

### Экономичное управление симистором.

Применение симистора вместо двух, включенных встречно-параллельно, тиристоров во многих случаях более оправдано, так как позволяет снизить габариты и стоимость устройства. Однако, при прочих равных условиях, симисторы требуют большего управляющего тока, что несколько ограничивает их применение в простых бестрансформаторных устройствах, питающихся непосредственно от напряжения сети через элементы, гасящие избыток напряжения.

Журнал "Радио" уже неоднократно освещал проблемы использования симисторного ключа в бестрансформаторных устройствах бытовой автоматики [1, 2]. В этих устройствах для уменьшения тока, необходимого для включения симистора, использованы оптотиристорные или релейные промежуточные элементы. Существенно уменьшить средний открывающий ток позволяет импульсное управление симистором. Подобное решение рассмотрено в [3], где описано устройство управления симистором, формирующее открывающие импульсы в начале каждого полупериода сетевого напряжения. Это устройство успешно работает совместно с активной нагрузкой, но с активно-индуктивной нагрузкой (обмотка электродвигателя или обмотка трансформатора) его работа будет невозможной из-за фазового сдвига между напряжением сети и током в цепи нагрузки, а также из-за ограничения скорости нарастания тока нагрузки (эффект малой нагрузки). Решить задачу можно, если синхронизировать устройство с паузами не напряжения сети, а тока нагрузки, причём в качестве датчика тока нагрузки удобно использовать сам симистор. Суть состоит в следующем: когда между основными выводами 1 и 2 симистора низкое напряжение, т.е. симистор открыт, через него протекает ток, а если между этими выводами присутствует напряжение большее чем 12В, положительной или отрицательной полярности, то он закрыт. Следовательно, в качестве синхронизирующего, нужно использовать напряжение между основными выводами 1 и 2 симистора. При этом, в отличие от традиционных устройств управления, формирующих открывающий ток по принципу "лишь бы не меньше", контроль напряжения на симисторе позволяет заметно снизить средний ток управления, поскольку он автоматически прекращается после открывания симистора.

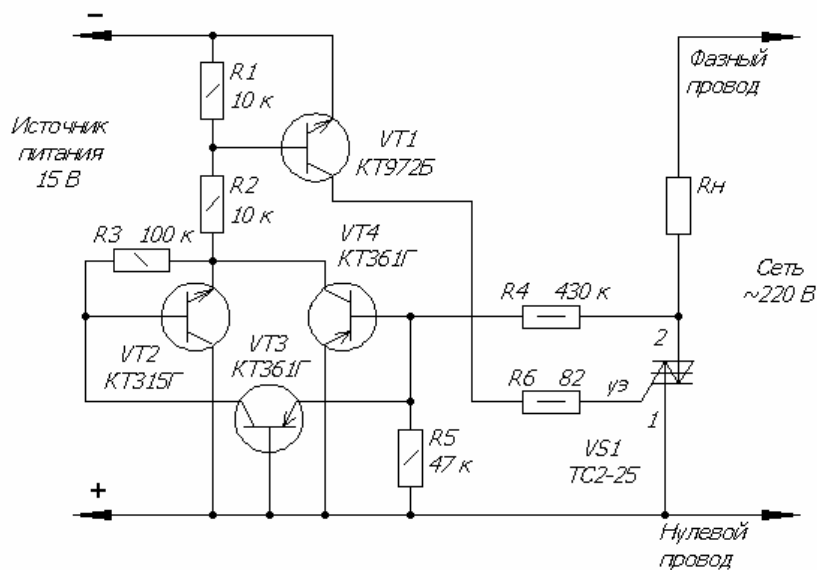


Рис.1

На рис.1 изображена упрощённая схема узла управления симистором, реализующая описанный способ. На выходе датчика состояния симистора, собранного на транзисторах VT2-VT4, резисторах R3-R5 и выполненного по схеме описанной в [4], формируется высокий уровень, если симистор открыт.

Работает узел управления симистором следующим образом:

Как только напряжение между основными выводами 1 и 2 симистора превысит 12 вольт, открывается, в зависимости от полярности, транзистор VT4 или VT2, VT3, которые открывают транзистор VT1. Через него, резистор R6 и управляющий электрод симистора протекает открывающий ток. Значение этого тока определяется сопротивлением резистора R6, и равно примерно 0.15А.

