

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В МАССИВНОМ РОТОРЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОДАЧЕ ВИДЕОИМПУЛЬСА

Рогозин Г.Г., Ковязин В.А., Пятлина Н.Г.

Донецкий государственный технический университет

r504a@scita.dn.ua

The article deals with the results of mathematical simulating the transient processes in the solid rotor of the turbogenerator TTB type rated value 200 MW arose from the current impulse being formed when killing the magnetic field in the rotor winding through the use of capacitor. The purpose of the article is to strike a compromise between the rotor circuit quantities including the additional capacitance and characteristics of the eddy currents excited in the massive constructional rotor elements by the action of the impulse. The inferences obtained suggest wide potentials for application of new technology to running check of the rotor end bells state.

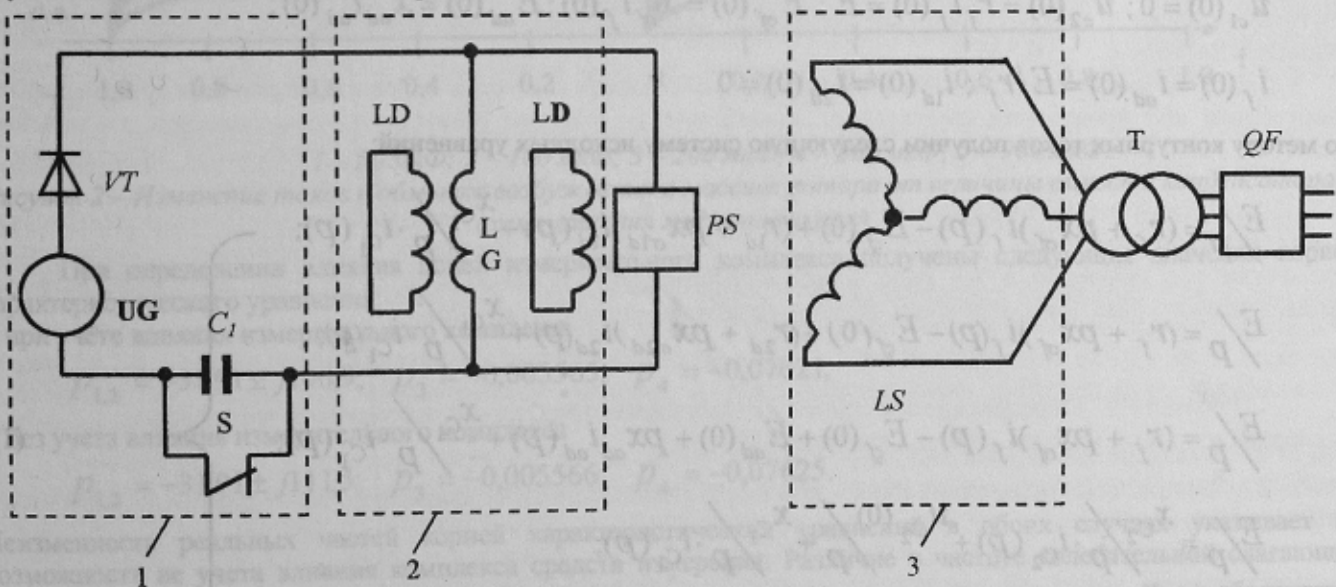
На первом этапе организации системы тестового диагностирования непроводниковых элементов конструкции ротора (ЭКР) турбогенератора (ТГ) возникает ряд задач, связанных с предопределением переходных процессов, характеризующих интегральную реакцию массива на входное воздействие.

Важное значение при применении сигнала типа видеоимпульса [1, 2] имеет выбор параметров схемы его формирования, обеспечивающих получение оптимальных условий для инициирования вихревых токов в массивных ЭКР.

В объем математического моделирования также включены вопросы оценки влияния на характер изменения выходного сигнала параметров измерительного комплекса, зарядной емкости обмотки возбуждения ротора и состояния магнитно-связанной обмотки статора ТГ.

Требуется рассмотреть также вопрос об изменении характера переходных процессов при подаче тестового воздействия на ротор, удаленный из расточки статора во время ремонта турбогенератора или сборки ротора на заводе-изготовителе.

Математическое моделирование процессов, связанных с подачей импульса на кольца ротора ТГ, осуществлялось в соответствии с принципиальной схемой тестового диагностирования, приведенной на рис. 1.



VT-диод; *S*-транзисторный ключ; *UG*-блок питания; *LD*-эквивалентные контуры массивных конструктивных элементов ротора; *LS*-обмотка статора; *PS*-устройство регистрации напряжения; 1-блок формирования тестового воздействия; 2-ротор; 3-статор; *T*-трансформатор силовой; *QF*-выключатель.

