

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВКЛЮЧЕНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ

А. В. Мускатыньев, А. А. Орлов

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения прибора для измерения времени включения силовых тиристорov. Основой прибора является микроконтроллер фирмы Atmel ATmega8, позволяющий упростить управляющую часть аппаратуры за счет использования одной из функций таймера – режима захвата.

Ключевые понятия: силовой тиристор, время задержки, время включения, режим захвата таймера.

Постановка задачи

При проектировании и эксплуатационном обслуживании ряда преобразовательных устройств с применением силовых тиристорах возникает необходимость количественной оценки одного из динамических параметров тиристора - времени включения (t_{gt}). Такая необходимость существует как для низкочастотных тиристорov, так и для высокочастотных. Это обусловлено наличием специфических устройств преобразовательной техники, включающих в себя последовательное соединение тиристорov с принудительным распределением напряжений - высоковольтных ключей, питающихся напряжением 3, 6 или 10 кВ от сети переменного или постоянного тока. Если в такой группе последовательно соединенных тиристорov имеется прибор с наименьшим временем включения, то он включается первым после подачи импульса управления, а его блокирующее напряжение распределяется между оставшимися. Это может привести к тому, что один или несколько из оставшихся тиристорov дополнительно могут включиться по аноду, что приводит к появлению в полупроводниковой структуре тиристора областей с высокой плотностью тока, в которой выделяется большая энергия, приводящая к перегреву и к последующему разрушению тиристора ¹. Подбор тиристорov с наименьшим разбросом по времени включения позволяет существенно повысить надежность высоковольтных ключей. Ряд тиристорных высоковольтных преобразователей, эксплуатирующихся на металлургических, энергетических и других предприятиях, имеют несовершенную систему управления, формирующую импульс тока управления тиристорами с недостаточной крутизной переднего фронта. Подбор тиристорov по времени включения в определенной степени позволяет компенсировать недостатки системы управления преобразователя, если ее невозможно модернизировать ².

На рис.1 показан процесс включения, предварительно смещенного с помощью анодного напряжения U_a , тиристора после подачи на управляющий

электрод импульса управления I_g . Параметр t_{gt} состоит из двух составляющих: времени задержки t_{gd} и времени нарастания $t_{нар}$. Время задержки t_{gd} включения по управляющему электроду это интервал времени ограниченный моментом, когда управляющий импульс, приложенный к управляющему электроду, достигнет 10% относительно максимального уровня, и моментом, когда анодное напряжение снижается до 90% относительно начального. Время нарастания t_{gr} – это интервал времени между моментом, когда анодное напряжение на тиристоре равно 90% и моментом, когда оно снижается до уровня 10% относительно начального.

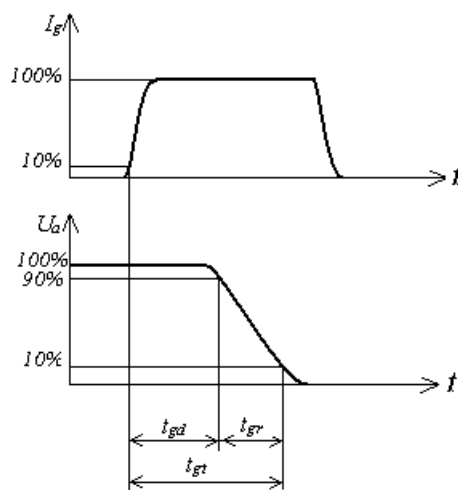


Рис. 1. Иллюстрация процесса включения тиристора

Таким образом, $t_{gt} = t_{gd} + t_{gr}$. Следует отметить, что только для высокочастотных тиристорov паспортным параметром является время включения, хотя этот параметр важен и для низкочастотных тиристорov по причинам, указанным ранее.

Из рис. 1 видно, что процесс измерения времени включения тиристора сводится к задаче определения длительности интервала времени, границы которого определяются известными условиями.

В настоящем докладе обсуждается структура установки, предназначенной для измерения времени включения силовых тиристорov серий: T143, T153, T253, а также других, лежащих в соответствующем диапазоне предельных токов 400, 500, 630 и 800 А. Начальное анодное напряжение равно 300 В.

