

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТИРИСТОРОВ В РЕГУЛИРУЕМЫХ МАГНИТНО-ВЕНТИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ

С. В. СЕЛЬСКИЙ, Я. А. КАНТИН

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

В настоящее время получили распространение силовые схемы регулируемых источников питания, предусматривающие последовательное соединение тиристора и трансформатора для согласования с нагрузкой [1]. С помощью таких устройств, получивших название вентильно-магнитных регуляторов, осуществляется автоматическое программное управление технологическим процессом по току, напряжению или другим параметрам. Они могут быть с успехом использованы для питания нагревательных устройств и регулирования тепловых режимов в электротермических установках. Однако сочетание тиристоров с трансформаторной нагрузкой имеет ряд особенностей, которые резко усложняют динамические свойства подобных источников питания и создают значительные технические трудности в проектировании устойчиво работающих замкнутых автоматических систем. Математический анализ и синтез характеристик подобных систем, а также оптимизация основных параметров регулирующего устройства представляют собой весьма сложную и в ряде случаев неразрешимую техническую задачу. Наиболее эффективным средством их исследования является метод физического моделирования.

Блок-схема модели стабилизатора показана на рис. 1, а. Исследуемый стабилизатор построен по классическому принципу статической системы автоматического регулирования с непрерывной обратной связью по току нагрузки. Испытания указанной модели показали неудовлетворительную работу стабилизатора. Наблюдался неустойчивый, прерывистый, а в некоторых случаях и выпрямительный режим работы, с резким нарастанием тока в первичной обмотке трансформатора выше номинального значения. Основную причину неустойчивости работы замкнутой системы можно обнаружить путем анализа осциллограмм на рис. 1, б, в, г, полученных при исследовании.

Неустойчивость системы вытекает из особенностей работы симметричного тиристора, через который напряжение подается на трансформатор. Как известно, симметричный тиристор — это элемент с ограниченным управлением. Открыть его можно управляющим импульсом только один раз в течение положительного или отрицательного полупериодов питающего напряжения. В замкнутой системе регулирования управляющий импульс, с помощью которого открывается тиристор, сдвигается под воздействием непрерывно изменяющегося сигнала обратной связи.

Поэтому фаза управляющего напряжения  $\varphi_1$ ;  $\varphi_1'$ ;  $\varphi_2$ ;  $\varphi_2'$  является случайной функцией времени непрерывного характера, обусловленной возмущающими воздействиями. Так как коммутация тиристора происходит дискретно, то между его включениями в положительном и отрицательном полупериодах проходит время  $\tau_1; \tau_2$ . За это время непрерывно изменяющийся сигнал рассогласования сдвигает фазу управляющего импульса на некоторый угол  $(\varphi_1 - \varphi_1')$  или  $(\varphi_2' - \varphi_2)$  и тем самым создает несимметрию положительной и отрицательной полуволн напряжения

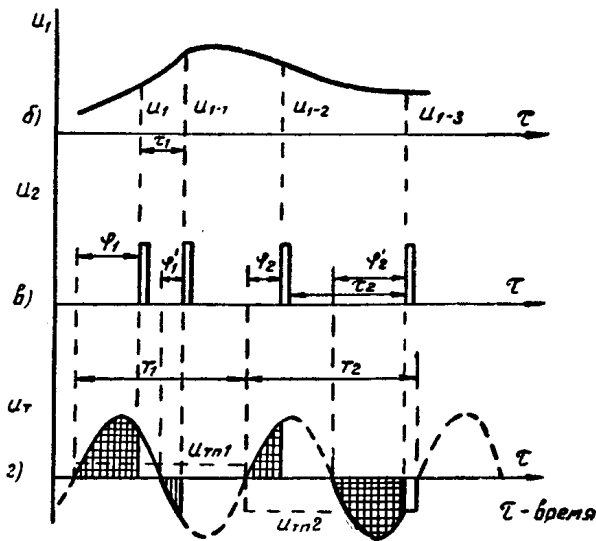
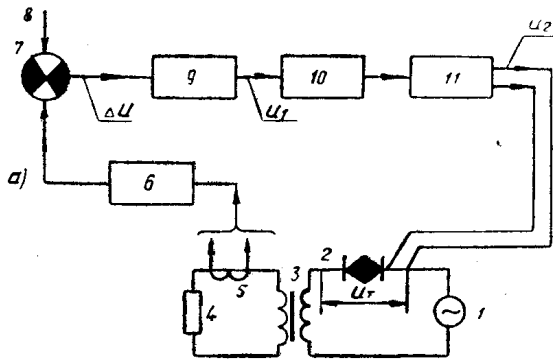


Рис. 1

магнитопровода. Индуктивность трансформатора при подмагничивании и насыщении сердечника резко падает, а ток в первичной обмотке соответственно возрастает до величин, превышающих допустимые, что приводит к выходу из строя тиристора или срыву режима регулирования. Степень подмагничивания сердечника силового трансформатора возрастает с улучшением качественных показателей системы регулирования: быстродействия и точности стабилизации тока в цепи нагрузки.

