

Тиристорный регулятор скорости вращения коллекторных двигателей постоянного тока

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье описана простая схема тиристорного регулятора скорости вращения вала двигателя постоянного тока. Увеличение момента вращения вала в ответ на повышение момента сопротивления стабилизирует скорость вращения, что достигается автоматическим увеличением мощности, подаваемой на электродвигатель.

Во многих механизмах предпочтительной является средняя и даже низкая скорость вращения вала электродвигателя, т.к. при этом, во-первых, легче позиционировать исполнительный орган с необходимой точностью, во-вторых, проще контролировать сам процесс и, в-третьих, можно обойтись без механического редуктора.

Известно, что у коллекторных электродвигателей постоянного тока вращающий момент пропорционален напряжению, поданному на двигатель. Однако, чем больше это напряжение, тем выше скорость вращения вала двигателя. В металлообрабатывающих станках и некоторых других механизмах для сохранения высокого момента вращения вала применяют механические редукторы, реализованные на основе зубчатых или ременных передач. В простых механизмах для получения высокого момента вращения требуется увеличить напряжение, подаваемое на двигатель, что, в свою очередь, приводит к увеличению скорости вращения.

Поскольку момент сопротивления напрямую зависит, например, от диаметра сверла или захода резца, существ-

ует определённое противоречие: для точности позиционирования требуется пониженная скорость вращения дрели, а для использования сверла большого диаметра – увеличение скорости. Однако это противоречие можно разрешить простым и эффективным способом. Чтобы было понятно, о чём идет речь, необходимо рассмотреть регуляторы напряжения, подаваемого на электродвигатель.

Мощный линейный стабилизатор с возможностью регулирования выходного напряжения (см. рис. 1), схема которого описана в [1], был использован для регулирования скорости вращения вала электродрели постоянного тока D0600 фирмы DONAU мощностью около 40 Вт. Регулятор скорости состоит из сетевого трансформатора с выходным напряжением в 12...18 В, мостового выпрямителя (см. рис. 1а) и подключенного к нему линейного стабилизатора на базе мощного полевого транзистора (см. рис. 1б). Недостаток схемы заключается в том, что при установке даже средней скорости вращения дрель способна работать со сверлами диаметром не более 1,5 мм. При

использовании инструмента большего диаметра, на конечном этапе сверления дрель останавливается, и патрон приходится проворачивать вручную; при этом можно сломать сверло.

Существует другой принцип регулирования скорости вращения коллекторного электродвигателя постоянного тока, основанный на подаче пульсирующего напряжения, полученного с вторичной обмотки сетевого трансформатора (см. рис. 1а). Если это напряжение подать на двигатель через тиристор, фазой включения которого можно управлять, то из каждой полуволны синусоиды будет «вырезаться» определённая площадь, которой и будет пропорциональна скорость вращения дрели.

Тиристорные схемы регулирования скорости вращения вала электродвигателей достаточно распространены, хорошо известны и часто построены таким образом, что, наряду с регулировкой скорости, обеспечивают её стабилизацию при изменении момента сопротивления вращению вала. Как правило, для стабилизации скорости вращения используется два варианта схемы.

В первом варианте применяют включённый последовательно с тиристором низкоомный токоизмерительный резистор, напряжение на котором используют в обратной связи, заведённой на один из входов усилителя сравнения (или рассогласования), а ко второму входу этого усилителя подключают источник опорного напряжения. Выходное напряжение усилителя используют для управления фазой включения основного тиристора.

Второй вариант основан на измерении противоЭДС, которая пропорциональна скорости вращения вала. Если это напряжение сравнить с опорным и разницу использовать для определения фазы открытия тиристора, то таким способом можно стабилизировать скорость вращения вала электродвигателя.

По мнению автора, оба варианта достаточно сложны, громоздки и требуют много электронных компонентов.

