

УДК 621.311.: 629.12

СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНЕЙ ФОРСИРОВКОЙ И КОРРЕКТОРОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Сугаков Валерий Геннадьевич¹, профессор

e-mail: sugakov_vg@mail.ru

Гуляев Владимир Викторович², доцент

e-mail: eovt@mail.ru

¹ Самарский государственный университет путей сообщения, филиал в г. Нижний Новгород, Нижний Новгород, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данной работе рассматривается влияние форсировки возбуждения на распределение реактивной мощности между параллельно работающими синхронными генераторами судовой электростанции в динамических режимах. Отмечается необходимость коррекции возбуждения в таких режимах. Рассматривается пример структуры цифровой системы автоматического регулирования возбуждения с внешней форсировкой и корректором параллельной работы и её функционирование в динамическом режиме параллельной работы.

Ключевые слова: синхронный генератор, система возбуждения, параллельная работа, внешняя форсировка возбуждения, устройство коррекции возбуждения.

SYNCHRONOUS GENERATOR EXCITATION SYSTEM WITH EXTERNAL BOOST AND PARALLEL OPERATION CORRECTOR

Sugakov Valerii Gennadievich¹, Professor

e-mail: sugakov_vg@mail.ru

Gulyaev Vladimir Viktorovich², Associate professor

e-mail: eovt@mail.ru

¹ Samara State University of Railway Transport in Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In this paper, the effect of excitation boosts on the distribution of reactive power between parallel synchronous generators of a ship's power plant in dynamic modes is considered. The need for correction of excitation in such modes is noted. An example of the structure of a digital automatic excitation control system with external boost and a parallel operation corrector and its functioning in a dynamic parallel operation mode is considered.

Keywords: synchronous generator, excitation system, parallel operation, external excitation boost, excitation correction device.

В большинстве случаев значительную часть времени на судовой электростанции её электроагрегаты (ЭА) с синхронными генераторами работают параллельно на общую нагрузку [1]. В режиме параллельной работы ЭА судовой электростанции на системы автоматического регулирования возбуждения (САРВ) синхронных генераторов, кроме функции стабилизации напряжения, возлагается функция распределения реактивной мощности между ЭА. Любое изменение возбуждения у отдельного генератора сопряжено с перераспределением реактивной мощности между ЭА. Так, например [2, 3], при стационарном режиме параллельной работы на общую реактивную нагрузку Q_{Σ} двух ЭА с номинальными реактивными мощностями Q_{N1} и Q_{N2} , которые имеют равные напряжения холостого хода $U_{01} = U_{02}$ и наклоны внешних характеристик $S_1' = S_2'$ (рис.1) ЭА примут реактивные мощности Q_1 и Q_2 .

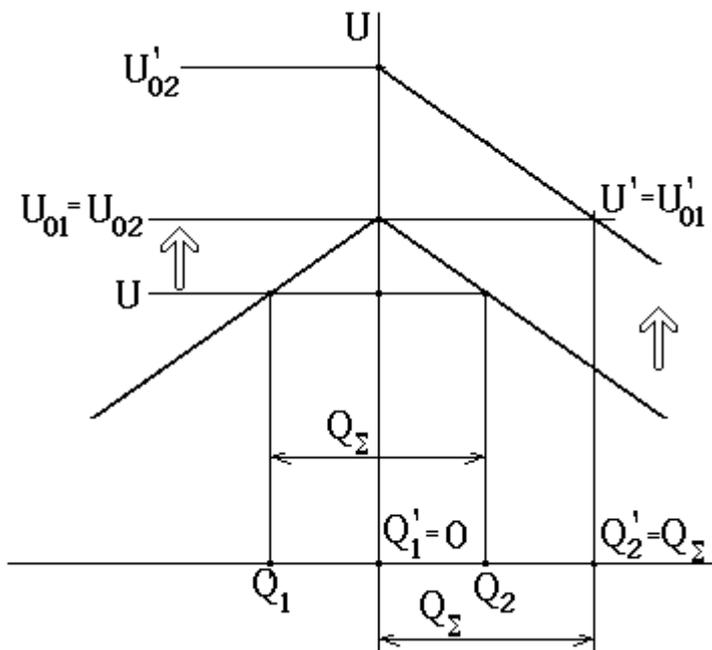


Рисунок 1 – Совмещенные внешние характеристики первого и второго ЭА

Относительные реактивные нагрузки $\lambda_1' = Q_1/Q_{N1}$ и $\lambda_2' = Q_2/Q_{N2}$ первого и второго ЭА соответственно определяются выражениями

