

Когда deadtime перестает быть проблемой.

Применение микросхем IXDP630 и IXDP631 для формирования защитной паузы «мертвое время» в полумостовых преобразовательных схемах силовой электроники

При разработке силовой преобразовательной техники на основе высокочастотных полумостовых транзисторных элементов значительной проблемой всегда является обеспечение защиты от сквозных токов. Микросхемы IXDP630 и IXDP631, выпускаемые фирмой IXYS, позволяют сравнительно просто реализовать такую защиту.

Борис Семенов

borka@mail.ru

Известно, что ни один силовой ключевой элемент не может мгновенно перейти в состояние отсечки, и если управляющие импульсы в полумостовой схеме будут следовать без некоторой задержки друг относительно друга, возникает опасное явление, называемое сквозным током. Последствия

возникновения сквозного тока известны: это выгорание силовых ключей и, как следствие, выход из строя прибора. Поэтому разработчики всегда стремятся обезопасить схему от сквозных токов, прибегая к различным схемотехническим ухищрениям, порой весьма сложным, чтобы ввести гарантированную паузу между управляющими импульсами. Автору, которому пришлось, в силу некоторых причин, реализовать аналог микросхемы на отечественных элементах «жесткой логики», удалось выполнить эту задачу только разработкой отдельной платы с 16 корпусами.

Значительно упростить задачу позволяют микросхемы IXDP630 и IXDP631, выпускаемые фирмой IXYS. Эта фирма специализируется на разработке и поставке компонентов силовой электроники: полевых транзисторов MOSFET, биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT, диодов с малым временем обратного восстановления FRED, диодов защиты от высоковольтных индуктивных выбросов, мощных тиристоров и драйверов управления силовыми модулями. Поэтому специалисты фирмы не понаслышке знают о проблемах разработчиков преобразовательной техники.

В оригинальной технической документации эти микросхемы названы «Inverter Interface and Digital Deadtime Generator for 3-Phase PWM Controls». Другими словами, они представляют собой цифровые генераторы защитной паузы «мертвое время», которые могут быть применены в трехфазных широтно-импульсных (ШИМ) схемах. Оговоримся: в трехфазных схемах наиболее полно используются возможности микросхем, однако их можно также легко применить и в мостовых, и в полумостовых однофазных схемах. Формирование защитной паузы цифровым способом гарантирует наличие паузы «deadtime» с заданной длительностью и ее возможность регулировки в широких пределах. Кроме этого, в составе микросхемы имеются узлы, позволяющие лег-