Однажды, пытаясь сделать простейшую тиристорную схему регулирова-

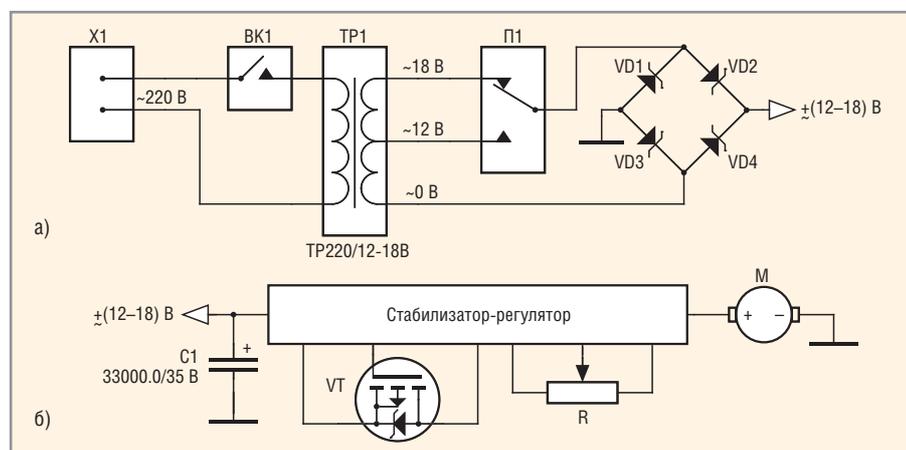


Рис. 1. Регулятор скорости вращения вала двигателя постоянного тока на основе линейного стабилизатора [1]

а – блок питания, б – линейный стабилизатор напряжения

ния скорости вращения вала электродрели, автор столкнулся с необычным эффектом, возникающим в этой схеме и стабилизирующим скорость вращения. Как известно, стандартная схема включения тиристора не отличается особой сложностью (см. рис. 2). Вместо выключателя ВК1 автор установил транзистор VT1 (см. рис. 3), коллектор которого подключил к R1 (см. рис. 2), его роль на рисунке 3 играет R3, эмиттер VT1 подсоединил к управляющему электроду тиристора, а базу – к цепочке R2R1C1 (см. рис. 3), управляющей фазой включения тиристора.

Схема на рис. 3 была построена по аналогии с известной схемой компенсации наклона токоизмерительной характеристики, которая используется в современной ИС контроллера импульсного источника питания (ИИП) MIC3808 [4] (см. рис. 4). Как видно из рис. 3 и 4, в обеих схемах имеется RC-цепочка, но ни в одной из схем точка соединения резистора и конденсатора (R1 и C1) не используется для непосредственного управляющего воздействия на объект, а подключена к нему через транзистор. Этому есть две

причины. Во-первых, для включения тиристора на управляющий электрод требуется подать значительно больший ток и напряжение, а для штатной работы контроллера ИИП требуется, чтобы напряжение на выводе CS, предназначенном для измерения тока (Current Sense), было намного больше. Во-вторых, при подключении указанной точки непосредственно к объекту воздействия будет нарушено соотношение R1 и C1, что, в свою очередь, вызовет изменение фазы включения тиристора (см. рис. 3) и частоты тактового генератора (см. рис. 4).

Теперь рассмотрим более подробно схему на рис. 3. Если номиналы резисторов R2, R3 и R4 равны 1 кОм, R1 = 10 кОм и C1 = 10 мкФ, то, изменяя сопротивление R1, можно регулировать скорость вращения вала в достаточно широких пределах. Если движок потенциометра R1 полностью вывести вверх (по схеме на рис. 3), то вал будет вращаться на максимальных оборотах. При этом, уменьшая сопротивление R3 вплоть до нуля, максимальные обороты можно ещё немного увеличить. При уменьшении номинала резистора R2 до 510 Ом можно добиться дополни-

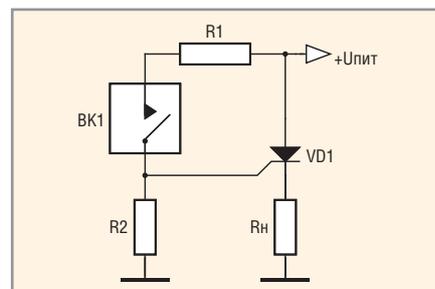


Рис. 2. Стандартная схема включения тиристора [2]

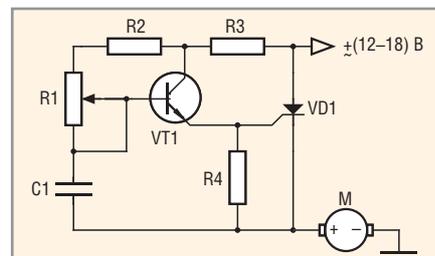


Рис. 3. Предварительная схема тиристорного регулятора

тельного увеличения скорости вращения вала.