Метод решения

Требования к структурной схеме устройства (рис. 2) для измерения времени включения определяются соответствующим ГОСТом³. На схеме рис.2 приняты следующие обозначения:

1 – зарядный блок; 2 – источник управляющих импульсов; ИТ – испытуемый тиристор; С – накопительный конденсатор; R1 – зарядный резистор; R2 – разрядный резистор; N – осциллограф.

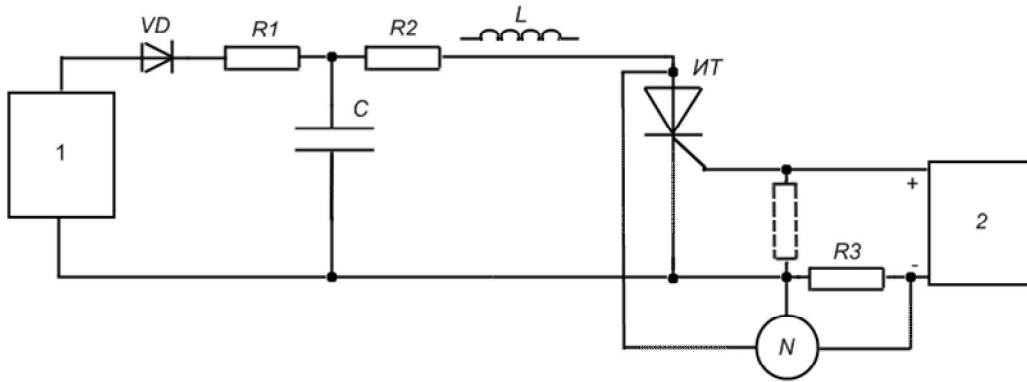


Рис. 2. Структурная схема устройства для определения времени включения

Перед включением испытуемого тиристора необходимо задать на его аноде начальное напряжение (100 В, 300 В или иное по требованию заказчика напряжение), что достигается с помощью заряженного конденсатора С, величина которого определяется из условия:

$$\tau = R2 * C \geq 10 t_{gr}$$

Далее блок 2 формирует управляющий импульс. Он должен иметь достаточно высокую скорость нарастания тока (выше 1 А/мкс) и амплитуду более 1А. Поэтому, с целью упрощения измерительной аппаратуры, на практике время включения силовых тиристорov начинают измерять одновременно с началом подачи импульса управления в цепь управляющего электрода тиристора, полагая появившуюся ошибку измерения незначительной. Тем не менее, при использовании в аппаратуре микроконтроллера указанную ошибку можно достаточно просто скомпенсировать программными средствами. Для объективного измерения времени включения t_{gr} контур разряда емкости С должен быть мало индуктивным, хотя по требованию заказчика эта индуктивность может присутствовать для имитации паразитных параметров в реальной схеме (например, индуктивности рассеяния трансформатора, паразитной индуктивности силовых проводов и др.).

В обсуждаемом приборе задача определения времени включения сводится к измерению длительности интервала времени пропорционального t_{gr} . Для повышения надежности и снижения стоимости установки используется современный микроконтроллер (МК) фирмы Atmel АТmega8, который, также как и ряд других современных контроллеров, обладает важной функцией, подходящей для измерения длительности интервала времени. Это – функция захвата, реализуемая в таймере Т1 микроконтроллера⁴. На рис.3 для описания процесса захвата показаны только узлы, имеющие непосредственное отношение к данному режиму. Их обозначения следующие:

TCNT1 – 16-разрядный счетный регистр;

ICR1 – 16-разрядный регистр захвата (каждый из 16-разрядных регистров физически размещается в двух 8-разрядных: младшем L и старшем H);

ПС – пересчетная схема;

КС – ключевая схема;

