НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера СО РАН

О.В. Беликов, Э.Л. Неханевич, Ш.Р. Сингатулин

ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ **ШД5**

ИЯФ-2002-66

НОВОСИБИРСК
2002

Электропривод для шагового двигателя ШД5

О.В.Беликов, Э.Л. Неханевич, Ш.Р. Сингатулин

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера, СО РАН
630090, Новосибирск

Аннотация

Электропривод ЭШД5 для шагового двигателя ШД5 выполнен в виде блока шириной 40 мм, который устанавливается в конструктив ВИШНЯ. Блок предназначен для непосредственного управления шаговым двигателем типа ШД-5Д1МУЗ. Управляющая логика выполнена на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) и обеспечивает оптимальный алгоритм управления. Реализован режим работы двигателя “с дроблением”, что дает возможность значительно снизить пульсации силового момента ротора. Силовая часть ЭШД5 выполнена на полевых транзисторах, что позволяет снизить тепловые потери. Управление приводом возможно как непосредственно от ЭВМ, так и от ранее разработанных блоков УШД2 и ИШАК, выполненных в стандарте КАМАК.

© Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

Введение

Шестифазный шаговый серводвигатель ШД-5Д1МУ3 широко используется на физических установках и в станках экспериментального производства Института ядерной физики. На физических установках для управления этими двигателями используются ранее разработанные в ИЯФе блоки электропривода типа ПШД5/80 с мостовой схемой включения обмоток. В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) управление шаговыми двигателями выполнено по релейной схеме с использованием нагрузочных резисторов для ограничения тока. По сравнению с релейным управлением использование блоков ПШД5/80 обеспечивает заметное преимущество, обусловленное следующими факторами:

1. Наличие повышенного форсажного напряжения (+80V) для улучшения динамики двигателя.
2. Использование низковольтного удерживающего напряжения, обеспечивающего необходимый ток в обмотках двигателя без избыточных тепловых потерь, т.к. отсутствуют нагрузочные резисторы.

Но у приводов ПШД5/80 есть и недостатки:

1. Например триггерная схема контроля тока в фазе двигателя. Возбуждение тока осуществляется включением форсажного напряжения +80V. Когда ток достигает заданной величины, обмотка двигателя коммутируется на низкое напряжение +6V. При таком управлении переход от одних стационарных режимов работы двигателя к другим (например, от ускорения к торможению) приводит к пульсациям тока в фазе, следствием чего является непостоянство силового момента ротора [1].
2. Необходимость использования отдельного низковольтного сильноточного источника напряжения +6V, 10A.
3. Блок выполнен на морально устаревшей элементной базе (ТТЛ-логика, низкочастотные транзисторные ключи), следствием чего является применение фиксированного алгоритма управления, излишняя сложность и повышенные тепловые потери.

Опыт, полученный в процессе эксплуатации приводов ПШД5/80, и возможности, которые открываются применением современной элементной базы, позволили разработать новый электропривод, в котором устраненены

отмеченные недостатки. Разработанный привод ЭШД5 отличается большей надёжностью, гибкостью в управлении, улучшенными массогабаритными характеристиками. Обеспечена конструктивная совместимость ЭШД5 с блоками ПШД5/80.

Глава 1. Устройство ЭШД5

Блок ЭШД5 включает в себя следующие основные узлы (Рис.1): схема отработки сигналов управления, схема задания режима работы, схема тестирования, импульсный источник питания, схема гашения избыточной энергии, логика управления, силовые каналы, фильтры ВЧ, схема индикации.

1.1. Схема отработки сигналов управления

К основным сигналам управления электроприводом относятся два сигнала управляющего устройства (ШАГ+, ШАГ–) и два сигнала концевика (КОНЦЕВИК+, КОНЦЕВИК-). В качестве управляющего устройства может использоваться как ЭВМ, так и специальные блоки управления УШД2 и ИШАК [2], выполненные в стандарте КАМАК. Единственным сигналом, поступающим от привода в управляющее устройство, является сигнал ОКОНЧАНИЕ УДЕРЖАНИЯ. Для передачи этого сигнала необходимо внешнее напряжение питания (от управляющего устройства).