Если же движок потенциометра R1 опустить вниз, т.е. увеличить его сопротивление до максимально возможного значения (в данном случае 10 кОм), вал будет вращаться с минимальной скоростью. Если при этом увеличивать

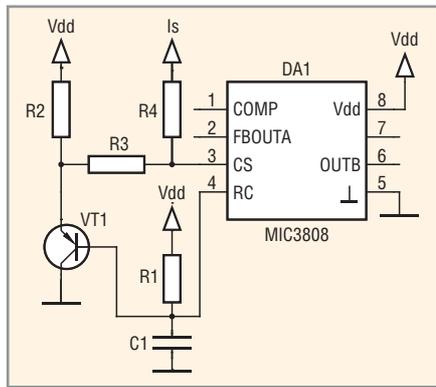


Рис. 4. Схема компенсации наклона токоизмерительной характеристики контроллера ИИП MIC3808 [4]

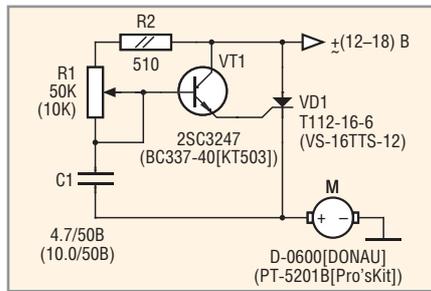


Рис. 5. Схема тиристорного регулятора – стабилизатора скорости вращения вала двигателей постоянного тока электродрелей D-0600 и PT-5201B

В скобках указаны параметры схемы для PT-5201B

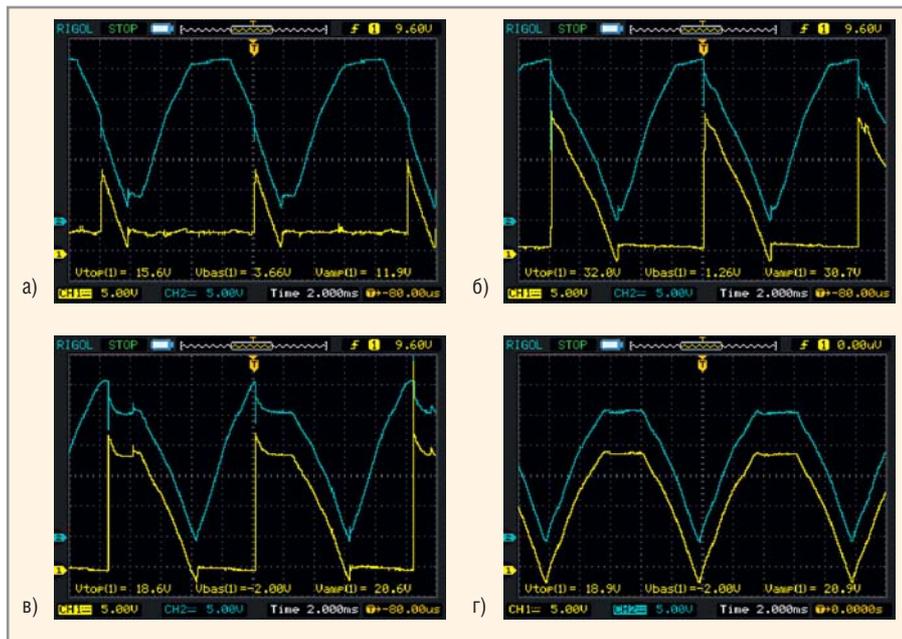


Рис. 6. Осциллограммы, снятые с катода (канал № 1 – жёлтый цвет) и анода (канал № 2 – голубой цвет) тиристора VD1 (T112-16-6) относительно «земли» в схеме на рис.5 для дрели D-0600 (DONAU) при различной интенсивности торможения вала двигателя

а – торможения нет; б, в – последовательное усиление торможения; г – максимальное торможение

сопротивление R4, то минимальные обороты вала начнут уменьшаться, и с некоторого момента (когда сопротивление R4 станет очень велико) перестанут от него зависеть.

После этих экспериментов номинал резистора R2 был выбран равным 510 Ом, а резисторы R3 и R4 вообще были удалены из схемы. Окончатель-

ный вариант схемы показан на рисунке 5. Подключив испытываемую дрель D0600 по схеме на рис. 5, автор решил проверить, будет ли вообще дрель оказывать сопротивление торможению, – попытался затормозить патрон рукой и встретил неожиданное и довольно сильное сопротивление торможению.

Памятуя о том, что с помощью линейного регулятора (см. рис. 16) при средней скорости вращения дрель была способна сверлить отверстия свёрлами диаметром не более 1,6 мм, автор решил проверить возможности дрели, подключённой к тиристорному регулятору (см. рис. 5). Для этого, установив минимальную скорость вращения и вставив в патрон сверло диаметром 3 мм, автор очень быстро просверлил стеклотекстолит толщиной 4 мм.



