый в каждый период переменного тока. Реактивная мощность вычисляется в течение одного периода переменного тока, а ее полная компенсация выполняется с частотой сети.

Например, фирма ELSPEC предложила компенсацию реактивного потребления энергии при пуске асинхронных машин мощностью 1300 кВт, что позволило понизить провал напряжения и обеспечить быструю реакцию (в каждый период переменного тока) на изменения потребления реактивной энергии в обычном рабочем режиме работы асинхронного двигателя.

На этапе пуска, составляющем порядка 1,5...2,0 с, реактивное потребление асинхронной машины максимально. В течение этого периода ток I достигает значений 1200 А при реактивном

потреблении, достигающем более 1200 кВАр (рис. 5).

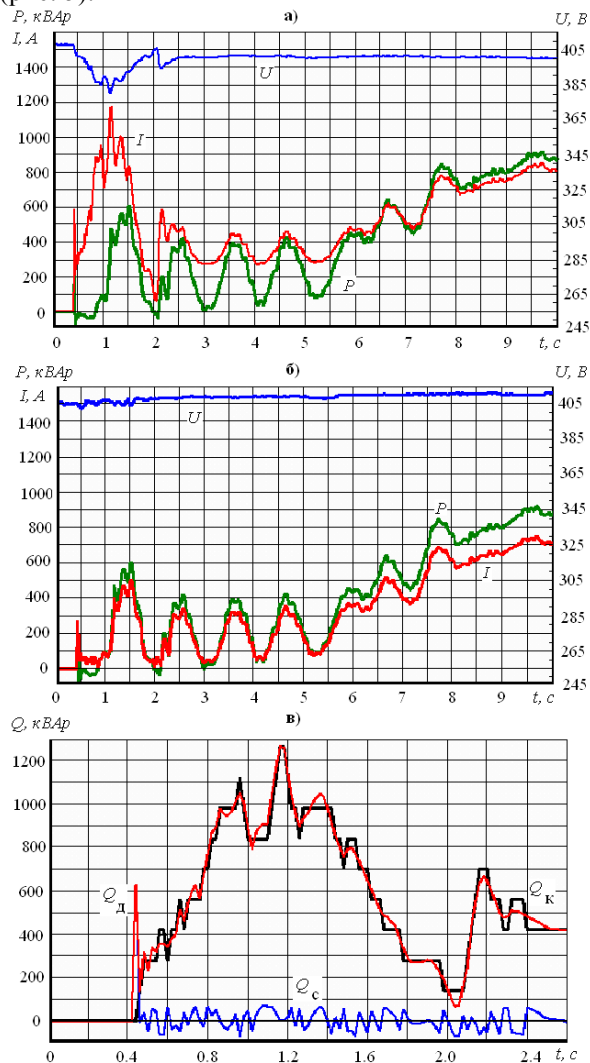


Рисунок 5 – Компенсация реактивного потребления энергии при пуске асинхронной машины

Как видно из рис. 5, а, в течение первых 1,5...2,0 секунд ток на трансформаторе, вначале достигший максимума 600 А, возрастает до 1000 А в течение следующих 25 периодов сети; этот ток почти полностью реактивный и насыщен гармоническими составляющими. Максимальный ток достигает 1200 А.

Влияние высокого реактивного потребления во время пуска на сетевой трансформатор и, следовательно, питающее напряжение значительно. Напряжение резко падает (рис. 5, а), что может вызвать недопустимое возмущение в локальной сети, т. е. колебание напряжения.

Ясно, что если пиковое реактивное потребление могло бы быть устранено или снижено во время пуска машины, то ток был бы значительно ниже и, следовательно, питающее напряжение было бы стабилизировано.

Для компенсации пускового потребления реактивного тока применена новая разработка фирмы ELSPEC – УКРМ типа EQUALIZER.