При подаче логического импульса на вход ШАГ+, двигатель ШД5 совершает поворот ротора против часовой стрелки на угол 0.375° в режиме работы с дроблением или на 1.5° в режиме работы без дробления. При подаче импульса на вход ШАГ–, двигатель совершает такой же поворот по часовой стрелке. Если на эти два входа импульсы больше не поступают, то токи в фазах двигателя фиксируются и через одну секунду автоматически уменьшаются вдвое относительно номинальных. Такой алгоритм позволяет уменьшить тепловые потери в статическом режиме работы двигателя. Для удержания нагрузки в заданном положении требуется меньшее усилие, чем для её перемещения, к тому же статический момент в три раза выше номинального. При подаче очередного импульса на любой из входов ШАГ+ или ШАГ– токи в фазах двигателя увеличиваются до номинального. Эту возможность можно отменить с помощью перемычки “Jx” в схеме задания режима работы. Такое действие необходимо производить в тех случаях, когда имеется потребность в большом удерживающем моменте двигателя (о значениях момента двигателя ШД5 см. ниже). Режим перехода на половинные токи был опробован на сверлильных станках участка печатных плат (в ИЯФе). Практика показала, что при уменьшении тока вдвое усилие вполне достаточно для удержания ротора. При этом нагрев двигателя существенно уменьшается, что улучшает ресурсные показатели.

В случае отсутствия на входе привода управляющих сигналов в течение десяти секунд, имеется возможность автоматически обесточить двигатель.