Рис. 7. Внешний вид тиристорного регулятора (в центре); слева (в большом корпусе) – трансформатор и выпрямитель

В чём же причина такой необычной и эффективной стабилизации скорости вращения? Осциллограммы, снятые с катода и анода тиристора при разной силе торможения патрона дрели, приведены на рисунке 6. Анализ приведённых осциллограмм свидетельствует о том, что при максимальном торможении на двигатель подаётся максимальная мощность (см. рис. 6г); в то же время, при отсутствии торможения скорость вращения возвращается к исходной, т.е. определяемой потенциометром R1 (см. рис. 5). Тщательный анализ осциллограмм показал, что токоизмерительным прибором является сам тиристор. Удалось объяснить и эффект стабилизации скорости.

При торможении скорость вращения вала уменьшается, что влечёт за собой и уменьшение напряжения противоЭДС. Поскольку тиристор управляется со стороны катода (т.е. управляющий электрод находится на катоде), уменьшение напряжения противоЭДС приводит к снижению потенциала катода, а вместе с ним и потенциала управляющего электрода и, соответственно, уменьшению потенциала эмиттера транзистора. Это, в свою очередь, приводит к тому, что конденсатор C1 (см. рис. 5) быстрее заряжается до порога открытия транзистора. Ускоренная зарядка конденсатора уменьшает угол открытия тиристора, благодаря чему он открывается раньше, подавая на двигатель большую площадь полупериода синусоиды, т.е. большую мощность.

Схема, приведённая на рисунке 5, несмотря на простоту, достаточно неприхотлива. Работа схемы проверялась не только с тиристором T112-16-6 (максимальный ток 16 А), но и с T122-25-3 (25 А), и даже с T142-80-10 (80 А). Кроме того, схема была испытана с симисторами TC122-20-5 (20 А) и TC122-25-3 (25 А). Из импортных тиристоров, были испытаны VS-16TTS-12 (16 А) и VT151-500R (12 А). Все вышеперечисленные тиристоры (в том числе симисторы), кроме VT151-500R, показали хороший результат. При использовании тиристора VT151-500R в схеме на рис. 5 на низких оборотах дрель работала неустойчиво, вероятно из-за низкого тока открывания (15 мА) тиристора. Поэтому в схеме может быть использован любой тиристор с током открывания более 30 мА. Следует отметить, что схема на рис. 5 способна работать с двигателями значительно большей мощности, чем 40 Вт.

Что касается транзисторов, то помимо тех, что указаны на рисунке 5, работа схемы проверялась с транзисторами 2SD1347 (60 В, 3А, $h_{FE} = 140...280$), 2SC3244 (100 В, 0,8 А, $h_{FE} = 150...300$). Вообще в схеме может быть использован любой $n-p-n$ -транзистор с максимальным напряжением коллектор-эмиттер 30 В и более и максимальным током коллектора 100 мА и более. Причём чем больше коэффициент усиления транзистора (h_{FE}), тем ниже порог минимальной скорости устойчивого вращения вала дрели.

Налаживание схемы, в основном, сводится к установке устойчивой работы дрели на максимально низкой скорости, при этом:

- 1) произведение $R1 \times C1$ должно быть не менее 100 мкФ \times кОм. Например, $R1 = 100$ кОм, $C1 = 1$ мкФ; $R1 = 50$ кОм, $C1 = 2$ мкФ; $R1 = 10$ кОм, $C1 = 10$ мкФ и т.п., причём сопротивление $R1$ не должно превышать 100 кОм;
- 2) минимальная скорость, на которой устойчиво работает двигатель дрели, напрямую зависит от коэффициента усиления транзистора, от произведения $R1 \times C1$, от самого тиристора и, естественно, от параметров электродвигателя. Однако если уже выбраны $R1$, транзистор, тиристор и электродвигатель, то единственным параметром, который можно изменять, является ёмкость конденсатора $C1$.

