

УДК 621.316.722.9

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТОВ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Сугаков Валерий Геннадьевич¹, профессор, доктор технических наук

e-mail: sugakov_vg@mail.ru

Тошев Александр Александрович¹, кандидат технических наук

e-mail: toshev_a@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассмотрены факторы, влияющие на точность распределения реактивной нагрузки при параллельной работе электроагрегатов (ЭА) судовых электростанций (СЭС). Отмечено влияние нестабильности напряжения, которое характеризуется установившимся отклонением напряжения при неизменной нагрузке, и наклона внешней характеристики генератора, которое характеризуется установившимся отклонением напряжения при изменении нагрузки. Предложена схема устройства допускового контроля (УДК) установившегося отклонения напряжения при неизменной нагрузке. Алгоритм работы УДК предусматривает постоянный контроль величины нагрузки генератора путем сравнения её значений в предыдущий и последующий моменты времени. С момента регистрации стационарного режима нагрузки осуществляется измерение амплитуды текущего напряжения. Вычисляется разность между номинальным и текущим значениями напряжения, которая сравнивается с нормативной величиной отклонения напряжения. При выходе напряжения за допустимые пределы индикатором выдается сигнал оператору. Сделан вывод о необходимости УДК наклона внешней характеристики генератора.

Основные термины: устройство допускового контроля установившегося отклонения напряжения при неизменной нагрузке, электроагрегаты судовых электростанций, качество электрической энергии.

TECHNICAL MEANS OF IMPROVING THE ACCURACY OF REACTIVE POWER DISTRIBUTION IN PARALLEL OPERATION OF SHIP POWER PLANT ELECTRICAL UNIT

Abstract. The factors affecting the accuracy of reactive load distribution during parallel operation of electric units (EUs) of ship power plants (SPPs) are considered. The influence of voltage instability, which is characterized by a steady-state voltage deviation under constant load, and the slope of the generator's external characteristic, which is characterized by a steady-state voltage deviation under changing load, is noted. A scheme for the device of tolerance control (UTC) of a steady-state voltage deviation under constant load is proposed. The UTC algorithm involves continuous monitoring of the generator's load by comparing its values at previous and subsequent time points. From the moment of registration of the stationary load mode, the amplitude of the current voltage is measured. The difference between the nominal and current voltage values is calculated and compared with the standard voltage deviation value. When the voltage exceeds the permissible

limits, the indicator sends a signal to the operator. It is concluded that the UDK of the generator's external characteristic slope is necessary.

Keywords: device for tolerant control of the established voltage deviation under constant load, electric units of ship power plants, and quality of electric energy.

Реактивная нагрузка при параллельной работе ЭА распределяется их системами автоматического регулирования напряжения (САРН). При этом нагрузки должны распределяться пропорционально номинальным мощностям ЭА. Неравномерность распределения реактивных нагрузок θ_p не должна превышать 10%. Неравномерность распределения реактивных нагрузок θ_p – наибольшая разность относительных реактивных нагрузок электроагрегата меньшей мощности и всех параллельно работающих

$$\theta_p = (\lambda'_k - \lambda') \text{ или } \theta_p = (\lambda'_k - \lambda') * 100\% ,$$

где λ'_k - фактическая относительная реактивная нагрузка ЭА меньшей мощности

$$\lambda'_k = \frac{Q_k}{Q_{HK}},$$

где Q_k, Q_{HK} - фактическая и номинальная реактивная мощности ЭА меньшей мощности
 λ' - фактическая относительная реактивная нагрузка ЭА меньшей мощности

$$\lambda' = \frac{Q}{Q_H}$$

где Q , Q_H - фактическая и номинальная реактивные мощности всех параллельно работающих ЭА

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i ,$$

$$Q_n = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{in} ;$$

где Q_i, Q_H - фактическая и номинальная реактивные мощности i -того ЭА.

