

УДК 621.319.4

Л. В. Вишнеvский, д-р техн. наук,
А. П. Тумольский

СОГЛАСОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. Рассмотрена проблема управления напряжением и реактивной проводимостью нагрузки автономной электроэнергетической системы, содержащей синхронный генератор и установку компенсации реактивной мощности. Соизмеримость мощностей электропотребителей и генератора приводит к значительным динамическим отклонениям напряжения при коммутации нагрузки, которые предлагается использовать как один из сигналов для формирования величины емкости конденсаторов.

Ключевые слова: динамическое отклонение напряжения, синхронный генератор, проводимость, переходные процессы, коммутация нагрузки

L. Vyshnevsky, ScD.,
A. Tumolsky

COORDINATED CONTROL OF THE AUTONOMOUS ELECTRIC SYSTEM WITH REACTIVE POWER COMPENSATION

Abstract. The problem of voltage control and reactive load conductivity autonomous power system, comprising a synchronous generator and installation of reactive power compensation. Commensurable capacity electrical load and generator leads to significant dynamic voltage deviations during load switching, which is proposed to use as one of the signals to form a capacitance value capacitors.

Keywords: dynamic voltage deviation, synchronous generator, conductivity, transients, load switching

Л. В. Вишнеvський, д-р техн. наук,
О. П. Тумольський

УЗГОДЖЕННЕ УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНОЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ З КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. Розглянуто проблему управління напругою і реактивною провідністю навантаження автономної електроенергетичної системи, що містить синхронний генератор і установку компенсації реактивної потужності. Сумірність потужностей електроспоживачів та генератора призводить до значних динамічних відхиленням напруги при комутації навантаження, які пропонується використовувати як один із сигналів для формування величини ємності конденсаторів.

Ключові слова: динамічне відхилення напруги, синхронний генератор, провідність, перехідні процеси, комутація навантаження

Введение. Рациональное использование топливно-энергетических и материальных ресурсов за счет внедрения новой техники и технологий, автоматизации и оптимизации технологических процессов на производстве и транспорте является важной задачей экономики. Повышение эффективности электроснабжения решаются путем компенсации реактивной мощности с помощью специальных устройств, исследованиям и внедрению которых посвящено много научных работ [1 – 3; 7] и разработок [8 – 10].

В настоящее время приоритетное применение получили конденсаторные установки компенсации реактивной мощности (УКРМ), которые обладают преимуществами перед другими устройствами. Это малые потери активной мощности, отсутствие вращающихся частей и скользящих контактов, невысокая стоимость и затраты при эксплуатации, отсутствие шума во время работы [7; 10].

Системы электроснабжения предприятий, транспортных средств и других крупных автономных потребителей содержат установки компенсации реактивной мощности нагрузки, что позволяет снизить

величину поребляемого тока и полную мощность автономных генераторов, а также потери в линиях электропередач и затраты на оплату реактивной энергии при питании потребителей автономного объекта от стационарной сети.

Например, на судах транспортного флота дополнительные конденсаторы используют для компенсации индуктивной нагрузки судовой электростанции во время стоянки, так как не обходимо платить за реактивную энергию при питании с берега. Поэтому в состав энергетической установки судна в дополнение к генераторным агрегатам основного и резервного питания устанавливают блоки конденсаторов, которые коммутируются тиристорными ключами (рис. 1).

Высокая цена органического топлива, идущего на получение электроэнергии, а также снижение стоимости конденсаторов переменного тока и тиристоров делают эффективным установку на автономных объектах коммутируемых конденсаторных устройств. Количество подключенных блоков конденсаторов УКРМ определяется регулятором компенсирующей емкости (РРМ) в зависимости от величины индуктивности нагрузки, которая измеряется датчиком реактивной мощности (ДРМ).

© Вишнеvский Л.В., Тумольский А.П., 2015

Известно, что напряжение синхронного генератора (СГ) зависит как от тока в обмотке возбуждения, так и от емкости его нагрузки [3], однако в настоящее время эксплуатация конденсаторных устройств в составе автономных электростанций непосредственно не связана с управлением синхронным генератором. Традиционная система управления генератором не использует емкость конденсаторов для регулирования напряжения, а датчик (ДН) и регулятор напряжения (РН) управляют током в обмотке возбуждения СГ, как показано на рис. 1.

