

## ТРАНЗИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Анализ оборудования различных цехов предприятий радиоэлектронной промышленности показал, что неотъемлемой частью большинства установок и комплексов является регулятор переменного напряжения, который имеет следующие области применения: регулирование нагрева ванн лужения выводов радиоэлементов; регулирование нагрева печей сушки печатных плат; термостатирование объектов, основанного на управлении скоростью вращения вентиляторов; управление микродвигателями, двигателями малой и средней мощности в различного рода автоматах и полуавтоматах и т.д.

В настоящее время в качестве исполнительного органа регулятора переменного напряжения в основном используется фазоуправляемый тиристор. Наряду с достоинствами такого варианта регулятора ему присущ ряд известных недостатков, связанных в основном с ухудшением качества регулируемого напряжения и энергетических показателей самого регулятора при увеличении глубины регулирования.

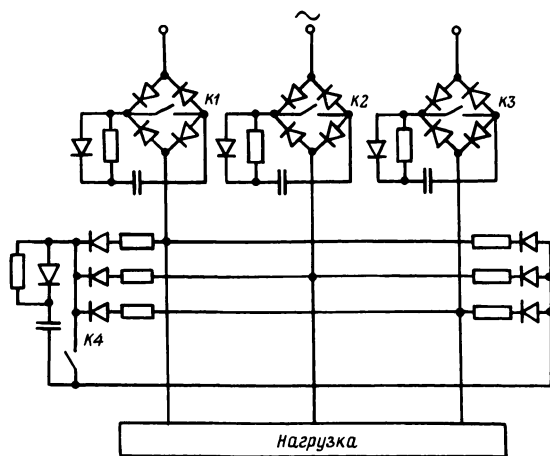


Рис. 1. Схема трехфазного транзисторного коммутатора.

Перспективным направлением в современной технике регулирования переменных токов является повышение частоты коммутации силовых ключей регуляторов. При этом наиболее высокое качество энергии достигается при применении симметричной ШИМ кривых переменного напряжения [1]. Реализовать такой способ регулирования наиболее просто с помощью полностью управляемых ключей — транзисторов. Один из вариантов силовой схемы трехфазного транзисторного коммутатора показан на рис. 1. Частота

коммутации  $f_k = 100 m$  Гц, где  $m = 3, 6, 9 \dots$  — число симметрично регулируемых импульсов на полупериоде питающего напряжения. Практически для получения необходимого качества регулируемого напряжения достаточно  $f = 600$  Гц [1]. Схема содержит три однофазных и один трехфазный диодных моста, зашунтированных по постоянному выходу транзисторными ключами К1—К4. Ключи К1, К2, К3 работают в противофазе с ключом К4: первые подключают нагрузку к сети, а последний ее закорачивает. Для устранения сквозных токов, обусловленных наличием времени рассасывания избыточных носителей в базовых переходах закрывающихся транзисторов, применяется задержка на включение вступающих в работу ключей. В данном случае из-за относительно низкой частоты коммутации это практически не оказывает влияния на форму ШИМ (рис. 2). Дополнительную трудность создает отсутствие высоковольтных быстродействующих диодов средней мощности. Поэтому при использовании низкочастотных диодов серии В или ВЛ в плечах трехфазного моста приходится устанавливать дополнительные резисторы (либо дроссели), ограничивающие токи транзисторных ключей во время восстановления запирающих свойств диодов. Соответственно это искажает форму промодулированного напряжения на нагрузки (рис. 2,а). Из осциллограммы видно, что во время пауз в ШИМ на зажимах нагрузки появляется обратный выброс, обусловленный падением напряжения на ограничивающих резисторах. Кривая тока (рис. 2, б) непрерывна и по форме близка к синусоиде. Практический диапазон плавного изменения угла регулирования  $\alpha$  от  $0,05$  до  $0,95 \alpha_{max}$ , а при достижении граничных углов коммутатор дискретно переключается либо на режим полного напряжения (при  $\alpha > 0,95 \alpha_{max}$ ) либо на отключение нагрузки (при  $\alpha < 0,95 \alpha_{max}$ ). Ограничение объясняется наличием защитных цепочек, включенных параллельно каждому транзисторному ключу (рис. 1) с целью снижения коммутационных потерь выключе-