При статическом регулировании САРН с идеальными прямолинейными статическими (внешними) характеристиками относительное напряжение электро-агрегата изменяется по закону

$$U = U_{0i} - s_i \lambda'_i \text{ или } U - U_{0i} + s'_i \lambda'_i = 0 \quad (1)$$

где U_{0i} - относительное напряжение i -того ЭА на холостом ходу;

s'_i - наклон статической (внешней) характеристики генератора i -того ЭА;

$$s'_i = U_{0i} - U_{ni}$$

где U_{ni} - относительное напряжение i -того ЭА при номинальной нагрузке.

Из уравнения (1) можно получить выражение для относительной реактивной нагрузки i -го ЭА

$$\lambda'_i = \frac{(U_{0i} - U)}{s'_i} \quad (2)$$

Из выражения (2) можно заметить, что реактивная нагрузка ЭА зависит от наклона статической характеристики и напряжения холостого хода.

Мощность системы используется эффективно при одинаковой относительной нагрузке электроагрегатов, т. е. когда выполняется условие

$$\lambda'_1 = \lambda'_2 = \dots = \lambda'_i = \dots = \lambda'_n \quad (3)$$

Из анализа выражения (2) вытекают условия, при которых соблюдается равенство (3) относительных реактивных нагрузок т.е. условия пропорционального распределения реактивной мощности между ЭА при параллельной работе:

1. Электроагрегаты должны иметь одинаковый наклон статических характеристик

$$s'_1 = s'_2 = \dots = s'_i = \dots = s'_n = s' ;$$

2. Статические характеристики ЭА должны быть совмещены, т. е. иметь одинаковые напряжения холостого хода

$$U_{01} = U_{02} = \dots = U_{0i} = \dots = U_{0n} = U_0$$

Перечисленные условия являются достаточными для высокоточных САРН со статическим регулированием.

Существующие САРН, применяемые на ЭА, не обеспечивают должной стабильности напряжения, что отрицательно сказывается на распределении реактивных нагрузок. Нестабильность напряжения характеризуется установившемся отклонением напряжения при неизменной симметричной нагрузке δU_y . Наличие неустойчивости превращает прямолинейную статическую характеристику в полосу (рисунок 1).



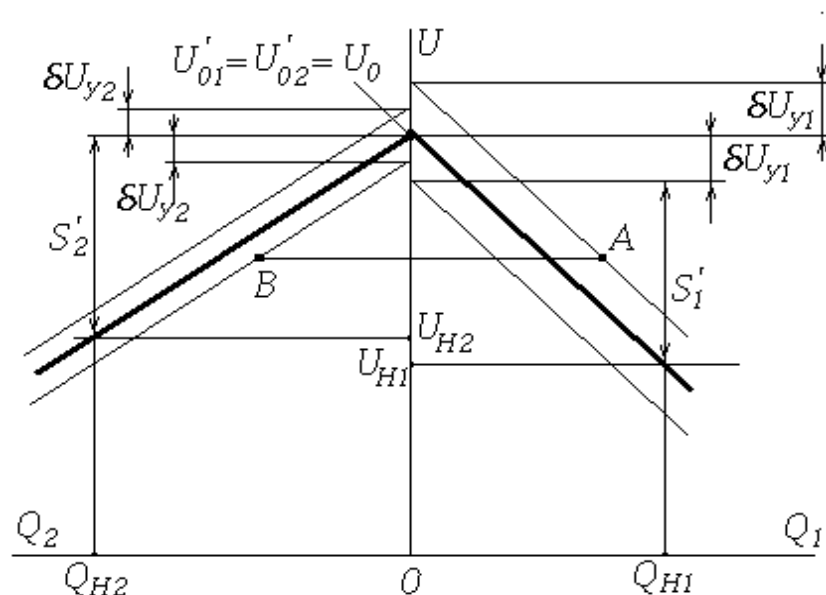


Рисунок 1 – Совмещенные статические характеристики двух параллельно работающих электроагрегатов

САРН имеют некоторую непрямолинейность, однако ее величина не настолько велика, чтобы ее учитывать в дальнейших рассуждениях.