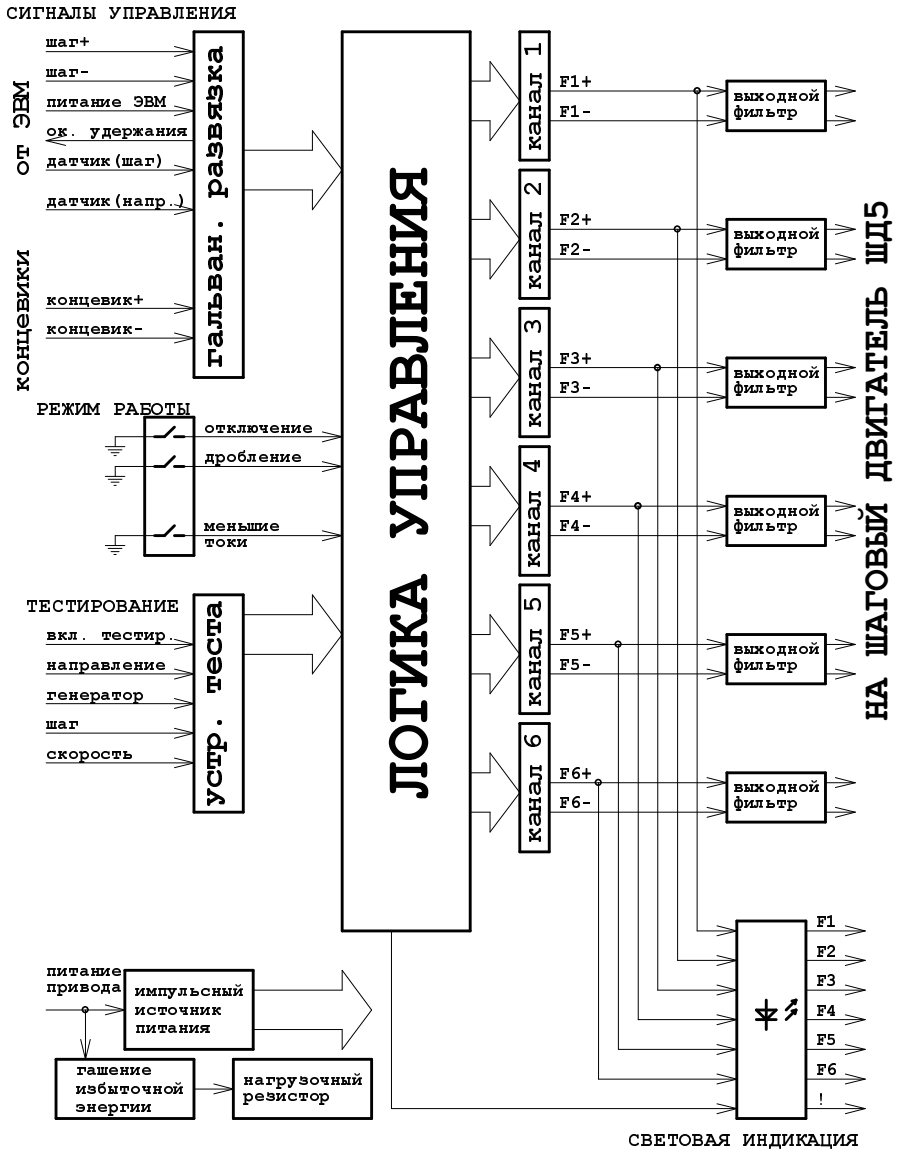


Рис. 1. Блок – схема ЭШД5.

Данную возможность также можно запретить с помощью контактного переключателя. При обесточивании двигателя, привод выдаёт информационный сигнал ОКОНЧАНИЕ УДЕРЖАНИЯ управляющему устройству, в виде логической единицы.

Когда устройство, перемещаемое двигателем, достигнет крайнего положения, дальнейшее движение в этом направлении блокируется с помощью электромеханических концевиков. Концевики должны срабатывать на замыкание. На привод заводятся два сигнала КОНЦЕВИК+ и КОНЦЕВИК–. При появлении на этих входах логического нуля соответствующая команда – ШАГ+ или ШАГ– не передается.

Кроме основных сигналов управления, имеются два вспомогательных: ДАТЧИК ШАГА и ДАТЧИК НАПРАВЛЕНИЯ для подключения инкрементного датчика. Использование этих сигналов не является обязательным, но применение датчика перемещения ротора дает возможность проверить работу шагового двигателя. Такая проверка особенно желательна при отсутствии обратной связи – сигналов о положении перемещаемого устройства. Применяя инкрементный датчик, есть возможность подобрать оптимальные значения предельной скорости двигателя, а также ускорение (торможение), обеспечивая работу двигателя без потери шага. Ввиду наличия большого разнообразия инкрементных датчиков, выпускаемых разными изготовителями [3], привод не адаптирован для использования конкретного типа датчика. Параметры выбранного датчика зависят от точности, которую требует установка. Адаптация привода к конкретному датчику может, производится по желанию пользователя. Такая адаптация не требует конструктивных изменений привода, корректируется только управляющая программа в энергонезависимой памяти.

Управление всеми командами, перечисленными в этом разделе, может осуществляться как через разъём РП14 конструктива ВИШНЯ, так и с помощью специальной платы связи, подключающейся к ЭШД5 и обеспечивающей связь через стандартный интерфейс (например, RS-485). Такая возможность позволяет управлять приводом непосредственно от ЭВМ.

1.2. Режимы работы

Имеется возможность с помощью выбрать режим работы. Ключи выбора режима расположены непосредственно на плате привода.

Верхний ключ (Рис.1) в замкнутом состоянии запрещает обесточивание привода после десяти секунд отсутствия сигналов управления.

Средний ключ в замкнутом состоянии отключает режим работы с дроблением шага на четыре. Для того, чтобы скорость вращения двигателя в режиме с дроблением шага была той же, что и при отсутствии дробления, необходимо увеличить частоту управляющих импульсов (на входах ШАГ+ или

ШАГ–) вчетверо. Иными словами при работе с дроблением двигатель делает единичный (1.5°) шаг за четыре управляющих импульса.

