

УДК 621.319.4

Л. В. Вишнеvский, д-р техн. наук

## ДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Аннотация.** Рассмотрена проблема компенсации реактивной энергии судовой электростанции. Соизмеримость мощностей судовых потребителей электроэнергии и генераторов не позволяет эффективно использовать промышленные компенсирующие установки. Проблему можно решить, используя системы с динамической компенсацией реактивной энергии.

**Ключевые слова:** реактивная энергия, динамическая компенсация, конденсаторы, потребители электроэнергии, пусковой ток, электрическая сеть, переходные режимы

L. Vyshnevskiy, ScD.

## DYNAMIC REACTIVE POWER COMPENSATION OF SHIP POWER

**Abstract.** The problem of reactive power compensation of the ship's power plant. Comparable capacity ship electricity consumers and generators can not effectively use industrial compensating system. Problem can be solved using a system with dynamic reactive power compensation.

**Keywords:** reactive energy, dynamic compensation, capacitors, electricity consumers, inrush current, electric network, transients

Л. В. Вишнеvський, д-р техн наук

## ДИНАМІЧНА КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНІЙ ЕНЕРГІЇ СУДОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**Анотація.** Розглянуто проблему компенсації реактивної енергії судової електростанції. Сумірність потужностей судових споживачів електроенергії і генераторів не дозволяє ефективно використовувати промислові компенсуючі установки. Проблему можна вирішити, використовуючи системи з динамічною компенсацією реактивної енергії

**Ключові слова:** реактивна енергія, динамічна компенсація, конденсатори, споживачі електроенергії, пусковий струм, електрична мережа, перехідні режими

**Введение.** Рациональное использование энергетических возможностей судовой силовой установки позволяет существенно повысить технико-экономическую эффективность эксплуатации судна, [1, 2]. Одним из путей снижения потерь электроэнергии на судне является совершенствование распределения энергетических потоков, в частности, компенсация реактивной энергии судовых потребителей.

В настоящее время на современных судах устанавливаются блоки конденсаторных батарей для компенсации индуктивной нагрузки судовых потребителей, рис. 1 [3, 4]. Устранение генерирования и передачи реактивной энергии на большие расстояния существенно снижает тепловые потери мощности в линиях электропередач и кабельных трассах, снижает необходимую установленную мощность и номинальный ток генераторов, [5]. Так, полный ток электростанции при компенсации реактивной энергии потребителей можно снизить примерно в полтора раза, рис. 2.

До настоящего времени нерешенной остается проблема компенсации реактивной энергии при резко переменных нагрузках и пусках приводов соизмеримой мощности.

**Основная часть.** Существующие технические решения обеспечивают компенсацию среднего значения реактивной мощности, при этом быстрые переходные процессы в энергетической системе не учитываются. В то же время, работа судовой энергетичес-

кой установки характеризуется в основном переменными режимами с частыми пусками приводов судовых механизмов.

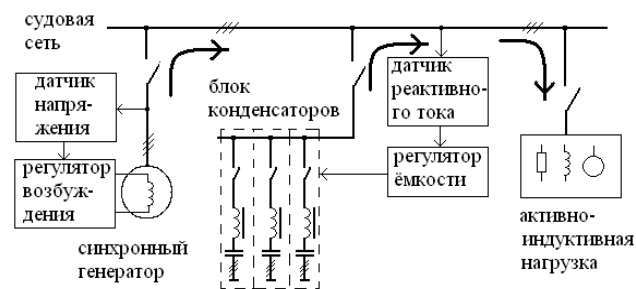


Рис. 1. Параллельное генерирование реактивной энергии судовой синхронным генератором и конденсаторным компенсирующим устройством

Работа электроприводов во время их пуска и в резко переменных режимах характеризуется значительным потреблением реактивной мощности, которое в некоторых случаях превышает потребление активной мощности. [5, 6]. В этом режиме за время разгона электродвигателя потребляются пусковые токи в 5...7 раз превышающие номинальный ток двигателя. Из-за этого в автономной электрической сети, не рассчитанной на такие кратковременные большие токи, возникает значительный провал напряжения. Такой перепад напряжения может создавать проблемы для других нагрузок сети и может, не запустится сам двигатель. Это приводит к снижению запаса устойчивости электростанции.

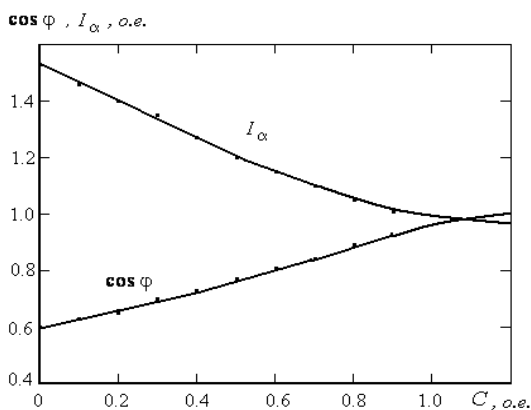


Рис. 2. Зависимость полного тока и коэффициента мощности от ёмкости компенсирующих конденсаторов

К техническим средствам компенсации реактивной мощности относятся следующие виды компенсирующих устройств: конденсаторные батареи, синхронные двигатели и компенсаторы, вентильные статические источники реактивной мощности.

