

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Запропоновано модель синхронного генератора у автономній електроенергетичній системі, що дозволяє досліджувати процеси комутації статичного навантаження різного характеру, вибрати параметри регулятора напруги, вивчати режими компенсації реактивної потужності електричної мережі генератора.

Предложена модель синхронного генератора в автономной электроэнергетической системе, позволяющая исследовать процессы коммутации статической нагрузки различного характера, выбирать параметры регулятора напряжения, изучать режимы компенсации реактивной мощности электрической сети генератора.

The model of synchronous generator in the off-line electroenergy system is offered, allowing to explore the processes of commutation of a different character static loading, to choose the parameters of voltage regulator, to study the modes of indemnification of reactive power of generator electric network.

Проблема компенсации реактивной мощности связана с важнейшей технической задачей повышения качества электрической энергии и становится актуальной в связи с нарастающим дефицитом реактивной мощности [2,3].

Рациональное проектирование и эксплуатация электрических установок с применением компенсации реактивной мощности определяет уровень экономичности электроэнергетики, способствует уменьшению потерь мощности, снижению затрат на повышение пропускной способности электрических сетей. От правильного решения вопросов компенсации реактивной мощности зависят качественные показатели и технический уровень регулирования напряжения, устойчивости и надежности электроснабжения потребителей.

В промышленности ориентировочно потребляемая реактивная мощность распределяется следующим образом: трансформаторы – 45 %, электродвигатели – 35 %, электросети – 13 %, прочие 7 % [3].

Известными средствами компенсации реактивной мощности являются синхронные компенсаторы и двигатели, конденсаторные батареи, специальные тиристорные преобразователи [2]. В автономных электроэнергетических системах рассматриваемая проблема стоит не менее остро и также актуальна, несмотря на то, что автономный синхронный генератор в большинстве случаев способен выработать необходимую для сети реактивную мощность.

Критерием для расчета и реализации режимов компенсации реактивной мощности является стремление к максимальному коэффициенту мощности.

Динамические режимы систем при совместной работе генераторов, индуктивных потребителей и компенсирующих устройств имеют много аспектов, одним из которых является устойчивость их совме-

стной работы.

Целью настоящей статьи является анализ переходных процессов в автономной электро-энергетической системе с синхронным генератором в режиме компенсации реактивной мощности.

Исследование проводилось на компьютерной модели синхронного генератора с индуктивно-активно-емкостной нагрузкой, реализованной в программе SG-PIRLC на языке Паскаль. Модель содержит математическое описание автономного синхронного генератора (СГ) без демпферной обмотки на роторе, инерционного возбудителя, пропорционально-интегрального регулятора напряжения, приводного двигателя с регулятором частоты вращения. Подробное описание названных частей модели приведено в работе [1].

Синхронный генератор описан системой дифференциальных уравнений первого порядка для потокосцеплений статорной обмотки и обмотки возбуждения, алгебраическими уравнениями для токов статора и ротора в системе координат (d, q) , связанной с ротором,

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{sd}}{d\tau} &= \psi_{sq} \omega_r - r_s i_{sd} - u_{sd}; & \frac{d\psi_{sq}}{d\tau} &= -\psi_{sd} \omega_r - r_s i_{sq} - u_{sq}; & \frac{d\psi_f}{d\tau} &= -u_f - r_f i_f; \\ i_f &= [L_d \psi_{sd} - (L_d + L_{sd}) \psi_f] / (L_d^2 - L_d L_f - L_f L_{sd}); \\ i_{sd} &= (\psi_f - L_f i_f) / L_d; & i_{sq} &= \psi_{sq} / (L_q + L_{sq}). \end{aligned} \quad (1)$$

Нагрузка генератора записана в осях (α, β) , неподвижных относительно обмоток статора, поэтому для связи с уравнениями (1) используются известные уравнения перехода между системами координат (d, q) и (α, β) , [1].