Нижний ключ в замкнутом состоянии запрещает переход на половинные токи (этот режим был описан ранее). Итак, когда ключ замкнут, двигатель всё время работает на максимальных токах. В противном случае, после секундного отсутствия управляющего импульса, токи в фазах двигателя уменьшаются вдвое.

Таким образом, обеспечивается возможность выбора режима работы привода.

1.3. Схема тестирования

Схема тестирования предназначена для проверки работы привода от ручного управления с передней панели, на которой установлены три тумблера, кнопка и переменное сопротивление.

Верхний тумблер задаёт режим поступления управляющих импульсов. В положении АВТ импульсы поступают с управляющего устройства (ЭВМ, УШД2, ИШАК). В положении РУЧ блокируются импульсы от управляющего устройства, а на входы ШАГ+ или ШАГ– поступают импульсы, сгенерированные в приводе.

Средний тумблер имеет два положения + и - и определяет, на какой вход (ШАГ+ или ШАГ–) будут подаваться импульсы.

И, наконец, нижний тумблер определяет, откуда будут подаваться импульсы, с кнопки или встроенного генератора. Тумблер имеет два положения ГЕН и КН.

В режиме подачи импульсов с кнопки, двигатель будет совершать один шаг (без дробления), или $^1/_4$ шага (с дроблением на четыре), при каждом её нажатии. Кнопка защищена схемой подавления дребезга.

В режиме подачи импульсов с генератора, частота импульсов регулируется с помощью переменного сопротивления. Частота может плавно изменяться от 150 Hz до 150 kHz. Это соответствует частотам вращения двигателя от 9 $^{об}/_{мин}$ до 9000 $^{об}/_{мин}$ (при дроблении на четыре).

Реализованная схема тестирования позволяет проверить все режимы работы двигателя, задаваемые электроприводом. Пошаговое перемещение с помощью кнопки позволяет проверять очерёдность коммутации фаз, а также есть возможность остановки в любой момент времени даже при наличии дробления.

1.4. Логика управления

Логика привода выполнена на ПЛИС EP1K10NC100-3 фирмы Altera, в которой имеется встроенное ОЗУ для хранения программы. Запись программы в ОЗУ может осуществляться как от устройства Byteblaster MV с напря-

жением питания 3.3V или 5V, так и от ПЗУ EPC1441PC8 фирмы Altera. Выбор напряжения питания устройства Byteblaster MV осуществляется переключением соответствующего ключа на плате привода (в принципмальной схеме [4] этот ключ обозначен J10). Byteblaster MV и ПЗУ подключаются к приводу соответственно через разъём DC10 и панель PDIP 8 Pin. Одновременное подключение ПЗУ и Byteblaster MV может привести к некорректному поведению логической части привода.

1.5. Импульсный источник питания

Для работы привода необходим источник питания с одним номиналом напряжения от 48V до 120V. Значение питающего напряжения влияет только на предельную скорость вращения двигателя. Здесь предельная скорость – это скорость, при которой сохраняется силовой момент ротора. Работа двигателя с превышением предельной скорости возможна, но при этом момент ротора уменьшается по квадратичной зависимости, с увеличением скорости. Зависимость предельной частоты обращения двигателя от напряжения питания привода изображена на Рис. 2.

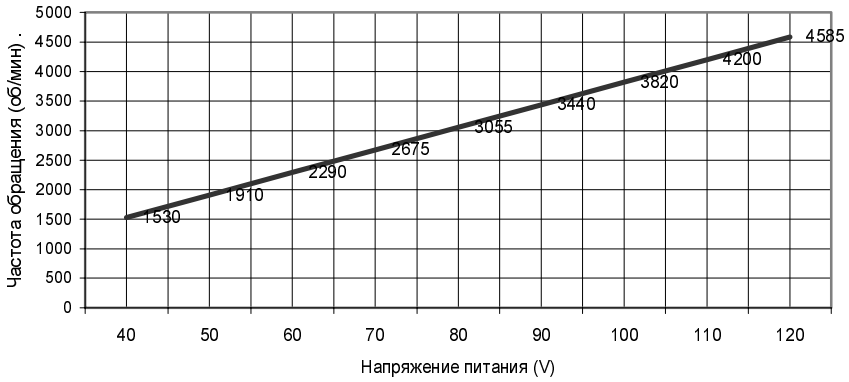


Рис. 2. Зависимость предельной частоты обращения двигателя от питающего напряжения.