В настоящее время наиболее распространенными устройствами статической компенсации реактивной мощности в распределительных сетях промышленного электроснабжения являются автоматизированные конденсаторные установки с управлением ступенями конденсаторных батарей с помощью специальных электромеханических контакторов [7 – 9].

Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется их значительными преимуществами по сравнению с другими видами компенсирующих установок: незначительные удельные потери активной мощности до 0,005 кВт/кВАр, отсутствие вращающихся частей, простота монтажа и эксплуатации, относительно невысокая стоимость, малая масса, отсутствие шума во время работы, возможность установки около отдельных групп потребителей. Недостатки конденсаторных батарей: пожароопасность, наличие остаточного заряда, повышающего опасность при обслуживании; чувствительность к перенапряжениям и броскам тока; возможность только ступенчатого, а не плавного регулирования мощности.

Задержка переключения ступеней в среднем на 60 с и более, обусловленная требованиями стандарта IEC 831 к уровню напряжения разряда конденсаторов перед повторным включением (10 %) и установлением колебаний реактивной мощности в компенсируемой сети, ограничивает применение данных конденсаторных установок для технологического оборудования с квазистационарным режимом работы.

Ведущими производителями в области компенсации коэффициента мощности являются фирмы BELUK и EPCOS [7 – 9].

Одной из эффективных мер повышения стабильности напряжения во время переходных режимов в электроустановках является быстродействующая динамическая компенсация реактивной мощности, [5, 6, 10], рис. 3.

При динамическом управлении конденсаторной компенсирующей установкой коммутация конденса-

торов осуществляется в каждый период переменного тока. Для этого реактивная мощность потребителей сети вычисляется в течение одного периода переменного тока, и переключение конденсаторов выполняется с частотой сети.

Примером использования динамической компенсации реактивной мощности в реальном времени может служить разработка фирмы EQUALIZER, предназначенная для запуска мощных асинхронных двигателей, рис. 3. При прямом пуске без компенсации запуск двигателя создает большие реактивные токи в начальный период пуска, что вызывает сильный провал напряжения в сети, рис. 3, а [10].

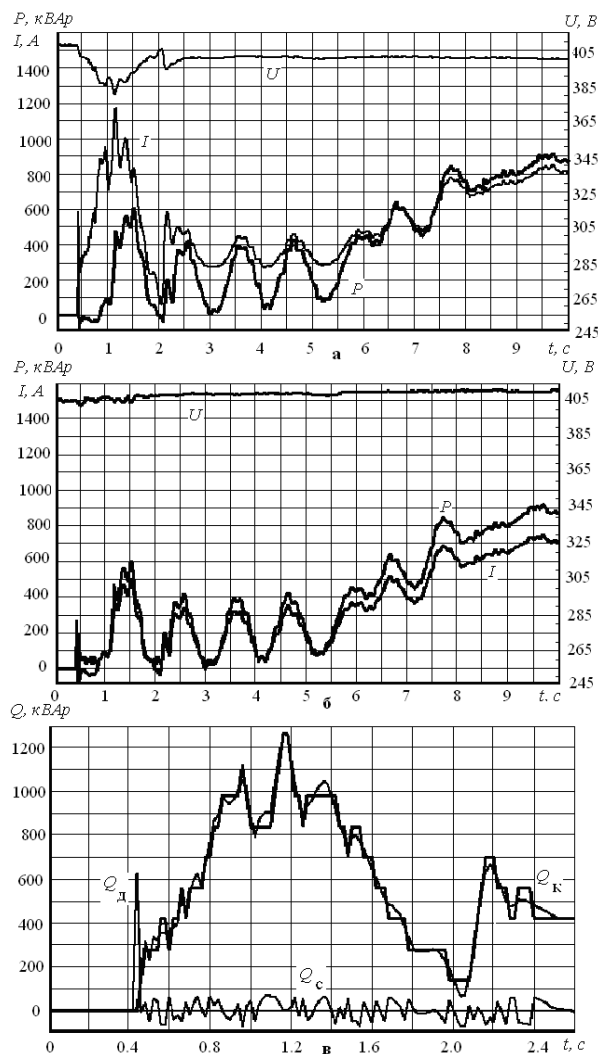


Рис. 3. Компенсации реактивного потребления энергии при пуске асинхронной машины: а – пуск без компенсации; б и в – пуск с компенсацией

Динамическая система коррекции коэффициента мощности с помощью электронных ключей переключает блоки конденсаторов в каждый период сети во время переходного процесса. Она содержит независимую систему измерений реактивной мощности сети, поэтому способна быстро реагировать в каждый период на изменения нагрузки. Полная компенсация реактивной мощности занимает только период сети – от 5 до 20 мс при частоте 50 Гц. Это позволяет значи-

тельно снизить реактивные нагрузки при пуске мощного асинхронного двигателя, эффективно минимизировать пиковый ток и снизить динамический провал напряжения в сети, рис. 3, б и рис. 3, в.