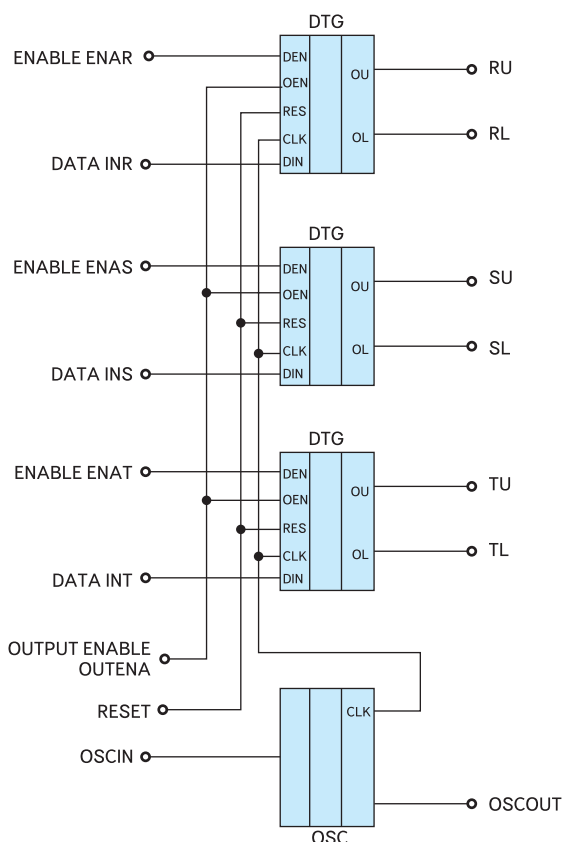


Рис. 1. Блок-схема внутреннего устройства IXDP630 и IXDP631

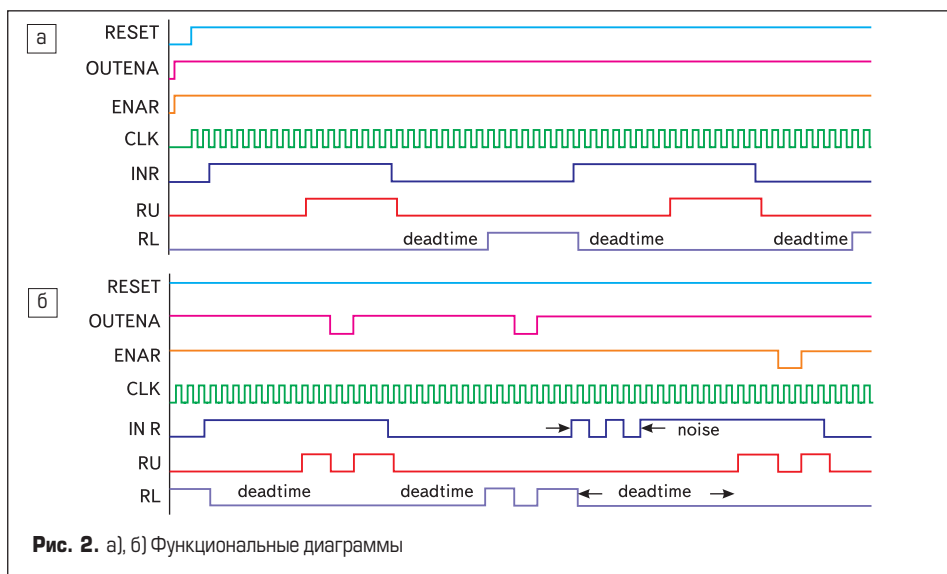


Рис. 2. а), б) Функциональные диаграммы

ко организовать защитное отключение силовых каскадов прибора при возникновении аварийных ситуаций — короткого замыкания, перегрузки, снижения напряжения питания.

На рис. 1 показана блок-схема внутреннего устройства микросхем IXDP630 и IXDP631. Как видно из рисунка, микросхема состоит из трех одинаковых и независимых ячеек DTG (dead-time generator), а также единого генератора тактовых импульсов OSC. Ячейки DTG имеют индивидуальные входы управления каналами R, S, T (сигналы DATA IN R, DATA IN S, DATA IN T), индивидуальные входы отключения каналов R, S, T (сигналы ENABLE ENAR, ENABLE ENAS, ENABLE ENAT), групповой вход отключения каналов R, S, T (сигнал OUTPUT ENABLE OUTENA), вход отключения тактовой частоты (сигнал RESET). Тактовый генератор имеет вывод подключения времязадающих компонентов (сигнал OSCIN) и внешний выход тактовой частоты (сигнал OSCOUT).

Диаграммы, отражающие функционирование микросхемы, приведены на рис. 2. Эти диаграммы показывают работу только канала R, поскольку упомянутые каналы S и T имеют аналогичное устройство.

Вначале рассмотрим режим нормального функционирования, показанный на рис. 2а. После установки сигнала RESET в состояние high (высокий уровень) сигналы CLK тактового генератора OSC поступают на схему отсчета импульсов в узлах DTG, выходные сигналы RU и RL находятся в состоянии low (низкого уровня). После установки сигналов OUTENA и ENAR включаются выходы RU, RL и начинается отработка сигнала управления, поступающего на вход IN R. При установке входного сигнала в высокое состояние происходит установка высокого уровня на выходе RU, а на выходе RL сохраняется низкий уровень. При переходе входного сигнала IN R в состояние low на выходе RU устанавливается низкий уровень и запускается процедура отработки deadtime, занимающая 8 тактов генератора OSC. По окончании временного интервала выходной сигнал RL приобретает высокий уровень. Далее, при изменении входного сигнала процедура отработки deadtime повторяется.

