

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТИРИСТОРНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Л. А. ВОЛЫНСКАЯ, В. М. РАЗИН

(Представлена научным семинаром кафедры вычислительной техники)

Большинство компенсационных стабилизаторов большой мощности характеризуется наличием трансформатора на полную выходную мощность стабилизатора, благодаря чему вес активных материалов на единицу стабилизируемой мощности может достигать 20—30 кг/кВа [1]. Применение автотрансформаторных стабилизаторов, у которых регулирующий орган подключен последовательно с основной обмоткой автотрансформатора, позволяет снизить вес активных материалов стабилизатора до 7—10 кг/кВа при использовании магнитных усилителей [2] и до 4,5—5 кг/кВа при использовании регулирующего органа в виде двух включенных встречно-параллельно тиристоров [3].

Особенностью рассматриваемых автотрансформаторных стабилизаторов напряжения переменного тока является то, что амплитудное значение падения напряжения на регулирующем органе существенным образом зависит от насыщения магнитной системы автотрансформатора, однако этот факт недостаточно полно рассмотрен в литературе [4, 5].

Схема автотрансформаторного стабилизатора приведена на рис. 1, где W_1 — число витков основной обмотки автотрансформатора, W_2 — число витков последовательной обмотки автотрансформатора, Z — сопротивление нагрузки, Z_0 — эффективное значение сопротивления регулирующего органа.

Проведем анализ схемы автотрансформатора при следующих основных допущениях:

а) зависимость потокоцепления от тока определяется нечетной функцией

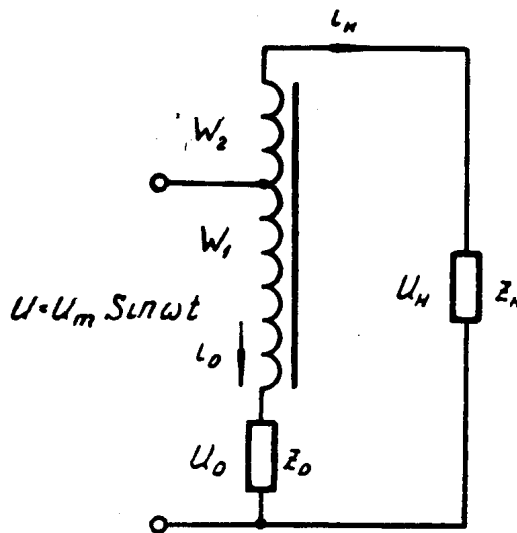


Рис. 1. Схема стабилизатора напряжения переменного тока.

$$\Psi = L(i - C_1 i^3 + C_2 i^5), \quad (1)$$

где

L — индуктивность обмотки при отсутствии насыщения;

б) при $Z_0 = 0$ насыщение магнитной системы отсутствует;

в) магнитные потери в сердечнике и электрические потери в обмотках отсутствуют;

г) потоки рассеяния отсутствуют.

С учетом допущений (а—г) для схемы рис. 1 имеем следующие уравнения:

$$U = i_0(Z_0 + k^2 L_2 p) - k^2 C_1 L_2 p (i_0)^3 + k^2 L_2 C_2 p (i_0)^5 - k L_2 p i_n + k C_1 L_2 p (i_n)^3 - k C_2 L_2 p (i_n)^5, \quad (2)$$

$$U(p) = i_n(Z_n + L_2 p) - C_1 L_2 p (i_n)^3 + C_2 L_2 p (i_n)^5 - k L_2 p i_0 + k C_1 L_2 p (i_0)^3 - k C_2 L_2 p (i_0)^5, \quad (3)$$

где L_2 — индуктивность последовательной обмотки автотрансформатора при отсутствии насыщения,

$$k = \frac{W_1}{W_2}.$$

Если коэффициент передачи автотрансформатора не выше 1,5 и $i_0 \leq 0,5 i_n$, то совместное решение уравнений (2) и (3) при условии $Z_n = R_n$ и $Z_0 = R_0$ дает следующее уравнение:

$$U = i_n R_n \frac{d(p+b)}{b(p+d)} - i_n^3 \frac{R_0 C_1}{k(1+k)(p+d)} + i_n^5 \frac{R_0 C_2}{k(1+k)(p+d)}, \quad (4)$$