Указанные недостатки САРН не позволяют строго выполнять равенство (3) и распределение реактивных нагрузок осуществляется с погрешностью, величина которой не должна превышать величины допустимой неравномерности, равной 0,1.

Пусть два ЭА работают параллельно. Их статические характеристики совмещены $U_{01} = U_{02} = U_0$ (рис.1), имеют наклон s'_1, s'_2 и нестабильность $\delta U_{y1}, \delta U_{y2}$ соответственно.

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда первый ЭА меньшей мощности имеет рабочую точку А на верхней границе зоны нестабильности, т. е. находится на характеристике с напряжением холостого хода

$$U_{01} = U_0 + \delta U_{y1},$$

а второй ЭА большей мощности имеет рабочую точку В на нижней границе зоны нестабильности, т. е. находится на характеристике с напряжением холостого хода

$$U_{02} = U_0 - \delta U_{y2}$$

Формула для неравномерности распределения реактивных нагрузок может быть представлена в виде

$$\theta_p = (\lambda'_1 - \lambda'_2)h'_2$$

В соответствии с (2) справедливы равенства:

$$\lambda'_1 = \frac{(U_{01}-U)}{s'_1} \text{ и } \lambda'_2 = \frac{(U_{02}-U)}{s'_2} \quad (4)$$

С учетом выражений (4) формула для определения неравномерности распределения может быть представлена в виде

$$\theta_p = \frac{U_0 - \delta U_{y1}}{s'_1} - \frac{U_0 - \delta U_{y2}}{s'_2} + U \left(\frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s'_1} \right) h'_2 \quad (5)$$

где h'_2 – относительная номинальная реактивная мощность ЭА большей мощности.

Если наклон статических характеристик одинаковый, т. е. $s'_1 = s'_2 = s'$, то выражение (5) можно упростить

$$\theta_p = \frac{(\delta U_{y1} + \delta U_{y2})h'_2}{s'} \quad (6)$$

Из выражения (6) можно найти наклон s'_{min} , при котором неравномерность не превысит допустимой величины $\theta_{p\,доп} = 0,1$, т.е.

$$s'_{min} \geq \frac{(\delta U_{y1} + \delta U_{y2})h'_2}{0,1}.$$

Увеличение наклона статической характеристики сопряжено с ухудшением показателей качества электроэнергии, если это неприемлемо для потребителей, то при заданном s' ограничивают величину нагрузки λ' , так чтобы при параллельной работе она с учетом неравномерности θ_p не превышала номинальной у ЭА наименьшей мощности ($\lambda'_1 = 1$), т.е. допустимая нагрузка должна удовлетворять условию

$$\lambda'_{доп} = \lambda'_1 - \theta_p = 1 - \theta_p \quad (7)$$

На основании отношения (7) с учетом выражения (6) относительная допустимая реактивная нагрузка параллельно работающих ЭА определяется отношением

$$\lambda'_{доп} \leq 1 - \frac{(\delta U_{y1} + \delta U_{y2})h'_2}{s'}$$

Таким образом, нестабильность напряжения ЭА увеличивает неравномерность распределения реактивной нагрузки. Для уменьшения неравномерности и обеспечения пропорционального распределения реактивной мощности требуется осуществлять постоянный контроль величины нестабильность напряжения, что обеспечивает устройство, схема которого представлена на рисунке 2.