Для питания логики в приводе имеется собственный импульсный источник питания, который формирует напряжения +2.5V, +3.3V, +5V, +15V. В рабочем диапазоне входного напряжения питания эти значения неизменны. При входном напряжении меньше 46V не гарантируется стабильность вторичных напряжений, что приводит к сбоям в работе двигателя. Следует заметить, что двигатель может работать и на более низких напряжениях (прямую на Рис. 2 можно продлить в сторону низких напряжений). В случаях, когда

нет необходимости работать на больших скоростях двигателя, возможен переход на более низкие напряжения питания привода. Но в таком случае необходимо заменить трансформатор импульсного источника.

Широкий диапазон изменения входного напряжения обеспечивается тем, что в приводе ЭШД5 реализовано управление по току. От напряжения зависит только скорость возрастания тока, которая, в свою очередь, влияет на предельную скорость вращения двигателя.

Минимальное значение питающего напряжения, которое обеспечивает возрастание тока до рабочего значения – всего 6V. Заметим, что потребляемая мощность не зависит от напряжения питания, т.к. соответственно возрастает потребляемый ток.

Верхняя граница 120V выбрана для надежной работы полевых транзисторов. Однако, в процессе работы возможно превышение значения 120V, когда нагрузка двигателя имеет большую инерцию. При торможении инерционная энергия переходит в электрическую (двигатель начинает работать как генератор), и напряжение питания может возрастать. Для защиты от этого в приводе имеется схема ограничения напряжения. При превышении 120V параллельно источнику входного напряжения включается балластный резистор (100Ω, 25W), на котором выделяется избыточная энергия.

1.6. Схема индикации

Индикацию работы привода обеспечивают шесть информационных светодиодов, сигнализирующих работу силовых каналов фаз, и один сигнальный светодиод. Информирующий светодиод загорается при появлении тока в соответствующей фазе двигателя. Сигнальный светодиод загорается в двух случаях: при превышении предельной частоты управляющих импульсов при отсутствии в ПЛИС программы.

Глава 2. Технические данные

2.1. Схема управления током

Шесть силовых каналов (Рис.1) включают в себя независимые схемы управления током в фазе двигателя (Рис.3). Здесь значение тока контролируется на шунте R. Управляя транзисторными ключами (VT1 и VT2), удаётся поддерживать заданный ток с точностью до нескольких процентов. Такое управление позволяет изменять ток в фазе двигателя по трапециидальному закону. Иными словами, подача тока в фазу двигателя осуществляется за четыре такта (при реализации дробления шага на четыре), в каждом из которых ток увеличивается на ¼ от предельного значения. Такое управление позволяет уменьшить шаг дискретизации двигателя вчетверо, а также уменьшить пульсации момента двигателя.

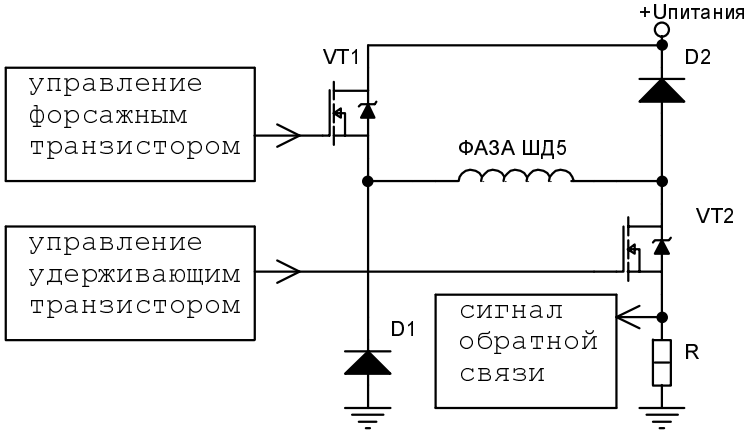


Рис. 3. Схема управления током в фазе двигателя.