Уравнения переменных пространства состояний пропорционально-интегрального регулятора напряжения и возбудителя синхронного генератора имеют вид:

$$\frac{du_{fp}}{d\tau} = [-u_{fp} + K_r(1 - u_m)] / T_b; \quad \frac{du_{fi}}{d\tau} = -u_i; \quad \frac{du_i}{d\tau} = (-u_i T_i + 1 - u_m) / T_b T_i, \quad (2)$$

где K_r, T_i - коэффициент усиления и постоянная интегрирования регулятора напряжения; T_b - постоянная времени возбудителя; u_{fp}, u_{fi} - пропорциональная и интегральная составляющие напряжения управления обмотки возбуждения; $u_m = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2}$ - модуль изображающего вектора напряжения статора генератора.

В отличие от использованной в работе [1] программы SG-PIRL в программе SG-PIRLC вводятся дополнительные уравнения емкостной нагрузки генератора. Нагрузка СГ представляется как параллельное соединение активно-индуктивной, чисто активной и емкостной цепей. Уравнения нагрузки в системе координат (α, β) записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} i_{C\alpha} &= i_\alpha - i_{L\alpha} - i_{g\alpha} = i_\alpha - i_{L\alpha} - u_\alpha g_n; & i_{C\beta} &= i_\beta - i_{L\beta} - i_{g\beta} = i_\beta - i_{L\beta} - u_\beta g_n; \\ \frac{du_\alpha}{d\tau} &= i_{C\alpha} / C_n; & \frac{du_\beta}{d\tau} &= i_{C\beta} / C_n; & \frac{di_{L\alpha}}{d\tau} &= (u_\alpha - r_n i_{L\alpha}) / L_n; & \frac{di_{L\beta}}{d\tau} &= (u_\beta - r_n i_{L\beta}) / L_n, \end{aligned} \quad (3)$$

где r_n, L_n - сопротивление и индуктивность активно-индуктивной цепи нагрузки; g_n - проводимость чисто активной нагрузки; C_n - емкость нагрузки; $i_{L\alpha}, i_{L\beta}$ - проекции вектора индуктивного тока нагрузки; $i_{g\alpha}, i_{g\beta}$ - проекции вектора активного тока нагрузки; $i_{C\alpha}, i_{C\beta}$ - проекции вектора емкостного тока нагрузки.

Моделирование полной активно-индуктивно-емкостной нагрузки генератора позволяет исследовать режимы компенсации реактивной мощности в переходных процессах. Емкостная нагрузка в виде компенсирующих конденсаторов может подключаться к статорной цепи генератора для обеспечения максимального коэффициента мощности [2].

Результаты моделирования процессов включения компенсирующих конденсаторов при активно-индуктивной нагрузке СГ к приведены на рис.1.

