

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая аппаратура с индукционным обогревом/Е.А.Буянов, Л.В.Папунырова, Е.Б.Манусов. — М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, сер. ХМ-1, 1971. — 32 с. 2. Туровский Я. Техническая электродинамика: Пер. с польск. — М.: Энергия, 1974. — 488 с. 3. Об инженерной методике расчета индукторов/С.Н.Иванова, С.П.Ржевская, К.Г.Скачко, Е.П.Тимохов. — Изв.вузов. Энергетика, 1981, № 12, с. 75—77. 4. А.с. 965030 (СССР). Индукционный нагреватель емкостей/К.Г.Скачко, В.А.Сычик и др. — Оpubл. в Б.И., 1982, № 37:

УДК 621.315

Т.Н.СТРЕЛОВА (БПИ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХМАШИННЫХ АС ЭМПЧ В РАСЧЕТАХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

При объединении энергосистем используется асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АС ЭМПЧ).

Необходимость двойного преобразования энергии в АС ЭМПЧ, включаемых в расщелку межсистемных связей и связанные с этим дополнительные потери мощности и энергии, снижают эффективность применения АС ЭМПЧ в электроэнергетических системах. Поэтому в соответствии с [1] перспективным представляется использование АС ЭМПЧ на электрических станциях, где машины преобразователя устанавливаются на валу турбины и подключаются к межсистемным связям объединяемых энергосистем (рис. 1). При необходимости обеспечения большого диапазона выдачи и регулирования обменной мощности между энергосистемами устанавливается третья электрическая машина, жестко связанная с валом турбины, которая посредством коммутационных аппаратов подклю-

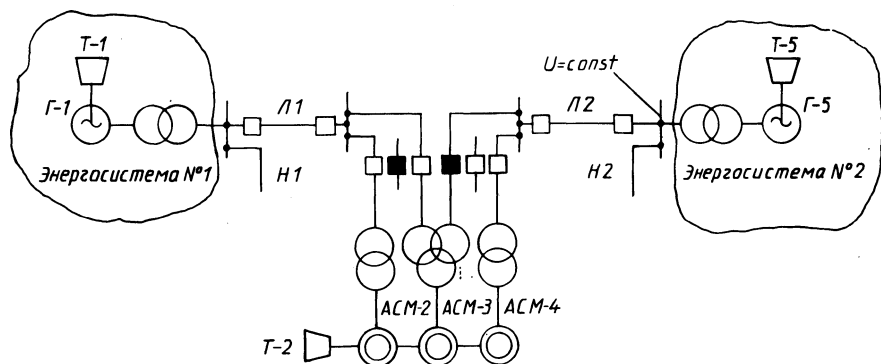


Рис. 1. Схема энергосистемы.

диняется к обоим энергосистемам в зависимости от режима работы энергообъединения.

Для расчетов режимов энергосистем с установкой трехмашинных АС ЭМПЧ на электростанциях составлены математические описания движения вала АС ЭМПЧ, роторов эквивалентных синхронных машин связываемых энергосистем. Уравнения, описывающие переходные процессы для обмоток статоров и роторов синхронных и асинхронизированных синхронных машин, аналогичны ранее полученным уравнениям в ряде вузов СССР.

В качестве исходной математической модели использовалась упрощенная модель уравнений Парка-Горева, при этом не учитываются активные сопротивления всех элементов системы передачи, принимается неизменным результирующее потокосцепление синхронной машины.

Для асинхронизированной синхронной машины (АСМ) рассмотрен закон регулирования возбуждения с полной компенсацией запаздывания в цепи ротора.

В соответствии с [2] уравнение движения ротора синхронной машины (СМ) имеет вид

$$T_{II} P S_i = P_{Ti} - P_{\varepsilon i} ,$$

T_{II} — постоянная механической инерции i машины; S_i — скольжение ротора i машины относительно частоты сети; P_{Ti} — мощность i турбины; $P_{\varepsilon i}$ — электромагнитная мощность i машины; P — оператор дифференцирования.

Уравнение движения ротора Г-1

$$T_{II} P S_1 = P_{T1} - P_{\varepsilon 1} .$$

При подключении АСМ-3 к энергосистеме № 1 $P_{\varepsilon 1}$ определяется как

$$P_{\varepsilon 1} = P_{\varepsilon 11} + P_{\varepsilon 12} + P_{\varepsilon 13} ,$$

где $P_{\varepsilon 11}$ — электромагнитная мощность Г-1 без учета влияния АС ЭМПЧ; $P_{\varepsilon 12}$ — электромагнитная мощность Г-1, обусловленная взаимодействием его эдс с эдс АСМ-2; $P_{\varepsilon 13}$ — электромагнитная мощность Г-1, обусловленная взаимодействием его эдс с эдс АСМ-3.