Проведенный анализ работы замкнутой тиристорно-магнитной системы регулирования позволил сформулировать основные требования к регулирующему устройству, при выполнении которых постоянная составляющая тока в первичной обмотке трансформатора исключается и обеспечивается устойчивое регулирование. Смысл этих требований заключается в следующем:

1. Фазовый угол регулирования  $\varphi$  управляющего сигнала  $U_2$  не должен изменяться в промежутках времени  $T(k+1) < \tau < kT$ , где  $T$  — период сетевого напряжения ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ).

2. Изменение фазового угла регулирования должно осуществляться скачком при аргументах  $\tau = kT$ , где  $\tau$  — время ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ), т. е. в зонах перехода синусоиды напряжения через нулевое значение.

Перечисленные выше условия могут быть выполнены в том случае, если преобразовать непрерывно изменяющееся напряжение на входе фазосдвигающего устройства в напряжение ступенчатой формы, амплитуда которого оставалась бы практически неизменной в течение периода. Такое функциональное преобразование может быть осуществлено с по-

мощью корректирующего запоминающего устройства, выполненного в виде прямоугольного импульсного элемента [2].

На рис. 2 изображены блок-схема стабилизатора тока с корректирующим устройством в виде прямоугольного импульсного элемента и диаграммы напряжений, поясняющие его работу. Прямоугольный импульсный элемент — ПИЭ состоит из усилителя 2, импульсного элемента 3 и фиксатора нулевого порядка 4.

Усиленный сигнал рассогласования  $U_1$  преобразуется с помощью импульсного элемента 3 в напряжение  $U_2$ , амплитуда которого равна

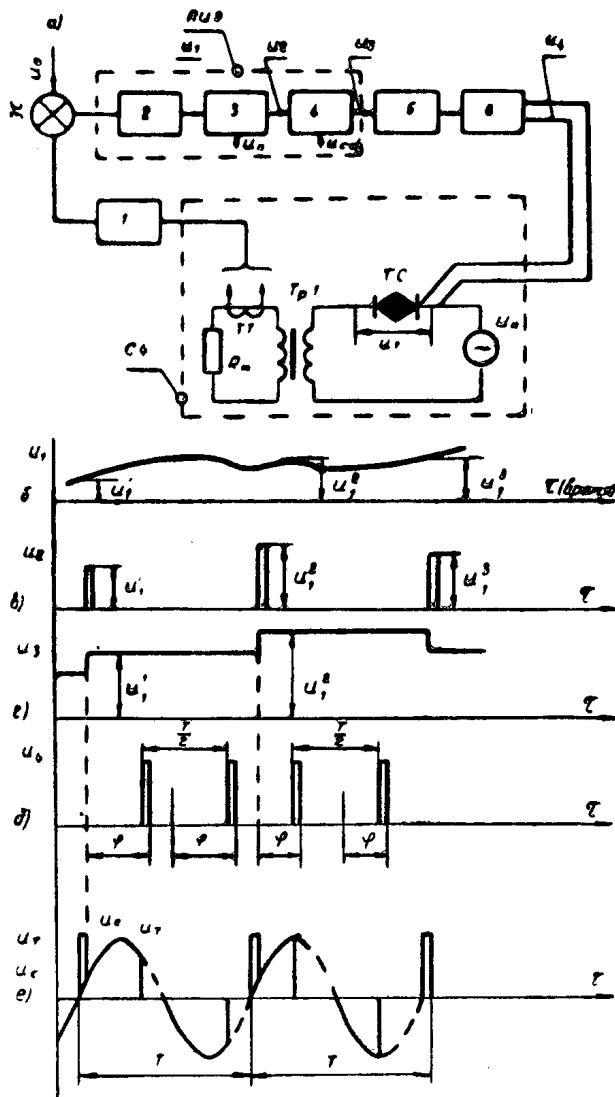


Рис. 2.

мгновенному значению напряжения  $U_1$  в момент времени  $\tau = kT$ . Фиксатор нулевого порядка 4 запоминает амплитудное значение импульса на время периода  $T$  до прихода следующего импульса  $U_2$ , после чего процесс запоминания повторяется. Напряжение  $U_3$  на входе фазосдвигающего устройства 5 в течение периода  $T$  не изменяется, а так как угол регулирования  $\varphi$  тиристора определяется этим напряжением, то и он в течение периода не изменяется, обеспечивая тем самым симметричность положительной и отрицательной полуволн напряжения  $U_r$  на тиристоре в любых переходных режимах работы стабилизированного регулятора.

Такая схема в принципе исключает появление постоянной составляющей тока в обмотке силового трансформатора и делает систему регулирования динамически устойчивой и работоспособной даже при малых постоянных времени регулирующего устройства и высокой степени точности стабилизации.

Разработанные на базе проведенных исследований опытные образцы однофазных вентильно-магнитных источников питания мощностью 180 и 560 кВа прошли успешные испытания при работе на активную и активно-индуктивную нагрузку в электротермических установках промышленной частоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Х. Ситник, В. С. Богрый. Коммутирующее и регулирующее устройства на симметричных тиристорах. М., «Энергия», «Электричество», 1966, № 5.

2. Г. Ф. Зайцев. Анализ линейных систем автоматического регулирования и управления. Киев, «Техника», 1967.

---