Рисунок 1 – Схема испытаний синхронной машины

При исследовании принимались следующие допущения:

- 1) не учитывалось влияние реакции шихтованного магнитопровода статора;
- 2) магнитная система машины по путям основного магнитного потока и потоков рассеяния принимается насыщенной или ненасыщенной в зависимости от предистории электромагнитного переходного процесса;
- 3) возможность представления сложных явлений в массивных элементах ротора ограниченным числом эквивалентных контуров, равным двум;
- 4) возможность идеализации реальной характеристики транзистора при переходе протекающего тока через нулевое значение.

Принимаемые упрощения позволяют использовать для описания переходного процесса операторный метод.

С целью упрощения математического описания объекта диагностирования и снижения порядка системы исходных уравнений моделирование целесообразно проводить с использованием схем замещения, позволяющих раздельно учитывать влияние указанных выше факторов.

Параметры элементов схемы замещения, приведенной на рис. 1, при расчете переходных процессов принимались в соответствии со следующими данными (в системе отн. ед.):

- для турбогенератора ТГВ-200М ($S_N = 241,3 \text{ МВА}$, $U_N = 15,75 \text{ кВ}$, $I_N = 9,06 \text{ кА}$, $\cos \varphi_N = 0,85$,

$i_{fx} = 710 \text{ А}$): $x_\sigma = 0,177$, $r = 0,00183$, $x_{of} = 0,198$, $r_f = 0,886 \cdot 10^{-3}$, $x_{\sigma 1d} = 1,036$, $r_{1d} = 0,017$,

$x_{\sigma 2d} = 0,118$, $r_{2d} = 0,0505$, $x_{ofd} = 0,06588$, $x_{ad} = 1,647$;

- для трансформатора ТДЦ-250000/220 ($U_{BH} = 242 \text{ кВ}$, $U_{HH} = 15,75 \text{ кВ}$, $P_x = 207 \text{ кВт}$, $P_k = 600 \text{ кВт}$,

$u_k = 11\%$, $I_{xx} = 0,5\%$): активное и индуктивное сопротивления трансформатора, приведенные к мощности

ТГ, $x_T = 193,3$, $r_T = 0,01368 \cdot 10^{-3}$;

- емкости схемы формирования видеоимпульса, обмотки возбуждения и входных параметров измерительного комплекса: $C_1 = 900 \text{ мкФ}$, $C_{rot} = 0,606 \text{ мкФ}$, $C_2 = 0,05 \text{ мкФ}$, $r_1 = 1000 \text{ кОм}$ и соответствующие сопротивления в системе отн. ед.: 0,0206; 30,536; 370100; 5810,6.

Изменения электромагнитных координат состояния ТГ при импульсном испытании содержат следующие временные интервалы: гашения магнитного поля тока возбуждения отключенного от системы, работающего на холостом ходу ТГ; формирования входного импульсного воздействия; подъема тока возбуждения от источника постоянного тока малой мощности; гашения магнитного поля ротора с помощью конденсатора; свободного изменения вихревых токов в массиве ротора.

Для этапа формирования видеоимпульса при оценке влияния измерительного комплекса, на основании операторной схемы замещения ТГ, полученной в соответствии с рис. 1, с учетом начальных условий:

$$u_{c1}(0) = 0; u_{c2}(0) = r_f i_f(0) = E; E_{of}(0) = x_{of} i_f(0); E_{ad}(0) = x_{ad} i_{ad}(0);$$

$$i_f(0) = i_{ad}(0) = E/r_f; i_{1d}(0) = i_{2d}(0) = 0$$

по методу контурных токов получим следующую систему исходных уравнений:

$$E/p = (r_f + px_{of})i_f(p) - E_{of}(0) + (r_{1d} + px_{\sigma 1d})i_{1d}(p) + x_{c1}/p \cdot i_{c1}(p);$$

$$E/p = (r_f + px_{of})i_f(p) - E_{of}(0) + (r_{2d} + px_{\sigma 2d})i_{2d}(p) + x_{c1}/p \cdot i_{c1}(p);$$

$$E/p = (r_f + px_{of})i_f(p) - E_{of}(0) + E_{ad}(0) + px_{ad}i_{ad}(p) + x_{c1}/p \cdot i_{c1}(p);$$

$$E/p = x_{c2}/p \cdot i_{c2}(p) + u_{c2}(0)/p + x_{c1}/p \cdot i_{c1}(p);$$

$$E/p = r_1 i_{r1}(p) + x_{c1}/p \cdot i_{c1}(p),$$

(1)

