

Тиристорное устройство плавного пуска асинхронного электродвигателя

Александр Ситников (Кировская обл.)

Рассматриваемая в статье схема позволяет осуществить безударный пуск и торможение электродвигателя, увеличить срок службы оборудования и снизить нагрузку на электросеть. Плавный пуск достигается путём регулирования напряжения на обмотках двигателя силовыми тиристорами.

Устройства плавного пуска (УПП) широко применяются в различных электроприводах. Структурная схема разработанного УПП приведена на рисунке 1, а диаграмма работы УПП – на рисунке 2. Основой УПП являются три пары встречно-параллельных тиристоров VS1 – VS6,

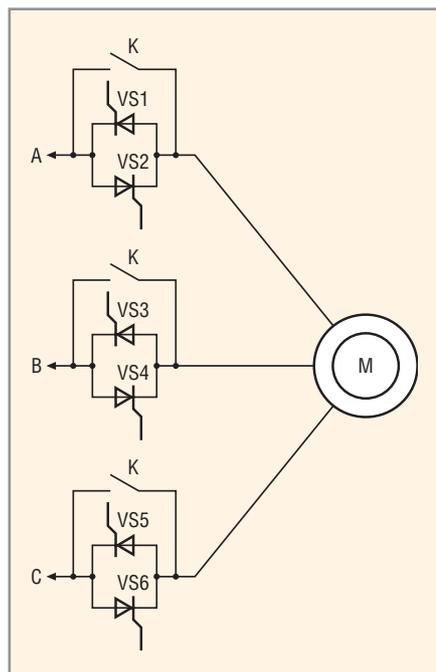


Рис. 1. Структурная схема УПП

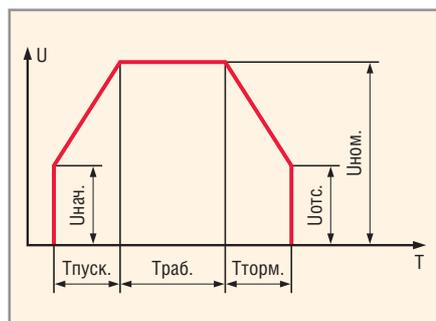


Рис. 2. Диаграмма работы УПП

включенных в разрыв каждой из фаз. Плавный пуск осуществляется за счёт постепенного увеличения прикладываемого к обмоткам электродвигателя сетевого напряжения от некоторого начального значения $U_{нач}$ до номинального $U_{ном}$. Это достигается путём постепенного увеличения угла проводимости тиристоров VS1 – VS6 от минимального значения до максимального в течение времени $T_{пуск}$, называемого временем пуска.

Обычно значение $U_{нач}$ составляет 30...60% от $U_{ном}$, поэтому пусковой момент электродвигателя существенно меньше, чем в случае подключения электродвигателя на полное напряжение сети. При этом происходит постепенное натяжение приводных ремней и плавное зацепление зубчатых колес редуктора. Это благоприятно сказывается на снижении динамических нагрузок электропривода и, как следствие, способствует продлению срока службы механизмов и увеличению интервала между ремонтами.

Применение УПП также позволяет снизить нагрузку на электросеть, поскольку в этом случае пусковой ток электродвигателя составляет 2 – 4 номинала тока двигателя, а не 5 – 7 номиналов, как при непосредственном пуске. Это важно при питании электроустановок от источников энергии ограниченной мощности, например, дизель-генераторных установок, источников бесперебойного питания и трансформаторных подстанций малой мощности (особенно в сельской местности). После завершения пуска тиристоры шунтируются байпасом

(обходным контактором) К, благодаря чему в течение времени Траб на тиристорах не рассеивается мощность, а значит, экономится электроэнергия.

При торможении двигателя процессы происходят в обратном порядке: после отключения контактора К угол проводимости тиристоров максимален, напряжение на обмотках электродвигателя равно сетевому за вычетом падения напряжения на тиристорах. Затем угол проводимости тиристоров в течение времени Тторм уменьшается до минимального значения, которому соответствует напряжение отсечки $U_{отс}$, после чего угол проводимости тиристоров становится равным нулю и напряжение на обмотки не подаётся. На рисунке 3 приведены диаграммы тока одной из фаз двигателя при постепенном увеличении угла проводимости тиристоров.

