

Г.А. Баханович, С.Г. Герман-Галкин, Б.Л. Кузьмин

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С УСТРОЙСТВАМИ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ТОКОМ ЯКОРЯ И НАПРЯЖЕНИЕМ НА КОММУТИРУЮЩЕМ КОНДЕНСАТОРЕ

Возрастающие требования к качественным показателям систем электропривода и промышленной автоматики приводят к разработке новых широтно-импульсных преобразователей (ШИП) для управления малоинерционными двигателями постоянного тока. Основными недостатками известных ШИП [1] являются: 1) сравнительно низкая частота коммутации; 2) значительные коммутационные потери.

Тиристорный преобразователь (рис. 1, а) свободен от указанных недостатков. Силовая часть построена по многофазному принципу, позволяющему существенно повысить частоту коммутации в системе и расширить диапазон изменения выходного напряжения [2]. Коммутирующий контур имеет переменную структуру, что позволяет регулировать запас энергии в нем в функции тока нагрузки [3].

Известно [1], что преобразователю с независимой коммутацией и последовательным гашением (рис. 1, а) присущ эффект "самовозбуждения" ("раскачки"), выражающийся в том, что напряжение на коммутирующем конденсаторе в квазиустойчившемся режиме значительно превосходит напряжение питания U_k . Это напряжение тем больше, чем больше добротность контура коммутации и тока нагрузки. В этих и подобных схемах напряжение на конденсаторе "следит" за током нагрузки, что существенно улучшает перегрузочную способность преобразователя. Однако темп роста тока нагрузки определяется параметрами системы (частотой коммутации, постоянными времени в цепи регулирования и т.д.), а темп роста напряжения на конденсаторе определяется добротностью коммутирующего контура. Поэтому в практических системах с широким диапазоном изменения тока нагрузки при больших токах, а особенно при больших скоростях нарастания тока, коммутационная способность контура ухудшается (уменьшается время действия обратного напряжения на силовом тиристоре) [1]. Для исключения этого явления в схеме преобразователя рис. 1 силовые тиристоры T_1, T_{12}, T_2, T_{22} через логическую часть схемы управления (рис. 1, б) - Сч. 1 м, Сч. 2 м, ДШ1, ДШ2, У11, У1м - запускаются тактовыми импульсами, которые выраба-

тываются генератором схемы управления (ЗГ). Вспомогательные (коммутирующие) тиристоры T'_1, T'_2 через логическую часть схемы управления — Сч. $I'm', DШЗ, Y'1, Y'm$ запускаются от широтно-импульсного модулятора (ШИМ). Такое построение схемы управления тиристорными преобразователями позволяет отключать ток нагрузки сразу же при достижении им критической величины ($I_{н.гр}$).

В схеме заведена обратная связь с коммутирующего конденсатора на ШИМ, позволяющая регулировать величину тока нагрузки (i_n) в функции напряжения на конденсаторе (U_c). Регулирование производится так, чтобы поддерживать в переходных режимах время действия обратного напряжения ($t_{обр}$) на силовом тиристоре постоянным, поэтому обратная связь начинает действовать только после достижения током нагрузки величины $I_{н.гр}$.

Выходной каскад (рис. 1, а), помимо указанных элементов, содержит цепи рекуперации энергии (T_{01}, W_{25} и T_{02}, W_{15}) в цепь источника коммутации, которые поочередно включаются при всех значениях тока нагрузки, лежащих в пределах

$$0 \leq |i_n| < I_{н.гр}. \quad (1)$$

$W_{14}, W_{15}, W_{24}, W_{25}$ — вторичные обмотки соответствующих коммутирующих трансформаторов Tr_1, Tr_2 .

Для реверсирования вых одного напряжения преобразователя используются тиристоры $T_{в1}, T_{в2}$ и вторичные обмотки трансформаторов Tr_1 и Tr_2 . В зависимости от полярности входного сигнала ($\Delta U_{вх}$) через поляризованное реле (РЗ) управляемый ключ (УК) включает цепь управления тиристором $T_{в1}(T_{в2})$.

Схема управления таким преобразователем представлена на рис. 1, б. Ток якоря измеряется датчиком тока (ДТ), сигнал которого поступает на два сравнивающих устройства. Релейное сравнивающее устройство (Р.Ср.У) представляет собой ключ, вырабатывающий сигнал запрета на формирование импульсов, включающих тиристоры T_{01} и T_{02} , обеспечивая тем самым отключение цепей рекуперации при $i_n \geq I_{н.гр}$.