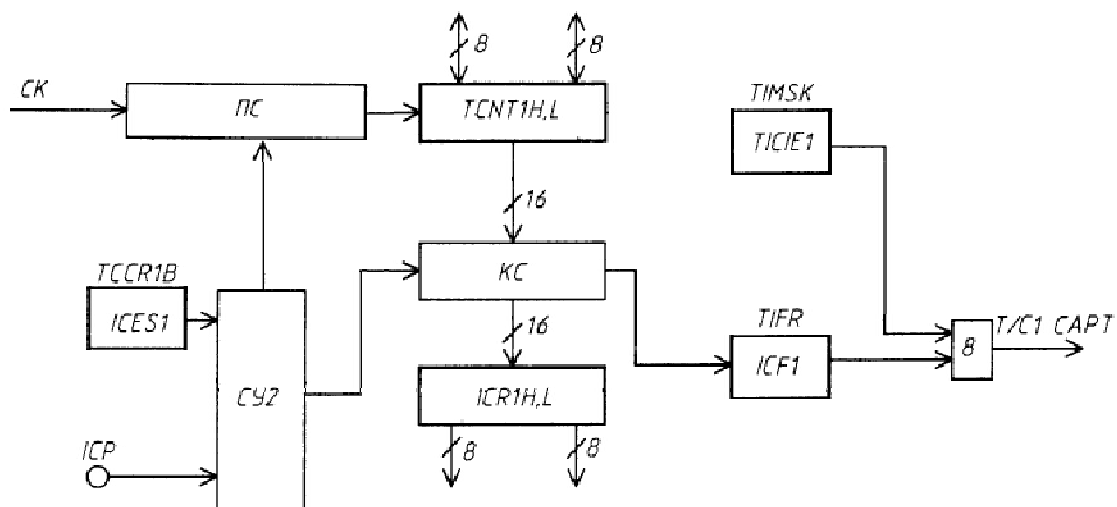


Рис. 3. Структурная схема таймера Т1 микроконтроллера с функцией захвата

СУ2 – схема управления процессом записи кода;

ICP – внешний входной сигнал, по фронту которого осуществляется процесс захвата;

ICES1 – разряд 8-разрядного регистра управления TCCR1B, отвечающий за выбор активного фронта сигнала ICP;

TICIE1 – флаг разрешения (разряд 8-разрядного регистра TIMSK) прерывания по событию «захват» таймера Т1;

ICF1 – флаг (разряд 8-разрядного регистра TIFR) прерывания по событию «захват» таймера Т1.

В программном модуле инициализации таймера необходимо предусмотреть разрешение прерывания, выбрать тактовый сигнал таймера с помощью пересчетной схемы, определить активный фронт внешнего сигнала ICP, настроить на ввод соответствующий вывод порта для указанного сигнала ICP.

Суть процесса захвата заключается в следующем. Программный запуск таймера для подсчета импульсов синхронизации осуществляется одновременно с началом формирования импульса управления на испытуемый тиристор. В момент снижения анодного напряжения до уровня 10% относительно начального на одном из входов микроконтроллера (ICP) формируется сигнал, по фронту которого содержимое базового регистра TCNT1 через ключевую схему КС, переписывается в регистр захвата ICR1. По этому же событию для блока прерываний генерируется запрос на прерывание Т/С1 CAPT, приводящий к формированию соответствующего вектора прерывания. В подпрограмме обработки прерывания можно останавливать базовый счетчик, сбрасывать его в ноль, извлекать содержимое регистра ICR1 и выполнять другие действия, необходимые для правильного функционирования аппаратуры.

Точность измерения времени включения при таком подходе зависит от частоты тактовых импульсов, приходящих на базовый счетчик. Здесь используется максимальная частота тактирования 10 МГц что соответствует, периоду тактовых импульсов 100 нс (хотя микроконтроллер данного типа способен ра-

ботать и на 16 МГц). Эта величина является погрешностью измерения времени включения. Например, для времени включения порядка 10 мкс относительная погрешность составляет 1%. Код, записанный в регистр захвата, в дальнейшем преобразуется в двоично-десятичный эквивалент времени включения, который высвечивается на цифровом табло.

Следует иметь в виду, что между появлением сигнала ИСР и копированием счетного регистра таймера в регистр захвата проходит определенное время, определяемое работой схемы детектора фронта. Это время составляет порядка 2-3 машинных цикла (200 – 300 нс). Поэтому для достижения минимальной погрешности измерения следует программным путем компенсировать это увеличение t_{gr} .

