

НОВЫЙ ПОДХОД К ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ РОТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Рогозин Г.Г., Пятлина Н.Г., Федоренко А.Н.

Определение электромагнитных параметров обмотки возбуждения и демпферной системы синхронной машины без изменения ее схемы рабочего питания позволяет существенно уменьшить трудоемкость и время проведения эксперимента. Один из возможных подходов к определению параметров в этом случае связан с подачей малых воздействий, практически обеспечивающих постоянство сопротивления взаимоиндукции. Реализация подобного решения требует применения специальных средств для измерения малых отклонений координат состояния синхронной машины.

В настоящей работе рассматривается методика учета изменения в широких пределах сопротивления взаимоиндукции по основному пути магнитного потока. Методика проведения указанного испытания анализировалась ранее в [1, 2] без учета влияния изменения насыщения. При этом также не ставилась задача разделения эквивалентных контуров обмотки возбуждения и демпферной системы.

Для анализа переходных процессов в опытах отключения синхронной машины от сети рабочего напряжения воспользуемся системой дифференциальных уравнений Парка, записанной в операторной форме для приращений переменных.

Пренебрегая влиянием ЭДС трансформации в исходном дифференциальном уравнении обмотки статора и изменением частоты вращения ротора, при условии, что синхронная машина работает в исходном режиме при коэффициенте мощности, равном нулю, имеем (в системе отн. ед.)

$$\Delta U_q(p) = \Delta \Psi_d(p) - r_s \Delta I_d(p), \quad (1)$$

$$\Delta U_d(p) = 0, \quad (2)$$

$$\Delta \Psi_q(p) = x_d(p) \Delta I_d(p) + G(p) \Delta U_f(p), \quad (3)$$

где $\Delta U_q(p)$ – составляющая приращения напряжения на обмотке статора по поперечной оси ротора; $\Delta \Psi_d(p), \Delta I_d(p)$ – приращения потокосцепления и тока обмотки статора по продольной оси; r_s – активное сопротивление фазной обмотки статора; $G(p)$ – операторная роторная проводимость синхронной машины; $x_d(p)$ – операторное сопротивление по продольной оси. В соответствии с рис. 1,