Судовая электростанция, в которой устанавливается компенсатор реактивной мощности, содержит и несколько других регулируемых источников активной и реактивной электроэнергии – это синхронные генераторы, рис. 1.

Вспомогательные дизель-генераторы судовой электростанции также могут вырабатывать реактивную энергию, необходимую для потребителей. Очевидно, что в этой ситуации необходимо координированное управление параметрами реактивной энергии от различных источников.

#### Выводы

1. Динамическая компенсация реактивной мощности позволяет существенно улучшить пусковые характеристики электроприводов соизмеримой мощности.

2. Поиск законов управления реактивным током в энергетической установке, содержащей генераторы и конденсаторы, должен производиться с учетом из взаимного влияния и взаимодействия.

#### Список использованной литературы

1. Баранов А. П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы / А. П. Баранов. – М. : Транспорт, 1988. – 328 с

2. Правила технической эксплуатации морских и речных судов // Нормативные документы морского транспорта Украины. – Одесса, – 2000. – Т. 2. – 405 с.

3. Вишневецкий Л. В. Системы управления асинхронными генераторными комплексами / Л. В. Вишневецкий, А. Е. Пасс. – К. : Лыбидь, 1990. – 68 с.

4. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности : под ред. Р. Матура. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.

5. Бурбело М. Й. Компенсація реактивної потужності асинхронних двигунів в різкозмінних режимах навантаження / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1.– С. 65 – 68.

6. Demenko A., and Nowak L., (1990), Numerical Calculation of Eddycurrents in Hollow Conductors of Electrical Machine Winding, *Proceedings of 4-th International IGTE Symposium and European TEAM Workshop*, pp. 64 – 70.

7. HomeCap Capacitors for Power Factor Correction (In English), available at : <http://www.epcos.com/pfc> (accessed 2014).

8. Jungwirth P., (2005), Power Factor Correction on Site, *EPCOS COMPONENTS*, No.4.

9. Static Contactor for Rapid Switching of Capacitors in Low Voltage Grids. (In English), available at: <http://www.processtechnique.com>, (accessed 2011).

10. EQUALIZER ST. Динамическая система компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://elspec.su/equalizer\\_st](http://elspec.su/equalizer_st) . – Дата доступа (2014).

Получено 13.07.2014

#### References

1. Baranov A.P. Sudovie avtomatizirovannie elektroenergeticheskie sistemi [Ship Automated Power Systems], (1988), Moscow, Russian Federation, *Transport*, 328 p. (In Russian).

2. Pravila tehnichej ekspluataciji morskih i rechnih sudov [Rules of Technical Operation of Marine and River Vessels], (2000), *Regulations Maritime Ukraine*, Odessa, Ukraine, Vol. 2, 405 p. (In Russian).

3. Vyshnievsky L.V., and Pass A.E. Sistemi upravlenija asinhronnimi generatormimi kompleksami [Control System Asynchronous Generator Complexes], (1990), Kiev, Ukraine, *Libid*, 68 p. (In Russian).

4. Matura R. Statischej kompensatori dlj regulirovanija reaktivnoj moshnosti [Static Compensators for Reactive Power Control], (1987), ed. R. Matura, Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 160 p (In Russian).

5. Burbelo M.I., and Gadaj A.V. Kompensacija reaktivnoj potuzhnosti asinhronnih dviguniv v rizko zminnih rezhimah navantazhenia [Compensation of Reactive Power Induction Motors in Variable Load Mode], (2008), *Vesnik Vinnickogo Politehnicnogo Institutu*, No. 1, pp. 65 – 68 [In Ukrainian].

6. Demenko A., and Nowak L. (1990), Numerical Calculation of eddy-currents in Hollow Con-Ductors of Electrical Machine Winding, *Proceedings of 4-th International IGTE Symposium and European TEAM Workshop*, pp. 64 – 70 (In English).

7. Home Cap Capacitors for Power Factor Correction (In English), available at: // <http://www.epcos.com/pfc>. (accessed 2014).

8. Jungwirth P., (2005), Power Factor Correction on site. *EPCOS COMPONENTS*, No. 4 (In English).

9. Static Contactor for Rapid Switching of Capacitors in Low Voltage Grids (In English), available at: <http://www.processtechnique.com>, (accessed 2011) (In English).

10. EQUALIZER ST. Dinamicheskie sistemi kompensacii reaktivnoj [Dynamic Reactive Power Compensation System], (in Russian), available at: [http://elspec.su/equalizer\\_st](http://elspec.su/equalizer_st). (accessed 2014).



Вишневецкий  
Леонид Викторович,  
д-р техн. наук, проф., зав. каф.  
автоматизации судовых паро-  
силовых установок Одесской  
нац. морской академии.  
65029, г. Одесса,  
ул. Дидрихсона, 8.  
Тел.+380635632238.  
E-mail: leovish@rambler.ru