

СИММЕТРИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА

Заболотный И.П.

Донецкий государственный технический университет

ivp@elf.dgta.donetsk.ua

The method of symmetrizing of an asynchronous condition of the generator is offered at the expense of control of a moment of the turbine. Measure at control is the security of persistence of a current in a statoric winding. In a method the mathematical model of the generator containing two differential equations and a relation for regime parameters will be used. The effects of simulation of an induction generator of a type by power 300 MW are reduced.

Исключить появление асинхронных режимов из-за потери возбуждения генератора в электрических системах практически невозможно. В соответствии с Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей при эксплуатации электрических систем допускается использование асинхронного режима, вызванного потерей возбуждения генератора при выполнении определенных условий. Особенно важно использование асинхронных режимов в условиях дефицита генерирующих мощностей, приводящего к снижению частоты переменного тока в электрической системе, так как в этом случае генератор продолжает генерировать активную мощность величиной не менее 40 % $R_{ном}$ генератора.

Как известно, из-за электромагнитной несимметрии ротора в асинхронном режиме генератора наблюдается колебание режимных параметров во времени относительно средних значений. При этом, пульсации тока, допустимые для генератора, создают пульсирующее падение напряжения на элементах сети и, следовательно, напряжение в отдельных узлах системы также будет пульсировать. Это отрицательно сказывается на работе нагрузок и может вызвать электромеханический резонанс малых колебаний роторов других машин.

Таким образом, использование асинхронного режима позволит повысить надежность электроснабжения, а симметрирование асинхронного режима позволит уменьшить отрицательные последствия его использования, как на сам генератор, так и на электрическую систему в целом.

В [1-2] предлагается для симметрирования параметров режима синхронной машины включать обмотку возбуждения на специальное нелинейное комплексное сопротивление или подавать в обмотку возбуждения сформированное по специальному закону напряжение. Эти способы по объективным причинам не нашли практического применения.

В [3] предложен закон управления моментом турбины и структура автоматического устройства для формирования предложенного закона управления. Реализация закона управления моментом турбины обеспечивает постоянство тока в статоре генератора и постоянство напряжения на выводах генератора. Однако, принципиальная схема устройства симметрирования не разработана, не сформулированы также требования к по быстродействию и погрешностям работы функциональных блоков предложенного устройства симметрирования.

В [4] приведена методика формирования законов управления аномальными режимами работы генератора, в том числе и при потере возбуждения. Закон управления формируется на основе многократного решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений при описании генератора полными уравнениями Парка-Горева и использовании многоконтурных схем замещения с постоянными параметрами. целесообразно использование методики для анализе перспективных режимов работы ТЭС. Использование полученных законов управления в реальной ситуации вызовет необходимость адаптации этого закона для повышения эффективности симметрирования асинхронного режима генератора.

Таким образом, проблема симметрирования параметров режима при потере возбуждения не решена до настоящего времени и является актуальной.

В настоящей работе приводятся результаты разработки методики управления моментом турбины генератора на основе использования модели генератора, состоящей из двух дифференциальных уравнений и соотношений для режимных параметров [5]. Однако, эта модель не учитывает влияние насыщения путей магнитных потоков на электромагнитные параметры генератора. Для учета насыщения магнитной системы генератора предлагается использовать коэффициенты насыщения, определенный по данным опыта питания статора генератора переменным током частоты 50 Гц при неподвижном роторе, или данным опыта короткого замыкания. Обозначим коэффициенты

$$K_{x_b''} = \frac{X_{d1}''}{X_{d2}''}, K_{R_b''} = \frac{R_{d1}''}{R_{d2}''}, K_{x_q''} = \frac{X_{q1}''}{X_{q2}''}, K_{R_q''} = \frac{R_{q1}''}{R_{q2}''},$$

Эти коэффициенты вводятся в комплексы сопротивлений по осям симметрии ротора

$$X_d(jS) = K_{X_d''} * \operatorname{Re} X_d(jS) + jK_{R_d''} * \operatorname{Im} X_d(jS),$$

$$X_q(jS) = K_{X_q''} * \operatorname{Re} X_q(jS) + jK_{R_q''} * \operatorname{Im} X_q(jS).$$