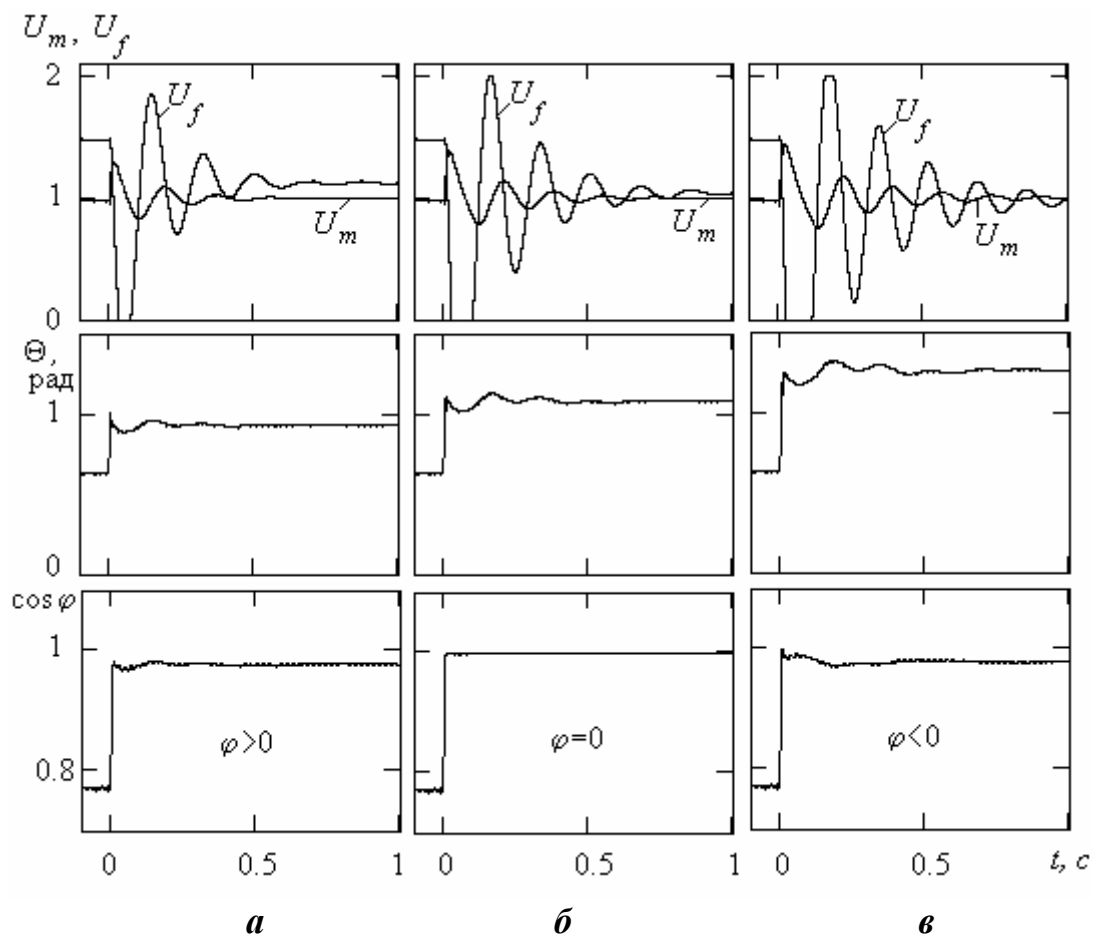


Рис. 1. Графики переходных процессов включения компенсирующих конденсаторов различной величины для следующих режимов: а – недокомпенсация реактивной мощности, ($\varphi > 0$); б – компенсация реактивной мощности, ($\varphi = 0$); в – перекомпенсация реактивной мощности, ($\varphi < 0$)

Изменение модуля вектора напряжения U_m и напряжение на обмотке возбуждения U_f , как видно из рис. 1, носят колебательный характер. Угол нагрузки СГ (Θ) при включении дополнительных конденсаторов увеличивается, что снижает устойчивость СГ, особенно при параллельной работе.

Моделирование режима компенсации реактивной мощности, показанное на рис. 1, выполнялось при оптимальных настроечных параметрах регулятора напряжения [1]. Оптимальная система регулирования обеспечивает колебательные переходные процессы с приемлемым затуханием (рис. 2, а). При таких настройках включение нагрузки одновременно с компенсирующими конденсаторами приводит к недопустимо большой колебательности системы (рис. 2, б).

При использовании режима компенсации реактивной нагрузки можно рекомендовать настраивать регулятор напряжения СГ на монотонные процессы, незначительно понизив быстродействие (рис. 3, а).

Предложенная в данной статье модель синхронного генератора позволяет исследовать процессы коммутации статической нагрузки различного характера, выбирать настроечные параметры регулятора напряжения, изучать режимы компенсации реактивной мощности электрической сети генератора.

