

их поверхностная плотность. При этом следует помнить, что во время измерений зонд нужно перемещать на некотором расстоянии от поверхности контролируемого объекта, так как при трении возникают дополнительные заряды, которые искажают действительные параметры электростатического поля.

Датчик связан с измерителем с помощью экранированного кабеля, поэтому нужно учитывать и емкость этого провода, которая иногда достигает значения 10^{-10} Ф/м. Следует иметь в виду, что чем длиннее провод, тем ниже чувствительность прибора.

Если оценивают степень заряженности проводников, то процесс измерения сводится к определению напряжения. В данном случае при заранее известном напряжении, под которым находится объект, достаточно знать еще и его емкость, поскольку $q = CU$. На изоляционных материалах соотношение между q и U найти труднее. Более того, невозможно точно измерить значение заряда на диэлектрике его непосредственным контактом с датчиком. Такой контакт не обеспечит полного перехода зарядов на датчик-зонд. Значит, более перспективны бесконтактные методы измерений, одним из вариантов которых является индукционный. Проиллюстрируем сказанное поверочным расчетом.

Пусть емкость датчика C задана в фарадах, а расстояние от него до поверхности контролируемого объекта x — в метрах. Тогда поверхностную плотность зарядов можно вычислить по формуле (2):

$$\sigma_S = \frac{1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} U = 1,77 \cdot 10^{-9} U \text{ (Кл/м}^2\text{)},$$

где $C = 1,5 \cdot 10^{-10}$ Ф, $x = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Следовательно, $\sigma = 2\sigma_S = 3,54 \cdot 10^{-9} U$ (Кл/м²).

Следовательно, при известном напряжении в вольтах контролируемого объекта нетрудно найти поверхностную плотность его заряда.

Разработанная нами конструкция индукционного датчика в течение нескольких лет эксплуатировалась в производственных условиях. Опытно-производственная проверка полностью подтверждает правильность выполненного анализа и приведенного поверочного расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илюкович А.М. Техника электрометрии. — М.: Энергия, 1976. — 399 с.

УДК 621.315

Е.В. КАЛЕНТИОНОК, канд. техн. наук,
Т.Н. СТРЕЛОВА (БПИ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СЕКЦИОНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ И ИХ АНАЛИЗ

В работе исследуется влияние электромагнитно-секционированной электростанции (ЭС) при установке на вал турбины асинхронизированного электро-механического преобразователя частоты (АС ЭМПЧ) на переходные электро-механические процессы при больших возмущениях в электрической системе.

Исследуемая электрическая система состоит из двух подсистем (I, II), гибкая связь между которыми осуществляется через АС ЭМПЧ на ЭС. АС ЭМПЧ включает две асинхронизированные синхронные машины (АСМ), роторы которых механически соединены общим валом с турбиной, а статоры посредством трансформаторов подключены к секциям шин станции. Каждая из названных подсистем для простоты исследования представлена шинами бесконечной мощности.

Для расчетов динамической устойчивости (ДУ) электрической системы с АС ЭМПЧ на станции составлена ее математическая модель в виде системы дифференциальных и алгебраических уравнений. При исследовании ДУ ЭС используются общепринятые предположения. Переходные процессы в АС ЭМПЧ описываются упрощенными уравнениями Парка—Горева.

Согласно [1], уравнения электромагнитных переходных процессов в роторных цепях i -й АСМ с двумя обмотками возбуждения (по осям g и d) имеют вид:

$$\begin{aligned} dE'_{gi}/dt &= (E_{edi} - E_{gi})T_{d0} - S_i\omega_0 E'_{di} ; \\ dE'_{di}/dt &= (-E_{egi} - E_{di})T_{d0} + S_i\omega_0 E'_{gi} , \end{aligned}$$

где ω_0 — синхронная скорость вращения вала АС ЭМПЧ; $\pm S_i\omega_0 E'_g(d)_i$ — дополнительное напряжение частоты скольжения за счет эдс, действующей в обмотках возбуждения, которые индуцированы при скорости вращения вала АС ЭМПЧ, отличающейся от синхронной. $\dot{E}_{ei} = E_{egi} + jE_{edi}$; $\dot{E}_i = E_{gi} + jE_{di}$; $\dot{E}'_i = E'_{gi} + jE'_{di}$.

