

ИССЛЕДОВАНИЕ НА АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
МАШИНЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ, СОДЕРЖАЩЕЙ ИОННЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

В. А. КОЧЕГУРОВ, А. А. ТЕРЕЩЕНКО

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института ядерной физики)

В технике ядерных исследований широко используются генераторы импульсных токов с емкостными накопителями энергии. Работа такого генератора основана на сравнительно медленном заряде накопительных конденсаторов от управляемого выпрямителя с последующим быстрым разрядом на нагрузку. С точки зрения эксперимента предъявляются требования к стабильности предзарядного напряжения на накопительных конденсаторах.

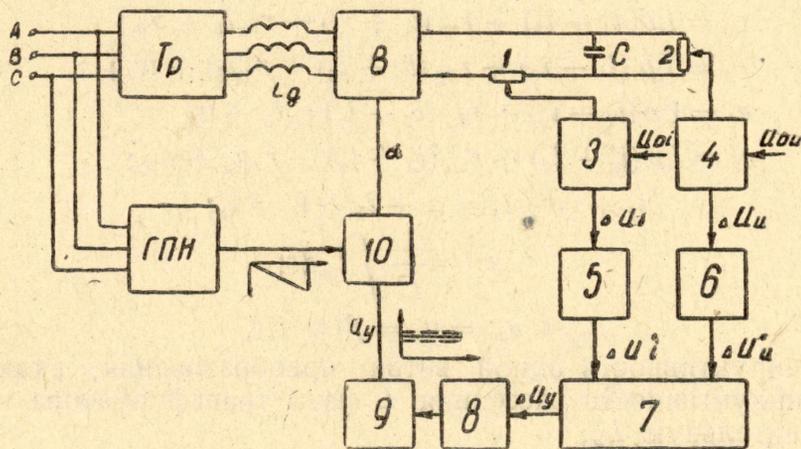


Рис. 1.

Нами разработана система стабилизации напряжения с автоматическим регулированием зарядного тока. Блок-схема такого регулятора представлена на рис. 1. Накопительная конденсаторная батарея заряжается от мощного управляемого тиристорного выпрямителя, собранного по трехфазной мостовой схеме. Для ограничения тока во вторичные обмотки анодного трансформатора включены индуктивности L_g .

Выпрямитель управляется быстродействующей системой сетевого управления. Управляющим элементом является усилитель 8, сигналы

с выхода которого поступают на систему сеточного управления 10 через катодный повторитель 9. Измерительными элементами тока и напряжения являются датчики 1 и 2, включенные в цепь нагрузки. Напряжения с датчиков, пропорциональные соответственно току заряда и напряжению на накопителе, сравниваются с опорными напряжениями 3, 4, и их разности поступают через корректирующие звенья 5, 6 на вход дискриминатора 7. С выхода дискриминатора сигнал рассогласования поступает на вход усилителя 8.

Стабилизатор с регулятором зарядного тока работает следующим образом. При полном или частичном разряде конденсаторной батареи возникает сигнал рассогласования по напряжению, открывается выпрямитель и появляется ток в зарядной цепи. В это время вступает в работу автоматический регулятор тока, стремящийся удержать ток на заданном уровне. Когда сигнал рассогласования по напряжению окажется равным опорному, выпрямитель запирается, тем самым обеспечивается стабилизация напряжения на накопителе.

Аналитический расчет оптимальной настройки этой системы оказывается довольно сложным, если не принять определенных упрощающих предположений о влиянии тех или иных факторов на работу системы. Для выполнения этого этапа работы нами применена аналоговая вычислительная техника. При исследовании на АВМ такой замкнутой системы регулирования легко можно ввести в схему добавочные связи и корректирующие звенья, учесть влияние различных вредных воздействий на систему, менять значения параметров обратных связей и т. д.