На рис. 2б показана отработка сигналов OUTENA и ENAR. Из рисунка видно, что реак-

ция микросхемы на эти сигналы одинаковая: при установке OUTENA и ENAR в состояние low происходит установка выходных сигналов RU и RL в низкое состояние. Рисунок также иллюстрирует реакцию процедуры отработки deadtime на присутствие шума (noise) по входу IN R — при наличии переключений сигнала на входе deadtime затягивается. Вместе с тем сигналы OUTENA и ENAR не запускают эту процедуру.

В последнее время значительное внимание уделяется разработке преобразовательной техники наращиваемого типа, при котором необходимую мощность прибора обеспечивают параллельной синхронной работой маломощных модулей. При проектировании такой техники поможет наличие выходного сигнала генератора OSCOUT. Этот сигнал сможет синхронизировать генераторы нескольких микросхем, если одна из них будет выбрана «ведущей», а остальные — «ведомыми». Сигнал OSCOUT достаточно подключить ко входам OSCIN.

Теперь поговорим об электрических и конструктивных параметрах микросхем. Оба устройства изготавливаются на основе технологии КМОП, питаются от напряжения 5 В, что позволяет легко сопрягать IXDP630 и IXDP631 со стандартными микросхемами «жесткой логики», с портами микроконтроллеров. Максимальное напряжение питания составляет 7 В и, как показывает практика, ни в коем случае нельзя превышать это значение (случайно или преднамеренно) — микросхема гарантированно выйдет из строя.

Собственный потребляемый ток составляет 1 мА, выходные сигналы допускают значение тока до 25 мА, что позволяет подключать непосредственно к выходам драйверы опторазвязки типа HCPL3120. Рекомендуемое значение выходного тока — 8–10 мА.

Отличие микросхемы IXDP630 от IXDP631 невелико — в первом случае используется частотодающая RC-цепочка в генераторе тактовых импульсов, а во втором случае подключается кварцевый или керамический резонатор. Понятно, что применение резонатора значительно повышает временную точность формирования защитной паузы. Частота генератора задается в пределах от 0,001 до 16 МГц для исполнения IXDP630 и в пределах от 0,1 до 24 МГц для исполнения IXDP631.

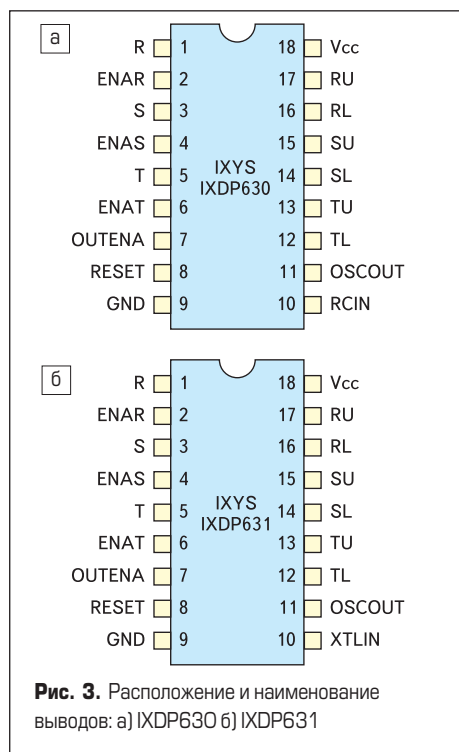


Рис. 3. Расположение и наименование выводов: а) IXDP630 б) IXDP631

Микросхемы оснащены входными триггерами Шмитта, что повышает их помехоустойчивость. Устройства выпускаются в пластиковом корпусе DIP-18 и обеспечивают работу в диапазоне температур от -40 до $+85$ °С. Расположение и наименование выводов показано на рис. 3.

Относительно выбора частотодающих элементов генератора производитель предоставляет следующую информацию. Для микросхемы IXDP630 необходимо наличие всего двух элементов — конденсатора C_{osc} и резистора R_{osc} . Способ подключения элементов к микросхеме показан на рис. 4.