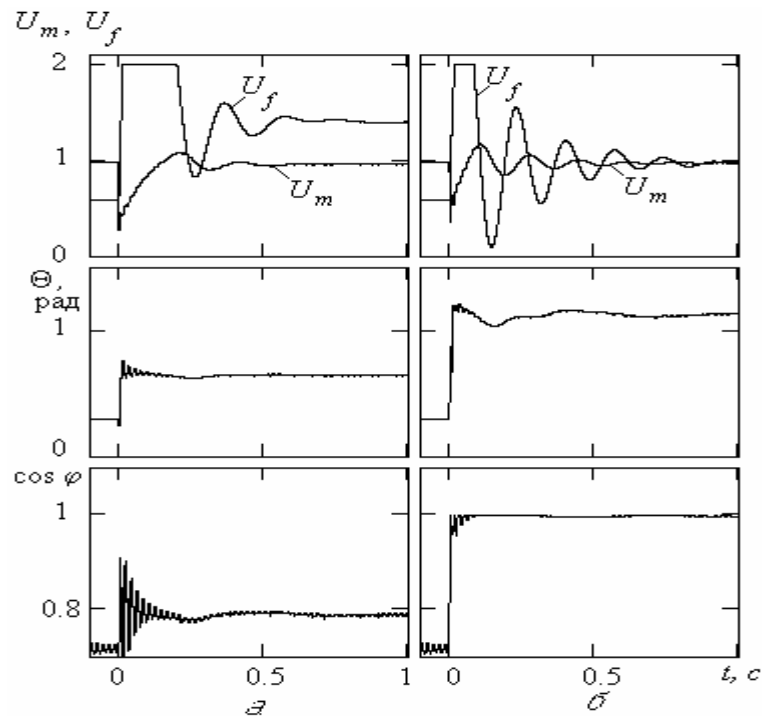


Рис. 2. Включение 75 % активно-индуктивной нагрузки без конденсаторов (а) и с конденсаторами (б) в оптимальной системе регулирования напряжения СГ

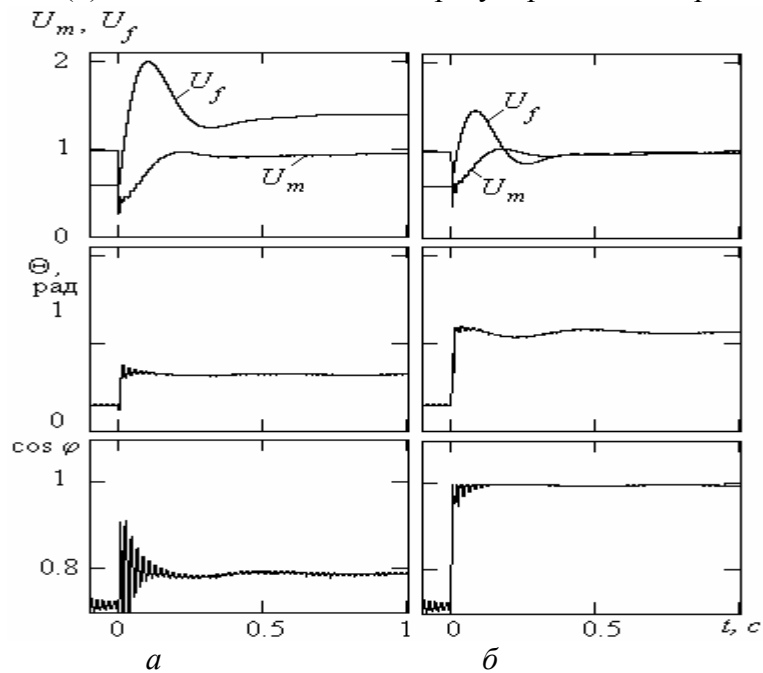


Рис.3. Включение 75 % активно-индуктивной нагрузки без конденсаторов (а) и с конденсаторами (б) в системе регулирования напряжения СГ с монотонными переходными процессами

Список использованной литературы

1. Вишневский Л.В., Веретенник А.М. Оптимизация регулятора возбуждения автономного синхронного генератора // Электромашин. та електрообл.-2003.- Вип.60. – С. 22-27.
2. Супронович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.
3. Шидловский А.К., Федий В.С. Частотно-регулируемые источники реактивной мощности. – К.: Наук. думка, 1980. – 304 с.

Получено 29.10.03