На вход пропорционального сравнивающего устройства (П.Ср.У) с зоной нечувствительности, определяемой величиной тока нагрузки в выражении (1), поступает два сигнала: сигнал от датчика тока и сигнал от датчика напряжения на коммутирующем конденсаторе (DU_c).

При достижении током нагрузки значений $i_H \approx I_H$ снимаются управляющие импульсы с тиристоров T_{01}, T_{02} и начинается быстрый рост напряжения на конденсаторе (U_C) . Увеличение напряжения на конденсаторе "разрешает" расти току нагрузки, но так, чтобы время действия обратного напряжения ($t_{обр}$) на запираемом силовом тиристоре оставалось постоянным.

Рассматриваемая система является существенно нелинейной.

Анализ переходных процессов в такой системе удалось осуществить путем сочетания метода фазовой плоскости [3] для коммутационных процессов и графического метода [4] для процессов в нагрузке.

При анализе коммутационных процессов и процессов в нагрузке использованы относительные величины [5].

В переходном режиме коммутирующей цепи, когда цепь рекуперации энергии отключается, связь между дискретными значениями относительного напряжения на конденсаторе в конце и начале коммутационного интервала определяется следующими уравнениями:

$$x[n+1] = 1 + \exp(-\Delta + D\varphi[n]) \left\{ (x[n] - 1) \cos \varphi[n] + I_H^{-1}[n] x[n] \sin \varphi[n] \right\}; \quad (2)$$

$$\varphi[n] = \frac{I_H^{-1}[n]}{x[n] - 1},$$

где x - относительная величина напряжения на конденсаторе; $I_H^{-1}[n]$ - относительная величина тока нагрузки; $\varphi[n]$ - приведенный коэффициент затухания коммутирующего контура.

Разностное уравнение (2) нелинейно, решение его возможно методом припасовывания.

Из решений уравнения (2) для различных начальных значений тока нагрузки и напряжения на конденсаторе могут быть выбраны значения $I_H^{-1}[n]$ и $x[n]$ в моменты коммутации, при которых время, предоставляемое силовому тиристору на восстановление, постоянно. Для конкретных значений $I_H^{-1}[n]$, $x[n]$, Δ получены зависимости $x[n] = f(I_H^{-1}[n])$, приведенные на рис. 2, б. Тогда переходный процесс в рассматриваемой системе с разомкнутой главной обратной связью (связь по скорости) представляется следующей системой графо-аналитических зависимостей в относительных единицах.

Коммутирующий контур – семейством характеристик (рис.2,а)

$$x[n+1] = f(\bar{x}_H[n]).$$

Система управления – зависимостью $x[n] = f(I_H^{-1}[n])$ при $\theta = \text{const}$.

Электродвигатель – системой дифференциальных уравнений, описывающих соответственно движение вала двигателя на периоде коммутации, как при действии импульса напряжения, так и в момент паузы.

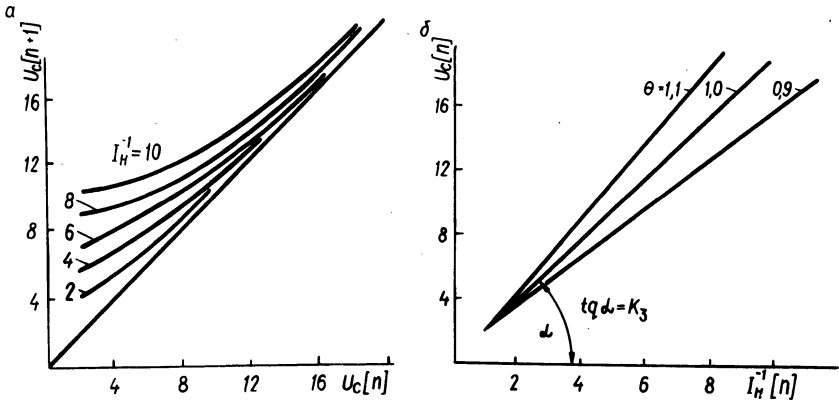


Рис. 2. Зависимости напряжений на коммутирующей емкости в переходных режимах: а— $\bar{U}_c[n+1] = f(\bar{U}_c[n])$; б— $\bar{U}_c[n] = f(I_H^{-1}[n])$.

Заменяя дифференциальные уравнения приближенными уравнениями в конечных разностях, получим расчетные соотношения, с помощью которых производится графическое построение переходного процесса.

