

УДК 629.5.064.5

Л. В. Вишнеvский, д-р техн. наук,

Н. И. Муха, канд.техн. наук,

С. А. Дудко

УПРАВЛЕНИЕ СУДОВЫМИ КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Рассмотрены процессы управления судовой установкой компенсации реактивной энергии без учета дискретности по времени коммутации конденсаторов и дискретности по уровню, связанной с ограниченным количеством блоков конденсаторов в устройстве компенсации реактивной мощности. Определен наилучший закон изменения по времени ёмкости этого устройства в условиях соизмеримости мощности генератора, изменяющейся нагрузки и компенсирующего устройства в судовых условиях. При выборе закона управления не учитывались ограничения дискретности регулятора.

Л. В. Вішневський, д-р техн. наук,

М. Й. Муха, канд.техн. наук,

С. А. Дудко

УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ КОНДЕНСАТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Розглянуті процеси управління судовою установкою компенсації реактивної енергії без врахування дискретності за часом комутації конденсаторів і дискретності за рівнем, пов'язаної з обмеженою кількістю блоків конденсаторів в пристрої компенсації реактивної потужності. Визначено найкращий закон зміни за часом ємності цього пристрою в умовах співмірності потужності генератора, змінного навантаження і компенсуючого пристрою в судових умовах. При виборі закону управління не враховувалися обмеження дискретності регулятора.

L. V. Vishnevsky, ScD,

N. I. Mukha, PhD,

S. A. Dudko

SHIP-CAPACITOR BANKS REACTIVE POWER COMPENSATION

Abstract. The control processes of the ship reactive energy indemnification installations are considered without the account of discreteness at times commutations of condensers and discreteness on a level, related to the limited amount of condensers blocks in the reactive-power indemnification device RPID. The best law of change at times of RPID capacity is certain in the conditions of power generator commensurableness, load changing and compensating device in ship terms. The limitations of regulator discreteness were not taken into account at the choice of control law.

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

Учет особенностей судовой электроэнергетической установки для решения задач компенсации реактивной энергии выполнен путем исследования совместной работы судовой электростанции, ее потребителей и компенсирующего устройства. Минимальная структура исследуемой судовой электроустановки должна содержать синхронный генераторный агрегат со своими регуляторами, типовую нагрузку потребителей с коммутирующей аппаратурой и устройство компенсации реактивной энергии [1,2]. В данной работе рассмотрены процессы управления судовой установкой компенсации реактивной энергии без учета дискретности по времени коммутации конденсаторов и дискретности по уровню, связанной с ограниченным количеством блоков конденсаторов в устройстве компенсации реактивной мощности (УКРМ).

Это допущение позволит определить наилучший закон изменения по времени емкости УКРМ $C_k(t)$ в условиях соизмеримости мощности генератора, изменяющейся нагрузки и компенсирующего устройства в судовых условиях. При этом не будут учитываться ограничения дискретности регулятора на выбор зако-

на управления.

Постановка задачи. Анализ аналоговых законов управления судовой синхронной электроустановкой с компенсацией реактивной энергии выполнен на основании разработанной математической модели синхронного генератора, дополненной уравнением активно-индуктивно-емкостной нагрузки генератора [3], что позволило исследовать режимы компенсации реактивной мощности в переходных процессах.

Результаты исследований. Функциональная схема судовой синхронной электроустановки с компенсацией реактивной энергии рассматривается как две взаимосвязанные системы: стабилизации напряжения синхронного генератора и компенсации реактивной энергии нагрузки (рис.1).

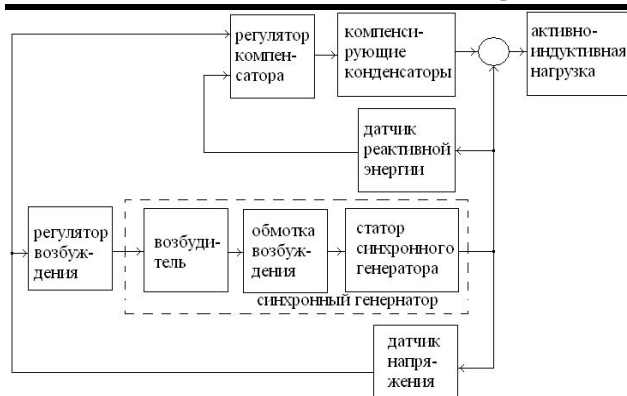


Рис.1. Функциональная схема судового синхронного генератора с системой компенсации реактивной энергии

Нагрузка генератора является возмущающим воздействием для системы стабилизации напряжения, в то же время нагрузка становится управляемой, в ней компенсируется реактивная составляющая, которая существенно влияет на величину генерируемого напряжения. Синтез оптимальных законов управления электроустановкой с компенсацией реактивной энергии и выбор настроечных параметров выполнялись как в единой динамической системе.