Это система коррекции коэффициента мощности с электронным переключением блоков конденсаторов. Она содержит независимую от переходного процесса собственную систему интегральных измерений для расчета реактивной мощности сети, она способна быстро реагировать в каждый период на флуктуации нагрузки (рис. 5, в).

Получение максимальной компенсации занимает только 1 период сети (от 5 до 20 мс при частоте 50 Гц). Это позволяет значительно снизить реактивные нагрузки "запуска" асинхронного двигателя и эффективно минимизировать пиковый ток (рис. 5, б).

Как показано на рис. 5, в, УКРМ EQUALIZER производит эффективную компенсацию потребления реактивной энергии от сети. Реактивная нагрузка на трансформаторе сводится к минимуму, изменяясь в пределах ± 70 кВАр.

Поскольку коэффициент мощности примерно равен единице при работе системы EQUALIZER и реактивная компонента почти полностью исключена, пусковой ток будет состоять только из активного тока и токов гармоник.

После первоначальной задержки длительностью в 1 период начальный ток в течение первых 35 периодов составляет не более 100 А, что менее 10 % от значения тока без компенсации. При этом получаем максимум тока на трансформаторе амплитудой только 500 А, что составляет лишь 42 % от значения тока без системы EQUALIZER.

Сетевое напряжение становится стабильным, наблюдаются лишь незначительные изменения в пределах 2 – 3 В, колебание напряжения больше не является проблемой.

Выводы. Проведенный анализ алгоритмов управления судовыми установками компенсации реактивной энергии позволил найти наиболее оптимальный алгоритм управления, при котором реактивная нагрузка сводится к минимуму. При этом соответственно коэффициент мощности примерно равен единице и реактивная компонента почти полностью исключена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан Я.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
2. Богаенко И.Н. Регулируемые компенсирующие устройства реактивной мощности. – К.: Техніка, 1992. – 224 с.
3. Вишневский Л.В., Муха Н.И., Веретенник А.М. Качество переходных процессов в импульсных системах стабилизации напряжения судовых дизель-генераторов // Автоматизация судовых технических средств. – Одесса: ОГМА, 2002. – Вып. 7. – С. 13 – 18.
4. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Технологическая платформа Smart Grid. // Энергоэксперт, 2009. – № 4 (15).
5. HomeCap capacitors for Power Factor Correction // <http://www.epcos.com/pfc>.

Стаття надійшла 08.06.2011 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Бялобреським О.В.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ УСТАНОВКАМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

*М. Й. Муха, к.т.н., доц., С. А. Дудко, ас.
Одеська національна морська академія
вул. Дідріхсона, 8, 65029, м. Одеса, Україна
E-mail: nm52@mail.ru*

Наведені способи компенсації реактивної потужності в промисловості. Обґрунтована необхідність застосування нових алгоритмів компенсації реактивної енергії в судових умовах. Проведено аналіз алгоритмів компенсації реактивної енергії та зроблено вибір найбільш оптимального алгоритму, при якому реактивне навантаження зводиться до мінімуму, а коефіцієнт потужності приблизно дорівнює одиниці.

Ключові слова: оптимальний алгоритм, реактивна потужність, коефіцієнт потужності, система компенсації.

ANALYSIS OF CONTROL ALGORITHMS OF COMPENSATION REACTIVE POWER SYSTEMS IN SHIPS ELECTRICAL POWER PLANTS

*N. Mukha, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., S. Dudko, ass.
Odessa National Maritime Academy
ul. Didrikhsona, 8, 65029, Odessa, Ukraine
E-mail: nm52@mail.ru*

The methods of indemnification to the reactive-power are resulted in industry. The necessity of application of new algorithms of indemnification to the reactive-power is grounded for ship terms. The analysis of algorithms compensation the reactive energy and choice the most optimum algorithm at which the reactive loading is taken to the minimum, and a power-factor is approximately equal to one.

Key words: optimum algorithm, reactive-power, power factor, system of indemnification.