Структурная схема установки представлена на рис. 4. Управляющим элементом всей установки является микроконтроллер, выполняющий следующие функции:

1. Управляет зарядным блоком, через который заряжается силовой конденсатор генератора тока. Контроль уровня заряда конденсатора осуществляется с помощью внутреннего компаратора.

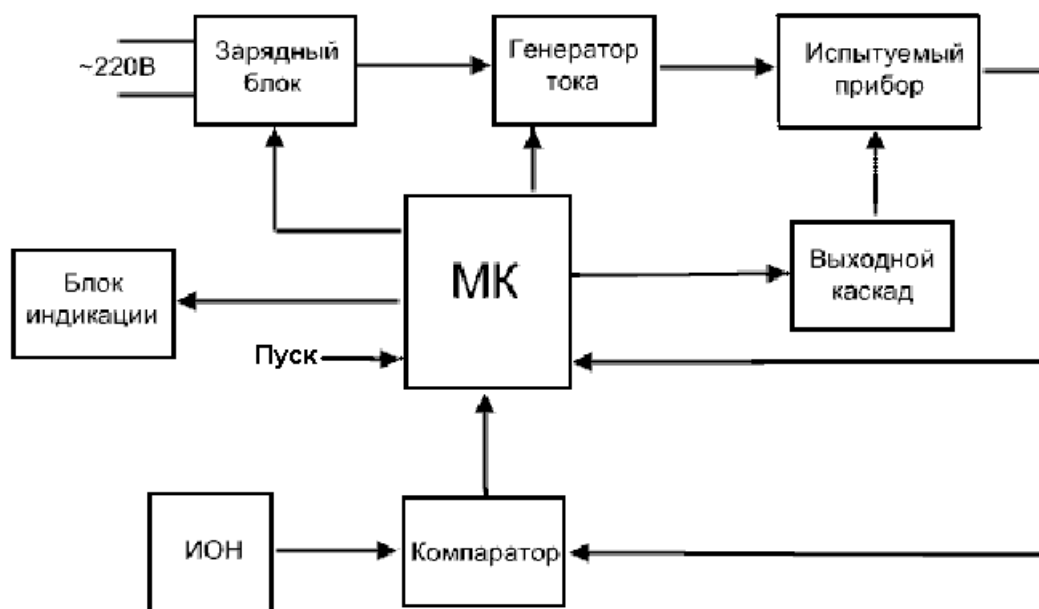


Рис. 4. Структурная схема установки для измерения времени включения

2. Формирует управляющий импульс, который через выходной каскад воздействует на испытуемый тиристор и открывает его.

3. Преобразует код регистра захвата в вид удобный для воспроизведения на цифровом табло.

4. Выполняет ряд сервисных функций по предотвращению и индикации аварийных режимов, например режима короткого замыкания и холостого хода.

Рассмотрим схемотехнические решения узлов, входящих в структурную схему рис. 4.

Принципиальная схема зарядного блока совместно с силовым конденсатором представлена на рис. 5.

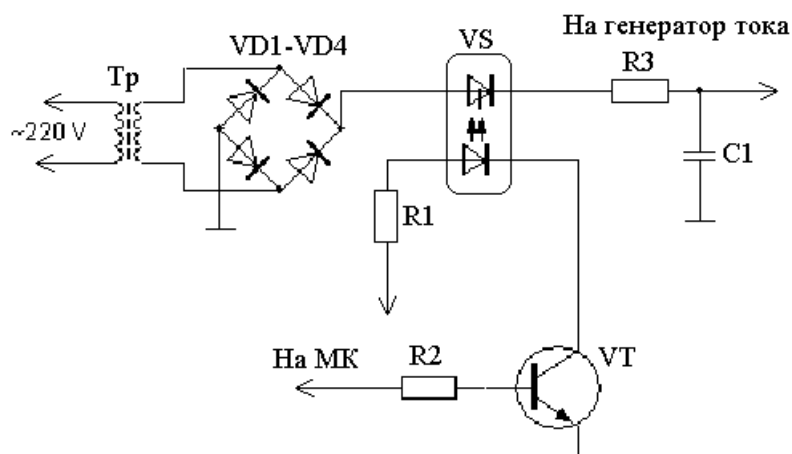


Рис. 5. Принципиальная схема зарядного блока установки

Тиристорный оптрон VS, управляемый от МК через транзисторный ключ VT, осуществляет коммутацию зарядного напряжения с выхода трансформатора Tr через резистор R3 к конденсатору C1. При проектировании зарядного блока следует обратить внимание на выбор конденсатора C1, работающего в режиме больших импульсных токов.