$$\lambda_1' = \frac{U_{01} - U}{S_1'} \quad \text{и} \quad \lambda_2' = \frac{U_{02} - U}{S_2'} \quad (1)$$

Анализ выражений (1) с учетом равенств $U_{01} = U_{02}$ и $S_1' = S_2'$ указывает на равномерное распределение реактивной нагрузки $\lambda_1' = \lambda_2'$.

Если в динамическом режиме САРВ второго ЭА увеличило возбуждение, что соответствует параллельному переносу его внешней характеристики вверх до, например, наиболее неблагоприятного случая, когда напряжение холостого хода достигнет величины U'_{02} , а напряжение на шинах электростанции возрастет до напряжения $U' = U_{01}$. При этом изменятся относительные реактивные нагрузки ЭА

$$\lambda_1' = \frac{U_{01} - U_{01}}{S_1'} = 0 \quad \text{и} \quad \lambda_2' = \frac{U'_{02} - U_{01}}{S_2'} > 0 \quad (2)$$

Из выражений (2) следует, что реактивная мощность первого ЭА может уменьшиться до значения $Q_1' = 0$, а реактивная мощность второго ЭА может увеличиться до значения $Q_2' = Q_{\Sigma}$. В результате второй ЭА может быть перегружен и выведен из работы его защитой.

В отдельных случаях цифровые САРВ [4] при форсировке возбуждения в динамических режимах параллельной работы могут привести к критическому перераспределению

реактивной мощности и аварийному выходу из работы ЭА. Такой неблагоприятный исход можно предотвратить двумя способами ограничением возбуждения или контролем реактивной нагрузки. Первый способ снижает эффективность внешней форсировки возбуждения, поэтому более предпочтительным является второй способ, который можно реализовать с помощью корректора параллельной работы (КПР). Обязательными элементами КПР являются датчик реактивной мощности с цифровым выходом и числовой компаратор, который сравнивает коды реактивных мощностей параллельно работающих ЭА. Примером использования КПР является САРВ [4] схема которого показана на рис. 2.

Режим работы устанавливается переключателем 37. В автономном режиме, когда контакты выключателя 37 разомкнуты, система возбуждения синхронного генератора работает следующим образом.