Как только симистор откроется, напряжение на нём уменьшится до 1-1.5 В, что приведёт к закрыванию транзисторов VT1-VT4 и прекращению, открывающего симистор, тока. Если, после открытия, ток через симистор не достигнет величины удержания, что может быть в случае индуктивной или малой активной нагрузки, то симистор закроется и процесс будет повторяться, пока симистор не откроется окончательно. Обычно, в случае активной нагрузки, достаточно одного отпирающего импульса, но в случае активно-индуктивной нагрузки может потребоваться несколько. При этом с активной нагрузкой устройство потребляет

ток примерно 0.3мА, а при наличии индуктивной составляющей нагрузки примерно 3мА. Из сказанного следует, что узел управления адаптируется к типу нагрузки и формирует ток, строго достаточный для отпирания симистора.

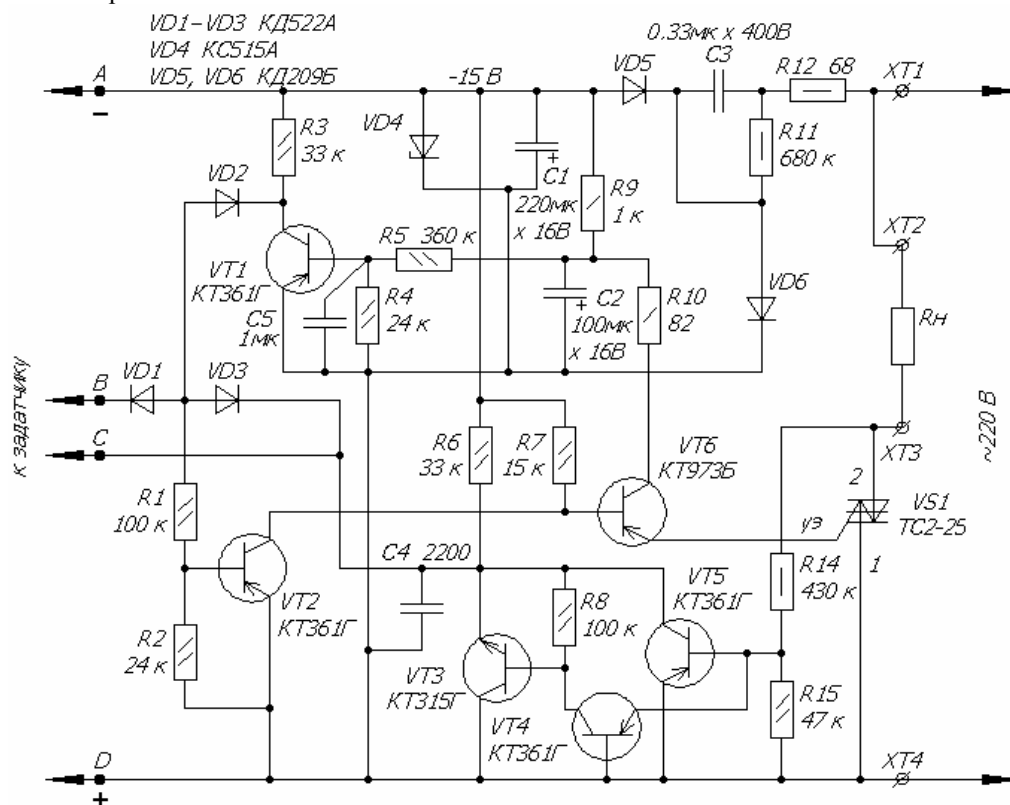


Рис.2

На рис.2 изображена полная схема узла управления симистором. Питается узел непосредственно от сети переменного тока, питающей сопротивление нагрузки  $R_n$ . Это напряжение выпрямляется однополупериодным выпрямителем на диодах VD5, VD6 и стабилизируется на уровне 15В стабилитроном VD4. Избыток сетевого напряжения гасится на конденсаторе C3. Резистор R12 ограничивает величину импульсного тока через диоды выпрямителя, при включении устройства в сеть. Резистор R11 служит для разряда конденсатора C3 после отключения устройства от сети. Конденсатор C1 устраняет пульсацию выпрямленного напряжения.

Стабилизированным напряжением, с контактов А и D, питается задатчик, который и определяет функциональное назначение всего устройства в целом. Задатчик должен потреблять ток не более 7мА в случае активной нагрузки, и не более 5мА при активно-индуктивной с  $\cos\varphi > 0.7$ .

Цепь управления симистором VS1 состоит из конденсатора C2, резистора R10 и транзистора VT6. Напряжение, накопленное на конденсаторе C2, прикладывается к управляющему электроду симистора VS1 через резистор R10 и транзистор VT6. Резистор R10 ограничивает величину отпирающего тока на уровне 0.15А.

