

УДК 621.335

Тиристорные ключи с плавной коммутацией

В. И. Гуревич, инж., ХИМЭСХ

В сельскохозяйственном производстве для освещения, сушки сельскохозяйственных продуктов, облучения растений и животных широко используют осветительные и электронагревательные устройства, например, лампы накаливания большой мощности (ИКЗ-500, КГ-220-1000). Исследования процесса включения мощных ламп накаливания показали, что из-за низкого сопротивления холодной нити пусковые токи в них в 8...10 раз превышают рабочие [1], и в момент включения лампы часто перегорают. Срок службы ламп накаливания снижается по этой причине примерно на 15...20% [1], что при больших масштабах их использования приносит ощутимый ущерб.

Срок службы таких ламп можно повысить, если их включать плавно, чтобы нить нагревалась постепенно. Наи-

более просто это осуществляется при использовании тиристорных ключей с плавной коммутацией вместо контактных пусковых аппаратов. Тиристорные ключи в сельском хозяйстве можно применять не только для включения ламп накаливания, но и для пуска электродвигателей (вместо пускового реостата).

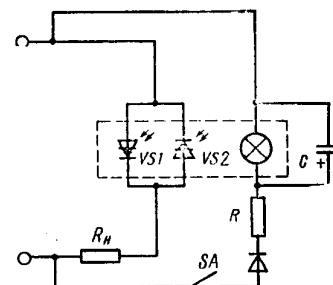


Рис. 1. Оптоэлектронный ключ с плавной коммутацией

Наиболее простой конструкция этих устройств получается при использовании в качестве ключа двух встречно-парал-

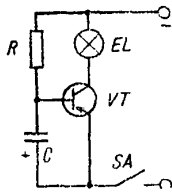


Рис. 2. Схема замедленного включения источника света с RC цепочкой и транзистором

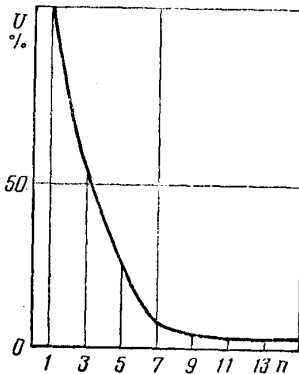
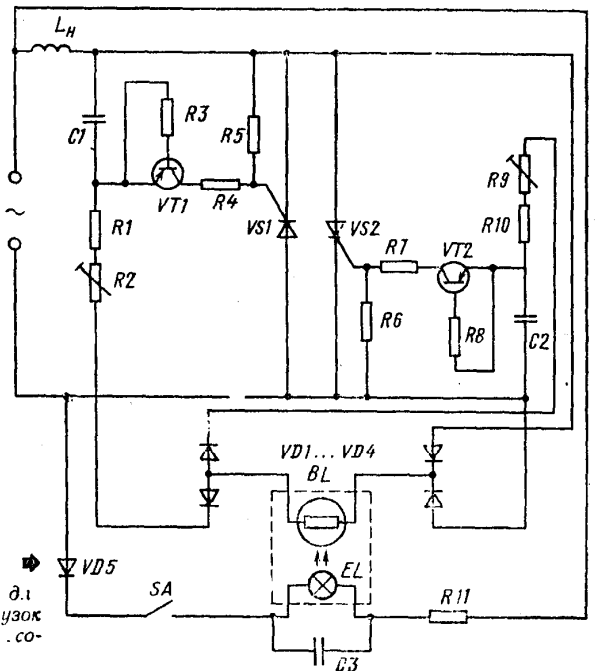


Рис. 3. Характер распределения амплитуд внешних гармоник при угле отпирания, соответствующем максимуму гармоник, $\alpha = 90^\circ$

Рис. 4. Тиристорный ключ для плавной коммутации нагрузок с большой индуктивной составляющей



дельно включенных фототиристоров [2] (рис. 1). При замыкании контакта SA подается питание на лампу EL, соединенную с замедляющей RC цепочкой. Сила излучения лампы увеличивается плавно, вследствие чего также плавно изменяется и угол проводимости фототиристоров.

Сейчас серийно выпускаются фототиристоры на рабочие токи от 10 до 100 А, что вполне удовлетворяет потребности сельскохозяйственного производства. В последние годы разработаны тиристорные оптроны, представляющие собой фототиристоры со встроенным источником излучения. Они предназначены для электроустановок, в которых нежелательна гальваническая связь между силовой цепью и цепями управления. Такие приборы можно с успехом применять и для плавной коммутации, снабдив цепь управления замедляющими элементами. Промышленностью освоены тиристорные оптроны ТО-6,3 и ТО-10, рассчитанные на рабочий ток соответственно 6,3 и 10 А, ток управления не превышает 80 мА.