При подключении АСМ-3 ко 2-й энергосистеме $P_{\varepsilon 1}$ представим так:

$$P_{\varepsilon 1} = P_{\varepsilon 11} + P_{\varepsilon 12} .$$

Учитывая принятые допущения, $P_{\varepsilon ii}$ определяется выражением вида

$$P_{\varepsilon ii} = E_{gi}' U Y_{ij} \sin \delta_{ij} ,$$

где E_{gi}' — переходная эдс i СМ; Y_{ij} — взаимная проводимость ветви передающей станции Г-1; δ_{ij} — угол между E_{gi}' и приемными шинами.

Тогда $P_{\varepsilon 11}$ определяется как:

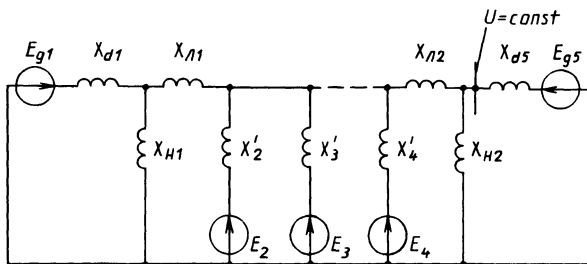


Рис. 2. Схема замещения энергосистемы.

$$P_{\varepsilon 11} = E_{g1}' U Y_{1u} \sin \delta_{1u}.$$

Взаимную проводимость определяем по схеме замещения (рис. 2) для случаев:

- подключения АСМ-3 к первой энергосистеме;
- подключения АСМ-3 ко второй энергосистеме.

$P_{\varepsilon 12}$, $P_{\varepsilon 13}$ определяем по выражению

$$P_{\varepsilon 1i} = E_{g1}' E_i Y_{1i} \sin \delta_{1i},$$

где E_i — эдс i АСМ; δ_{1i} — угол между эдс E_{g1}' и эдс i АСМ; Y_{1i} — взаимная проводимость ветви i передающей станции.

В соответствии с [3] эдс АСМ при выбранном законе регулирования возбуждения определяется как

$$E_i = (a_{0i} + a_{1i} S_i + a_{2i} P S_i),$$

где a_{0i} , a_{1i} , a_{2i} — коэффициент регулирования возбуждения i АСМ по скорости; S_i — скольжение i АСМ относительно частот связываемых энергосистем.

Итак, уравнение движения ротора машины Г-1 имеет вид:

- при подключении АСМ-3 к первой энергосистеме

$$T_{I1} P S_1 = P_{T1} - E_{g1}' U Y_{1u}' \sin \delta_{1u} - E_{g1}' (a_{02} + a_{12} S_2 + a_{22} P S_2) \times \\ \times Y_{12}' \sin \delta_{12} - E_{g1}' (a_{03} + a_{13} S_2 + a_{23} P S_2) Y_{13} \sin \delta_{13};$$

- при подключении АСМ-3 на шины второй энергосистемы

$$T_{Y1} P S_1 = P_{T1} - E_{g1}' U Y_{1u}'' \sin \delta_{1u} - E_{g1}' (a_{02} + a_{12} S_2 + a_{22} P S_2) \times \\ \times Y_{12}'' \sin \delta_{12}.$$

Межсистемная линия соединяет две энергосистемы с различными частотами. Рассматриваемое трехмашинное АС ЭМПЧ содержит три АСМ, установленных на валу одной турбины.

Рассмотрим зависимости между скольжениями АСМ-2, АСМ-3, АСМ-4, обусловленные механической связью:

$$S_2 = \frac{\omega_{p2} - \omega_1}{\omega_1}; \quad S_4 = \frac{\omega_{p4} - \omega_5}{\omega_5},$$

где S_2, S_4 — скольжения АСМ-2, АСМ-4 относительно частот связываемых энергосистем; ω_1, ω_5 — частоты связываемых энергосистем; ω_{p2}, ω_{p4} — скорости вращения роторов АСМ-2, АСМ-4.

При подключении АСМ-3 к первой энергосистеме скольжения ее $S_3 = S_2$, а при подключении АСМ-3 ко второй энергосистеме $S_3 = S_4$.

