

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 621.314.632

В.Г. ЧЕРНОМАШЕНЦЕВ, канд. техн. наук,
В.А. ПАЦКЕВИЧ, инженер,
С.Л. КУРИЛИН, мл. науч. сотр. (БИИЖТ)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ИНВЕРТОРА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМА РАБОТЫ

В качестве источников питания для индукционных электротермических установок в промышленности получили распространение схемы тиристорных преобразователей частоты, инверторная часть которых содержит обратные диоды [1]. Применение таких схем позволяет сравнительно просто решить вопрос стабилизации режима работы преобразовательного агрегата при изменении эквивалентных электрических параметров индукционного нагревателя. Одной из разновидностей инверторов с обратными диодами является последовательный мостовой инвертор с параметрической стабилизацией режима [2].

В данной статье разработана методика определения параметров основных элементов инвертора при практической реализации установки, основные положения которой базируются на анализе электромагнитных процессов [2]. При определении номинальных параметров инвертора в качестве исходных взяты результаты теплового и электрического расчетов индукционного нагревателя, которые выполняются по методикам [3]. Отмеченные расчеты позволяют для конкретного технологического процесса определить мощность и частоту источника питания, а также эквивалентные параметры нагрузочного колебательного контура. В номинальном режиме работы этот контур обладает только активной проводимостью.

Далее необходимо задаться напряжением источника питания, от которого зависит амплитуда напряжения, прикладываемого к тиристорам инвертора, и с этой точки зрения его целесообразно снижать. Однако с уменьшением напряжения источника питания приходится увеличивать токи тиристоров, что также является нежелательным из-за возрастания потерь в установке. Данный инвертор рекомендуется питать через трехфазный мостовой выпрямитель от обычной трехфазной сети 380 В без промежуточного трансформатора. При этом напряжение на входе инвертора составляет 510–520 В.

Расчет параметров коммутирующей цепи инвертора следует начинать с выбора коэффициента распределения емкостей K_C , коэффициента заполнения K_3 и затухания инверторного колебательного контура d_0 [2]. Последние определяются из основных расчетных характеристик. Так как расчет инвертора осуществляется путем численного решения на ЦВМ систем дифференциальных уравнений высокого порядка, то аналитические выражения, пока-

зываются влияющие коэффициенты k_c, k_3 и d_0 на основные характеристики инвертора, отсутствуют.

С целью простоты использования полученных результатов в практической работе на основании расчетных данных были найдены эмпирические зависимости, которые с точностью 4–5 % показывают влияние данных коэффициентов на основные характеристики инвертора с параметрической стабилизацией режима. Для относительного значения амплитуды напряжения на тиристорах инвертора эмпирическая зависимость имеет вид

$$U_{T \max}^* = \frac{2,1}{k_3^{0,11}} - \frac{d_0}{k_c^{0,45}} \quad (1)$$

Амплитудное значение тока тиристоров

$$I_{T \max}^* = \frac{2,41}{d_0 \frac{0,58}{k_c^{0,33}} \left(1 + \frac{1}{k_3}\right)} \quad (2)$$

Относительное значение входного тока, равное относительному значению входной мощности,

$$I_d^* = P_d^* = (0,92 + 0,013 k_c) [(0,27 + 0,7 k_3) \sin (2,48 d_0 - 1,3 k_3 d_0) + (0,069 - 0,086 d_0)] \quad (3)$$

Коэффициент использования тиристоров по мощности, определяемый в соответствии с [2], равен

$$k_{\mu} = (0,3817 + 0,0054 k_c) [(0,27 + 0,7 k_3) \sin (2,48 d_0 - 1,3 k_3 d_0) + 0,069 - 0,086 d_0] d_0 \frac{k_c^{0,58}}{k_c^{0,33}} \quad (4)$$

Относительное значение напряжения на нагрузке

$$U_H^* = (70,7 + k_c) (0,004 + 0,1 k_3) \sin (2,48 d_0 - 1,3 k_3 d_0) \quad (5)$$

Приведенные эмпирические выражения справедливы при изменении коэффициентов в следующих пределах: $3 < k_c < 15$; $0,2 < k_3 < 0,7$; $0,2 < d_0 < 1,2$.

С помощью выражений (1)–(5) можно, используя соответствующие критерии, определить оптимальные значения коэффициентов k_c, k_3, d_0 . Если необходимо получить максимальный коэффициент использования тиристоров по мощности, то, согласно приведенным зависимостям, можно рекомендовать: $d_0 = 0,9$; $k_3 = 0,6$; $k_c = 6$.