$$x_d(p) = x_s + [x_{ad}^{-1}(p) + Y_r(p)]^{-1} \quad (4)$$

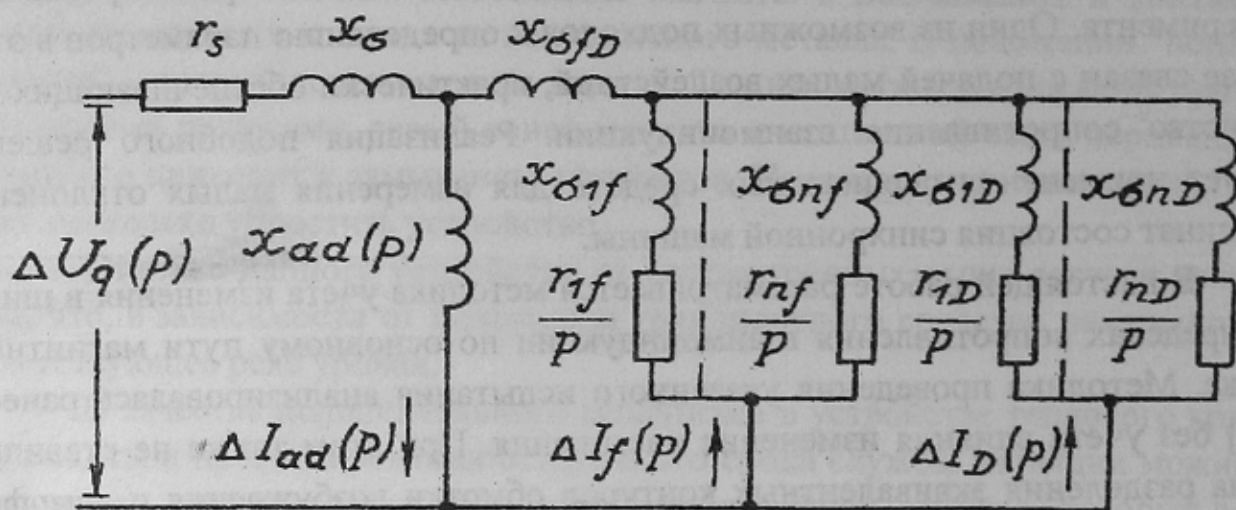


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения турбогенератора в опыте отключения от сети

Представляя далее операторное выражение входной проводимости ротора $Y_r(p)$, через параметры его конструктивных элементов: обмотки возбуждения ($x_{\sigma kf}, r_{kf}$) и демпферной системы ($x_{\sigma kD}, r_{kD}$), имеем

$$Y_r(p) = \left[(Y_r^*(p))^{-1} + x_{\sigma fd} \right]^{-1}, \quad (5)$$

$$Y_r^*(p) = Y_f(p) + Y_D(p) = \sum_{k=1}^n (x_{\sigma kf} + r_{kf}/p)^{-1} + \sum_{k=1}^n (x_{\sigma kD} + r_{kD}/p)^{-1}, \quad (6)$$

где $x_{\sigma fd}$ – сопротивление взаимной индукции между обмоткой возбуждения и контурами эквивалентной демпферной системы машины.

Сопротивление взаимной индукции синхронной машины в опыте зависит от уровня насыщения по пути основного магнитного потока машины при пере-

ходном процессе. В условиях изменения напряжения обмотки статора от значения U_{q0} до $U_{q\infty}$ зависимость $x_{ad}(t)$ может быть определена с использованием экспериментальной зависимости $U_q(t)$ и характеристики $x_{ad}(U_q)$. Последняя рассчитывается по статическим характеристикам холостого хода $U_q(i_f)$ и короткого замыкания $I(i_f)$ с использованием известного выражения

$$x_{ad}(U_q) = x_d(U_q) - x_\sigma,$$

где $x_d(U_q) = U_q(i_{fi}) / I(i_{fi})$

Полученная зависимость $x_{ad}(t)$ аппроксимируется нелинейным полиномом или экспоненциальным рядом. Например, при понижении напряжения на выводах обмотки статора в опытах отключения от сети (рис. 2), в простейшем случае имеем

$$x_{ad}(t) = x_{ad\infty} - (x_{ad\infty} - x_{ad(0)}) \exp(-\beta t) \quad (7)$$