Этот прием, строго говоря, должен давать правильные значения сопротивлений лишь в области скольжения, равного единице. С учетом насыщения имеем следующую математическую модель генератора для переходных режимов:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T_f} (P_T - P),$$

$$\frac{d\delta}{dt} = S,$$

$$P = \frac{E_q U}{X_d} \sin \delta + U^2 [S^2 * Z_1 * \sin 2\delta + S(Z_2 + Z_3 * \cos 2\delta) + Z_4 * \sin 2\delta],$$

$$Q = \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta - U^2 [S^2 (Z_6 - Z_1 * \cos 2\delta) + S * Z_3 * \sin 2\delta + Z_5 - Z_4 * \cos 2\delta],$$

$$i_f = \frac{U_f}{R_f} + U \frac{X_{ad}}{X_d} \left[S_3 * S * \sin \delta - \left(\frac{1}{X_d} + S_1 * S^2 - \frac{1}{X_d} \right) \cos \delta \right],$$

$$i_d = \frac{E_q}{X_d} - U \left(\left(\frac{1}{X_d} + S_1 * S^2 \right) \cos \delta - S_3 * S * \sin \delta \right),$$

$$i_q = U \left(S_4 * S * \cos \delta + \frac{1}{X_q} + (S_2 * S^2) * \sin \delta \right),$$

$$S_1 = \frac{1}{K_{X_d''}} * \sum_{K=1}^N \frac{\frac{1}{X_{kd}}}{\left(\frac{R_{kd}}{X_{kd}} \right)^2 + S^2},$$

$$S_2 = \frac{1}{K_{X_q''}} * \sum_{L=1}^M \frac{\frac{1}{X_{lq}}}{\left(\frac{R_{lq}}{X_{lq}} \right)^2 + S^2},$$

$$S_3 = \frac{1}{K_{R_d''}} * \sum_{K=1}^N \frac{\frac{R_{kd}}{X_{kd}^2}}{\left(\frac{R_{kd}}{X_{kd}} \right)^2 + S^2},$$

$$S_4 = \frac{1}{K_{R_q''}} * \sum_{L=1}^M \frac{\frac{R_{lq}}{X_{lq}^2}}{\left(\frac{R_{lq}}{X_{lq}} \right)^2 + S^2}.$$

$$Z1=0.5(S1-S2), Z2=0.5(S3+S4), Z3=0.5(S3-S4),$$

$$Z6=0.5(S1+S2), Z5=(1/X_q+1/X_d), Z4=(1/X_d-1/X_q),$$

где X_d, X_q - синхронные индуктивные сопротивления генератора; $R_{kd}, X_{kd}, R_{lq}, X_{lq}$ - параметры k -го по оси d и l -го по оси q демпферных контуров известной схемы замещения с вынесенным контуром намагничивания; N, M - число демпферных контуров с постоянными параметрами.

Симметрирование асинхронного режима осуществляется по следующему алгоритму:

1. Осуществляются все предусмотренные директивными материалами действия по использованию асинхронного режима: разгрузка генератора по активной мощности, замыкание обмотки возбуждения на гасительное сопротивление.

2. Запоминается значение тока статора в асинхронном режиме, которое будет поддерживаться постоянным за счет изменения момента турбины.

3. На каждом шаге расчета асинхронного режима минимизируется функция цели $(I_{зад} - I_{расч})^2$ при изменении момента турбины. Значение тока статора $I_{расч}$ получается на основании решения системы уравнений, описывающих переходные процессы в генераторе. При минимизации используется метод золотого сечения.

На рис. 1-2 приведены результаты моделирования асинхронного режима генератора без симметрирования (рис. 1) и при управлении моментом турбины (рис. 2). Моделирование выполнялось для турбогенератора типа ТГВ-300, работающего на шины бесконечной мощности. Все параметры на рис. 1-2 даны в относительных единицах при номинальных условиях.

