

ТИРИСТОРНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

С. А. КИТАЕВА

(Рекомендована научным семинаром электромеханического факультета)

Импульсные системы регулирования напряжения генераторов постоянного тока в последнее время стали привлекать к себе внимание благодаря быстрдействию и высокой точности.

Появление промышленных серий управляемых полупроводниковых вентилей-тиристоров и использование их для питания обмоток возбуждения электрических машин открывает новые возможности применения импульсной техники [1].

Особенностью управления тиристорами является необходимость использования специальных методов запирающих последних. С этой целью для управления тиристорами применяются схемы искусственной коммутации, осуществляемые с помощью конденсаторных накопителей энергии. Схемы искусственной коммутации могут применяться при питании нагрузки как от сети постоянного тока, так и от сети переменного тока [2].

В таких импульсных системах обмотка возбуждения питается постоянным напряжением, модулированными импульсами повышенной частоты, определяемой частотой подачи отпирающего сигнала на управляющий силовой тиристор.

Импульсный способ регулирования возбуждения особенно целесообразен в виду значительной индуктивности обмотки возбуждения, обуславливающей большую величину постоянной времени $T_v = \frac{L}{R}$. Поэтому при любых величинах относительной продолжительности включения тиристора и наличии вентиля, шунтирующего обмотку возбуждения, в последней возможен режим непрерывного тока вследствие того, что во время импульса увеличивается энергия, запасаемая в индуктивности обмотки возбуждения, а во время паузы ток поддерживается за счет энергии, запасенной в электромагнитном поле. Такой режим работы благоприятно сказывается на энергетических показателях электрической машины, так как эффективное значение тока возбуждения незначительно отличается от среднего значения и, следовательно, тепловые потери увеличиваются не намного.

Качество стабилизации напряжения определяется модуляцией выходного напряжения, в связи с этим частоту переключений тиристора

целесообразно повышать. Однако с точки зрения снижения потерь на вихревые токи и снижения нагрева тиристоров нижний предел частоты переключений выбирается из условия заданного коэффициента пульсаций тока и относительной продолжительности включения [3].

Рассмотрим процессы установления тока в обмотке возбуждения генератора при импульсном тиристорном регулировании. В этом случае на обмотку возбуждения генератора поступают прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой U , периодом повторения T и скважностью γ .

Такая система регулирования тока возбуждения может быть представлена в виде эквивалентной цепи, где управляющий вентиль представляется автоматическим ключом, который производит коммутацию в главной и шунтирующих цепях (рис. 1).

Процессы установления тока возбуждения в такой системе рассматриваются в интервалах времени

$$nT \leq t \leq T(n + \gamma)$$

и

$$T(n + \gamma) \leq t \leq T(n + 1),$$

где n — целое число, в предположении, что

1. индуктивность и сопротивление обмотки возбуждения постоянны;
2. реакция якоря отсутствует;
3. диод D идеальный;
4. внутренним сопротивлением источника питания пренебрегаем;
5. потери в стали, обусловленные пульсирующим током, пренебрежительно малы.

Согласно [3, 4] уравнения изменения тока возбуждения в виде смещенных решетчатых функций имеют вид:

$$i[n_1\varepsilon] = \frac{U}{R} + \left[\frac{Ue^{-\beta(1-\gamma)}(1-e^{-\beta\gamma})(1-e^{-\beta n})}{R(1-e^{-\beta})} - \frac{U}{R} \right] e^{-\beta\varepsilon} \quad (1)$$

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

$$i[n_1\varepsilon] = \left\{ \frac{U}{R} + \left[\frac{Ue^{-\beta(1-\gamma)}(1-e^{-\beta\gamma})(1-e^{-\beta n})}{R(1-e^{-\beta})} - \frac{U}{R} \right] e^{-\beta\gamma} \right\} \cdot e^{-\beta(\varepsilon-\gamma)}, \quad (2)$$

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

В этих уравнениях

$$\beta = \frac{T}{T_b}; \quad T_b = \frac{L}{R},$$

где R и L — активное сопротивление и индуктивность обмотки возбуждения.

По уравнениям (1) и (2) может быть определено максимальное и минимальное установившееся 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

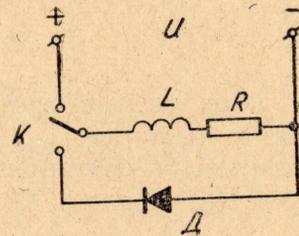


Рис. 1

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

Полный размах пульсаций тока в установившемся режиме

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

Из полученного уравнения видно, что размах пульсаций тока при данной величине γ зависит только от параметров самой цепи и частоты переключений тиристора.

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

Уравнение гладкой составляющей может быть представлено в виде [3, 4]

$$i_{\text{cp}}(t) = \frac{U\gamma}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_B}} \right). \quad (7)$$

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

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

где

$$E_{\text{уст}} = kU$$

k — постоянная величина, определяемая углом наклона характеристики холостого хода к оси абсцисс.

С целью уменьшения пульсаций тока, а также колебаний э.д.с. генератора частота коммутации тиристоров при заданном коэффициенте пульсаций тока и относительной продолжительности включения определяется как

$$T = \frac{\ln x}{1 - \gamma} T_B, \quad (9)$$

где x — коэффициент пульсаций тока.

Импульсные системы автоматического регулирования возбуждения электрических машин на тиристорах с искусственной коммутацией тока в силовой цепи разработаны и исследуются на кафедре ЭПА Томского политехнического института. Системы показали себя как быстродействующие, обладающие высокой точностью отработки и высоким качеством регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. Чиликин, И. И. Петров, Б. Б. Воронежский. Новые направления развития автоматизированного электропривода. Электричество, 1965, № 3.
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».
3. Средства автоматизации электропривода. Доклады к IV Всесоюзному совещанию по автоматическому приводу ВНИИЭМ, 1964.
4. А. П. Зайцев. Разработка и исследование некоторых импульсных устройств для управления электрическими машинами. Диссертация, ТПИ, 1964.
5. Я. З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. Физматгиз, 1963.