На рисунке 4 приведены фрагменты принципиальной электрической схемы УПП. Полностью схема приведена на сайте журнала. Для её работы требуется напряжение трех фаз А, В, С стандартной сети 380 В частотой 50 Гц. Обмотки электродвигателя при этом могут быть соединены как «звездой», так и «треугольником».

В качестве силовых тиристоров VS1 – VS6 применены недорогие приборы типа 40TPS12 в корпусе ТО-247 с прямым током $I_{пр} = 35$ А. Допустимый ток через фазу составляет $I_{доп} = 2I_{пр} = 70$ А. Будем считать, что максимальный пусковой ток составляет $4I_{ном}$, откуда следует, что $I_{ном} < I_{доп}/4 = 17,5$ А. Просматривая стандартный ряд мощностей электродвигателей, находим, что к УПП допустимо подключать двигатель мощностью 7,5 кВт с номинальным током фазы $I_{н} = 15$ А. В случае, если пусковой ток превысит $I_{доп}$ (по причине подключения двигателя большей мощности или слишком малого

времени пуска), процесс пуска будет остановлен, поскольку сработает автоматический выключатель QF1 со специально подобранной характеристикой.

Параллельно тиристорам подключены демпфирующие RC-цепочки R48, C20, C21, R50, C22, C23, R52, C24, C25, предотвращающие ложное включение тиристоров, а также варисторы R49, R51 и R53, поглощающие импульсы перенапряжения свыше 700 В. Обходные реле K1, K2, K3 типа TR91-12VDC-SC-C с номинальным током 40 А шунтируют силовые тиристоры после завершения пуска.

Питание системы управления осуществляется от трансформаторного блока питания, запитанного от межфазного напряжения $U_{\text{ан}}$. В блок питания входят понижающие трансформаторы TV1, TV2, диодный мост VD1, токоограничивающий резистор R1, сглаживающие конденсаторы C1, C3, C5, помехоподавляющие конденсаторы C2, C4, C6 и линейные стабилизаторы DA1 и DA2, обеспечивающие напряжение 12 и 5 В соответственно.

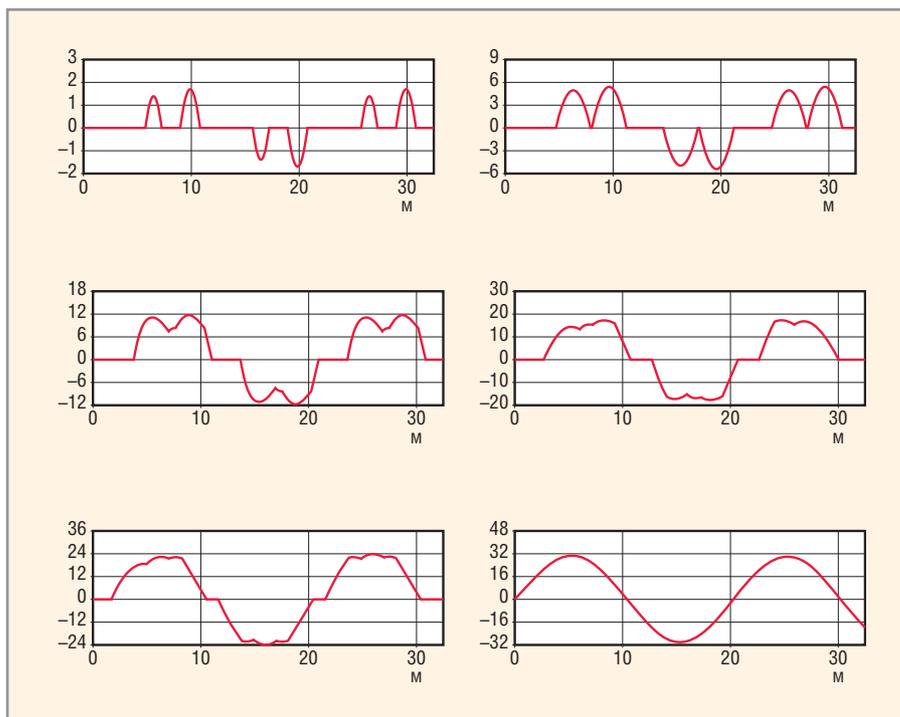


Рис. 3. Диаграмма тока в одной фазе двигателя при пуске

Система управления построена с применением микроконтроллера DD1 типа PIC16F873. Микроконтроллер выдаёт импульсы управления тиристорами VS1 – VS6 путём

