

Берлад Н.В., Крестелёв О.М., Татаренко С.А.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Проведён сравнительный анализ устройств компенсации реактивной мощности на судах для улучшения качества электрической энергии.

Ключевые слова: реактивная мощность, коэффициент мощности, синхронный двигатель.

Введение. Одна из важнейших характеристик эффективности работы судовых ЭЭС – качество электроэнергии в установившихся и переходных режимах.

Установившийся режим характеризуется незначительным изменением качества электроэнергии в пределах точности регулирования напряжения и частоты регуляторами генераторных агрегатов.

Переходный режим сопровождается резкими и значительными изменениями напряжения и частоты при включении приёмников электро-энергии, изменении числа работающих генераторов, а также при авариях.

Промежуточное место между установившимися и переходными процессами занимают **квазиустановившиеся процессы**, характерные для нормальной работы полупроводниковых преобразователей, импульсных систем и сопровождающиеся искажением формы кривой и модуляцией напряжения.

В зависимости от принципа действия судовые электроприёмники по-разному реагируют на изменение качества электроэнергии:

- снижается КПД и эффективность работы;
- уменьшается срок службы;
- происходят нештатные отключения и сбои в работе электрооборудования;
- перегрев электродвигателей и повышенная вибрация;

Внезапные отключения наиболее ответственного электрооборудования вследствие низкого качества электроэнергии могут привести к тяжелой аварии всего судна.

Постановка задачи. Повышение качества электроэнергии на судах является комплексной проблемой, так как исследуемые параметры: действительное напряжение судовой сети – U , генерируемая реактивная мощность – Q , коэффициент мощности сети – $\cos\varphi$, связаны функциональной зависимостью $U=f(Q, \cos\varphi)$. Поэтому задача компенсации реактивной мощности в установившихся и переходных режимах тесно связана с величинами провалов напряжения в этих режимах, то есть с качеством электроэнергии.

До настоящего времени на судах нашли применение только конденсаторные установки компенсации реактивной мощности, реагирующие на средние значения реактивного тока нагрузки. В таких устройствах переключение секций конденсаторов происходит один раз за несколько секунд. Учитывая динамику изменения нагрузки в судовых электрических сетях, такие компенсаторы не способны реагировать на переходные процессы, вызванные переключениями судовой нагрузки.

Результаты исследований. Одним из известных путей решения проблемы качества электроэнергии – является использование электромашинных преобразователей в режиме синхронного компенсатора. Этот режим давно известен, как один из нештатных режимов широко применяющийся в электроэнергетических системах подводных лодок.

На судах, как правило присутствуют электромашиные преобразователи переменного тока, имеющие в качестве приводного – асинхронный двигатель, и работающие только в выпрямительном режиме либо преобразователи постоянно-переменного тока при наличии мощной сети постоянного тока.

Однако использование именно синхронного двигателя в качестве приводного в электромашиных преобразователях переменного-постоянного тока позволяет использовать его преимущества перед конденсаторными батареями в качестве компенсатора реактивной мощности и одновременно улучшить качество электроэнергии судовой сети.

Синхронные двигатели имеют по сравнению с асинхронными большое преимущество, заключающееся в том, что благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с $\cos\varphi = 1$ и не потребляют при этом реактивной мощности из сети, а при работе с перевозбуждением даже отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности сети и уменьшаются падение напряжения и потери в ней, а также повышается коэффициент мощности генераторов.

Максимальный момент синхронного двигателя пропорционален U , а у асинхронного двигателя U^2 . Поэтому при понижении напряжения синхронный двигатель сохраняет большую нагрузочную способность. Кроме того, использование возможности увеличения тока возбуждения синхронных двигателей позволяет увеличивать их надежность работы при аварийных понижениях напряжения в сети и улучшать в этих случаях условия работы электроэнергетической системы в целом. Вследствие большей величины воздушного зазора добавочные потери в стали и в клетке ротора синхронных двигателей меньше, чем у асинхронных, благодаря чему к. п. д. синхронных двигателей обычно выше. С другой стороны, конструкция синхронных двигателей сложнее, чем короткозамкнутых асинхронных двигателей, и, кроме того, синхронные двигатели должны иметь возбуждатель или иное устройство для питания обмотки возбуждения постоянным током. Вследствие этого синхронные двигатели в большинстве случаев дороже асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Пуск и регулирование скорости вращения синхронных двигателей также сложнее.