Процедура стабилизации работы дрели на минимальных оборотах сводится к следующему. Включают дрель и при полностью выведенном движке потенциометра $R1$ вниз (см. рис. 5), т.е. при максимальном значении $R1$, наблюдают за устойчивостью вращения дрели как на холостых оборотах, так и при торможении вала. Вращение вала должно быть равномерным и без рывков. При этом хорошим подспорьем является осциллограф, на экране которого можно наблюдать форму сигнала на катоде тиристора относительно «земли». Осциллограмма при минимальных оборотах вращения должна иметь вид, похожий на рис. 6а, т.е. в каждом периоде должен быть явный и небольшой по амплитуде пик напряжения. Если такой пик напряжения иногда пропускается, то ёмкость конденсатора следует уменьшить. Скорость при этом возрастёт, однако пики напряжения пропускаться уже не будут, а это свидетельствует о том, что дрель работает устойчиво.

Затем производится торможение патрона дрели. Если появляются рывки, ёмкость конденсатора $C1$ следует уменьшить. Если это не помогает, возможно, потребуется использовать другой транзистор с большим коэффициентом усиления.

Ещё одним способом повышения устойчивости работы электродвигателя на минимальных оборотах является увеличение амплитуды выпрямленного напряжения. Например, при установке переключателя (см. рис. 1а) на 12 В и параметрах схемы, указанных на рис. 5 для двигателя дрели D0600, работа на минимальных оборотах будет неустойчивой; однако при 18 В обеспечивается устойчивая работа как на холостых оборотах, так и под нагрузкой.

Из-за простоты схемы, приведённой на рисунке 5, для изготовления регулятора скорости вращения не требуется даже платы: все компоненты могут быть размещены в корпусе размером со спичечный коробок и соединены навесным монтажом (см. рис. 7).

Следует также отметить, что в предлагаемом регуляторе скорости тиристор практически работает в двух состояниях: включённом и выключенном, т.к. время включения и выключения составляет не более десятков микросекунд (см. рис. 6). Во включённом состоянии падение напряжения на тиристоре не превышает долей вольта (как в обычном диоде), поэтому тиристор рассеивает небольшую мощность. В выключенном состоянии ток через тиристор практически отсутствует, благодаря чему рассеиваемая тиристором мощность ничтожно мала. В связи с этим, общий нагрев тиристора также мал, и ему не требуется теплоотвод (в отличие от линейного регулятора на рис. 1б). Отсутствие теплоотвода – важное преимущество, которое позволяет использовать для регулятора небольшой корпус (см. рис. 7) либо смонтировать его в корпусе самого устройства или электродвигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8.
2. Кублановский Я.С. Тиристорные устройства. Радио и связь, 1987.
3. Григорьев О.Л., Замятин В.Я., Кондратьев Б.В., Пожидаев С.Л. Тиристоры: Справочник. Радио и связь, 1990.
4. http://www.micrel.com/.../mic3809_eb.pdf. 

Новости мира

TSMC приступила к строительству шестой очереди Fab 14

Компания Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) продолжает строительство новых объектов завода Fab 14 по выпуску 300-мм кремниевых пластин, находящегося в Южном научном парке Тайваня (The Southern Taiwan Science Park, STSP). 23 ноября компания провела церемонию закладки первого кирпича в фундамент шестой очереди Fab 14. К началу строительства следующей, седьмой, очереди завода, по словам исполнительного вице-президента Санг-Ю Чيانга (Shang-Yi Chiang), компания приступит в первом квартале 2013 года.



Санг-Ю Чيانг сообщил, что в настоящее время персонал производственных объектов TSMC в Южном научном парке Тайваня насчитывает около 9 тысяч человек. На этих объектах в 2011 г. была выпущена продукция стоимостью 180 млрд новых тайваньских долларов (\$6 млрд), что составило около 42% общей выручки компании.

Как утверждает Чيانг, завод Fab 14 станет первым в мире предприятием, освоившим массовый выпуск SoC-решений с использованием 20-нм техпроцесса, а также первым предприятием компании по выпуску 300-мм кремниевых пластин, где приступят к массовому производству продукции с использованием 16-нм FinFET техпроцесса. В течение ближайших пяти лет компания планирует инвестировать в объекты, находящиеся на территории STSP, порядка 500 млрд новых тайваньских долларов, что позволит создать 7 тысяч новых рабочих мест.

www.digitimes.com

SAMSUNG – лидер на foundry-рынке

Аналитическая компания IC INSIGHTS представила обновленный рейтинг foundry-предприятий. 12 фирм, включённых в рейтинг, занимают 90% всего рынка foundry-услуг. В 2012 году этот рынок показал рост на 20% и достиг уровня в \$39,3 млрд. Особо отличилась компания SAMSUNG, продемонстрировавшая в 2012 году рост на 98%, в первую очередь за счет заказов компании APPLE.

www.ecworld.ru