Принципиальная схема генератора тока с испытуемым тиристором и компаратором представлены на рис. 6. Генератор выполнен по простейшей схеме с токозадающими резисторами R1-R4, коммутируемыми мощным контактом SA. Быстродействующий компаратор DA1, формирующий сигнал переписи кода в регистр захвата, следит за анодным напряжением на тиристоре и формирует падающий активный фронт для входа ICP МК. Сигнал с выхода делителя R7 – R8 используется также и для внутреннего компаратора микроконтроллера для осуществления заряда силового конденсатора до номинального начального напряжения 300 В.

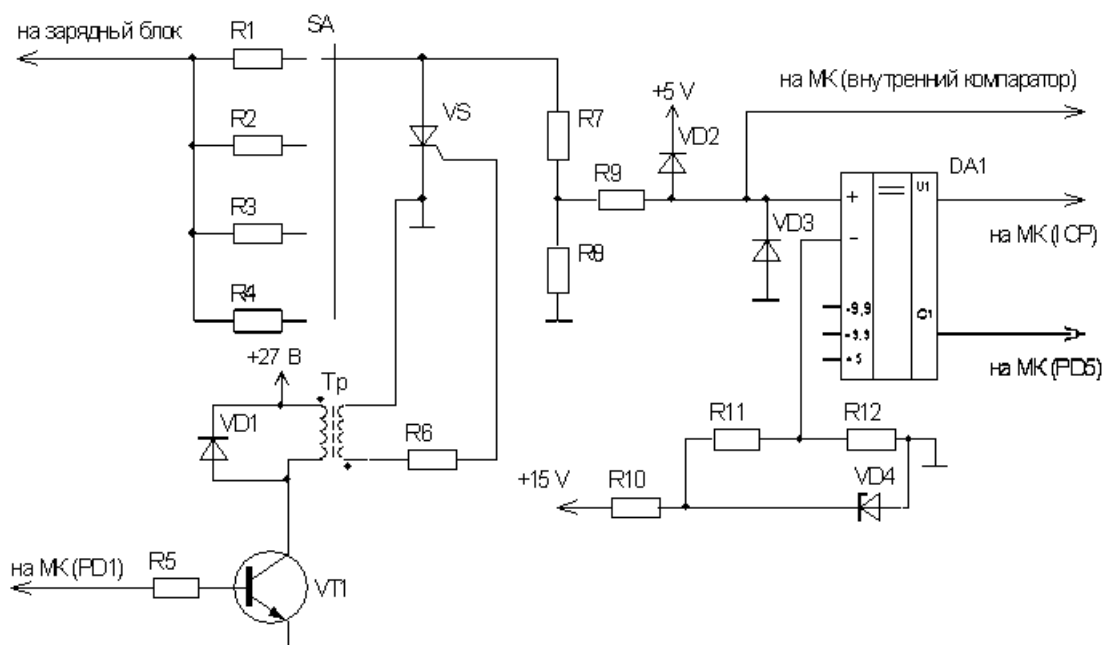


Рис. 6. Принципиальная схема генератора тока с испытуемым тиристором и компаратором

Для отображения количественного значения времени включения используется динамическая трехразрядная индикация с непосредственным управлением от микроконтроллера, принципиальная схема которой представлена на рис. 7. Идея, лежащая в основе работы этой схемы очень проста – человеческий глаз достаточно инерционен, поэтому можно зажигать не все индикаторы одновременно, а только один из них, потом через короткое время другой и так далее. Однако следует задавать ток через сегменты в 3 раза выше номинального, чтобы не уменьшилась яркость свечения. В схеме используются суперяркие 7-сегментные индикаторы с общим катодом фирмы KING BRIGHT, имеющие достаточное контрастное свечение при статическом токе 5 мА на сегмент. Выходы портов МК допускают нагрузку выходным током до 20 мА, что достаточно для непосредственного управления 3-разрядным индикатором без использования усилителей тока. Стробирование разрядов индикатора осуществляется с помощью транзисторных ключей VT1 – VT3. Частота работы каждого ключа порядка 60 Гц, а частота смены информации на индикаторе – 180 Гц.