Анализ законов управления и выбор их оптимальных параметров осуществлялся путем их постепенного дополнения и усложнения.

Система регулирования напряжения синхронного генератора без УКРМ с ПИ-регулятором вполне удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям и может рассматриваться в качестве базовой схемы [3,1].

Далее дополним систему аналоговым контуром компенсации реактивной энергии. Величина компенсирующей емкости C_k , которая будет подключаться к генератору, определяется законом компенсации F_k :

$$C_k(t) = F_k[P_q(t)], \quad (1)$$

где $P_q(t)$ – параметр, характеризующий реактивную энергию нагрузки φ .

В качестве этого параметра в (1) можно использовать величины реактивной мощности Q , реактивного тока I_p , реактивной проводимости нагрузки Y_Q или угла нагрузки φ .

В математическую модель синхронного дизель-генератора [3] в дополнение к ПИ-регулятору напряжения введем пропорциональный контур компенсации реактивной энергии

$$C_k = k_q \cdot P_q(t), \quad (2)$$

где k_q – коэффициент пропорциональности П – компенсатора.

На рис.2 приведены расчеты величины скомпенсированного коэффициента мощности $\cos \varphi$ и интегрального показателя качества переходного процесса I_D от настроечного параметра k_q . На рис.2 в качестве

параметра реактивной энергии выбран угол нагрузки φ .

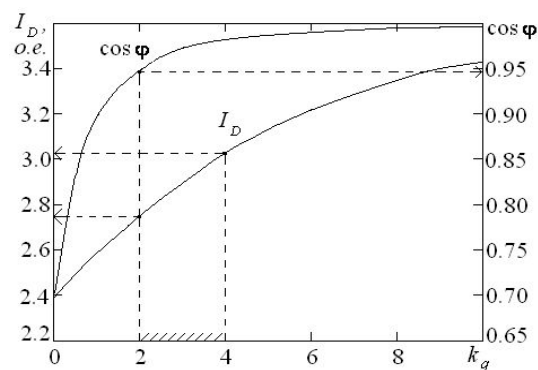


Рис.2. Зависимость величины скомпенсированного коэффициента мощности $\cos \varphi$ и интегрального показателя качества I_D переходного процесса от настроечного параметра k_q

Анализ пропорционального закона компенсатора показывает, что эффективная компенсация реактивной энергии будет при $k_q > 2$, так как коэффициент мощности $\cos \varphi > 0,95$. Значение интегрального показателя качества при $k_q = 2...4$ $I_D = 2,75...3,0$, что определяет допустимые настроечные параметры пропорционального компенсатора.

Использование в пропорциональном компенсаторе в качестве регулируемых параметров реактивной энергии нагрузки, таких как величины реактивной мощности Q , реактивного тока I_p , реактивной проводимости Y_Q или угла между током и напряжением нагрузки φ , дают различные результаты качества переходного процесса, $I_{DQ}(k_q)$, $I_{Dl}(k_q)$, $I_{DY}(k_q)$ и $I_{D\varphi}(k_q)$. С точки зрения колебательности ($I_D < 3,0$) допустимые коэффициенты пропорционального компенсатора должны быть меньше, чем: $k_{qQ} < 0,5$, $k_{ql} < 1,5$, $k_{q\varphi} < 3,7$ и $k_{qY} < 5,4$.

Эффективная компенсация реактивной энергии с $\cos \varphi > 0,95$ и удовлетворительными динамическими характеристиками в пропорциональном компенсаторе наблюдается при $k_q > 2$, поэтому его можно реализовать при использовании в качестве компенсируемых параметров реактивной проводимости Y_Q или угла нагрузки φ .

Далее рассмотрим пропорционально-интегральный (ПИ) закон управления компенсатором реактивной энергии

$$C_k = k_q \cdot P_q(t) + \frac{k_q}{T_q} \int_0^t P_q(t) dt, \quad (3)$$

где k_q , T_q – настроечные параметры ПИ-компенсатора, коэффициент пропорциональности и постоянная интегрирования.