Основная часть. Наличие в автономной электроэнергетической системе с синхронным генератором компенсирующих конденсаторов делает технически возможным использовать их емкость не только для компенсации индуктивной нагрузки, но и для управления напряжением электростанции. Информацию от датчика напряжения (ДН) генератора целесообразно использовать как для изменения тока возбуждения СГ, так и для управления регулятором реактивной мощности (РРМ) (рис. 1).

Наиболее распространенными УКРМ в сетях промышленного электроснабжения являются статические установки с управлением ступенями конденсаторных батарей с помощью контакторов. Задержка переключения ступеней на 60 с и более обусловлена требованиями стандарта IEC 831 к уровню напряжения разряда конденсаторов перед повторным включением. Такие установки эффективны для установившихся режимов и не работают в динамике.



Рис. 1. Функциональная схема автономной электроэнергетической установки с компенсацией реактивной мощности:

СГ – синхронный генератор; Д – двигатель; ВГ – возбудитель генератора; УКРМ – установка компенсации реактивной мощности; РН – регулятор напряжения; РРМ – регулятор реактивной мощности; ДН – датчик напряжения; ДРМ – датчик реактивной мощности

Одной из эффективных мер повышения уровня напряжения во время переходных режимов является динамическая компенсация реактивной мощности, работающая с максимально возможным быстродействием. Время переключения конденсаторов не должно превышать один период генерируемого тока, т.е. 0,02 с. такая реализация вполне возможна с применением тиристорных ключей с безударным включением. Отсутствие переходных токов при коммутации кон-

денсаторов обеспечивается синхронизацией момента включения тиристоров, когда напряжение на них близко к нулю, что предотвратит перезаряд включаемого конденсатора.

До настоящего времени системы регулирования напряжения генератора переменного тока и реактивной мощности работали независимо. Применение промышленных динамических УКРМ в автономных электроэнергетических системах предполагает выполнить согласование работы этих регуляторов.

Целью настоящего исследования является изучение возможности использовать информацию о динамическом отклонении напряжения в переходном процессе коммутации электропотребителей для управления емкостным током УКРМ.

Целесообразность такого решения обоснована тем, что емкостной ток статорной цепи синхронного генератора существенно влияет на его возбуждение [3] и может быть использован для управления напряжением СГ.

В этом случае управляющими воздействиями на СГ по каналу регулирования напряжения U_m будут два параметра: напряжение на обмотке возбуждения СГ U_f и реактивная проводимость конденсаторов УКРМ b_C (рис. 2).

Сигнал о динамическом отклонении напряжения генератора ΔU_m может быть получен от датчика напряжения СГ и использован как для управления напряжением на обмотке возбуждения U_f , так и для управления проводимостью компенсирующей емкости b_C .

Управление реактивной мощностью в сети предполагает ее измерение и целенаправленное изменение. Как показали наши исследования, в автономных электроустановках с УКРМ наиболее эффективным является управление реактивной проводимостью активно-индуктивной нагрузки $y = g + jb_L$:

$$b_L = \frac{I_q(t)}{U(t)} = \frac{I(t) \sin \varphi(t)}{U(t)}.$$

Процесс измерения и расчета проводимости b_L , а также отклонения напряжения ΔU_m не должен длиться более периода генерируемого тока.

Исследование переходных процессов с тремя различными законами управления выполнено на математической модели [4 – 6], содержащей уравнения синхронного генератора с дизельным приводом, активно-индуктивной нагрузки и конденсаторного источника реактивного тока (рис. 3).

Моделируемая установка содержит системы автоматического регулирования напряжения синхронного генератора, частоты вращения приводного двигателя и регулятор реактивной мощности.

Величины проводимости b_{Cn} и отклонения напряжения ΔU_m измеряются в течение каждого периода переменного тока и прибавляются к значениям b_{Cn-1} и ΔU_{mn-1} , измеренным в предыдущий период тока. Такой алгоритм реализует импульсный интегральный закон управления проводимостью:

$$b_{Cn} = k_b \cdot b_{Ln-1} + k_u \cdot \Delta U_{mn-1}.$$

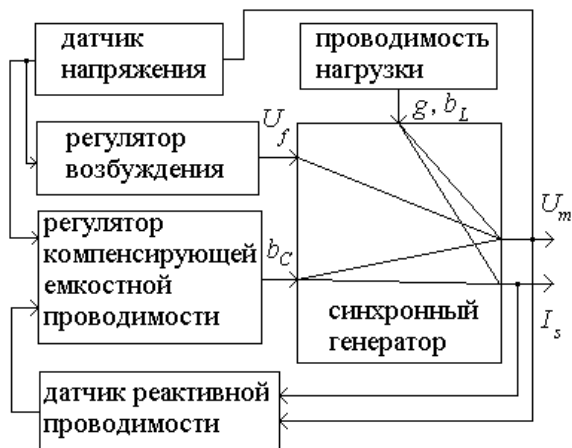


Рис. 2. Функциональная схема системы согласованного управления автономной электроэнергетической установки с компенсацией реактивной мощности