На практике применение дробления шага показало хорошие результаты. При отсутствии механической нагрузки на ротор, точность отработки угла двигателя возросла в четыре раза. При наличии же нагрузки не всегда удаётся повысить точность. Бывает, что усилия четвертного шага не хватает для перемещения ротора (момент такого шага в четыре раза меньше обычного) и тогда, перемещение происходит каждый второй (третий,…) шаг.

Ещё одно полезное свойство дробления – снижение нежелательного резонансного возбуждения ротора на низких скоростях вращения. Так на частоте обращения 30 $^{об}/_{мин}$ практически наблюдались сильные возбуждения ротора. И лишь применение механического демпфера позволяло избежать сбоев в работе двигателя. А при работе двигателя с той же частотой и дроблением шага на четыре, эти возбуждения перестали наблюдаться. Таким образом, отсутствует необходимость в механическом демпфере, расположенном на роторе двигателя ШД5.

При разработке ЭШД5 планировалось, что привод будет использоваться только с дроблением. Наличие же перемычки “Jx”, позволяющей отключать дробление, вызвано тем, что на некоторых станках затруднён процесс увеличения управляющей частоты вчетверо. И по этому, был сделан такой компромиссный вариант. Но, тем не менее, имеет смысл перейти на дробление даже в тех случаях, когда не требуется дополнительная точность работы двигателя.

2.2. Характеристики двигателя ШД5, управляемого от ЭШД5

Максимальный момент силы ротора ШД5 составляет 0.43 Н·м. Зависимость потребляемой мощности от частоты обращения приведена в приложении. Здесь использовался источник питания на 80V. Видно, что потребление растёт с увеличением частоты обращения, до предельной (предельная частота 3055 $^{об}/_{мин}$, при напряжении питания 80V). Далее наблюдается снижении потребляемой мощности, связанное с тем, что нужный ток, в фазе двигателя, не успевает достигать номинального значения.

Данные измерения проводились при отсутствии нагрузки на двигатель. Максимальное потребление от источника питания нагруженным двигателем (на самом деле здесь суммарная мощность, потребляемая приводом и двигателем; но ввиду незначительных потерь в приводе можно считать, что эта мощность потребляется двигателем) составляет 190W.

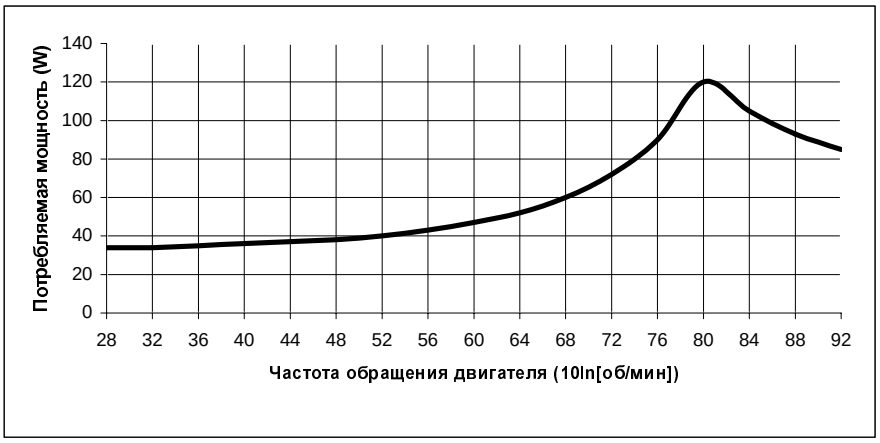
2.3. Расположение выводов блока ЭШД5

Блок подключается к устройствам, сопряжённым с ним в работе, через разъём РП14, выходы которого указаны на схеме подключения (см. приложение, п.4). Шаговый двигатель ШД-5Д1МУЗ также подключается к разъёму РП14, через собственный разъём ШР32П12ЭШ1. Схема соединения РП14 с ШР32П12ЭШ1 также приведена в приложении. Для уменьшения помех, излучаемых двигателем, подключение его к приводу производится экранированными проводами, с заземлённой оплёткой.