где

$$b = \frac{R_0}{L_2 \left(k^2 + \frac{R_0}{R_n} \right)},$$

$$d = \frac{R_0}{k L_2 (1+k)},$$

Нелинейные дифференциальные уравнения вида (4) могут быть решены реверсивным методом [6], причем решение предлагается в форме

$$i_n(t) = i_{n1}(t) + i_{n3}(t) + i_{n5}(t) \dots \quad (5)$$

В первом приближении имеем

$$i_{n1}(p) = \frac{U(p) \cdot b(p+d)}{R_n d(p+b)}, \quad (6)$$

что дает выражение

$$i_{n1}(t) = \frac{U_m}{R_n} M \sin \left(\omega t + \arctg \frac{\omega}{d} - \arctg \frac{\omega}{b} \right), \quad (7)$$

описывающее ток, протекающий по нагрузке при отсутствии насыщения магнитной системы автотрансформатора. В выражении (7)

$$M = \sqrt{\frac{1 + \frac{\omega^2}{d^2}}{1 + \frac{\omega^2}{b^2}}}. \quad (8)$$

Второй член выражения (5) может быть получен путем решения уравнения

$$i_{н3}(p) = \frac{R_0 b c_1}{R_n \cdot d \cdot k(1+k)(p+b)} i_{н1}(p). \quad (9)$$

Для третьего члена имеем

$$i_{н5}(p) = 3 \frac{R_0}{R_n} \frac{b C_1}{R_n \cdot d \cdot k(1+k)(p+b)} [i_{н1}(p)]^2 i_{н3}(p) - \frac{R_0}{R_n} \frac{b C_2}{d k(1+k)(p+b)} [i_{н1}(p)]^5. \quad (10)$$

Решая уравнения (9) и (10) и учитывая, что $\frac{\omega^2}{b^2} \gg 1$, получаем приближенное выражение для тока нагрузки с учетом 3 и 5 гармоник

$$\begin{aligned} i_n(t) = & \left[I_n \cdot M + \frac{A C_1}{k^2 + A} \cdot \frac{3}{4} I_n^3 M^3 + \right. \\ & + \frac{5}{8} I_n^5 M^5 \left(\frac{3 A^2 C_1^2}{(k^2 + A)^2} - \frac{A C_2}{k^2 + A} \right) \left. \right] \sin \left(\omega t - \arctg \frac{\omega}{d} - \arctg \frac{\omega}{b} \right) - \\ & - \left[\frac{A C_1}{k^2 + A} \frac{I_n^3 M^3}{4} + \frac{5}{16} \left(3 \frac{A^2 C_1^2}{(k^2 + A)^2} - \frac{A C_2}{k^2 + A} \right) I_n^5 M^5 \right] \times \\ & \times \sin \left(3 \omega t + 3 \arctg \frac{\omega}{d} - 3 \arctg \frac{\omega}{b} \right) + \\ & + \frac{1}{16} I_n^5 M^5 \left(\frac{3 A^2 C_1^2}{(k^2 + A)^2} - \frac{A C_2}{k^2 + A} \right) \sin \left(5 \omega t + 5 \arctg \frac{\omega}{d} - 5 \arctg \frac{\omega}{b} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$A = \frac{R_0}{R_n}, \quad I_n = \frac{U_m}{R_n}.$$

Для тока i_0 и напряжения U_0 будем иметь

$$i_0(t) = \frac{1+k}{R_0} U_m \sin \omega t - \frac{R_n}{R_0} k i_n(t), \quad (12)$$

$$U_0(t) = (1+k) U_m \sin \omega t - k R_n i_n(t). \quad (13)$$

Полученные соотношения могут быть использованы при выборе параметров элементов регулирующих органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Бамдас, С. В. Шапиро. Стабилизаторы с подмагничиваемыми трансформаторами. М., «Энергия», 1965.

2. А. М. Илюкович, Б. Р. Шульман. Стабилизаторы и стабилизированные источники питания переменного тока. М., «Энергия», 1965.

3. А. Я. Якушев. Применение тириستоров для стабилизации напряжения вспомогательных цепей электропоездов переменного тока типа ЭР-9. Вопросы автоматизации устройств электрической тяги. Сб. тр. ЛИИЖТа, вып. 277, 1968.

4. С. Г. Обухов, Л. В. Пантелеймонова. Прецизионный стабилизатор переменного напряжения. Промышленная электроника. Тр. МЭИ, вып. 55, 1965, стр. 113.

5. В. И. Некрасов, А. Я. Якушев. Особенности расчета ферротиристорного стабилизатора напряжения. Тр. ЛИИЖТа, вып. 293, 1969.

6. В. Хьюз. Нелинейные электрические цепи. М., «Энергия», 1967.