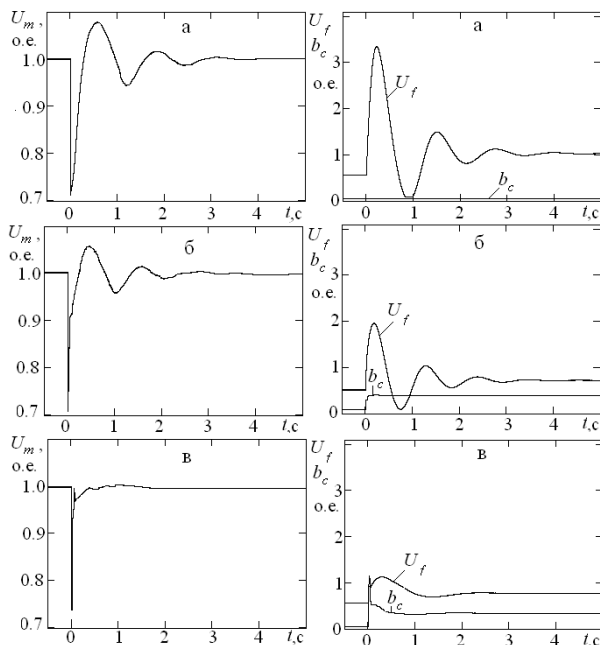


Рис. 3. Переходные процессы при включении 50 % нагрузки с $\cos \varphi = 0.8$:

а – без компенсации реактивной проводимости нагрузки, $b_C = 0$; б – с компенсацией проводимости, но без учета провала напряжения, $b_C = k_b \cdot b_L$; в – согласованное управление проводимостью с учетом отклонения напряжения, $b_C = k_b \cdot b_L + k_u \cdot \Delta U_m$

Вывод. Анализ динамических свойств системы управления автономной электроэнергетической установки с компенсацией реактивной мощности показал, что динамическая компенсация реактивной мощности существенно влияет на динамическую точность и быстрдействие системы регулирования напряжения.

Величина напряжения на обмотке возбуждения существенно снижается, а динамическое отклонение напряжения не превышает 5 %. Переходный процесс по напряжению относительно нагрузки приближается к инвариантному.

Список использованной литературы

1. Агунов А. В. Статический компенсатор неактивных составляющих мощности с полной компенсацией гармонических составляющих тока нагрузки / А. В. Агунов // *Электротехника*. – М. : – 2003. – № 2. – С. 47 – 50.
2. Бурбело М. Й. Компенсация реактивной мощности асинхронных двигателей в різкозмінних режимах навантаження / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – Винница : – 2008. – № 1. – С. 65 – 68.
3. Веретенник А. М. Моделирование процессов стабилизации напряжения синхронного генератора в режиме компенсации реактивной мощности / А. М. Веретенник // *Електромашинобудування та електрообладнання*. – К. : Техніка. – 2003. – Вип. 61. – С. 29 – 32.
4. Вишневецкий Л. В. Оптимизация регулятора возбуждения автономного синхронного генератора / Л. В. Вишневецкий, А. М. Веретенник // *Електромашиностроение и электрооборудование*. – К. : Техніка. – 2003. – Вып. 60. – С. 22 – 27.
5. Вишневецкий Л. В. Качество переходных процессов в импульсных системах стабилизации напряжения судовых дизель генераторов / Л. В. Вишневецкий, Н. И. Муха, А. М. Веретенник // *Автоматизация судовых технических средств*. – Одесса : – 2002. – Вып. 7. – С. 13 – 18.
6. Вишневецкий Л. В. Компьютерное моделирование судовых вспомогательных электроустановок / Л. В. Вишневецкий, Н. И. Муха, А. М. Веретенник // *Судовые энергетические установки*. – Одесса : ОГМА. – 2001. – № 6. – С. 23 – 30.
7. Гудко Є. І. Про доцільність установлення конденсаторних батарей у промислових електричних мережах у сучасних економічних умовах / Є. І. Гудко, О. Д. Демов // *Енергетика и электрификация*. – К. : – 1997. – № 2.
8. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
9. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности: под ред. Р. М. Матура. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.
10. Capacitors for Outdoor Low-Voltage PFC Applications, (2005), *Published by EPCOS AG. 03,2005*. – Ordering No. EPC. 26015 – 7600.