Управление возбуждением на кольцах ротора i -й АСМ в соответствии с [2] представим в виде:

для первой АСМ в подсистеме I

$$\dot{E}_{e1} = (\alpha_{01} + k_\omega \Delta\omega) + j(\beta_{01} + k_{u1} \Delta U_1);$$

для второй АСМ в подсистеме II

$$\dot{E}_{e2} = (\alpha_{02} + k_p \Delta P) + j(\beta_{02} + k_{u2} \Delta U_2),$$

где $\alpha_{01}, \alpha_{02}, \beta_{01}, \beta_{02}$ — заданные значения напряжения возбуждения, определяемые из условия осуществления установившегося режима; $k_\omega, k_p, k_{u1}, k_{u2}$ — настроечные коэффициенты; $\Delta\omega, \Delta P, \Delta U_1, \Delta U_2$ — отклонения режимных параметров от заданных значений.

АСМ1 регулирует заданную скорость вращения вала АС ЭМПЧ; АСМ2 обеспечивает заданный поток активной мощности; общее действие обеих АСМ заключается в поддержании заданного уровня напряжения на шинах ЭС.

Уравнение движения вала АС ЭМПЧ с турбиной имеет вид

$$T_{y\Sigma} PS_B = P_T - \sum_{i=1}^2 P_{zi} ,$$

где P_{zi} — электромагнитная мощность i -й АСМ.

Определив полные токи, протекающие в обмотках статора i -й АСМ, получим выражение для E_i :

$$\dot{E}_i = \frac{E'_{gi} - U_{ci} Y_{i,uc} \cos \delta_{uc,i} (x-x')}{1 - Y_{ii} (x-x')} + j \frac{E'_{di} + U_{ci} Y_{i,uc} \sin \delta_{uc,i} (x-x')}{1 - Y_{ii} (x-x')}$$

где $Y_{ii}, Y_{i,uc}$ — соответственно собственная и взаимная проводимость ветки i -й АСМ; $\delta_{uc,i}$ — угол между вектором напряжения шин бесконечной мощности соответственно I или II подсистем, совмещенный с осью g_c синхронной системы координат и осью g вращающегося ротора i -й АСМ.

На основе составленной математической модели электрической системы с АС ЭМПЧ на станции осуществлен анализ ДУ генераторов электромагнитно-секционированной ЭС. Расчеты выполнены методом последовательных интервалов. ДУ АСМ определялась по характеру изменения скольжения.

Результаты расчета переходного процесса при двухфазном коротком замыкании (КЗ) на землю на шинах ЭС длительностью 0,2 с представлены на рис. 1, который иллюстрирует режим устойчивой работы электрических машин при выбранных законах регулирования напряжения возбуждения АСМ ЭМПЧ.

При сбросе нагрузки, вызванном КЗ или другим нарушением режима, необходимо как можно быстрее и больше увеличить напряжение возбуждения, а значит — отдаваемую мощность АСМ, дополнительный тормозной момент, что уменьшит небаланс вращающих моментов АСМ 1,2 и турбины на валу АС ЭМПЧ и будет способствовать сохранению ДУ. Поэтому при КЗ на шинах АСМ, резком сбросе нагрузки и быстром увеличении напряжения возбуждения до предельного значения изменялись коэффициенты $k_\omega \cdot \alpha_{01}, \beta_{01}$ в законе управления АСМ 1 в целях исследования эффективности влияния изменения модуля напряжения возбуждения на управление переходными процессами. Результаты расчета переходного процесса представлены на рис. 1, где видно, что наиболее круто изменяется кривая мощности при $k_\omega = 1000, \beta_{01} = 0$. Изменение α_{01} в меньшей мере влияет на мощность АСМ1, чем изменение k_ω , а при $\alpha_{01} = 0$ даже уменьшает ее.