В данном случае следует учитывать, что при выборе тактовой частоты более 1 МГц температурная нестабильность отработки deadtime может достигать 5%. Кроме этого, при колебании напряжения питания микросхемы в пределах от 4,5 до 5,5 В также будет наблюдаться ошибка отработки в 5%. Разработчики не рекомендуют использовать резистор R_{osc} сопротивлением менее 1 кОм, в противном случае возрастет чувствительность к дестабилизирующим факторам. Нижний вывод конденсатора необходимо соединить с выводом 9 микросхемы кратчайшим путем, а также выполнить кратчайшими связями элементов с выводами 10 и 11 для минимизации паразитных индуктивностей монтажа.

Рассчитать величины частотодающих элементов можно двумя способами — аналитическим и графическим. Предпочтительнее,

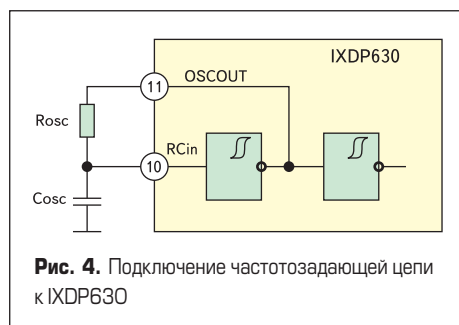
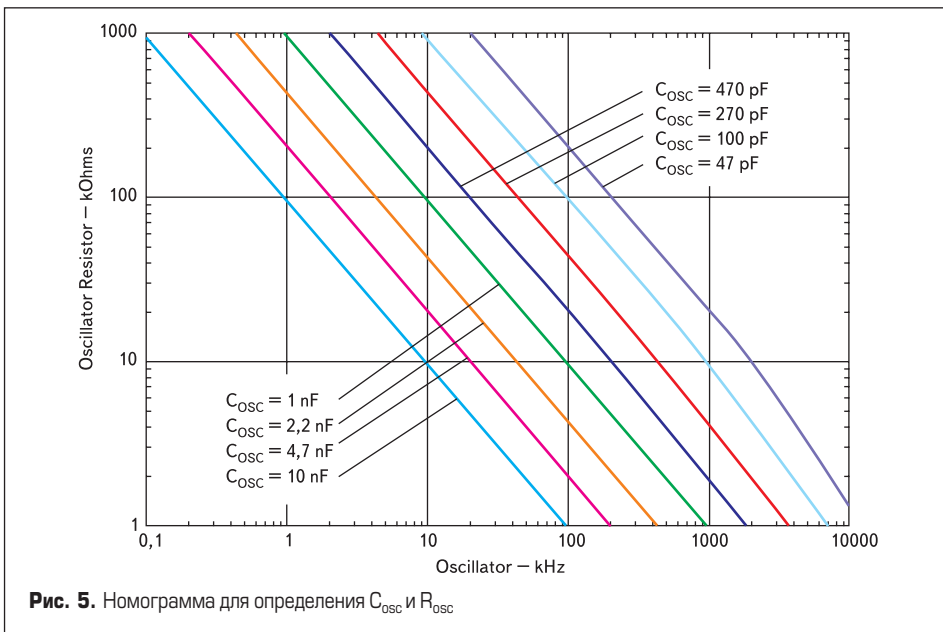


Рис. 4. Подключение частотодающей цепи к IXDP630



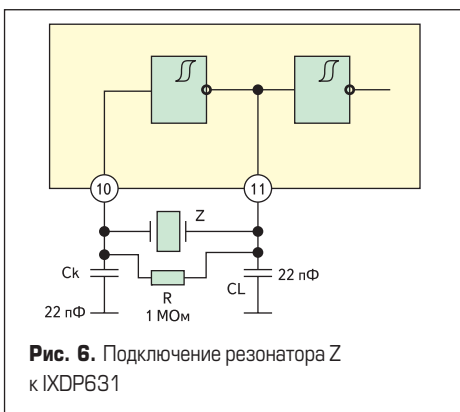
конечно, воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 5.