где

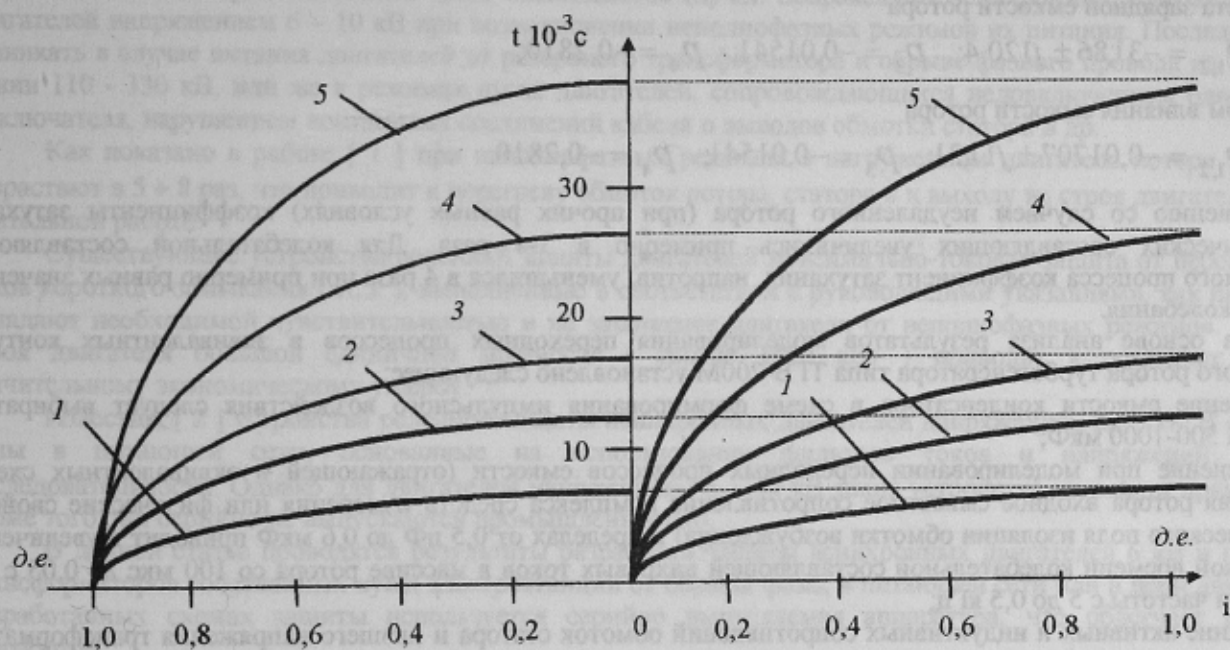
$$i_{c1}(p) = i_{c2}(p) + i_f(p) + i_{r1}(p); \quad i_f(p) = i_{1d}(p) + i_{2d}(p) + i_{ad}(p).$$

Расчет переходных процессов с использованием уравнений (1) проводился в следующей последовательности:

- 1) преобразование исходной системы уравнений с учетом начальных условий, а также ЭДС, учитывающих запасенную электромагнитную энергию в магнитных полях ТГ к моменту размыкания ключа;
- 2) решение полученной системы операторных уравнений с помощью определителей относительно токов в контурах схем замещения;
- 3) определение мгновенных значений токов во временной области по теореме разложения Хэвисайда.

Аналогично, по соответствующим схемам замещения рассчитывались переходные процессы для этапа свободного изменения вихревых токов в массиве ротора.

При оценке влияния конденсатора выбор оптимальной величины емкости последнего может быть сведен к определению условия наведения в массиве ротора наибольшего значения вихревых токов к моменту прохождения тока колебательного заряда конденсатора через нуль. Расчеты проводились при вариации величины емкости конденсатора в пределах от 50 до 900 мкФ. При этом не учитывалось влияние емкости измерительного комплекса и зарядной емкости обмотки возбуждения генератора (ОВГ). Как следует из рис. 2 увеличение емкости с 50 до 900 мкФ приводит к незначительному (в пределах 5 %) уменьшению тока в массиве ротора к моменту начала его свободного изменения. Время спада тока в ОВГ до нуля при этом увеличивается примерно до продолжительности одного периода промышленной частоты, что целесообразно для четкого разделения процессов управления ключом S (см. рис. 1) и системой регистрации ЭДС на кольцах ротора при свободном изменении вихревых токов в массиве ротора.



1 – 50 мкФ; 2 – 100 мкФ; 3 – 200 мкФ; 4 – 500 мкФ; 5 – 900 мкФ.