На рис. 2 представлены характеристики переходного процесса при авариях, вызванных увеличением в 3 раза внешнего сопротивления со стороны

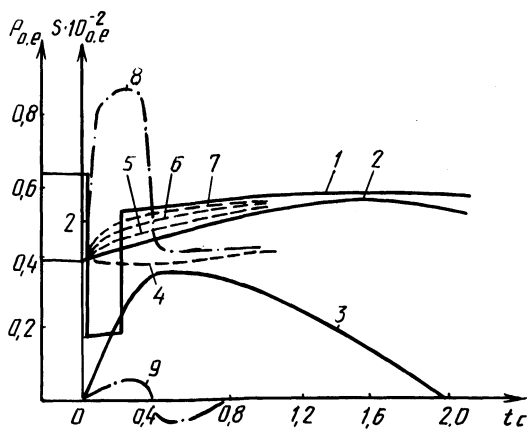


Рис. 1. Характеристики переходного процесса при двухфазном замыкании на землю:

1...3 — соответственно P_2, P_1, S при КЗ на шинах АСМ2; 4 — P_1 при α_{10} ; 5 — P_1 при $K_\omega = 100$; $\alpha_{01} = -2$; 6 — P_1 при $K_\omega = 1000$; 7 — P_1 при $K_\omega = 1000, \beta_{01} = 0$; 8, 9 — соответственно P_1, S при изменении угла \dot{E}_1 .

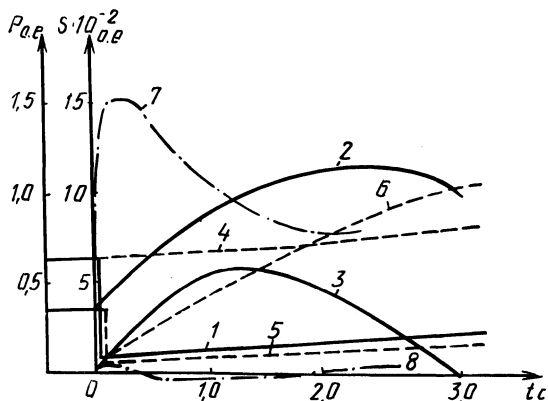


Рис. 2. Характеристики переходного процесса при изменении внешнего сопротивления:

1...3 — соответственно P_2, P_1, S при изменении $X_{ВН}$ со стороны АСМ2; 4...6 — соответственно P_2, P_1, S при изменении $X_{ВН}$ со стороны АСМ1; 7, 8 — соответственно P_2, S при изменении угла E_2 и $X_{ВН}$ со стороны АСМ1.

АСМ2 и в 4 раза — со стороны АСМ1. В результате анализа характеристик переходного процесса установлено, что в первом случае устойчивая работа электрических машин сохраняется, кривые изменения мощностей АСМ приближаются к заданному установившемуся режиму; во втором — кривая изменения скольжения вала АС ЭМПЧ резко возрастает из-за постоянного роста мощностей АСМ1 и 2, в результате чего устойчивая работа генераторов нарушается.

Для повышения устойчивости работы генераторов и управления мощностью в переходных режимах использовано изменение электрического угла сдвига эдс АСМ относительно ротора. Это достигается путем изменения напряжения возбуждения. Поэтому если в момент возникновения аварии резко изменить фазу E АСМ2, подавая в течение 0,1 с, например, от тиристорного преобразователя частоты в обмотки машины напряжение возбуждения 1,33 Гц, то мощность АСМ2 резко увеличивается (см. рис. 2), компенсируя сброс мощности АСМ1. Это способствует сохранению ДУ АСМ.

Подобные исследования были выполнены при КЗ на шинах АСМ2 (см. рис. 1), когда в момент аварийного сброса мощности этой машины начинает резко увеличивать выдаваемую мощность АСМ1 за счет изменения угла E_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 192 с.
2. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие для вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, В.В. Ежков и др. Под ред. В.А. Веникова. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 504 с.