Тем не менее, преимущество синхронных двигателей настолько велико, что при $P_n > 200 \div 300 \text{ кВт}$ их целесообразно применять всюду, где не требуется частых пусков и остановок и регулирования скорости вращения (мощные насосы, вентиляторы, компрессоры и пр.). Согласно исследованиям [4] А. Сыромятникова, синхронные двигатели с $\cos\varphi_n = 1$ по своей стоимости и потерям энергии всегда имеют преимущество перед асинхронными двигателями, снабженными конденсаторными батареями для компенсации коэффициента мощности до $\cos\varphi=1$.

При работе синхронного двигателя на холостом ходу в составе электромашиного преобразователя он переходит в режим синхронного компенсатора. При подключении потребителя Z к сети с напряжением U_c (рис. 1, а) в сети возникает ток \dot{I}_z , отстающий по фазе от напряжения \dot{U}_c на угол φ_z , обусловленный значительной индуктивной составляющей тока I_z . При подключении СК параллельно потребителю Z и создании в СК режима перевозбуждения (рис. 1, б) в сети появится ток $\dot{I}_{СК}$, опережающий по фазе напряжение \dot{U}_c на угол 90° . Результирующий ток в сети

$$\dot{I}_c = \dot{I}_z + \dot{I}_{СК}. \quad (1)$$

Фазовый сдвиг этого тока относительно напряжения сети \dot{U}_c (угол φ_c) намного меньше угла фазового сдвига до включения СК (угол φ_z). Кроме того, ток I_c станет меньше ($I_c < I_z$). В этом можно убедиться исходя из следующих соображений. Так как СК работает без нагрузки на валу, то его активная мощность не велика и определяется потерями х.х. в компенсаторе. Пренебрегая этими потерями, можно активную мощность в сети до подключения СК

$$P_c = P_z = \sqrt{3}I_z U_c \cos\varphi_z, \quad (2)$$

приравнять к активной мощности сети после подключения СК

$$P'_c = \sqrt{3}I_c U_c \cos \varphi_c. \quad (3)$$

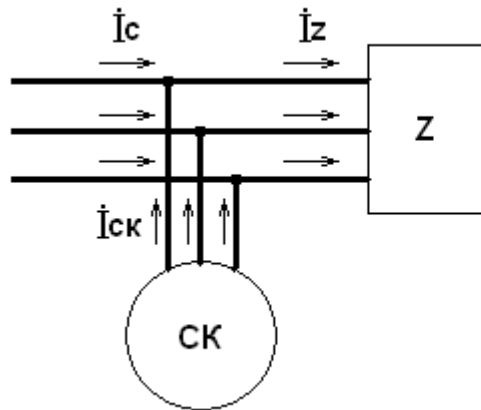


Рис. 1,а.

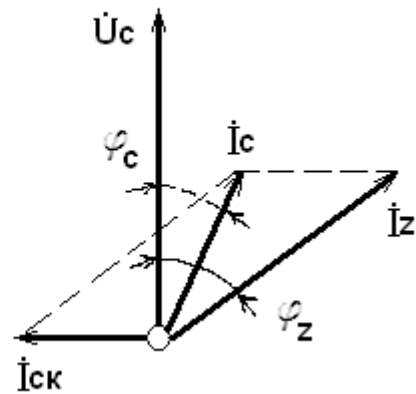


Рис. 1,б.

Но так как $P_c = P'_c$, а $\cos \varphi_c > \cos \varphi_z$, то $I_c < I_z$. В результате синхронный генератор и электрическая сеть разгружаются, и потери мощности в них уменьшаются.

Выводы. Очевидной выгодой при применении компенсации реактивной мощности на судах является:

- повышение качества напряжения;
- улучшение небаланса напряжений при несимметричной нагрузке;
- разгрузка кабельных сетей от реактивной мощности и как следствие уменьшение токов;
- снижение потребления электроэнергии;
- увеличение сроков службы элементов СЭЭС – как следствие улучшения качества электроэнергии;

Современное развитие электроники и микропроцессорной техники, элементной базы судовой электротехники, а также теории и практики переходных процессов в СЭЭС позволяет решить большинство из перечисленных проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качество электрической энергии на судах: Справочник– Л.: Судостроение., 1988. – 160 с.
2. Справочник судового электротехника, т.1. – Л.: Судостроение, 1980. – 528 с.
3. Вольдек. «Электрические машины». М.:Энергия, 1974. – 832 с.
4. Сыромятников. «Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей»// М.: Энергаториздат, 1984. – 240 с.

Проведений порівняльний аналіз пристроїв компенсації реактивній потужності на судах для поліпшення якості електричної енергії.

Ключові слова: реактивна потужність, коефіцієнт потужності, синхронний двигун.

The comparative analysis of devices of indemnification a reactive-power is conducted on courts for the improvement of quality of electric energy.

Keywords: reactive-power, power-factor, synchronous engine.