Так как скорости вращения роторов всех АСМ равны, то связь между скольжениями АСМ-2 и АСМ-4 имеет вид

$$S_2 = \frac{\omega_5 - \omega_1}{\omega_1} + \frac{\omega_5}{\omega_1} S_4; \quad S_4 = \frac{\omega_1 - \omega_5}{\omega_5} + \frac{\omega_1}{\omega_5} S_2.$$

Уравнение движения вала трехмашинного АС ЭМПЧ имеет вид

$$\sum_{i=1}^3 T_{ii} PS_i = P_{T2} - P_{\varepsilon 2} - P_{\varepsilon 3} - P_{\varepsilon 4},$$

где T_{ii} — постоянная механической инерции i АСМ; S_i — скольжение i АСМ относительно частот связываемых энергосистем; P_{T2} — мощность на валу АС ЭМПЧ; $P_{\varepsilon 2,4,3}$ — электромагнитная мощность соответственно АСМ-2, АСМ-4, АСМ-3.

В соответствии с [3] принятый закон регулирования возбуждения АСМ позволяет для записи электромагнитной мощности АСМ использовать известную формулу мощности СМ.

Выражение движения вала АС ЭМПЧ составим для двух случаев: а) при подключении АСМ-3 на шины первой энергосистемы. Тогда выражения для $P_{\varepsilon i}$ запишутся в виде:

$$P_{\varepsilon 2} = E_2 E_{g1}^l Y_{21}^l \sin \delta_{21}; \quad P_{\varepsilon 3} = E_3 E_{g1}^l Y_{31}^l \sin \delta_{31};$$

$$P_{\varepsilon 4} = E_4 U Y_{4u}^l \sin \delta_{4u},$$

где $Y_{21}^l, Y_{31}^l, Y_{4u}^l$ — взаимные проводимости ветвей соответственно АСМ-2, АСМ-3, АСМ-4; $\delta_{21}, \delta_{31}, \delta_{4u}$ — углы между E_2 и E_{g1}^l , E_3 и E_{g1}^l , E_4 и U .

Уравнения движения вала АС ЭМПЧ имеют вид

$$T_{12} PS_2 + T_{Y3} PS_2 + T_{Y4} P \left(\frac{\omega_1 - \omega_5}{\omega_5} + S_2 \frac{\omega_1}{\omega_5} \right) = P_{T2} - (a_{02} + a_{12} S_2 + a_{22} PS_2) E_{g1}^l Y_{21}^l \sin \delta_{21} - (a_{03} + a_{13} S_2 + a_{23} PS_2) E_{g1}^l Y_{31}^l \sin \delta_{31} - [a_{04} + a_{14} \left(\frac{\omega_1 - \omega_5}{\omega_5} + S_2 \frac{\omega_1}{\omega_5} \right) + a_{24} P \left(\frac{\omega_1 - \omega_5}{\omega_5} + S_2 \frac{\omega_1}{\omega_5} \right)] U Y_{4u}^l \sin \delta_{4u};$$

б) при подключении АСМ-3 на шины второй энергосистемы.

Выражения для определения $P_{\text{э}2}$, $P_{\text{э}3}$, $P_{\text{э}4}$ остаются аналогичными случаю а), изменяются выражения, определяющие взаимные проводимости.

Уравнение движения вала АС ЭМПЧ имеет вид

$$T_{I2}P\left(\frac{\omega_5 - \omega_1}{\omega_1} + S_4 \frac{\omega_5}{\omega_1}\right) + T_{Y3}PS_4 + T_{Y4}PS_4 = P_{T2} - [a_{02} + a_{12}\left(\frac{\omega_5 - \omega_1}{\omega_1} + S_4 \frac{\omega_5}{\omega_1}\right) + a_{22}P\left(\frac{\omega_5 - \omega_1}{\omega_1} + S_4 \frac{\omega_5}{\omega_1}\right)] E_{g1}^I Y_{21}'' \sin \delta_{21} - (a_{03} + a_{13}S_4 + a_{23}PS_4)UY_{3u} \sin \delta_{3u} - (a_{04} + a_{14}S_4 + a_{24}PS_4)UY_{4u}'' \sin \delta_{4u}.$$

Частным случаем уравнения движения вала АС ЭМПЧ является условие равенства частот в связываемых энергосистемах, при этом скольжения АСМ-2, АСМ-3, АСМ-4 относительно частоты связываемых энергосистем одинаковы и равны S .