По выбранным коэффициентам, используя (3), определяется относительное значение входного тока. Далее по известным входному напряжению

U_d и требуемой мощности P_d определяем волновое сопротивление колебательной цепи инвертора:

$$\rho_o = \frac{U_d^2 I_d^*}{P_d}. \quad (6)$$

Номинальное эквивалентное сопротивление нагрузочного колебательного контура в соответствии с [2] равно

$$R_3 = d_o \rho_o.$$

Сравнивая R_3 с аналогичной величиной, определяемой в результате расчета индукционного нагревателя, можно сделать вывод о целесообразности включения между нагрузкой и инвертором согласующего устройства, которое (в простейшем случае — нагрузочный трансформатор) целесообразно включать, если расхождение между номинальным и реальным сопротивлениями будет составлять более 20–25 %.

Исходя из введенного в [2] коэффициента заполнения, получаем

$$\frac{1}{\sqrt{L_o C_o}} \sqrt{1 - 0,25 d_o^2} = \frac{\omega_H}{2k_3}, \quad (7)$$

где L_o — величина индуктивности коммутирующего дросселя; C_o — величина эквивалентной емкости коммутирующей цепи инвертора; ω_H — круговая частота тока нагрузки.

Воспользовавшись формулой для определения относительного значения индуктивности, приведенной в [2], и используя (6) — (7), можно определить L_o :

$$L_o = \frac{k_3^2 U_d^2 I_d^* \sqrt{1 - 0,25 d_o^2}}{P_d \omega_H}.$$

Аналогично величина эквивалентной емкости колебательной цепи инвертора

$$C_o = \frac{2P_d k_3^2 \sqrt{1 - 0,25 d_o^2}}{U_d^2 I_d^* \omega_H}.$$

Величина емкости коммутирующего конденсатора

$$C_K = \frac{C_o C_p}{C_p - C_o},$$

где $C_p = k_c C_o$.

Следует отметить, что методика определения основных параметров коммутирующей цепи инвертора рассмотрена применительно к номинальному

режиму работы установки. Однако известно, что при нагреве ферромагнитных материалов параметры индукционного нагревателя изменяются в значительной степени [3], а следовательно, будут изменяться коэффициенты k_3 и d_0 . Это в свою очередь приведет к изменению токов и напряжений на тиристорах. Поэтому при выборе тиристорного инвертора для определения наиболее тяжелых условий целесообразно расчет индукционного нагревателя проводить для трех режимов: холодного, промежуточного, горячего [3]. Выбор тиристорного инвертора необходимо осуществлять по худшему из них.

Экспериментальная проверка данной методики показала, что она может быть рекомендована для установок мощностью более 20 кВт, так как при меньшей мощности возрастает погрешность расчетов из-за потерь энергии в элементах схемы инвертора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиристорные преобразователи высокой частоты /Е.И. Беркович, Г.В. Ивенский, Ю.С. Иоффе и др. — Л.: Энергия, 1973, с. 87—95. 2. Высокочастотный стабилизированный тиристорный инвертор/ В.Г. Черномащенко, В.А. Пачкевич, Ю.М. Зинин, А.М. Уржумсков. — В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Высшая школа, 1979, вып. 6, с. 110—114. 3. Слюхоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. — Л.: Энергия, 1974, с. 47—48; 65—68; 86—90.

УДК 621.3.078.001

А.Г. КОСТЮКОВСКИЙ, инженер
(БелЭНИИ)

ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕЛИОСТАТОМ

Автоматическая система управления гелиостатом (АСУ ГС) находит широкое применение при строительстве солнечных электростанций башенного типа. Ансамбль АСУ ГС, объединенный целевой функцией по стабилизации заданного направления отраженного потока солнечной радиации при видимом перемещении Солнца по небосводу, образует концентратор солнечной энергии. В состав АСУ ГС входят следующие структурные единицы: двухкоординатный электропривод, плоский гелиостат, двухкоординатный оптический датчик, регулятор. Схема перемещения гелиостата — азимутально-зенитальная. В данной работе рассматриваются области устойчивости АСУ ГС в параметрах регулятора с использованием метода Гурвица.

Показано [1], что плоский гелиостат описывается двумя взаимосвязанными динамическими звеньями, которые (при условии $(\frac{B_1}{a})^2 \frac{1}{mK} < 0,02$, где B_1 — демпфирование плоского отражателя, Нмс/рад; $a = \frac{P}{2}$, м; P — полупериметр отражателя; m — масса отражателя, кг; K — жесткость отражателя, Нм/рад) представляют собой два взаимосвязанных инерционных звена второго порядка. Поскольку постоянные времени отдельно взятого динами-