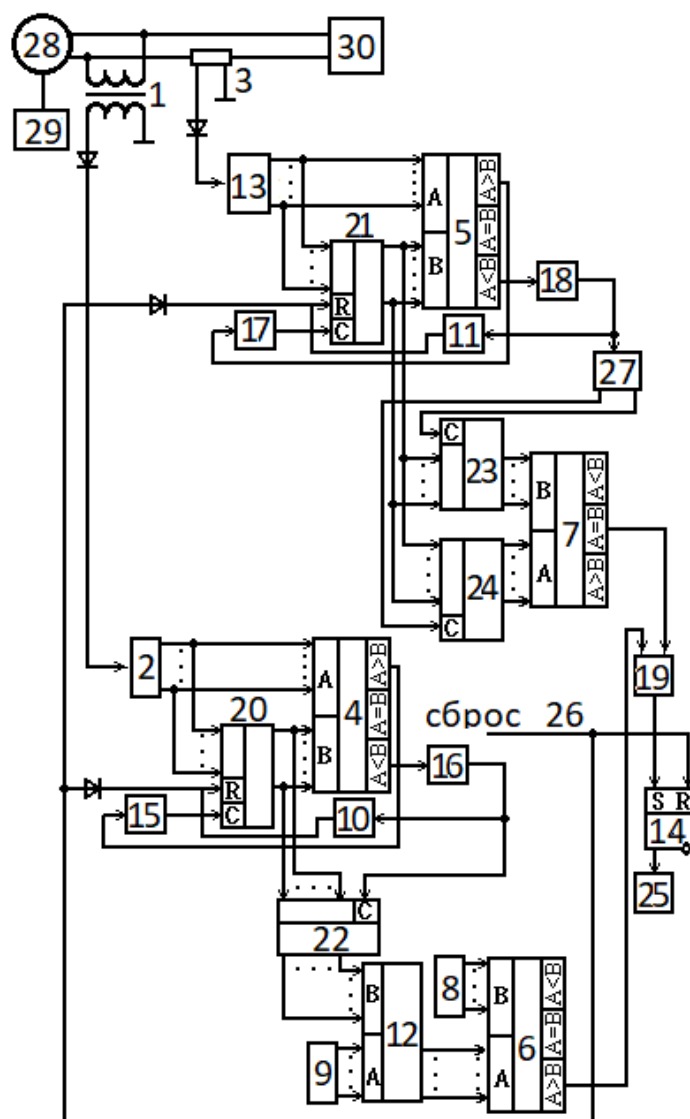


Рисунок 2 – Схема устройства допускового контроля установившегося отклонения напряжения при неизменной нагрузке

где 1 – измерительный трансформатор; 2 и 13 – аналого-цифровые преобразователи (АЦП); 3 – шунт; 4, 5, 6 и 7 – цифровые компараторы; 8 и 9 – задающие регистры; 10 и 11 – элементы задержки; 12 – вычитатель; 14 – RS-триггер; 15, 16 и 17 – дифференциаторы; 18 – формирователь коротких импульсов; 19, 20, 21, 22, 23 и 24 – регистры памяти; 25 – индикатор; 26 – шина СБРОС; 27 – распределитель импульсов; 28 – генератор; 29 – двигатель внутреннего сгорания; 30 – нагрузка.

Таким образом, устройство позволяет в процессе работы электроагрегата оценивать установившееся отклонение напряжения без проведения стендовых испытаний.

Как следует из выражения (5) на точность распределения реактивной нагрузки, кроме нестабильности напряжения, влияет наклон статических характеристик ЭА. Контроль и оценка этого параметра должна осуществляться специальным устройством.

Список литературы:

1. Сугаков В. Г., Хватов О.С. Основы автоматического регулирования выходных электрических параметров автономных источников электрической энергии. Часть 1. Автоматическое регулирование частоты автономных источников электрической энергии: Учебное пособие. Кстово, НВВИКУ, 2008.
2. Описание изобретения к авторскому свидетельству СССР № 1688173, кл. Н 01 R 19/00, 1991.
3. Системы автоматического регулирования параметров судовых электростанций. Часть 1. Автоматическое регулирование частоты судовых источников электрической энергии. Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010.
4. Сугаков В. Г., Хватов О. С. Системы автоматического регулирования параметров электрической энергии судовых электростанций. Часть 2. Автоматическое регулирование напряжения судовых источников электрической энергии. Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011.