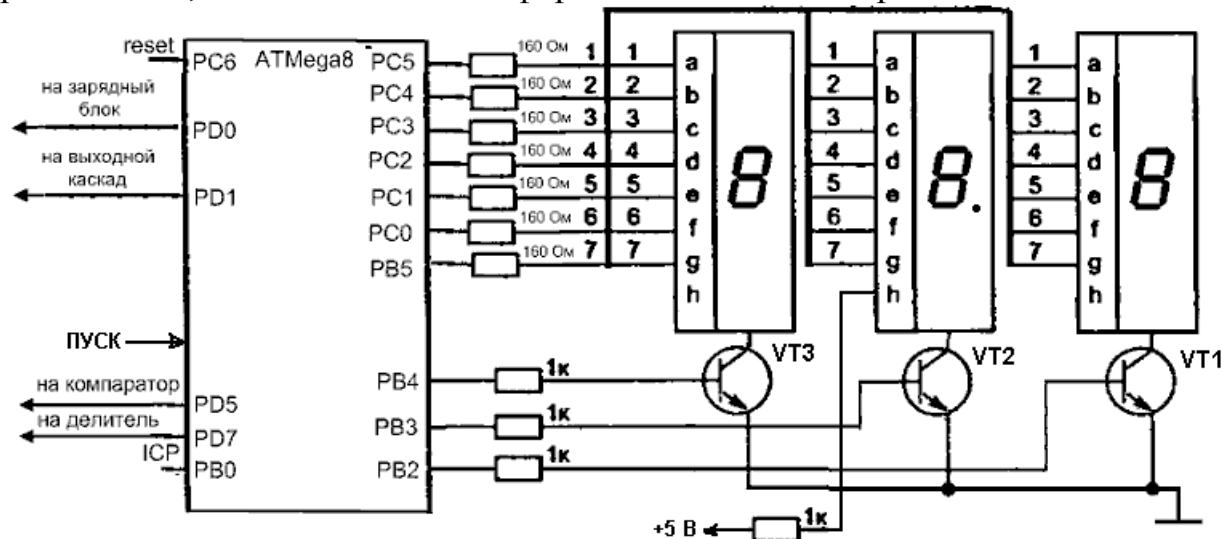


Рис. 7. Принципиальная схема блока динамической индикации

Заключение

Применение микроконтроллера в рассмотренной аппаратуре позволило реализовать основные функции устройства для измерения времени включения силовых тиристоров программным способом, что существенно сократило аппаратную часть прибора, повысило его надежность и улучшило массогабаритные показатели. Однако главной особенностью аппаратуры подобного рода является применение громоздкой силовой части, которая, в основном, определяет массогабаритные показатели. Тем не менее ориентировочная масса прибора не превышает 8 кг, что позволяет использовать его в виде переносного автономного варианта и применять для подбора тиристоров в организациях и предприятиях, разрабатывающих и эксплуатирующих мощные энергетические установки.

Список использованной литературы

¹ См.: Тейлор, П. Расчет и проектирование тиристоров / П. Тейлор. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.

² См.: Волошин, С. Новое решение старой задачи / С. Волошин, А. Федоров // Компоненты и технологии. – 2004. – № 9. – С. 28–29.

³ См.: ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний; введен с 01.01.82. – М. : Изд – во стандартов, 1981. – 55 с.

⁴ См.: Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы «Atmel» / А. В. Евстифеев. – М.: Издательский дом «ДОДЭКА-XXI», 2004. – 560 с.

Сведения об авторах

Мускатиньев Александр Валентинович – кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева, e-mail: muskatav@mail.ru

Орлов Андрей Александрович – студент Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, e-mail: orlovaa@mail.ru