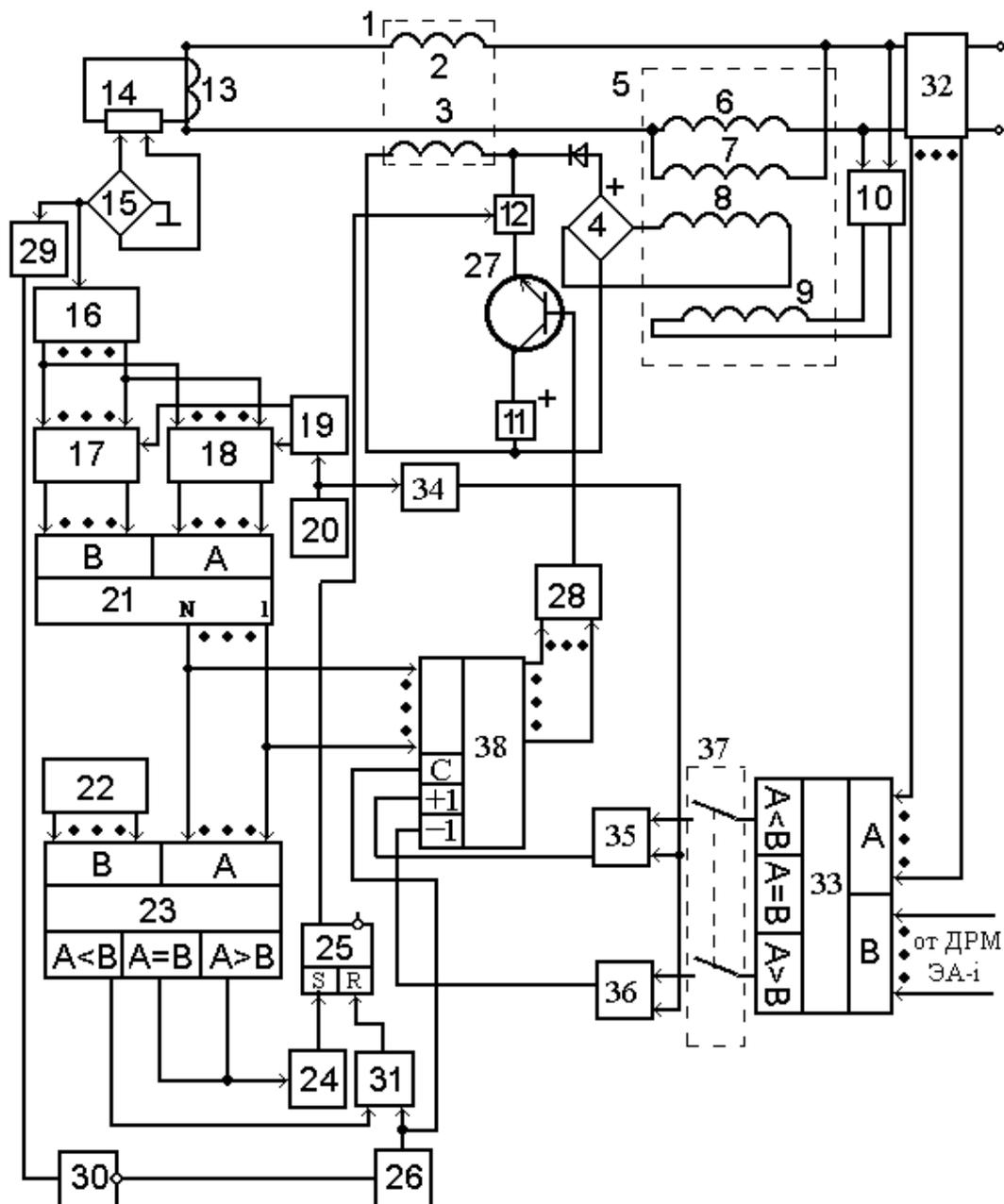


Рисунок 2 – Схема САРВ с управляемой внешней форсировкой и корректором параллельной работы

Эта ЭДС подается на якорь генератора 1, усиливая его возбуждение и увеличивая магнитный поток. Таким образом, происходит положительная обратная связь, усиливающая начальное возбуждение генератора. В результате этого процесса генератор достигает необходимого уровня возбуждения для старта работы. Этот ток возбуждения создает магнитное поле, которое взаимодействует с обмоткой выпрямителя, преобразуя переменное напряжение на входе в постоянное напряжение на выходе. Таким образом, ток возбуждения играет важную роль в работе выпрямителя, обеспечивая стабильность напряжения на выходе при различных условиях работы.

Нагрузка, подключенная к зажимам генератора 1, вызовет реакцию якоря со стороны тока якоря 2. При этом возникает магнитное поле, которое воздействует на обмотку 7 и вызывает в ней индуцированное напряжение. Таким образом, происходит передача электрической энергии от обмотки 6 к обмотке 7. Такие изменения связаны с тем, что активная и индуктивная нагрузка требует большего потребления энергии и усилий со стороны системы, что приводит к увеличению результирующей МДС. С другой стороны, емкостная нагрузка обычно требует меньше энергии и усилий, поэтому результирующая МДС уменьшается. Изменение магнитного потока в трансформаторе 5 приводит к изменению ЭДС во вторичной обмотке 8. Это изменение ЭДС вызывает изменение тока во вторичной обмотке, что в свою очередь приводит к изменению тока в цепи нагрузки.