Рисунок 2 – Изменение токов в обмотке возбуждения и массиве ротора от величины емкости конденсатора в схеме гашения магнитного поля

При определении влияния цепей измерительного комплекса получены следующие значения корней характеристического уравнения:

- при учете влияния измерительного комплекса

$$P_{1,2} = -31,91 \pm j106,9; \quad P_3 = -0,005565; \quad P_4 = -0,07621;$$

- без учета влияния измерительного комплекса

$$P_{1,2} = -31,91 \pm j111,5; \quad P_3 = -0,005566; \quad P_4 = -0,07625.$$

Неизменность реальных частей корней характеристических уравнений в обоих случаях указывает на возможность не учета влияния комплекса средств измерения. Различие в частоте колебательной слагающей тока (мнимой составляющей сопряженной пары корней характеристического уравнения $P_{1,2}$) объясняется способом исключения емкости регистрирующего комплекса.

Расчет вихревых токов в эквивалентных контурах схемы замещения массивного ротора при оценке влияния блочного трансформатора, подключенного к обмотке статора в условиях кратковременного отключения энергоблока, для временного интервала определяющего свободное их изменение позволил получить следующие значения корней характеристического уравнения:

$$P_1 = -0,005445; \quad P_2 = -0,0757; \quad P_3 = -7,00796 \cdot 10^{-6}.$$

Сопоставление приведенных данных с полученными выше показывает, что коэффициенты затухания для двух аperiodических составляющих переходного процесса практически совпадают. Колебательная составляющая, ввиду не учета емкости, отсутствует. Третья аperiodическая составляющая переходного процесса затухает со значительной постоянной времени, равной примерно 450 с, что практически не окажет влияния на информативность диагностического сигнала.

Аналогичные расчеты переходного процесса для оценки влияния зарядной емкости ротора при свободном изменении вихревых токов в массиве ротора дали следующие значения корней характеристического уравнения:

$$p_{1,2} = -0,0648 \pm j10,14; \quad p_3 = -0,005567; \quad p_4 = -0,0760.$$

Сравнивая приведенные данные с корнями, полученными в случае расчета без учета влияния измерительного комплекса, видно, что коэффициенты затухания апериодических составляющих переходного процесса остались практически неизменными. Постоянная времени колебательной составляющей возросла от 100 мкс до 0,05 с, а частота колебаний уменьшилась до 500 Гц (примерно в 10 раз).

При удалении ротора из расточки статора в схеме замещения шунтировалась ветвь, содержащая сопротивление реакции якоря по основному пути магнитного потока вихревых токов в ЭКР. При этом получены следующие значения корней характеристического уравнения:

- без учета зарядной емкости ротора

$$p_{1,2} = -31,86 \pm j120,4; \quad p_3 = -0,01541; \quad p_4 = -0,2810;$$

- с учетом влияния емкости ротора

$$p_{1,2} = -0,01707 \pm j11,31; \quad p_3 = -0,01541; \quad p_4 = -0,2810.$$

По сравнению со случаем неудаленного ротора (при прочих равных условиях) коэффициенты затухания апериодических составляющих увеличились примерно в 3-4 раза. Для колебательной составляющей переходного процесса коэффициент затухания, напротив, уменьшился в 4 раза при примерно равных значениях частоты колебания.

На основе анализа результатов моделирования переходных процессов в эквивалентных контурах массивного ротора турбогенератора типа ТГВ-200М установлено следующее:

- 1) значение емкости конденсатора в схеме формирования импульсного воздействия следует выбирать в пределах 500-1000 мкФ;
- 2) изменение при моделировании переходных процессов емкости (отражающей в эквивалентных схемах замещения ротора входное емкостное сопротивление комплекса средств измерения или физические свойства электрического поля изоляции обмотки возбуждения) в пределах от 0,5 пФ до 0,6 мкФ приводит к увеличению постоянной времени колебательной составляющей вихревых токов в массиве ротора со 100 мкс до 0,05 с при снижении частоты с 5 до 0,5 кГц;
- 3) влияние активных и индуктивных сопротивлений обмоток статора и низшего напряжения трансформатора энергоблока при проведении импульсных воздействий со стороны обмотки возбуждения при отключенном блоке от энергосистемы выключателем на стороне высшего напряжения трансформатора практически не изменяет характера переходного процесса вихревых токов в массиве ротора турбогенератора;
- 4) при удалении ротора из расточки статора в связи со значительным уменьшением индуктивности обмотки и контуров вихревых токов в массиве ротора коэффициенты затухания апериодических составляющих увеличиваются примерно в 3-4 раза, а для колебательной составляющей показатель затухания, напротив, уменьшается в 4 раза при увеличении частоты колебаний примерно на 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогозин Г.Г. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока. Новые экспериментальные методы. -Киев: Техника, 1992.-168 с.
2. Rogozin G.G. Determining the electromagnetic parameters of AC machines // Revu generale de l'electricite. - 1993. - № 9. - P. 8-16.