Исследования динамических свойств системы управления напряжением синхронного дизель-генератора с ПИ-регулятором напряжения и ПИ-компенсатором реактивной энергии (3) показывают, что введение интегральной составляющей в управление компенсатора увеличивает колебательные свойства системы.

Для уменьшения динамического отклонения коэффициента мощности $\cos \varphi$ от единичного значения постоянной интегрирования T_q компенсатора нужно уменьшать, что приводит к увеличению колебательности в системе стабилизации напряжения.

Увеличение коэффициента усиления пропорционального регулятора уменьшает отклонение коэффициента мощности от единицы, но увеличивают колебательность в системе стабилизации напряжения.

Система управления синхронным генератором с компенсацией реактивной энергии, показанная на рис.1, имеющая два П-регулятора напряжения и реактивной мощности с двумя парами настроечных параметров, k_p, T_i и k_q, T_q . Критерием для настройки системы может быть выбран суммарный интегральный критерий $I_{D\Sigma}$ [4].

При дополнении традиционной системы стабилизации напряжения синхронного генератора системой компенсации реактивной энергии настроечные параметры ПИ-регулятора напряжения k_p, T_i , которые были оптимальными, должны быть изменены, так как задача оптимизации в системе с двумя ПИ-регуляторами решается в области четырех параметров k_p, T_i, k_q, T_q .

Оптимизация системы поисковыми методами путем построения зависимостей $I_{D\Sigma}$ в области параметров k_p, T_i, k_q, T_q позволяет определить оптимальные параметры ПИ-регуляторов. Методом покоординатного спуска в четырехмерном пространстве настроечных параметров найдены оптимальные параметры: $k_p = 8, T_i = 0,05 \text{ с}, k_q = 6, T_q = 0,5 \text{ с}$.

Как показали исследования системы управления судовой синхронной электроустановкой с компенсацией реактивной энергии, радикальным способом улучшения динамических свойств является введение перекрестной связи между регулятором напряжения и компенсатором энергии.

Кроме параметров реактивной энергии (3), для управления величиной компенсирующей емкости предлагается дополнительно использовать информацию об отклонении напряжения синхронного генератора. Закон управления величиной компенсирующей емкости

$$C_k = k_u(U_n - U_m(t)) + k_q \cdot P_q(t) + \frac{k_q}{T_q} \int_0^t P_q(t) dt. \quad (4)$$

Отклонение напряжения $U_m(t)$ от номинального значения U_n вводится в закон управления компенсирующей емкостью C_k (4), при этом динамические свойства системы стабилизации напряжения существ-

венно улучшаются. Процесс установления напряжения содержит не более одного колебания с перерегулированием не более 10 %. Длительность провала напряжения составляет четыре периода переменного тока, т.е. 0,08 с, а длительность всего переходного процесса по напряжению – 0,3 с.

Введем перекрестную связь по напряжению, т.е. осуществим U -компенсацию энергии: $C_k = k_u(U_n - U_m(t))$. В результате этого получили существенное уменьшение колебательности переходного процесса. Если эта связь не используется, а компенсация производится по пропорциональному, интегральному или ПИ-закону от параметра реактивной энергии $P_q(t)$, то колебательность переходного процесса остается достаточно высокой.

Применение смешанных законов управления (4) с УП-, УИ- или УПИ-компенсацией энергии позволяет получить кратковременные переходные процессы с затуханием за 0,3 с и перерегулированием до 15 %.

Выводы. Введение в закон компенсации реактивной энергии сигнала по отклонению напряжения значительно изменяет характер переходного процесса в системе стабилизации напряжения синхронного генератора.

При различных законах компенсации величина емкости $C_k(t)$ изменяется по-разному. При мгновенной компенсации емкость меняется ступенчато на величину, определяемой коммутируемой нагрузкой (рис.3,а).