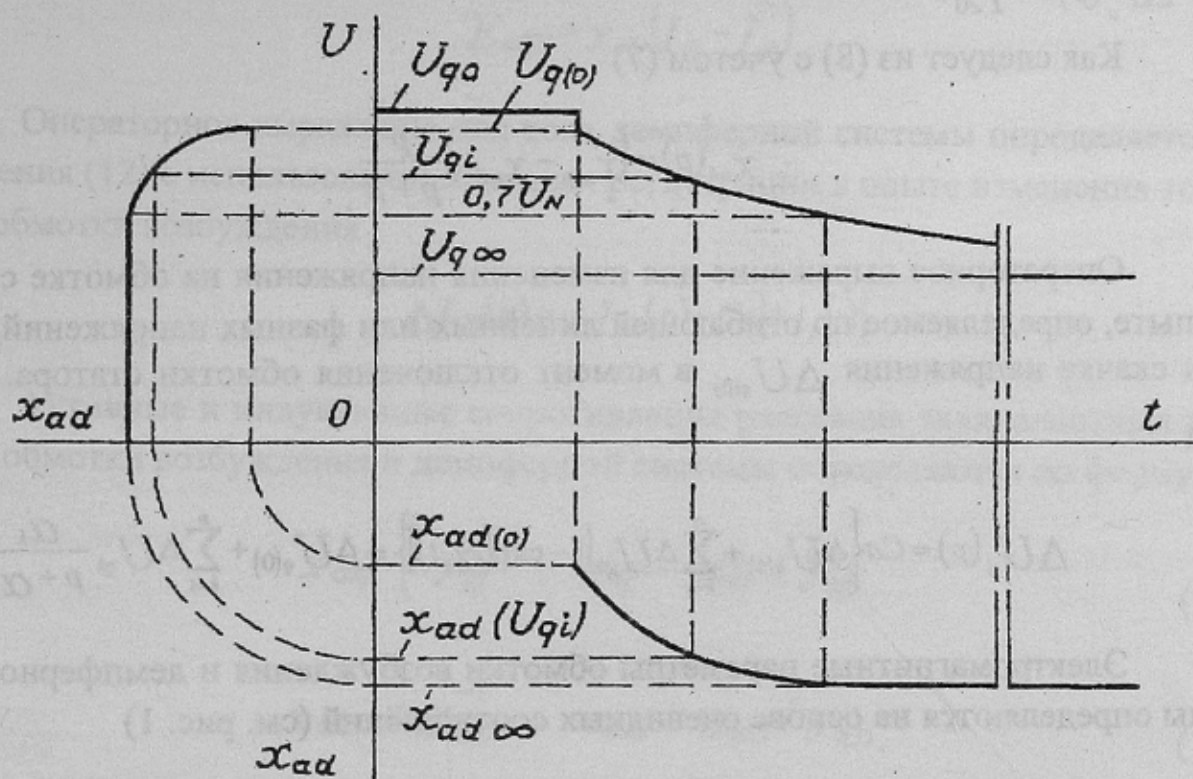


Рисунок 2 – Изменение сопротивления взаимной индукции турбогенератора в опыте отключения от сети рабочего напряжения

Очевидно, что операторное сопротивление взаимоиндукции в выражении (4), определяемое как

$$x_{ad}(p) = Ca[x_{ad}(t)], \quad (8)$$

имеет смысл прогнозируемого параметра для конкретного испытания. Это позволяет использовать операторный метод для определения экспериментальных параметров ротора синхронной машины при переменном уровне насыщения ее магнитной цепи.

Примем допущение об одновременном бездуговом отключении фазных обмоток статора. Тогда, подставив выражение (4) для $x_d(p)$ в (3) и разрешив его относительно проводимости роторных контуров, с учетом (1), полагая, что обмотка возбуждения турбогенератора в опыте отключения подключена к электромашинной системе резервного возбуждения, то есть $\Delta U_f = 0$, получим

$$Y_r(p) = \Delta I_d(p) [\Delta U_q(p) - x_\sigma \Delta I_d(p) + r_s \Delta I_d(p)]^{-1} - x_{ad}^{-1}(p), \quad (9)$$

где $\Delta I_d(p) = -I_{d0}$.

Как следует из (8) с учетом (7)

$$x_{ad}(p) = (x_{ad\infty} - x_{ad(0)}) \frac{p}{p + \beta}. \quad (10)$$

Операторное выражение для изменения напряжения на обмотке статора в опыте, определяемое по огибающей линейных или фазных напряжений с учетом скачка напряжения $\Delta U_{q(0)}$ в момент отключения обмотки статора, имеет вид

$$\Delta U_q(p) = Ca \left\{ \Delta U_{q(0)} + \sum_{k=1}^n \Delta U_{qk} [1 - \exp(\alpha_k t)] \right\} = \Delta U_{q(0)} + \sum_{k=1}^n \Delta U_{qk} \frac{\alpha_k}{p + \alpha_k}.$$

Электромагнитные параметры обмотки возбуждения и демпферной системы определяются на основе очевидных соотношений (см. рис. 1)

$$\Delta I_f(p) / \Delta I_D(p) = Y_f(p) / Y_D(p), \quad (11)$$

$$\Delta I_{ad}(p) = \Delta I_f(p) + \Delta I_D(p), \quad (12)$$

из которых с учетом (6) следует

$$Y_f(p) = Y_r^*(p) \Delta I_f(p) / \Delta I_{ad}(p), \quad (13)$$

$$Y_D(p) = Y_r^*(p) \Delta I_D(p) / \Delta I_{ad}(p). \quad (14)$$

Величина сопротивления взаимоиндукции $x_{\sigma fD}$ в выражении (6) может быть определена с помощью импульсного метода [3].