Конденсатор C2, в паузах между отпирающими импульсами, заряжается от стабилизированного напряжения, через резистор R9. Одновременно резистор R9, совместно с конденсатором C1, образует RC-фильтр, не допускающий проникновения импульсных помех из цепи управления симистором в цепи питания задатчика и узла управления симистором.

Транзистором VT6 управляет логический элемент ЗИЛИ-НЕ, собранный на транзисторе VT2, диодах VD1-VD3 и резисторах R1, R2 и R7. Высокий, разрешающий управление, уровень на выходе логического элемента будет тогда, когда на вход В узла управления симистором поступит низкий уровень с датчика, когда на симисторе присутствует напряжение 12В и конденсатор C2 заряжен до напряжения 10В, достаточного для отрывания симистора.

Напряжение на симисторе контролирует датчик состояния симистора, собранный на транзисторах VT3-VT5 и резисторах R6, R8, R14 и R15, о работе которого уже было рассказано. С выхода датчика активный сигнал низкого уровня поступает на контакт С, откуда он поступает в узел фазового управления, описанный ниже, и на один из входов логического элемента ЗИЛИ-НЕ.

Напряжение на конденсаторе C2 контролирует узел, собранный на транзисторе VT1 и резисторах R3, R4 и R5. Если конденсатор C2 заряжен до напряжения 10В, то низкий активный уровень с коллектора транзистора VT1 поступает на другой вход элемента ЗИЛИ-НЕ.

Для получения функционально законченного устройства (термостабилизатора, светорегулятора и т.д.), к описанному узлу управления симистором необходимо подключить некий задатчик, который и будет определять общий алгоритм функционирования устройства.

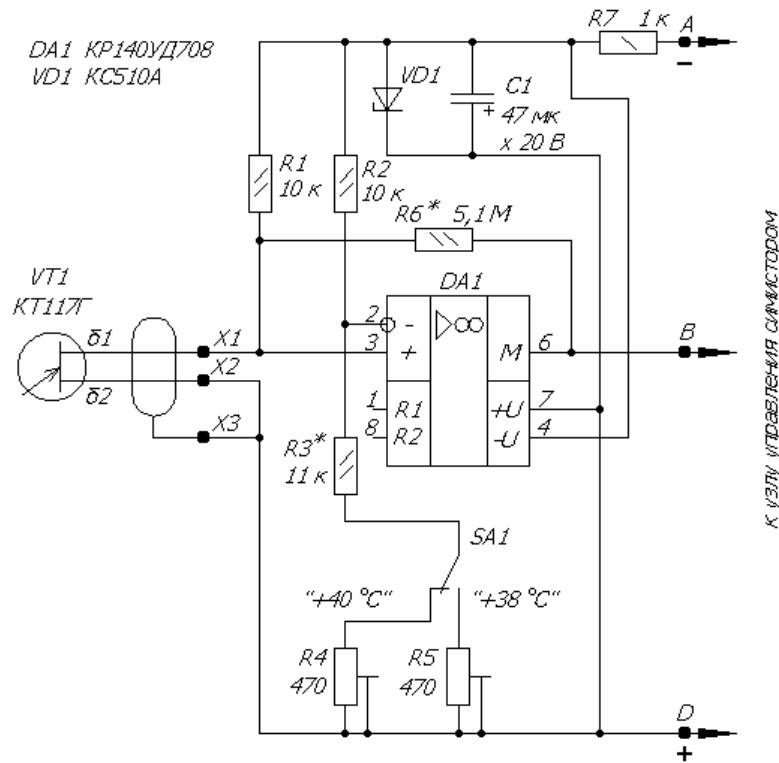


Рис.3

На рис.3 изображена схема датчика, позволяющая, на базе описанного узла управления симистором, построить двухпозиционный термостабилизатор для инкубатора. Датчиком температуры термостабилизатора служит однопереходной транзистор VT1. Длительный опыт эксплуатации транзистора KT117 в подобном режиме показал, что он обладает хорошей чувствительностью и временной стабильностью и как нельзя лучше подходит для такой роли. Межбазовое сопротивление транзистора VT1 включено в плечо измерительного моста, состоящего из резисторов R1, R2, R3 и подстроечного резистора R4 или R5, в зависимости от положения переключателя SA1. Напряжение моста поступает на вход компаратора на ОУ DA1. Резистор R6 обеспечивает температурный гистерезис около  $\pm 0.25^\circ\text{C}$ . При необходимости его можно корректировать. Измерительный мост и ОУ питаются от параметрического стабилизатора VD1R7. При использовании транзистора KT117 с другим буквенным индексом необходимо произвести грубую балансировку моста подборкой резистора R3. Резистором R4 мост точно балансируют при температуре  $+40^\circ\text{C}$ , а с помощью R5 при температуре  $+38^\circ\text{C}$ .