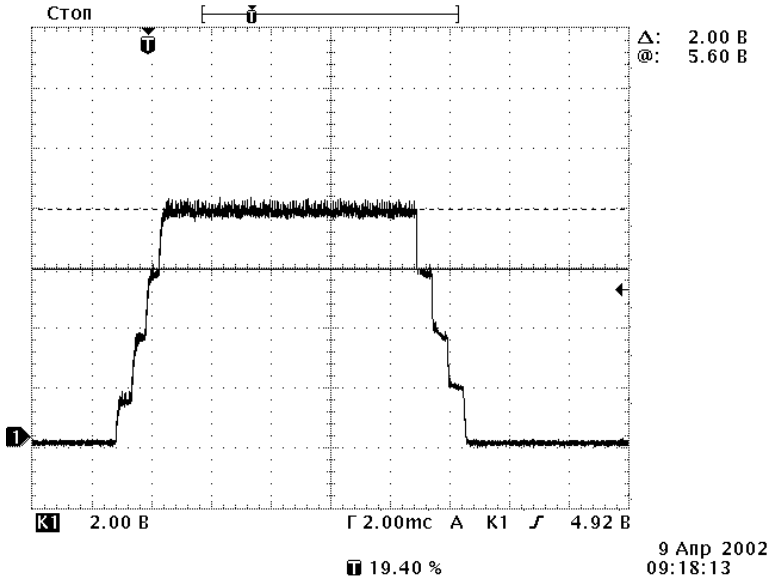
ЛИТЕРАРУРА

1. *В.Ф. Гумен, Т.В. Калининская.* Следящий шаговый двигатель. Издательство «Энергия», г.Новосибирск, 1980г.
2. *С.В. Кротов.* Блоки управления шаговыми двигателями в стандарте камак. Препринт 82-99 ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск.
3. *В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов.* Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. Издательство «Энергоатомиздат», г.Москва, 1987г.
4. Принципиальная схема электропривода шагового двигателя ЭШД5.
5. *Б.И. Черпаков.* Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов. Издательство «Высшая школа», г.Москва, 1989г.

ПРИЛОЖЕНИЕ



1. График потребляемой мощности привода от источника питания. (без нагрузки на двигатель)