Операторное выражение для намагничивающего тока ротора в (13), (14) определяется по выражению

$$\Delta I_{ad}(p) = (E_{ad(0)} - \Delta U_q(p)) / x_{ad}(p), \quad (15)$$

где $E_{ad(0)}$ — ЭДС, учитывающая запас электромагнитной энергии в сопротивлении взаимоиндукции между обмоткой статора и эквивалентными контурами ротора машины в начальный момент переходного процесса,

$$E_{ad(0)} = x_{ado} (I_{do} - I_{fo}).$$

Операторное выражение для тока демпферной системы определяется из уравнения (12) с использованием данных регистрации в опыте изменения тока в цепи обмотки возбуждения

$$\Delta I_D(p) = \Delta I_{ad}(p) - Ca [\Delta i_f(t)].$$

Активные и индуктивные сопротивления рассеяния эквивалентных контуров обмотки возбуждения и демпферной системы определяются по формулам

$$x_{\sigma kf} = y_{kf}^{-1}, \quad r_{kf} = \alpha_{kf} / y_{kf}, \quad (16)$$

$$x_{\sigma kD} = y_{kD}^{-1}, \quad r_{kD} = \alpha_{kD} / y_{kD}. \quad (17)$$

Выражения (16) и (17) следуют из адекватности выражения для операторных проводимостей обмотки возбуждения и демпферной системы по (6) и правых частей уравнений

$$Ca^{-1}[Y_f(p)] = \sum_{k=1}^n y_{kf} \exp(-\alpha_{kf}t) = \sum_{k=1}^n y_{kf} \frac{p}{p + \alpha_{kf}}, \quad (18)$$

$$Ca^{-1}[Y_D(p)] = \sum_{k=1}^n y_{kD} \exp(-\alpha_{kD}t) = \sum_{k=1}^n y_{kD} \frac{p}{p + \alpha_{kD}}, \quad (19)$$

определяемых с использованием известной формулы разложения Хевисайда.

Следует отметить, что исходя из физических соображений аппроксимацию экспериментальных переходных функций напряжения $\Delta U_q(t)$ и тока $\Delta I_f(t)$ необходимо осуществлять составляющими с одинаковыми коэффициентами затухания, обеспечивая $\alpha_{kf} = \alpha_{kD}$.

Полученные соотношения для экспериментального определения электромагнитных параметров ротора синхронной машины могут быть использованы для анализа явления вытеснения тока в обмотке возбуждения и демпферной системе и усовершенствования расчетных методов определения параметров этих конструктивных элементов, применяемых при проектировании. Уточнение электромагнитных параметров ротора позволит также повысить достоверность расчета токораспределения между обмоткой возбуждения и демпферной системой в динамических режимах синхронной машины.

Список литературы

1. Рогозин Г.Г., Ларин А.М. Инженерные методы определения частотных характеристик синхронных машин. // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт 1975, № 1. – С. 88-96.
2. Рогозин Г.Г., Ларин А.М. Определение частотных характеристик турбогенераторов по переходным функциям в опытах ударного возбуждения и гашения поля. // Электричество 1972, № 9. – С. 80-82.
3. Рогозин Г.Г., Печуркин Ю.И. Применение импульсного метода для определения электромагнитных параметров массивных конструктивных элементов ротора турбогенератора. // Электротехника 1992, № 6-7. С. 16-21.