При использовании в качестве источников видимого излучения миниатюрных ламп накаливания из-за их низкого сопротивления очень трудно добиться необходимого замедления с помощью только одной RC цепочки. В этом случае приходится применять транзистор, в коллекторную цепь которого включен источник видимого излучения, а в цепь базы — замедляющий конденсатор (рис. 2).

Лучшие результаты удается получить при использовании светодиодов, встроенных непосредственно в полупроводниковую структуру тиристоров. Благодаря малому собственному потреблению энергии (инжекционные светодиоды на основе карбида кремния потребляют энергии в 10 раз меньше, чем миниатюрные лампы накаливания, при вдвое меньшем напряжении [3]) можно сравнительно простыми средствами обеспечить необходимую задержку. Достаточно перспективно применять оптроны с управляемым оптическим каналом [4].

Однако использование встречно-параллельно соединенных тиристоров для нагрузок со значительной индуктивностью (электродвигатели, трансформаторы, дроссели) может привести к сильно вынужденному намагничиванию магнитных цепей машин из-за разброса углов отпирания тиристоров. Кроме того, в выходном токе содержится значительное число высших гармоник, амплитуды которых достигают

10...50% амплитуды тока основной гармоники (рис. 3). Это приводит к появлению в сети тока нулевой последовательности, причем ток в нулевом проводе [1]

$$I_0 = 3 \sqrt{\sum_{n=3}^{\infty} \frac{2(1-k)[1+n^2-2n \sin(\pi n/2)]}{\pi^2(n^2-1)^2}}$$

где k — коэффициент, равный отношению амплитуды синусоидального тока к амплитуде полного тока в сети; $n=3(2m+1)$ — номер гармоники; $m=0, 1, 2, 3...$

Чтобы исключить возникновение опасных режимов, была разработана специальная схема тиристорного ключа (рис. 4), отличающаяся от известных наличием двух независимых систем формирования управляющих импульсов (отдельно для каждого тиристора). Эти системы формируют управляющие импульсы с искусственным разбалансом, компенсирующим разброс параметров элементов. Регулируемые фазосдвигающие устройства выполнены на конденсаторах $C1$ и $C2$ и резисторах $R2$ и $R9$. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ работают в лавинном режиме. Плавная коммутация осуществляется путем шунтирования источника видимого излучения цепочкой $R11C3$; этому способствует также некоторая инерционность первичного фотопреобразователя BL . Благодаря наличию специального диодного моста $VD1...VD4$ удается одним фотоприемником плавно изменять угол проводимости сразу двух систем формирования управляющих импульсов. При этом в течение одной полуволны питающего напряжения фотоприемник оказывается подключенным (с помощью диодного моста) к одной системе, а в течение другой — ко второй, что позволяет упростить схему.

При реализации подобных схем, построенных по принципу шунтирования источников видимого излучения RC цепочками, выявилось, что получить требуемый закон плавного изменения проводимости тиристорных ключей затруднительно из-за неравномерного возрастания напряжения на источнике видимого излучения (рис. 5). Чтобы увеличить постоянную времени и получить более плавную зависимость $U=f(t)$, можно использовать термуправляемые резисторы косвенного подогрева (рис. 6). При этом конструкция ключа получается очень простой и дешевой. Ти-

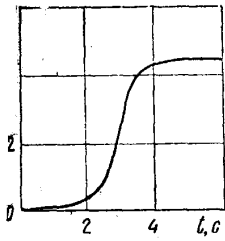


Рис. 5. Характер изменения во времени напряжения источника видимого излучения при использовании замедляющей RC цепочки

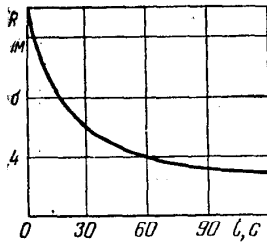


Рис. 7. Характер изменения сопротивления германиевого термуправляемого резистора во времени