«зажигания» оптосимисторов OPT5-OPT10 (MOC3052). Для ограничения тока в цепях управления тиристоров VS1 – VS6 служат резисторы R36 – R47. Импульсы управления по-

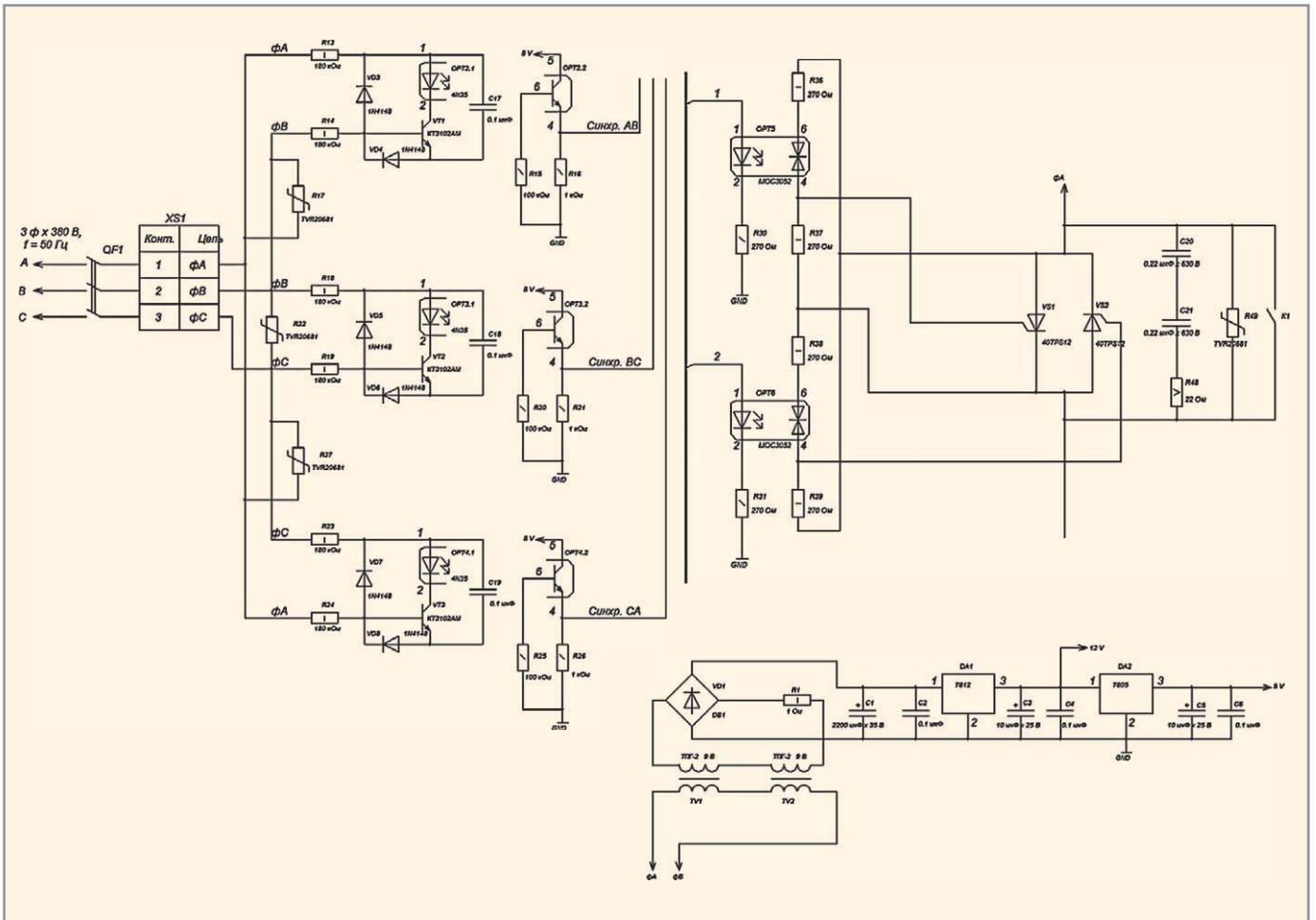


Рис. 4. Фрагменты принципиальной электрической схемы УПП

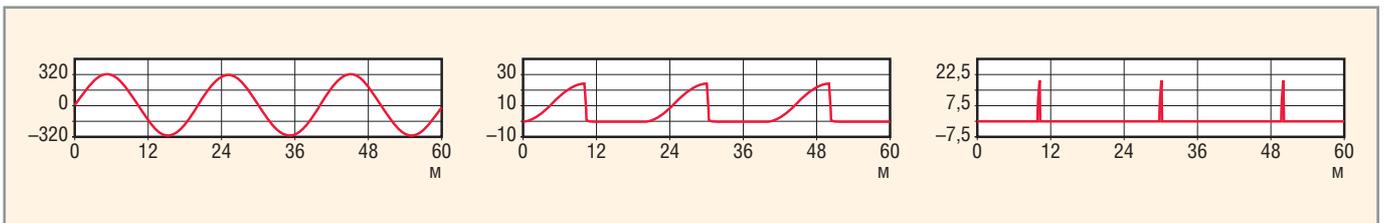


Рис. 5. Диаграмма работы узла синхронизации

даются одновременно на два тиристора с задержкой относительно начала полуволны межфазного напряжения. Цепи синхронизации с сетевым напряжением состоят из трёх однотипных узлов, состоящих из зарядных резисторов R13, R14, R18, R19, R23, R24, диодов VD3 – VD8, транзисторов VT1 – VT3, накопительных конденсаторов C17 – C19 и оптопар OPT2 – OPT4. С выхода 4 оптопар OPT2, OPT3, OPT4 на входы микроконтроллера RC2, RC1, RC0 поступают импульсы длительностью примерно 100 мкс, соответствующие началу отрицательной полуволны фазных напряжений U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} .

Диаграммы работы узла синхронизации приведены на рисунке 5.

Если принять верхний график за сетевое напряжение U_{ab} , то средний график будет соответствовать напряжению на конденсаторе C17, а нижний – току через фотодиод оптопары OPT2. Микроконтроллер регистрирует поступающие на его входы синхроимпульсы, определяет наличие, порядок чередования, отсутствие «слипания» фаз, а также производит расчёт времени задержки импульсов управления тиристорами. Входы цепей синхронизации защищены от перенапряжения варисторами R17, R22 и R27.