Расчитывая номиналы элементов, не стоит забывать, что фактическое время deadtime составляет 8 тактов генератора.

На рис. 6 показано подключение частотозадающих цепей к микросхеме IXDP631. Там же указаны рекомендуемые номиналы элементов. Необходимо внимательно отнестись к разработке топологии печатной платы и сократить до минимума электрические связи.

Сегодняшняя идеология проектирования силовых приборов — это как можно более высокий процент использования покупных элементов. В результате такого подхода удается, не затрачивая значительных усилий на разработку типовых узлов, строить достаточно эффективные серийные преобразователи электроэнергии. В настоящее время стремительно образуется рынок модульных драйверов управления силовыми транзисторными ключами. Схемотехника большинства этих драйверов такова, что они могут управлять транзисторами в «нижнем» и «верхнем» плечах полумостов. Естественно, производители драйверов учли особенности силовых схем и ввели в состав драйверов возможность задания deadtime и его регулировки в некоторых пределах.

Управляющие схемы высокочастотной преобразовательной техники практически всегда вынуждены работать в условиях значительных помех, возникающих при переключении силовых узлов. Причем помехи могут наводиться



на элементы управляющей части как по цепям питания, так и по «воздуху». Поэтому необходимо принять дополнительные меры для повышения помехоустойчивости входов микросхем IXDP630 и IXDP631. В связи с этим сигнальные входы каналов R, S, T лучше «притянуть» к общему выводу резисторами сопротивлением 5,1–10,0 кОм, а входы отключения (поскольку уровень сигналов на них изменяется чрезвычайно редко) — также на общий вывод, но через конденсаторы емкостью 820–1000 пФ.

В заключение немного расскажем о реальном опыте автора и возможных областях применения микросхемы.

Микросхема используется для разработки и производства ряда статических преобразователей переменного напряжения 3×380 и 230 В с частотой 50 Гц в переменное напряжение 3×230 В и 230 В с частотой 400 Гц и мощностью 6 кВт. Такие преобразователи очень широко используются в спецтехнике и поставляются взамен классических вращающихся электро-механических преобразователей серий АТО и АТТ. В разработанном и производимом с приемкой «5» статическом преобразователе частоты типа СТТ-6-400 (рис. 7) оказалось достаточно сформировать модулированный по синусоидальному закону ШИМ-сигнал и подать его на входы микросхемы IXDP630. На выходы микросхемы подключаются через опторазвязки HCPLJ312 полумостовые IGBT-сборки, LC-фильтры и трансформатор гальванической развязки типа ОСМ или ТСВМ (производства ОАО «Электрозавод»). Сигнал отключения по короткому замыканию в нагрузке подается на вход OUTENA, а сигнал отключения по перегрузке — на объединенные выходы ENAR, ENAT, ENAS. Сигнал RESET жестко установлен на высокий уровень.

Другой статический преобразователь для спецтехники мощностью 12 кВт предназначен для поставки взамен вращающихся электро-механических преобразователей типа ЭМУ, АТПР. Преобразователь трансформирует переменное трехфазное напряжение 380 В с частотой 50 Гц в постоянное напряжение с номинальным значением ±230 В, которое регулируется от нуля в обе стороны. Отличительной



Рис. 7. Опытный образец преобразователя СТТ-6-400

особенностью такого преобразователя являются, во-первых, высокая линейность статической характеристики, составляющая не более 1,5%; во-вторых, низкий уровень пульсаций выходного тока — не более 0,02%. Нагрузка преобразователя — активно-индуктивная. В этом преобразователе типа СРТ-12 (рис. 8) микросхема IXDP630 также используется для задания «мертвого времени», но уже только по каналам R и S. Сам преобразователь построен по схеме автогенераторного мостового инвертора со стабилизацией выходного тока. Применение в нем описываемой микросхемы позволило в процессе разработки избежать многих аварийных ситуаций, связанных с выходом из строя дорогостоящих транзисторных ключей.



Рис. 8. Опытный образец преобразователя СРТ-12