ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОРОГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

А. С. Капуста, С. А. Шевченко
Харьков

В технике железнодорожной автоматики и телемеханики все более широко используются новые полупроводниковые элементы, позволяющие разрабатывать и внедрять в эксплуатацию современные высоконадежные приборы и устройства.

Несмотря на жесткие требования к устройствам автоматики, вытекающие из условий безопасного и бесперебойного движения поездов, применение полупроводниковых элементов, согласно положениям дей-

ствующих технических указаний, допускается не только в схемах наборной группы, но и исполнительной, если исключаются опасные ситуации при их повреждении.

Главные недостатки многих полупроводников, ограничивающие в известной степени их применение в ответственных схемах железнодорожной автоматики — низкая перегрузочная способность, нестабильность и сильный разброс параметров, малый температурный диапазон работы, а также сложность контроля поврежденного состояния.

В связи с этим большой интерес вызывают новые полупроводниковые элементы с четырехслойной структурой — тиристоры (кремниевые управляемые вентили), получившие за несколько лет широкое распространение в самых различных отраслях электроники, электротехники и автоматики. Тиристоры по своим характеристикам очень похожи на ионные управляемые вентили — тиратроны, игнитроны и др., однако обладают целым рядом существенных преимуществ не только по сравнению с ионными приборами, но и транзисторами.

Наша промышленность выпускает тиристоры, рассчитанные на токи до нескольких сот ампер и рабочее напряжение до 1000 *в*. Температурный диапазон работы тиристоров —60°÷ +130° С. Физические основы работы тиристоров, их технические характеристики, а также вопросы, относящиеся к тиристорной схемотехнике, достаточно широко изложены в отечественной и зарубежной литературе.

Авторы ставят другую задачу — показать возможность применения тиристоров в цепях переменного тока как фазочувствительных элементов, работающих в режиме «включено — выключено» или с дискретно-изменяющимся выходным сигналом. Указанные свойства можно использовать для разработки быстродействующего фазочувствительного путевого приемника с высоким коэффициентом надежного возврата, прибора для измерения фазовых соотношений в рельсовых цепях с двухэлементными путевыми приемниками и др.

Практика показала, что применение тиристоров наиболее эффективно в схемах коммутации, регулирования и преобразования переменного напряжения. Управляемость этих схем обусловлена закрытием тиристора в конце каждого положительного полупериода питающего напряжения при снижении мгновенного значения тока нагрузки ниже величины тока удержания. Включаться тиристор может импульсными сигналами с соответствующей амплитудой и длительностью, поступающих из управляющего блока, или же с помощью импульсов положительной полярности от источника переменного тока.

Если управляющие импульсы поступают в момент начала положительной полуволны питающего анодного напряжения, то тиристор открыт и через нагрузку течет номинальный ток

$$I_{ном} = \frac{U - \Delta U}{R_н}.$$

При поступлении управляющих импульсов в конце положительного полупериода тиристор закрыт и через нагрузку проходит минимальный ток

$$I_{мин} = \frac{U}{R_н + r_{закр}},$$

где U — напряжение питания на аноде тиристора;

$R_н$ — сопротивление нагрузки;

ΔU — падение напряжения на открытом тиристоре;

$r_{закр}$ — сопротивление тиристора в закрытом состоянии.

В общем случае тиристор может включаться в любой момент времени в течение положительного полупериода питающего напряжения. При этом через нагрузку протекает ток, имеющий промежуточные значения между $I_{мин}$ и $I_{ном}$:

$$I_{мин} < I < I_{ном}.$$

Такой метод управления тиристором является фазовым. Он позволяет в широких пределах изменять угол открытия тиристора и менять при этом средний ток в нагрузке.

При фазовом методе к управляющему электроду тиристора прикладывается положительная полуволна переменного напряжения, фаза которого меняется в пределах 180° по отношению к фазе питающего анодного напряжения. При этом меняется момент открытия тиристора и, начиная с этого момента и до конца положительной полуволны анодного напряжения, тиристор находится в открытом состоянии. Если фазы напряжений на управляющем электроде и аноде тиристора совпадают, время протекания тока через нагрузку примерно равно T/2, где T — период колебаний питающего переменного напряжения.

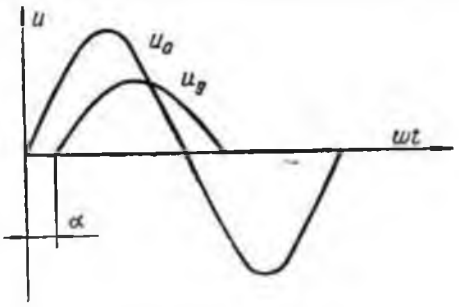

Рис. 1. Диаграмма фазового метода управления тиристором.

При сдвиге фазы напряжения на управляющем электроде относительно анодного на угол α (рис. 1) происходит задержка момента открытия тиристора. В этом случае через нагрузку протекает ток в течение времени, меньшего, чем $T/2$, и среднее значение выпрямленного тока уменьшается.