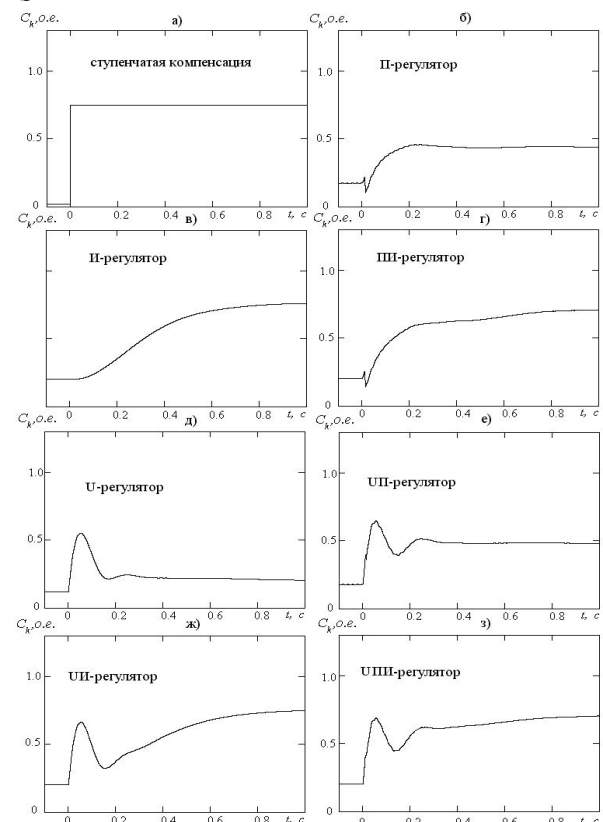


Рис. 3. Изменение емкости в системе с разными законами управления

Применение аналоговых регуляторов с П-, И- и ПИ-законами компенсации реактивной энергии изменяет емкость монотонно (рис.3,б,в,г). Пропорциональная составляющая не обеспечивает полную компенсацию реактивной энергии и более интенсивно увеличивает ее значение, чем интегральная составляющая. ПИ-закон компенсации обеспечивает равенство единице коэффициента мощности в установившемся режиме.

Введение перекрестной обратной связи по напряжению в закон компенсации приводит к импульсному всплеску компенсирующей емкости в начале переходного процесса (рис.3,д). Это форсированное управляющее воздействие накладывается на процесс управления, вызванный линейными составляющими П-, И- или ПИ-законов управления по параметру реактивной энергии $P_k(t)$ (рис.3,е,ж,з).

Из перечисленных законов компенсации наиболее полным законом является УПИ – закон (4), настроечными параметрами которого являются коэффициенты этого закона: k_u, k_q, T_q .

Выбор оптимальных настроечных значений УПИ-компенсатора может быть выполнен путем минимизации суммарного интегрального показателя качества переходного процесса $I_{D\Sigma} = I_{Du} + I_{Dq}$, учитывающего динамические отклонения напряжения (I_{Du}) и коэффициенты мощности (I_{Dq}) в переходном процессе.

Сравнение динамических свойств системы управления судовой синхронной электроустановкой с компенсацией реактивной энергии с различными законами управления показывает, что законы управления УПИ и УИ обеспечивают практически одинаковые динамические свойства системы. При этом закон УИ – проще в реализации и может быть рекомендован как оптимальный.

Список использованной литературы

1. Важнов Д.И. Переходные процессы в машинах переменного тока / Д.И. Важнов – Л.: Энергия, 1980.– 256 с.
2. Веретенник А.М. Моделирование процессов стабилизации напряжения синхронного генератора в режиме компенсации реактивной мощности / А.М. Веретенник // *Электромашинобуд. та електрообладн. Міжвід. наук.-техн. зб.– Вип.61.* – К.: Техніка, 2003. – С. 29-32.
3. Вишневецкий Л.В., Муха Н.И., Веретенник А.М. Компьютерное моделирование судовых вспомогательных электроустановок / Л.В. Вишневецкий, Н.И. Муха, А.М. Веретенник // *Судовые энергетические установки.* – Одесса: ОГМА, 2001. – № 6. – С.23-30.
4. Вишневецкий Л.В., Веретенник А.М., Муха Н.И. Критерии оптимальности настроек цифровых регуляторов возбуждения генераторных электроустановок / Л.В. Вишневецкий, Н.И. Муха, А.М. Веретенник // *Электромашинобуд. та електрообладн.: Міжвід. наук.-техн. зб.– Вип. 59.* – К.: Техніка, 2002.– С. 50-55

Отримано 18.07.2011



Вишневецкий
Леонид Викторович,
д-р техн. наук, декан ф-та
Одесск. нац. морской акад.,
65029, Одесса,
ул. Дидрихсона, 8.
E-mail: leovish@rambler.ru



Муха
Николай Иосифович,
канд. техн. наук, доц.
Одесск. нац. морск. акад.,
65029, Одесса,
ул. Дидрихсона, 8.
E-mail: nm52@mail.ru



Дудко Сергей Анатольевич,
ассистент Одесск.нац.
морской акад. (ОНМА),
65029, Одесса,
ул. Дидрихсона, 8.
E-mail: daserjo@rambler.ru