Запишем уравнения элементов блок-схемы, приведенной на рис. 1. Уравнения трехфазного мостового выпрямителя и нагрузки запишутся [1]:

$$\begin{aligned} e_1 &= Lp(i_1 + i_6) + r_{\text{тр}}(i_1 + i_6) r_{\text{в}_1} i_1 + u_{\text{в}_1}; \\ e_2 &= Lp(i_2 + i_5) + r_{\text{тр}}(i_2 + i_5) + r_{\text{в}_2} i_2 + u_{\text{в}_1}; \\ e_3 &= Lp(i_4 + i_3) + r_{\text{тр}}(i_4 + i_3) + r_{\text{в}_3} i_3 + u_{\text{в}_1}; \\ e_1 &= Lp(i_1 + i_6) + r_{\text{тр}}(i_1 + i_6) + r_{\text{в}_6} i_6 + u_{\text{в}_2}; \\ e_2 &= Lp(i_2 + i_5) + r_{\text{тр}}(i_2 + i_5) r_{\text{в}_5} i_5 + u_{\text{в}_2}; \\ e_3 &= Lp(i_3 + i_4) + r_{\text{тр}}(i_3 + i_4) + r_{\text{в}_4} i_4 + u_{\text{в}_2}; \\ i_1 + i_2 + i_3 &= i_4 + i_5 + i_6 = i_{\text{н}}; \\ u_{\text{с}} &= \frac{1}{C} \int i_{\text{н}} dt; \end{aligned}$$

$$u_{\text{в}_1} + u_{\text{в}_2} = u_{\text{в}} = f(\alpha, i_{\text{н}}),$$

где L — индуктивность одной ветви преобразования, включающая индуктивность рассеяния L фазы трансформатора и дополнительную L_g ;

$r_{\text{тр}}$ — активное сопротивление трансформатора;

$r_{\text{в}}$ — сопротивление вентиля;

i_j — токи фаз;

$i_{\text{н}}$ — ток нагрузки;

$u_{\text{в}_1}$ и $u_{\text{в}_2}$ — напряжение анодной и катодной групп;

$T = \frac{L}{r_{\text{тр}}}$ — электромагнитная постоянная времени;

α — угол регулирования вентиля;

C — емкость конденсаторного накопителя;

$u_{\text{с}}$ — напряжение на накопителе.

Запишем уравнения, описывающие работу регулятора. Напряжения

обратных связей по току нагрузки и напряжению на накопителе имеет вид:

$$u_i = \kappa_1 i_n;$$

$$u_u = \kappa_2 u_c.$$

где κ_1 и κ_2 — коэффициенты пропорциональности между током и напряжением нагрузки и напряжениями на выходе датчиков 1 и 2. Сигналы рассогласований по току и напряжению запишутся:

$$\Delta u_i = u_{oi} - u_i;$$

$$\Delta u_u = u_{ou} - u_u;$$

где u_{ou} и u_{oi} — опорные напряжения. Коррекция осуществляется пассивными фазопережающими RC -цепочками, уравнения которых запишутся для регулятора тока:

$$\Delta u'_i = \kappa_3 \left(\Delta u_i + \frac{1}{T_1} \int \Delta u_i dt \right),$$

для регулятора напряжения:

$$\Delta u'_u = \kappa_4 \left(\Delta u_u + \frac{1}{T_2} \int \Delta u_u dt \right).$$

где κ_3 и κ_4 — коэффициенты усиления цепей коррекции, T_1 и T_2 — постоянные времени цепей коррекции. Напряжение выхода усилителя выразится:

$$u_y = \kappa (\Delta u'_i + \Delta u'_u),$$

где κ — коэффициент усиления.

Уравнение системы сеточного управления имеет вид:

$$\vartheta = f [u_y (t - \tau)],$$

где $\vartheta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ — угол, отсчитываемый от начала синусоиды;

τ — постоянная запаздывания цепи сеточного управления.

По приведенным уравнениям составлена блок-схема модели, представленная на рис. 2*).