Поскольку угол отпирания α может меняться от 0 до 180°, среднее значение тока через нагрузку

$$I_{ср} = \frac{I_m}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{I_m}{\pi}(1 + \cos\alpha) = I_0 \frac{1 + \cos\alpha}{2},$$

а среднее значение напряжения на нагрузке

$$U_{ср} = U_0 \frac{1 + \cos\alpha}{2},$$

где I_m — амплитуда тока нагрузки;
I_0 — среднее значение тока, протекающего через нагрузку;
U_0 — среднее значение напряжения на нагрузке при нулевом значении угла отпирания α.

На рис. 2 показана зависимость среднего значения тока, протекающего через тиристор, от угла отпирания α. Очевидно, если угол $\alpha \approx 0°$, то среднее значение тока $I_{ср}$ соответствует номинальному его значению $I_{ном}$ при открытом тиристоре. Если же угол α приближается к 180°, $I_{ср}$ снижается к $I_{мин}$ и тиристор находится в закрытом состоянии.

Таким образом, фазовое управление позволяет применить тиристор по новому назначению — как фазочувствительный элемент, поскольку каждому значению его дискретно-изменяющегося выходного сигнала соответствует определенный угол сдвига фаз между анодным и управляющим напряжениями. Для непосредственного отсчета угла можно использовать миллиамперметр, включенный в анодную цепь тиристора, шкала которого проградуирована в угловых единицах (градусах).

Не менее важное достоинство тиристора и в том, что он при постоянной величине анодного напряжения практически включается и выключается при одном и том же уровне управляющего сигнала. Поэтому тиристор обладает пороговыми свойствами и в режиме работы «включено выключено» имеет коэффициент возврата, близкий к единице, т. е.

$$k_в = \frac{I_{у\ выкл}}{I_{у\ вкл}} \approx 1,$$

где $I_{у\ выкл}$ — управляющий ток выключения тиристора;

$I_{у\ вкл}$ — управляющий ток включения тиристора.

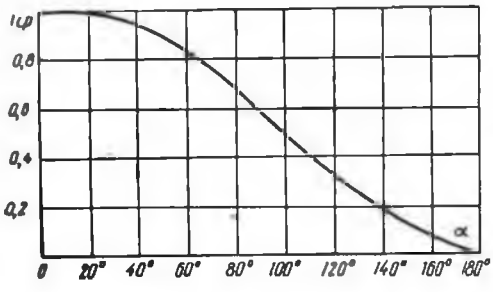

Рис. 2. Зависимость среднего значения тока, протекающего через тиристор, при фазовом методе управления.

С учетом фазовых и пороговых свойств тиристоров на кафедре «Автоматика и телемеханика» ХИИТа была предложена и испытана в лабораторных и эксплуатационных условиях новая схема рельсовой цепи переменного тока 50 *гц*, в которой в качестве путевого приемника использована тиристорная приставка с электромагнитным реле постоянного тока.

Новый путевой приемник (рис. 3), в котором надежно контролируется пробой или обрыв элементов, обладает высоким коэффициентом возврата, большим быстродействием, а также осуществляет фазовый контроль короткого замыкания изолирующих стыков при соблюдении чередования мгновенных полярностей в смежных цепях.

Сама же рельсовая цепь имеет повышенную чувствительность к шунту, потребляет незначительную мощность и обеспечивает устойчивую работу в условиях резко пониженного сопротивления изоляции рельсовой линии.

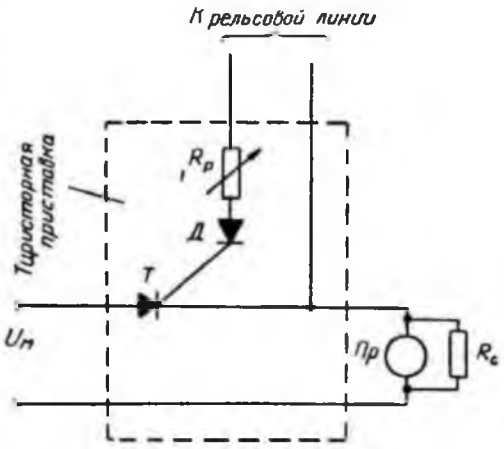

Рис. 3. Схема фазочувствительного путевого приемника.

ВЫВОД

Применение тиристоров в качестве фазопреобразующих, фазочувствительных и пороговых элементов перспективно при создании компактных и надежных фазометров, фазочувствительных приемников с высоким коэффициентом возврата, фазорегулирующих схем и других аналогичных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бруфман, Н. А. Трофимов. Тиристорные переключатели переменного тока. Изд-во «Энергия», 1969.

2. А. А. Булгаков. Основы динамики управляемых вентильных систем. Изд-во АН СССР, 1963.

3. Л. Ф. Ауэн. Бесконтактные переключатели и пересчетные схемы на тиристорах. Изд-во «Энергия», 1968.