

## ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ТИРИСТОРАХ С ИСКУССТВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

А. И. ЗАЙЦЕВ, С. А. КИТАЕВА

*Рекомендована научным семинаром  
электромеханического факультета*

Импульсные системы регулирования напряжения генераторов постоянного и переменного тока в последнее время стали привлекать к себе внимание благодаря быстродействию и высокой точности. Появление управляемых полупроводниковых вентилей-тиристоров и использование их для питания обмоток возбуждения электрических машин открывают новые возможности перед импульсной техникой.

Тиристоры имеют ряд преимуществ по сравнению с тиратронами и другими ионными приборами. А в ряде случаев тиристоры лучше кремниевых транзисторов: имеют высокое рабочее напряжение и ток, малое падение напряжения на открытых приборах, для открывания тиристора необходима намного меньшая мощность при значительно большей переключаемой мощности в импульсе.

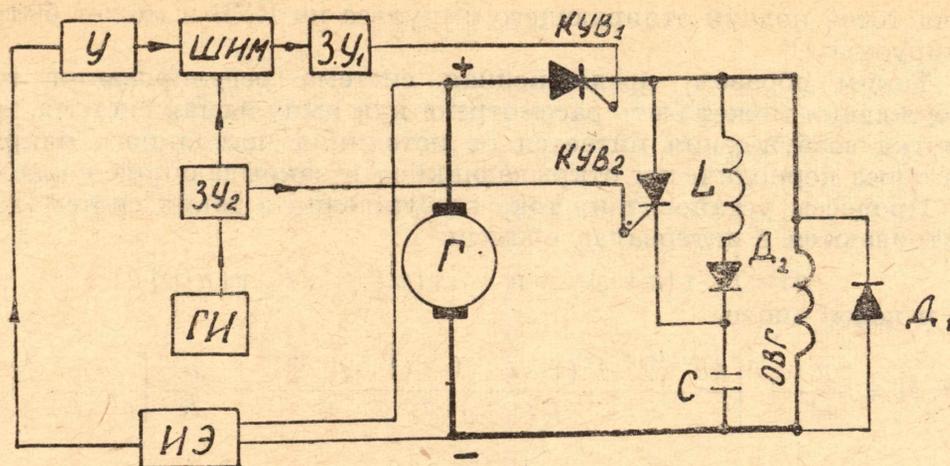
Преимущества тиристоров объясняют тот большой интерес, который проявляется в настоящее время к этим приборам при использовании их в системах автоматического регулирования [1].

Для управления тиристорами применяются схемы искусственной коммутации тока в цепи тиристора.

Использование схем искусственной коммутации позволяет создать быстродействующие автоматические системы регулирования с относительно высокими технико-экономическими показателями. Схемы искусственной коммутации могут применяться при питании нагрузки как от сети постоянного тока, так и от сети переменного тока. При создании систем с искусственной коммутацией задача сводится к выбору величины емкости, индуктивности и напряжения их заряда [1, 2].

В настоящей статье рассматривается система автоматического регулирования напряжения генератора постоянного тока с использованием схемы искусственной коммутации тока в силовой цепи.

В рассматриваемой системе регулирования (см. рис. 1) обмотка возбуждения генератора питается импульсами напряжения повышенной частоты. Изменяя скважность импульсов напряжения, питающих обмотку возбуждения, можно регулировать среднее значение напряжения на зажимах якоря генератора. В период паузы происхо-



Р и с. 1.

дит разряд энергии, накопленной в магнитном поле обмотки возбуждения, через шунтирующий вентиль  $D_1$ .

Схема управления состоит из генератора импульсов — ГИ, схемы широтно-импульсного модулятора — ШИМ, устройств для включения силовых вентилях — ЗУ и схемы искусственной коммутации.

ШИМ задает продолжительность включения силового вентиля КУВ<sub>1</sub>. Длительность импульсов, вырабатываемых ШИМ, зависит от величины сигнала рассогласования, поступающего от измерительного органа — ИЭ, включенного на якорь генератора. Для включения силовых вентилях применены запускающие устройства ЗУ<sub>1</sub> и ЗУ<sub>2</sub> в виде блокинг-генераторов, запуск которых осуществляется от импульсов, поступающих из схемы управления.

Схема искусственной коммутации для гашения силового вентиля КУВ<sub>1</sub> использует разряд на обмотку возбуждения конденсатора  $C$ , который заряжается до напряжения большего, чем анодное напряжение КУВ<sub>1</sub>. Заряд конденсатора  $C$  происходит от силовой цепи через индуктивность  $L$  и неуправляемый вентиль  $D_2$ . При разряде конденсатора  $C$  через КУВ<sub>2</sub> напряжение на катоде КУВ<sub>1</sub> оказывается выше анодного, и вентиль КУВ<sub>1</sub> гаснет. Силовой вентиль КУВ<sub>1</sub> после разряда конденсатора  $C$  повторно не включается.

Работа схемы происходит следующим образом. При включенном силовом вентиле КУВ<sub>1</sub> происходит резонансный заряд емкости  $C$ , с генератора импульсов — ГИ поступает импульс на запуск блокинг-генератора БГ, включающего вентиль искусственной коммутации КУВ<sub>2</sub>. Емкость  $C$ , разряжаясь через КУВ<sub>2</sub> на обмотку возбуждения, запирает КУВ<sub>1</sub>. Одновременно с включением КУВ<sub>2</sub> подается сигнал на ШИМ и на блокинг-генератор БГ вентиле КУВ<sub>1</sub>. Затем процесс повторяется.