Расчет параметров модели замкнутой системы следует вести на основании зависимостей:

$$\kappa_{12} = \frac{M_t M_e}{M_i L}; \quad \kappa_1 = \frac{M_t \cdot r_{тр}}{L}; \quad \kappa_B = \frac{M_t R_B}{L};$$

$$\kappa_{71} = \frac{M_t}{L \cdot \kappa_{11}}; \quad \alpha = \frac{M_t^2}{L \cdot 2 \cdot C \cdot \kappa_{91} \cdot \kappa_{12} \cdot \kappa_{71}}.$$

$$T_1 = M_t R_{14} C_{14}; \quad T_2 = M_t R_{13} C_{13}; \quad \tau = M_t R_{15} C_{15}$$

где M_t — масштаб времени;

$M_e = \frac{u_{a.ф}}{e'_1}$ — масштаб напряжения;

$u_{a.ф}$ — амплитуда фазного напряжения вторичной обмотки анодного трансформатора;

e'_1 — амплитуда фазного напряжения генератора низкочастотных синусоидальных колебаний;

$M_i = \frac{M_{uc} \alpha 2C}{M_t}$ — масштаб тока;

κ_{ji} — коэффициенты передачи решающих усилителей.

*) Решение задачи на модели выполнил студент ТПИ Шатов А. А.

На модели проведен анализ динамических режимов системы стабилизации. Подобраны параметры корректирующих звеньев, которые обеспечивают устойчивую работу регулятора при различных воздействиях, которые могут возникать в процессе работы. Установлено влияние отдельных параметров и структуры схемы на характер переходных процессов.

На рис. 3 приведена осциллограмма переходного процесса при $T_1 = 0,012 \text{ сек}$, $T_2 = 0,0135 \text{ сек}$, $\tau = 0,015 \text{ сек}$, а на рис. 4 при $T_1 = 0,008 \text{ сек}$, $T_2 = 0,01 \text{ сек}$, $\tau = 0,004 \text{ сек}$.

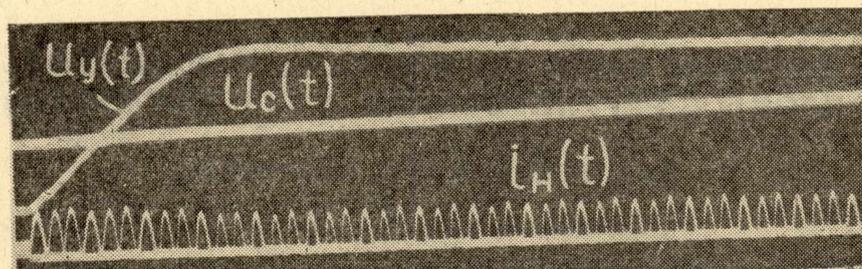


Рис. 3

Качество автоматической системы, удовлетворяющее условию устойчивости, оценивалось по методу, предложенному в литературе [3, 4].

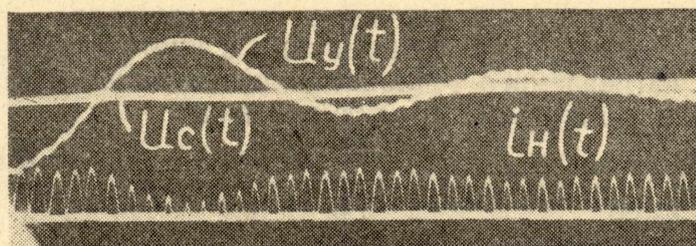


Рис. 4

Разработанная электронная модель системы автоматического регулирования, содержащая ионный преобразователь, позволяет исследовать качество системы с достаточной для инженерных расчетов точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Кочегуров, А. А. Терещенко. Применение аналоговых вычислительных машин для анализа электромагнитных процессов в трехфазных выпрямителях. Изв. ТПИ, 1966.
2. Б. М. Гуткин. Ионный привод постоянного тока. Изд. «Энергия», 1965.
3. А. Л. Лебедев, В. А. Карabanов. Динамика системы управления беспилотными летательными аппаратами. Изд. Машиностроение, 1965.
4. И. Н. Печорин. Расчет систем автоматического управления. Изд. Машгиз, 1962.