С помощью потенциометров R2, R3, R4 задаются параметры, соответствующие диаграмме работы УПП, приведённой на рисунке 2; соответственно R2 – $T_{пуск}$, R3 – $T_{торм}$, R4 – $U_{нач}$ и

$U_{отс}$. Напряжения уставок с движков R2, R3, R4 поступают на входы RA2, RA1, RA0 микросхемы DD1 и преобразуются с помощью АЦП. Время пуска и торможения регулируется в пределах от 3 до 15 с, а начальное напряжение – от нуля до напряжения, соответствующего углу проводимости тиристора в 60 электрических градусов. Конденсаторы C8 – C10 – помехоподавляющие.

Команда «ПУСК» подаётся путём замыкания контактов 1 и 2 разъёма XS2, при этом на выходе 4 оптопары OPT1 появляется лог. 1; конденсаторы C14 и C15 производят подавление колебаний, возникающих вследствие «дребезга» контактов. Разомкнутому положению контактов 1 и 2 разъёма XS2 соответствует команда «СТОП».

Коммутацию цепи управления запуском можно реализовать кнопкой с фиксацией, тумблером или контактами реле.

Силовые тиристоры защищены от перегрева термостатом В1009N с нормально-замкнутыми контактами, размещёнными на теплоотводе. При достижении температуры 80°C контакты термостата размыкаются, и на вход RC3 микроконтроллера поступает уровень лог. 1, свидетельствующий о перегреве.