Поступила 22.05.2915

References

1. Argunov A.V. Statischekiy kompensator neaktivnyh sostavlyayuchih moshnosti s polnoy kompensaciey garmonicheskikh sostavlyayuchih toka nagruzki [Static Compensator Inactive Components of Power with Full Compensation of Harmonic Components of the Load Current] (2003), Moscow, Russian Federation, *Elektrotehnika*, No. 2, pp. 47 – 50 (In Russian).
2. Burbelo M.I., and Gaday A.V. Kompensaciya reaktivnoi potuzhnosti asinhronnih dviguniv v rizko

zminnih rezhimah navantazhennia [Compensation of Reactive Power Induction Motors in Variable Load Mode], (2008), *Vesnik Vinnickogo Politehnichnogo Institutu*, No. 1, pp. 65 – 68 (In Ukrainian).

3. Veretennik A.M. Modelirovanie processov stabilizatsii napryazeniya sinhronnogo generatora v rezime kompensatsii reaktivnoy moshnosti [Modeling of Processes of Synchronous Generator Voltage Regulation Mode of Reactive Power Compensation], (2003), *Elektromashinostroenie i Elektrooborudovanie*, Kiev, Ukraine, *Tehnika*, No. 61, pp. 29 – 32 (In Russian).

4. Vyshnevsky L.V., and Veretennik A.M. Optimizatsia regulatora возбуждения автономного синхронного генератора [Optimizing the Excitation of Autonomous Synchronous Generator], (2003), *Elektromashinostroenie i Elektrooborudovanie*, Kiev, Ukraine, *Tehnika*, No. 60, pp. 22 – 37 (In Russian).

5. Vyshnevsky L.V., Muha N.I., and Veretennik A.M. Kachestvo perehodnyh processov v impulsnykh sistemakh stabilizatsii napriazeniya sudovykh dizel generatorov [The Quality of Transients in Pulse Voltage Stabilization Systems of Marine Diesel Generators], (2002), *Avtomatizatsia Sudovykh Tehnicheskikh Sredstv*, Odessa, Ukraine, No. 7, pp. 13 – 18 (In Russian).

6. Vyshnevsky L.V., Muha N.I., and Veretennik A.M. Kompyuternoe modelirovanie sudovykh vspomogatelnykh elektroustanovok [Computer Simulation of Ship Auxiliary Electrical], (2001), *Sudovye Energeticheskie Ustanovki*, Odessa, Ukraine, No. 6, pp. 23 – 30 (In Russian).

7. Gudko E.I., and Demov O.D. Pro docilnist ustanovlennia kondensatornykh batareiy u promyslovykh elektrychnykh mrezah u suchasnykh ekonomichnykh umovah [On the Feasibility of Condenser Batteries in Industrial Electrical Networks in the Current Economic Conditions], (1997), *Energetika i Elektrofikatsia*, Kiev, Ukraine, No. 2, pp. 27 – 34 (in Ukrainian).

8. Zelezko U.S. Kompensatsia reaktivnoy moshnosti i povyshenie kachestva elektroenergii [Power Factor Correction and Improvement of the Quality of Electricity], (1985), *Energoatomizdat*, Moscow, Russian Federation, 160 p. (In Russian).

9. Statische kompensatori dlii regulirovaniya reaktivnoy moshnosti [Static Compensators for Reactive Power Control], (1987), ed. R. Matura. – Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 160 p. (In Russian).

10. Capacitors for Outdoor Low-Voltage PFC Applications, (2005), *Published by EPCOS AG. 03*, Ordering No. EPC 26015 – 7600 (In English).



Вишнеvский

Леонид Викторович, д.т.н., проф., зав. каф. Одесской нац. морской академии, (ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, Украина, 65029).
Тел.: +380635632238.
E-mail: leovish@rambler.ru



Тумольский

Александр Петрович, ст. преподаватель Одесской нац. морской академии, (ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, Украина, 65029).
E-mail: altum59@gmail.com