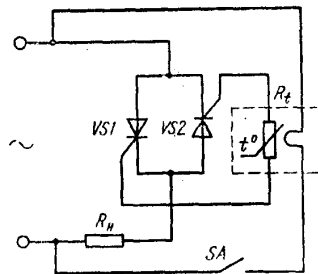


Рис. 6. Тиристорный ключ с термуправляемым резистором косвенного подогрева

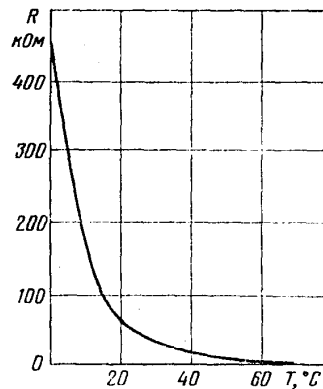


Рис. 9. Температурная характеристика диода Д7Ж

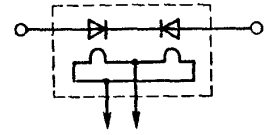


Рис. 8. Схема термуправляемого резистора на основе p-n переходов германиевых диодов

ристоры отпираются импульсами тока смещения, обусловленного их анодным напряжением. Ток смещения ответвляется в управляющие переходы тиристоров через термочувствительный элемент R_t в каждый полупериод напряжения сети. В цепи управления протекают слаботочные импульсы небольшой длительности, которые изменяют свое направление каждые полпериода. Плавное подключение нагрузки обеспечивается благодаря бесступенчатому повышению температуры термочувствительного элемента и уменьшению его сопротивления.

Нашей промышленностью сейчас освоено выпуск термуправляемых резисторов, например ТКП, СТ, ТКПМ, удельно-вытворяющих условиям работы в тиристорных ключах. Характер изменения сопротивления этих элементов (рис. 7) позволяет получить значительно лучшую зависимость $U = f(t)$. В качестве плавно изменяемого сопротивления можно применять запертый p-n переход германиевых полупроводниковых приборов, включенных в обратном направлении. Температура этих переходов плавно повышается подогревателем, представляющим собой обмотку из высокоомного провода, которая намотана на корпус прибора.

На рис. 8 показана схема одного из экспериментальных образцов термуправляемых резисторов на основе p-n перехода, предназначенного для работы на переменном токе.

Результаты исследований [7] показали, что сопротивление диодов изменяется в достаточно широком диапазоне (рис. 9). Однако мощность, рассеиваемую диодом в таком режиме, необходимо резко снижать во избежание пробоя переходов, при этом диод можно включить на вход усилителя. Испытывали диоды серий Д2, Д7, Д814, Д226, Д9, Д14, а также транзисторы (один из переходов) МП116, П416, МП101, П309, МП26 и др. Наилучшие результаты показали германиевые диоды серий Д7, Д9 и Д14. При максимальной температуре нагрева 70...80°C (достаточной для перевода германиевых диодов в насыщение) и силе тока через переход до 2 мА не наблюдалось необратимых изменений их параметров. Диоды Д7 имеют постоянную времени в несколько раз большую, чем диоды Д9 и Д14, что обусловлено меньшей теплоемкостью корпуса последних.

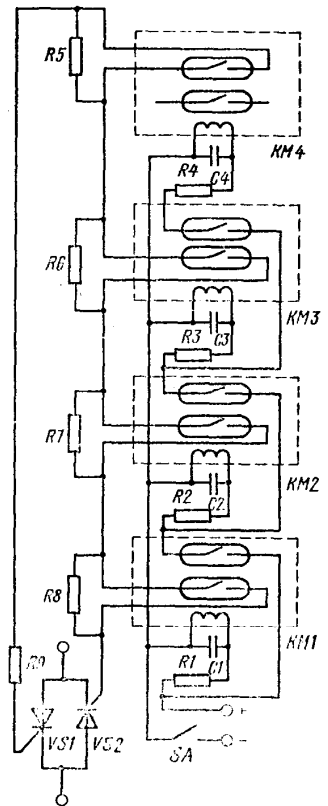


Рис. 10. Тиристорный ключ с управляющей матрицей на герконовых реле

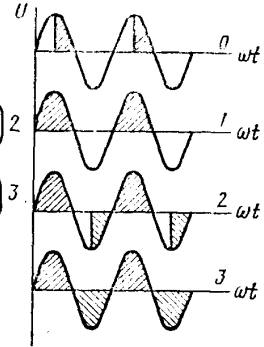
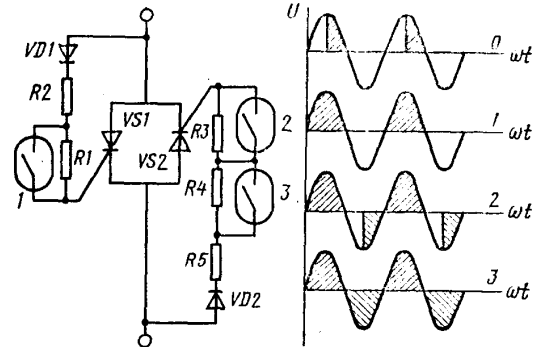