Уравнение движения ротора Г-5 имеет вид

$$T_{I5}PS_5 = P_{T5} - P_{\text{э}5}.$$

При подключении АСМ-3 ко второй энергосистеме $P_{\text{э}5}$ определяется как

$$P_{\text{э}5} = P_{\text{э}55} + P_{\text{э}54} + P_{\text{э}53},$$

где $P_{\text{э}55}$ — электромагнитная мощность Г-5 без учета влияния АС ЭМПЧ; $P_{\text{э}54}$ — электромагнитная мощность Г-5, обусловленная взаимодействием его эдс с эдс АСМ-4; $P_{\text{э}53}$ — электромагнитная мощность Г-5, обусловленная взаимодействием его эдс с эдс АСМ-3.

Выражения для $P_{\text{э}5i}$ запишутся в виде: $P_{\text{э}55} = UE_{g1}^I Y_{u1} \sin \delta_{u1}$; $P_{\text{э}54} = UE_4 Y_{u4} \sin \delta_{u4}$; $P_{\text{э}53} = UE_3 Y_{u3} \sin \delta_{u3}$, где Y_{u1} , Y_{u4} , Y_{u3} — взаимные проводимости ветви шин постоянного напряжения; δ_{u1} , δ_{u4} , δ_{u3} — углы между U и E_{g1}^I , U и E_4 , U и E_3 .

Итак, уравнение движения ротора машины Г-5 имеет вид

$$T_{I5}PS_5 = P_{T5} - UE_{g1}^I Y_{u1}'' \sin \delta_{u1} - U(a_{03} + a_{13}S_4 + a_{23}PS_4)Y_{u3} \sin \delta_{u3} - U(a_{04} + a_{14}S_4 + a_{24}PS_4)Y_{u4}'' \sin \delta_{u4}.$$

При подключении АСМ-3 к первой энергосистеме $P_{\text{э}5}$ определяется в виде $P_{\text{э}5} = P_{\text{э}55} + P_{\text{э}54}$.

Тогда уравнение движения ротора Г-5 имеет вид

$$T_{I5}PS_5 = P_{T5} - UE_{g1}^I Y_{u1}^I \sin \delta_{u1} - U(a_{04} + a_{14}S_4 + a_{24}PS_4)Y_{u4}^I \sin \delta_{u4}.$$

Математические описания движения вала АС ЭМПЧ, роторов эквивалентных синхронных машин связываемых энергосистем при установке трехмашинных АС ЭМПЧ на электростанциях могут использоваться для расчетов режимов энергосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 904097 (СССР), Устройство для связи и регулирования двух энергосистем/Е,В,Калектионок, Г.Е.Постелов. — Оpubл. в Б.И., 1982, № 5. 2. В е н и к о в В,А, Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учебник для электроэнерг. спец. вузов. — 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1978. — 415 с. 3. Б о т в и н н и к М.М. Асинхронизированная синхронная машина: Основы теории. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960. — 70 с.

УДК 621.315.61.001,4

Г.М.ГОРДЕЕВ, канд.техн.наук (БПИ),
В.И.АЛМАЗОВ (ОКБ)

О СТАРЕНИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Как известно, в исходном состоянии электрическая изоляция имеет достаточно высокое пробивное напряжение и вероятность ее безотказной работы, рассчитанная по математической модели или установленная по результатам электрических испытаний образцов, близка к единице. Однако в процессе эксплуатации электрическая изоляция подвергается различного рода воздействиям, которые постепенно ухудшают ее свойства. Механизм старения изоляции достаточно сложен, в процессе его идет накопление внутренних дефектов, что ведет к снижению пробивного напряжения.

В современных условиях большой интерес представляет старение полимерной изоляции при действии ионизирующих излучений. Одним из важных процессов, происходящих при этом в полимерах, является выделение газообразных продуктов радиолитического разрыва валентных связей и образования молекул меньшей молекулярной массы. В данной статье приводятся результаты газохроматографического анализа выделяющихся из полиэтилена газов при ионизирующем старении.

В качестве образцов для исследования были использованы гранулы полиэтилена высокого давления, пленка и полиэтилен из экструдированной кабельной изоляции. Образцы массой 5 г помещались в стеклянные ампулы объемом 2 см³ и просушивались в термостате при температуре 50 °С в течение 6 ч. После этого они вакуумировались и запаивались. Остаточное давление в ампулах после вакуумирования составляло примерно 0,8 Па. Затем ампулы подвергались гамма-облучению дозами в пределах от (0,3—30) x 10⁴ Гр. С помощью лабораторного хроматографа производился количественный и качественный анализ газов, выделяющихся в ампуле при радиолитическом старении полиэтилена под действием гамма-лучей. Содержащиеся в ампуле газы вводились в пробоотборную систему хроматографа, автоматически записывались и математически обрабатывались. Результаты расшифровки диаграммных данных показали следующее.