Также изменение магнитного потока в трансформаторе 5 может вызвать изменение тока возбуждения генератора 1 в обмотке индуктора 3. Это изменение тока возбуждения может привести к изменению выходного напряжения генератора и, следовательно, к изменению работы всей системы.

Таким образом, изменение магнитного потока в трансформаторе может оказать значительное влияние на работу электрической системы в целом.

Это означает, что при возникновении реакции якоря, которая обычно приводит к уменьшению напряжения генератора, другие механизмы в системе компенсируют это действие, чтобы уровень напряжения оставался стабильным. Это важно для правильной работы генератора и поддержания стабильности электрической системы.

Для повышения точности регулирования на обмотку управления трансформатора 9 подается ток с выхода корректора напряжения 10. Это позволяет улучшить точность регулирования напряжения на выходе трансформатора и обеспечить более стабильную работу системы. Корректор напряжения может быть настроен на конкретно заданную величину. Такой подход позволяет повысить эффективность и быстродействие регулирования выходных параметров.

При увеличении напряжения генератора, выходной ток корректора также увеличится. Это происходит из-за закона Ома, согласно которому ток в цепи пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению цепи. Поэтому если напряжение увеличивается, то ток также увеличивается.

Таким образом, изменение напряжения на генераторе приводит к автоматической коррекции насыщения стали трансформатора, что позволяет поддерживать стабильное напряжение на выходе.

Этот анализ позволяет определить эффективность работы генератора и трансформатора, а также выявить возможные проблемы или неисправности в системе электроснабжения. По величине тока $i(t)$ можно оценить нагрузку на генератор и трансформатор, а также установить соответствие между потребляемой мощностью и производимой электроэнергией. Также анализ величины тока $i(t)$ позволяет определить динамику изменения нагрузки во времени и выявить пики потребления электроэнергии. Это помогает оптимизировать работу системы электроснабжения и предотвратить возможные перегрузки или сбои в работе оборудования. Таким образом, анализ величины тока $i(t)$ нагрузки



генератора по первичной обмотке трансформатора 13 является важным элементом мониторинга и контроля работы системы электроснабжения.

Для измерения пульсирующего напряжения с помощью АЦП необходимо учитывать, что АЦП принимает только аналоговые сигналы, поэтому сигнал $u(t)$ должен быть преобразован в аналоговый сигнал перед подачей на вход АЦП. Для этого можно использовать операционный усилитель в режиме детектора пиков. Операционный усилитель будет выполнять функцию модуляции сигнала $u(t)$, то есть выходной сигнал будет равен модулю входного сигнала. После этого модулированный сигнал можно подавать на вход АЦП для дальнейшей обработки и измерения.

Для формирования кода, соответствующего мгновенному значению входного напряжения необходимо выполнить следующие шаги:

1. Измерить мгновенное значение входного напряжения $u(t)$.
2. Разделить это значение на шаг квантования АЦП 16 ($u_{п}$), чтобы получить отношение $u(t) / u_{п}$.
3. Округлить полученное отношение до целого числа, которое будет представлять код мгновенного значения входного напряжения.

Как видно из приведенного алгоритма работы, САРВ имеет высокую форсировочную способность и поддерживает во время переходного процесса баланс реактивных мощностей при параллельной работе.

Список литературы:

1. Полянский В.Ф., Попов А.В. Электрооборудование судов и предприятий: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 352 с.
2. Система возбуждения синхронного генератора. / Пат. 2470454 Российская Федерация, МПК H02P 9/14. – № 2010149367; Заявл. 02.12.2010; Оpubл. 20.12.2012; Бюл. № 16.
3. Система возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой. / Пат. 2510698 Российская Федерация, МПК H02P 9/14. – № 2012151015; Заявл. 28.11.2012; Оpubл. 10.04.2014; Бюл. № 10.
4. Система возбуждения синхронного генератора с форсировкой и корректором параллельной работы. / Пат. 2811685 Российская Федерация, МПК H02P 9/14. – № 2023115953; Заявл. 19.06.2023; Оpubл. 16.01.2024.