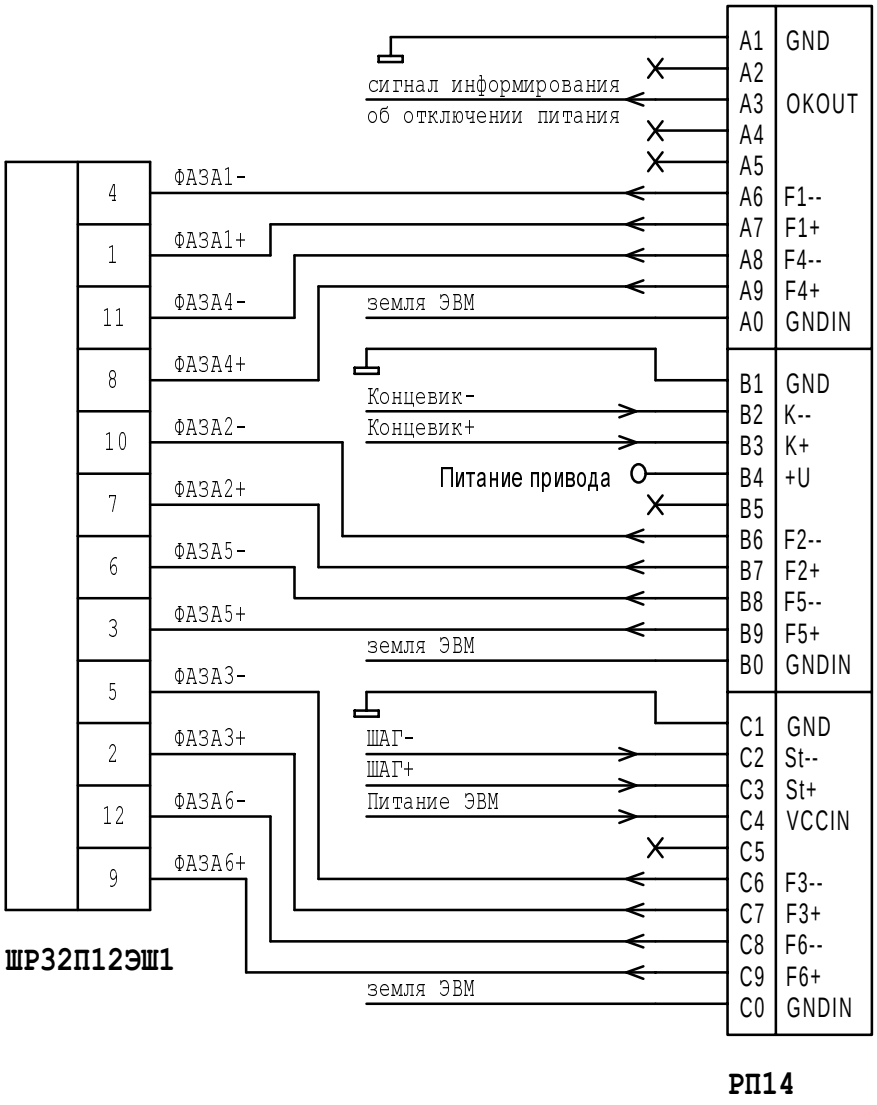


2. Временная диаграмма тока в фазе двигателя (получена на осциллографе Tektronix).

3. Параметры двигателя ШД-5Д1МУЗ.

N	Наименование параметров	Значение	Размерность
1	Число фаз	6	
2	Напряжение питания	48	В
3	Ток в фазе	3	А
4	Число тактов коммутации / дробление	12/48	
5	Шаг	1.5	Град
6	Статистическая погрешность шага	27	Мин
7	Максимальный статистический синхр. момент при включении одной фазы	0.14	Н·м
8	Номинальный момент инерции нагрузки	0.1	$Г·см·с^2$
9	Номинальный вращающий момент	0.06	Н·м
10	Частота приёмистости	2000	Гц
11	Максимальная частота	16000	Гц
12	Максимальный момент отработки шага	0.4	Н·м
13	Время разгона до 16кГц	0.15	С
14	Габаритные размеры	80×160	Мм
15	Масса	2.2	Кг
16	Минимальное время работы (ресурс часов)	5000	Часов

Параметры взяты с завода изготовителя данного двигателя: г. Саратов-25, ул. Степана-Разина, д.67 “Электротехнический завод”, телефон: 29-835. Некоторые из этих значений имеются в литературе [5].



4.Схема подключения разъёмов блока ЭШД5 и двигателя ШД-5Д1МУЗ.

О.В. Беликов, Э.Л. Неханевич, Ш.Р. Сингатулин

Электропривод для шагового двигателя ШД5

O.V. Belikov, E.L. Nekhanevitch, Sh.R. Singatulin

Stepper motor driver ShD5

ИЯФ 2002-66

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев
Работа поступила 6.12. 2002 г.

Сдано в набор 9.12.2002 г.
Подписано в печать 10.12.2002 г.
Формат 60x90 1/16 Объем 1.3 печ.л., 1.0 уч.-изд.л.
Тираж 90 экз. Бесплатно. Заказ № 66

Обработано на IBM PC и отпечатано
на ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск., 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11