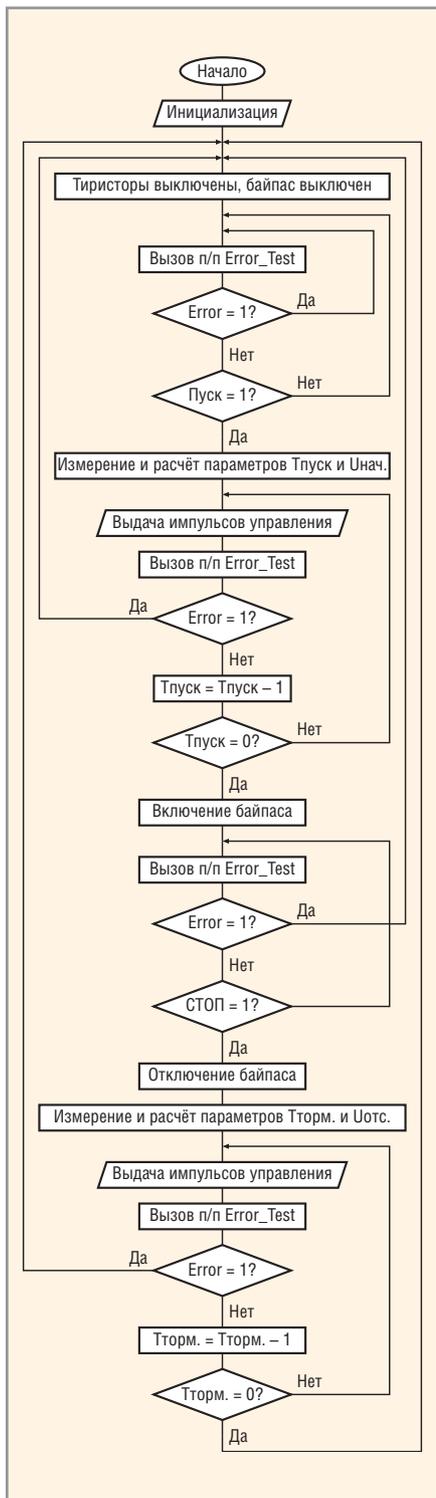


Рис. 6. Алгоритм работы УПП

Светодиоды HL1, HL2, HL3 служат индикаторами следующих состояний:

- HL1 (зелёный) «Готовность» – отсутствие аварийных состояний, готовность к запуску;
- HL2 (зелёный) «Работа» – мигающий светодиод означает, что УПП производит пуск или торможение двигателя, постоянное свечение – работа на байпase;
- HL3 (красный) «Авария» – свидетельствует о перегреве теплоотвода, отсутствии или «слипании» фазных напряжений.

Включение обходных реле K1, K2, K3 производится путём подачи микроконтроллером лог. 1 на базу транзистора VT4.

Программирование микроконтроллера – внутрисхемное, для чего используется разъём XS3, диод VD2 и микропереключатель Дж1. Элементы ZQ1, C11, C12 образуют цепь запуска тактового генератора, R5 и C7 – цепь сброса по питанию, C13 осуществляет фильтрацию помех по шинам питания микроконтроллера.

На рисунке 6 приведён упрощённый алгоритм работы УПП. После инициализации микроконтроллера вызывается подпрограмма Error_Test, которая определяет наличие аварийных ситуаций: перегрев теплоотвода, невозможность синхронизироваться с сетевым напряжением вследствие потери фазы, неверного подключения к сети или сильных помех. Если аварийная ситуация не фиксируется, то переменной Error присваивается значение «0», после возврата из подпрограммы загорается светодиод «Готовность», и схема переходит в режим ожидания команды «ПУСК». После регистрации команды «ПУСК» микроконтроллер производит аналого-цифровое преобразование напряжений уставок на потенциометрах и расчёт параметров $T_{пуск}$ и $U_{нач}$, после чего выдаёт импульсы управления силовыми тиристорами. По окончании пуска включается байпас. При торможении двигателя процессы управления выполняются в обратном порядке.