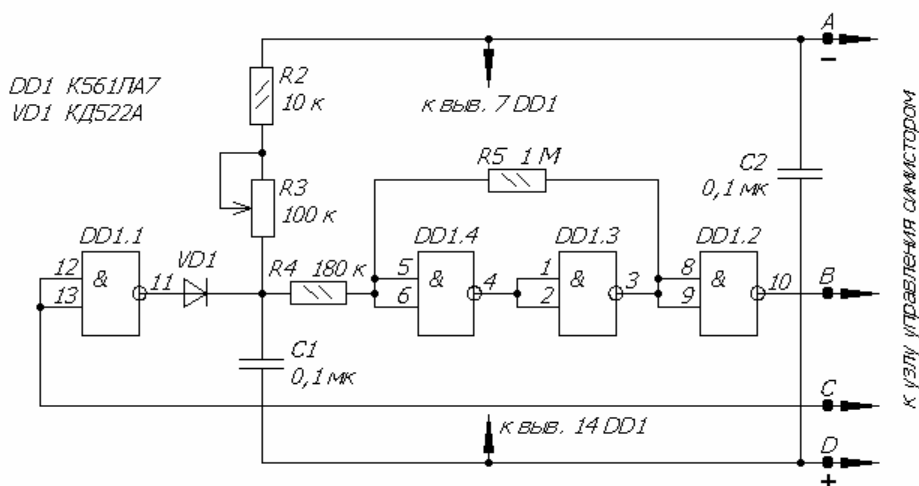


Рис.4

Иногда возникает необходимость плавно регулировать яркость свечения ламп, температуру в электропечи или частоту вращения ротора коллекторного электродвигателя ручной дрели. Способ управления, позволяющий регулировать средний за период ток, проходящий в нагрузке, получил название фазового регулирования (или фазового управления), поскольку при этом изменяется сдвиг фазы между началом полупериода напряжения на

симисторе и началом протекания тока [5]. На рис.4 изображена схема задатчика, позволяющая осуществлять фазовое управление симистором.

Принцип работы задатчика основан на снятии сигнала синхронизации с узла управления (с контакта **С**) и трансляции его, с регулируемой задержкой, на один из входов логического элемента ЗИЛИ-НЕ (на контакт **В**).

Регулируемую задержку реализует устройство собранное на четырёх логических элементах, включенных инверторами. Инвертор DD1.1, посредством последовательной цепи, состоящей из диода VD1 и резистора R1, удерживает конденсатор C1 в разряженном состоянии, пока на симисторе отсутствует напряжение (или пауза, или симистор открыт). В момент появления на симисторе напряжения 12 В высокий минусовый уровень элемента DD1.1 закрывает диод VD1 и начинается зарядка конденсатора C1 через резисторы R2, R3. Как только напряжение на конденсаторе C1 достигнет порога срабатывания триггера Шмидта, собранного на инверторах DD1.3, DD1.4 и резисторах R4, R5, он переключится. Высокий уровень на выходе триггера Шмидта проинвертируется элементом DD1.2 и поступит на вход (контакт **В**) узла управления симистором. Резистор R1 замедляет разрядку конденсатора C1, что позволяет сформировать серию открывающих импульсов, в случае активно-индуктивной нагрузки. Вместо микросхемы K561ЛА7, в схеме задатчика можно использовать микросхему K561ЛЕ5.

**Детали:** Узел управления был испытан с симисторами типов ТС2-10, ТС2-16, ТС2-25, ТС112-10, ТС112-16, ТС122-25. Без всякого предварительного отбора все они устойчиво открывались. При использовании других симисторов рекомендуется подобрать резистор R10, в цепи управляющего электрода, с тем, чтобы получить необходимый открывающий ток управления, рекомендуемый справочной литературой, например [6].

#### **Литература:**

1. Бирюков С. Программируемый термостабилизатор. – Радио, 1999, №1, с. 36, 37.
2. Гизатуллин Ш. Универсальный терморегулятор для овощевода-любителя. – Радио, 2001, №4, с.33, 34.
3. Бирюков С. Симисторный термостабилизатор. – Радио, 1998, №1, с.50, 51.
4. Д. Г. Детектор нуля. – Млад Конструктор, 1987, №2, с. 16.
5. Кублановский Я. С. Тиристорные устройства. –М.: “Радио и связь”, 1987, с. 26-28.
6. Замятин В. Я., Кондратьев Б. В., Петухов В. М.. Справочник. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры. –М.: “Радио и связь”, 1988.