В общем случае построение переходного процесса производится в четырех координатных системах: коммутирующего контура, системы управления и двух – для электродвигателя [4].

Рассмотрим переходный процесс при нулевых начальных значениях величин в электромеханической части системы.

Поскольку в начале переходного процесса нарастание тока в цепи якоря происходит быстрее, чем рост коммутирующей способности гасящего контура, то величина тока, которую может коммутировать контур в каждый дискретный момент времени, определяется величиной напряжения на коммутирующем

конденсаторе, т.е. гасящий контур определяет токовое состояние цепи якоря.

По мере увеличения напряжения на конденсаторе с каждым периодом коммутирующая способность контура возрастает настолько, что можно будет гасить максимальный ток в цепи якоря. С этого момента начинается второй этап пуска, при котором тиристоры преобразователя полностью открыты и на якорь двигателя подается напряжение источника питания U_H . В момент времени, определяемый равенством значения тока в цепи якоря $i_{я}$ и номинальным значением тока якоря $I_{я,ном}$, включается цепь рекуперации и начинается третий период пе-

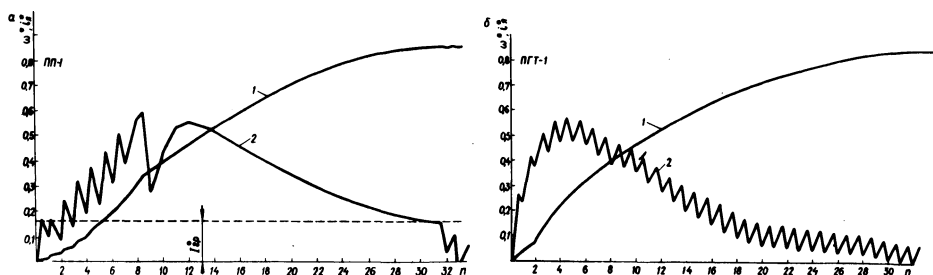


Рис. 3. Пуск двигателя на заданное значение скорости:
 а — при слежении за напряжением на коммутирующей емкости и током якоря: 1 — $\omega^*(n)$, 2 — $i_{я}^*(n)$ при $i_c^* = 0,05$, $\gamma = \text{var}$, $I_{гр}^* = i_n^*$, $\theta = \text{const}$;
 б — без системы ограничения тока в цепи якоря: 1 — $\omega^*(n)$; 2 — $i_{я}^*(n)$ при $i_c^* = 0,05$; $\gamma = \text{const}$ $= 0,75$.

редного процесса. На этом этапе отключаются цепи слежения за напряжением на конденсаторе и током якоря и вступает в действие ШИМ, управляемый только лишь входным сигналом системы.

На рис. 3 приведен общий вид переходных процессов в относительных величинах для тока якоря ($i_{я}^*$), скорости вращения вала двигателя (ω^*) в течение трех этапов пуска. Длительность первого этапа составляет $n_1 = 8$ периодов коммутации, второго — $n_2 = 22$ и третьего — $n_3 = 2$.

В ы в о д ы

Переходный процесс по току и скорости для системы с обратной связью по U_C и I_H несколько затянут на первоначальном этапе пуска, длительность которого в основном зависит от темпа роста коммутирующей способности контура гашения.

Скорость изменения тока якоря в системе с обратной связью по U_C и I_H значительно меньше, чем в других аналогичных системах, что создает более "мягкие" режимы работы для нагрузки.

При увеличении частоты коммутации абсолютное время первого этапа переходного процесса будет уменьшаться по сравнению с общим временем переходного процесса, т.е. двигатель будет обрабатывать возмущение с максимальным ускорением, причем в квазиустановившемся режиме преобразователь будет работать с высоким к.п.д.

Л и т е р а т у р а

1. Глазенко Т.А. Тиристорные широтно-импульсные преобразователи для систем электропривода постоянного тока. Л., 1968.
2. Кузьмин Б.П. и др. Схема управления тиристорного широтно-импульсного преобразователя повышенной частоты. — "Изв. вузов. Приборостроение", 1972, № 9.
3. Герман-Галкин С.Г. Исследование коммутационных процессов и расчет тиристорных широтно-импульсных преобразователей с независимой коммутацией в системах электропривода постоянного тока. Канд. дис. Л., 1970.
4. Башарин А.В. Расчет динамики и синтез нелинейных систем управления. — М.— Л., 1960.
5. Сомов А.П. Расчет нелинейных электромеханических систем. М., 1968.