Рис. 11. Схема несимметричного управления встречно-параллельно включенными тиристорами и характер изменения напряжения на нагрузке при последовательном срабатывании герконовых реле

К ценным качествам диодов относится высокая стабильность их параметров во времени. Так, по данным [7], шестимесячные испытания диодов при температуре 70°C и предельном напряжении показали, что сила обратного тока изменилась не более чем на 0,5%.

В условиях сельскохозяйственного производства наибольшей надежностью будет обладать тиристорный ключ, в схеме управления которого нет полупроводниковых приборов. Это обеспечит независимость работы ключа от температуры окружающей среды. Схема такого ключа, обладающая особой стабильностью в работе и позволяющая обеспечить любой закон (экспоненциальный, логарифмический, пропорциональный) изменения напряжения на нагрузке, показана на рис. 10. Несмотря на кажущуюся громоздкость схемы, она предельно проста и содержит, помимо самого тиристорного ключа, релейную матрицу на герконовых реле $KM1...KM4$ типа РЭС-46, снабженных RC цепочками задержки. Каждое такое реле содержит два геркона КЭМ1, имеет небольшие габариты и массу (55 г).

При подаче питания начинается заряд конденсатора $C1$ через резистор $R1$. При возрастании напряжения на конденсаторе $C1$ до напряжения срабатывания реле $KM1$ последнее срабатывает и одним из своих контактов шунтирует часть сопротивления в цепи управляющих электродов тиристора, а другим подает питание на следующее реле $KM2$. Теперь начинается заряд конденсатора $C2$. По истечении некоторого времени $C2$ зарядится до напряжения источника, что приведет к срабатыванию реле $KM2$ и шунтированию следующей части сопротивления в цепи управляющих электродов тиристора.

Этот процесс автоматически повторяется до тех пор, пока не включатся все реле и не будет полностью выведена регулировочная часть сопротивления в цепи управляющих электродов. При одинаковой емкости всех конденсаторов среднее напряжение на нагрузке будет изменяться по линейному закону. Варьируя соотношением величин RC , можно получить любой закон изменения напряжения. Для

плавного изменения среднего напряжения на лампах накаливания достаточно 4—5 герконовых реле.

Релейная матрица на герконах — высокостабильный и надежный элемент, поскольку герконы по своей коммутационной способности приближаются к бесконтактной аппаратуре, а их работа практически не зависит от колебаний температуры и других неблагоприятных воздействий окружающей среды. Хорошие результаты дает несимметричное управление (рис. 11) встречно-параллельно включенными тиристорами (только для активных нагрузок) с помощью описанной релейно-герконовой матрицы. В этом случае можно получить четыре ступени с помощью трех герконовых реле при достаточно глубоком изменении напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунгс Я. А., Твардовский П. М. Автоматизация управления и регулирование напряжения в осветительных установках. М.: Энергия, 1979.
2. А. с. № 708511 (СССР). Оптоэлектронный ключ переменного тока/Авт. изобрет. Гуревич В. И.—Опублик. в БИ № 1, 1980.
3. Водовозова М. Л. Полупроводниковые светодиоды для оптоэлектронных устройств. В кн.: Оптическая и электрооптическая обработка информации, 1972.
4. Вистинь Н. К., Удалов Н. П. Оптрон с управляемым оптическим каналом на жидком кристалле.— Приборы и системы управления, 1973, № 9.
5. Гуревич В. И., Савченко П. И., Таранишин С. И. Исследование тиристорных регуляторов напряжения. В кн.: Электрооборудование сельскохозяйственных комплексов. М.: МИИСП, 1979.
6. Гуревич В. И., Покатаев А. И., Савченко П. И. Исследование работы встречно-параллельно включенных тиристорov с самоуправлением.— Техн. электродинамика, 1982, № 1.
7. Удалов Н. П. Полупроводниковые управляемые сопротивления. М.: Оборонгиз, 1961.

Поступила в редакцию 05.11.79