При уменьшении напряжения на якоре генератора увеличивается сигнал рассогласования, поступающий на ШИМ, что приводит к увеличению тока в обмотке возбуждения, и напряжение генератора восстанавливается до заданного уровня.

Рассмотрим процессы установления тока в обмотке возбуждения генератора. На обмотку возбуждения генератора поступают прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой  $u$ , периодом повторения  $T$  и скважностью  $\gamma$ . Период повторения импульсов определяет

ся частотой подачи отпирающего импульса на КУВ и может быть регулируемым.

Таким образом, предложенная система регулирования током возбуждения может быть рассмотрена как импульсная система, когда обмотка возбуждения питается от источника постоянного напряжения через периодически открывающийся и закрывающийся ключ.

Процессы установления тока возбуждения в таких системах рассматриваются в интервалах времени

$$n\tau \leq t \leq \tau(n + \gamma) \quad \text{и} \quad \tau(n + \gamma) \leq t \leq \tau(n + 1),$$

где  $n$  — целое число.

$$i[n, \varepsilon] = \frac{u}{R} + \left[ \frac{ue^{-\beta(1-\gamma)} (1-e^{-\beta\gamma}) (1-e^{-\beta n})}{R(1-e^{-\beta})} - \frac{u}{R} \right] \cdot e^{-\beta\varepsilon}, \quad (1)$$

$$0 \leq \varepsilon \leq \gamma.$$

Согласно [3] уравнения изменения тока в виде смещенных решетчатых функций имеют вид:

$$i[n, \varepsilon] = \left\{ \frac{u}{R} + \left[ \frac{ue^{-\beta(1-\gamma)} (1-e^{-\beta\gamma}) (1-e^{-\beta n})}{R(1-e^{-\beta})} - \frac{u}{R} \right] \cdot e^{-\beta\gamma} \right\} \cdot e^{-\beta(\varepsilon-\gamma)}, \quad (2)$$

$$\gamma \leq \varepsilon \leq 1.$$

В этих уравнениях:

$$\beta = \frac{T}{T_H}; \quad T_H = \frac{L}{R}.$$

$T_H$  — постоянная обмотки возбуждения;

$R$  и  $L$  — сопротивление обмотки возбуждения и ее индуктивность.

По уравнениям 1 и 2 может быть определено максимальное и минимальное установившиеся значения токов:

$$i_{\max} = \frac{u(1-e^{-\beta\gamma})}{R(1-e^{-\beta})} \quad (3)$$

$$i_{\min} = \frac{u(1-e^{-\beta\gamma})e^{-\beta(1-\gamma)}}{R(1-e^{-\beta})} \quad (4)$$

Коэффициент пульсаций тока, характеризующий отношение максимального установившегося тока к минимальному установившемуся току, равен

$$\chi = e^{\beta(1-\gamma)}. \quad (5)$$

Полный размах пульсаций тока в установившемся режиме

$$\Delta i = i_{\max} - i_{\min} = \frac{u}{R} \frac{(1-e^{-\beta\gamma}) [1-e^{-\beta(1-\gamma)}]}{1-e^{-\beta}}. \quad (6)$$

При незначительном размахе пульсаций тока процесс установления тока в обмотке возбуждения характеризуется гладкой составляющей.

Уравнение гладкой составляющей согласно [3] может быть представлено в виде:

$$i_{cp}(t) = I\gamma \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right). \quad (7)$$

При работе генератора на линейном участке кривой намагничивания зависимость э. д. с. от тока возбуждения линейна, тогда уравнение гладкой составляющей э. д. с., обусловленной гладкой составляющей тока возбуждения, будет иметь вид:

$$E_{cp}(t) = E_{уст} \gamma \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right), \quad (8)$$

$$E_{уст} = ku,$$

где

$K$  — постоянная величина;

$u$  — напряжение питания.

При импульсном регулировании тока возбуждения большое значение имеет величина пульсаций тока. Наличие значительных пульсаций тока в обмотке возбуждения приводит к тому, что э. д. с. генератора носит колебательный характер. Для уменьшения пульсаций тока, а также колебаний э. д. с. генератора необходимо выбирать достаточно высокую частоту коммутации тиристоров. При заданном коэффициенте пульсаций тока и относительной продолжительности включения период коммутации определяется [3], как

$$T = \frac{\ln \alpha}{1 - \gamma} T_H. \quad (9)$$

где  $T_H$  — постоянная времени обмотки возбуждения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импульсные системы автоматического регулирования возбуждением электрических машин на тиристорах с искусственной коммутацией тока в силовой цепи разработаны и исследуются на кафедре ЭПП Томского политехнического института. Системы показали себя как быстродействующие, обладающие высокой точностью отработки и широким диапазоном регулирования. Преимущества тиристоров позволяют создавать надежные системы возбуждения средней и большой мощности.

Предложенная система регулирования напряжения генератора постоянного тока может быть использована и для возбуждения генераторов переменного тока. При питании системы регулирования от сети переменного тока неуправляемый вентиль  $D_2$  необходимо заменить на управляемый для заряда конденсатора  $C$  непосредственно перед гашением силового вентиля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кремниевые управляемые вентили-тиристоры. Технический справочник. Издательство «Энергия», 1964.
2. А. И. Зайцев, В. Н. Мишин, А. А. Кувшинов. Импульсное регулирование скорости в приводах по системе управляемый дискретный преобразователь-двигатель (УДП-Д) с искусственной коммутацией. Средства автоматизации электропривода. Доклады к IV Всесоюзному совещанию по автоматическому приводу ВНИИЭМ, 1964.
3. А. П. Зайцев. Разработка и исследование некоторых импульсных устройств для управления электрическими машинами. Диссертация, ТПИ, 1964.