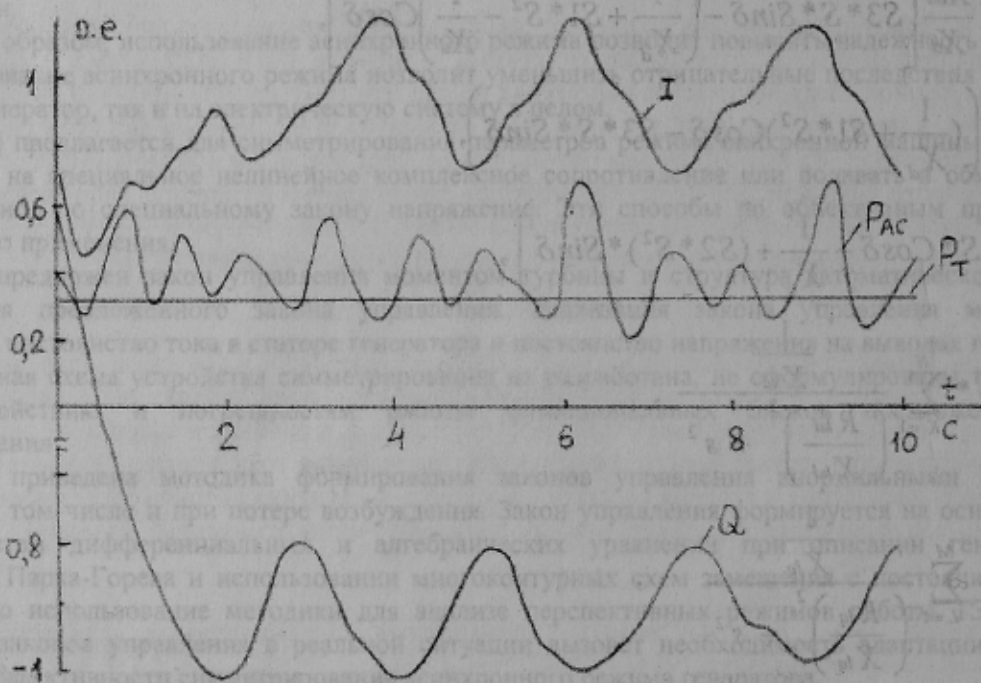


Рисунок 1 – Параметры несимметрированного асинхронного режима

Анализ рис. 1-2 позволяет сделать следующие выводы:

- при симметрировании асинхронного режима генератора уменьшилось среднее значение реактивной мощности и уменьшились амплитуды колебаний активной и реактивной мощностей;
- период проворота ротора увеличивается с 2 с до 7 с.;
- ток статора при симметрировании не содержит колебательной составляющей, что обеспечивает постоянство огибающей напряжения на шинах генератора;
- уменьшение среднего значения скольжения, уменьшение колебательных составляющих мощностей способствуют меньшим нагревам конструктивных узлов генератора.

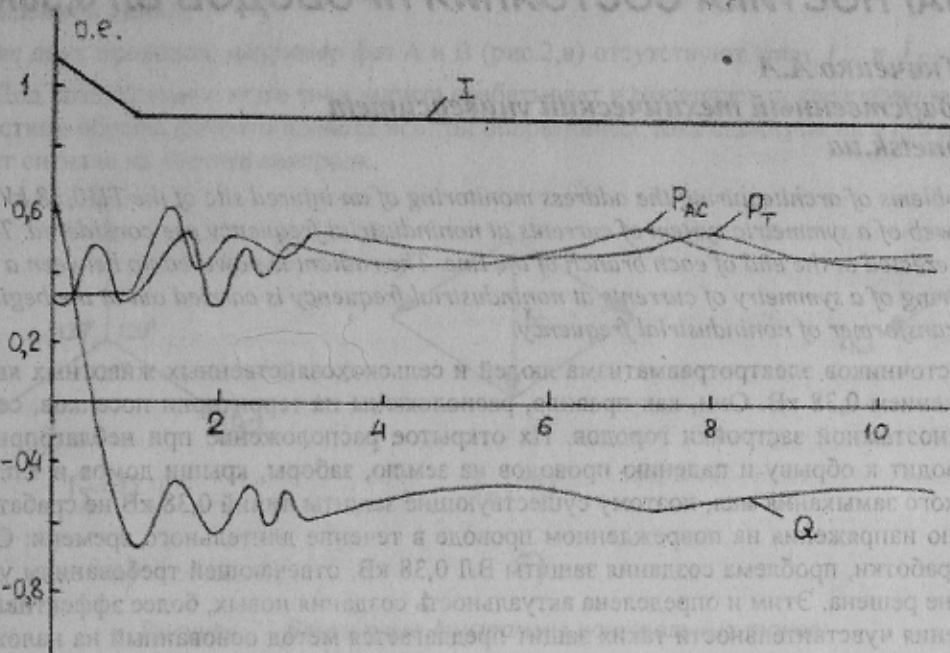


Рисунок 2 Параметры симметрированного асинхронного режима

Выводы: управление моментом турбины с целью обеспечения постоянства амплитудного значения тока в обмотке статора генератора при работе генератора в асинхронном режиме позволило уменьшить отрицательное влияние указанного режима генератора как на электрическую систему, так и на генератор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамм Б.З., Ефименко Н.Н. Способ симметрирования синхронного генератора в асинхронном режиме. – А.С. СССР N 736337, опубл. В БИ, 1980, 19.
2. Гамм Б.З., Ефименко Н.Н., Письман Н.М. Способ симметрирования синхронного генератора в асинхронном режиме. – А.С. СССР N 928527, опубл. В БИ, 1982, 18.
3. Рогозин Г.Г., Заболотный И.П. Метод автоматического симметрирования асинхронного режима невозбужденного турбогенератора в электрической системе // Наукові праці Донату. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12: - Донецьк: ДонДТУ. 1999. – С. 91-97.
4. Заболотный И.П. Разработка методики формирования законов управления аномальными режимами работы электрических систем // Контроль і управління в складних системах (КУСС-99). Том 3. – Вінниця: Універсам-Вінниця. - 1999. – С. 286-290.
5. Заболотный И.П., Диа Ибрагим. Разработка минимальной сложности математической модели генератора для анализа длительных переходных процессов в энергосистемах // Сборник научных трудов Донецкого государственного технического университета. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 2 - Донецк: ДонГТУ. - 1998. – С. 181-188.