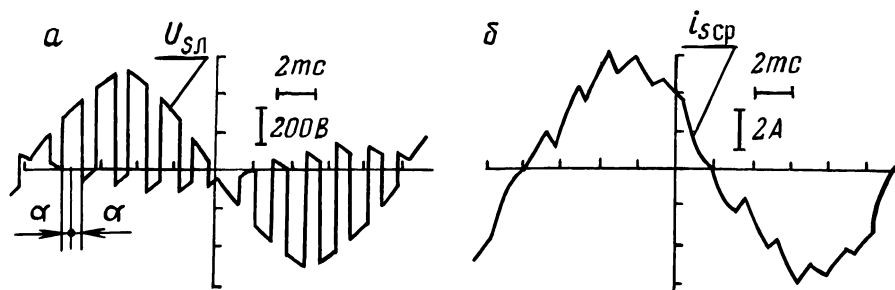


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (а) и тока (б) статора асинхронного двигателя при симметричной ШИМ.

ния. Для их эффективной работы емкость цепочки должна успеть разрядиться за время включенного состояния транзистора. Таким образом, граничные углы  $\alpha$  определяются постоянной времени RC цепочки. Рассмотренная схема коммутатора пригодна и для управления нагрузкой постоянного тока, которую необходимо включать на выход трехфазного моста вместо ключа К4. К недостаткам схемы следует отнести большое количество диодов, а также не-

равномерность загрузки транзисторных ключей по мощности (ключ К4 перегружен), другими словами, их неуниверсальность.

Более правильным решением является разработка типовых однофазных ключей, учитывающих специфику регулирования (закорачивание нагрузки на время отключения ее от сети). Схема такого ключа приведена на рис. 3.

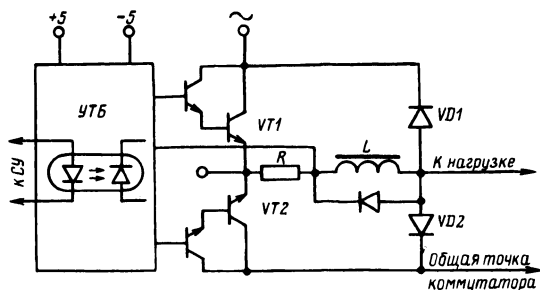


Рис. 3. Схема силового транзисторного ключа.

Силовые транзистор  $VT1$  и диод  $VD1$  служат для подключения нагрузки к сети, а  $VT2$  и  $VD2$  соответственно закорачивают нагрузку во время пауз. Преобразователи напряжения переменного тока относятся к устройствам с постоянно изменяющимся мгновенным значением тока нагрузки, поэтому с целью повышения к.п.д. ключа, последний выполнен по схеме составного транзистора. Для получения широкого диапазона изменения длительности базового тока выходного ключа он питается от усилителя тока базы УТБ с непосредственной связью между каскадами. УТБ построен с использованием дополнительного низковольтного источника ( $U_n + 5B$ ), что позволяет осуществлять активное запирающее свойство силовых транзисторов. Использование на входе УТБ патрона обеспечивает надежную гальваническую развязку системы управления с силовой цепью. Низкоомный резистор  $R$  служит в качестве датчика тока для защиты силовых транзисторов от перегрузки. Ток ключа во время восстановления запирающих свойств диодов ограничивается дросселем  $L$ . Для устранения сквозных токов пригодны два способа: либо ввести задержку на переключение транзисторов, работающих в противофазе либо использовать избирательное включение транзисторов в зависимости от направления токов в фазах, причем в качестве датчика тока может служить тот же резистор  $R$ .

Регуляторы напряжения переменного тока, построенные на основе рассмотренного универсального самозащищенного ключа, отличаются высокой надежностью и относительно небольшими потерями на коммутацию, что позволит успешно использовать их для управления нагрузками различного характера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин О.П., Беляев В.П., Головач О.А. Анализ гармонического состава напряжения трехфазной ШИМ переменного тока. — Научные и прикладные проблемы энергетики. — Минск: Вышэйшая школа, 1981, вып. 8, с. 106—111.