

Применение микросхем IGBT/MOSFET драйверов корпорации IXYS в силовых электронных устройствах

Юрий Коваль, руководитель технического отдела, фирма СЭА
E-mail: yurikov@sea.com.ua

Последние достижения в технологии изготовления MOSFET/IGBT силовых приборов и управляющих устройств позволяют производить их более эффективными и компактными. Все эти передовые наработки также будут относиться и к технологии изготовления MOSFET / IGBT микросхем драйверов корпорации IXYS, о которых будет далее повествоваться в этой статье, созданной на основе технических материалов от Abhijit D. Pathak, Sam Ochi, корпорация IXYS, Санта-Клара, США и Laschek-Enders, IXYS GmbH, Lampertheim, Германия.



ВВЕДЕНИЕ

Корпорация IXYS разработала три уникальных микросхемы MOSFET/IGBT драйвера: 30-ти амперный драйвер, 45-ти мегагерцовый драйвер и 6-ти амперный полумостовой драйвер. Эти микросхемы обеспечивают требуемый di/dt , минимальные потери при переключении и в проводящем состоянии, обладают повышенным иммунитетом к dv/dt , защитой от перенапряжения (OV, over-voltage) и пониженного напряжения (UV, under-voltage), перегрузок (OL, overload) и недонасыщения (DESAT, de-saturation), а также с мягким выключением выхода с использованием новой функции аппаратного управления – ENABLE. Уникальная встроенная схема для исключения проходного сопротивления выходного каскада микросхемы драйвера. Эта статья описывает много ответов на технические вопросы, возникающих при использовании этих драйверов-первопроходцев в современной силовой электронике.

ПРЕИМУЩЕСТВА МИКРОСХЕМ ДРАЙВЕРОВ

Главный акцент в современной силовой электронике делается на сокращении

общих потерь теплового рассеивания в устройствах и подсистемах, достижениями более компактных размеров и веса системы. Таким образом, работа над повышением частоты переключения силовых устройств – теперь становится необходимостью, и как результат, потери переключения преобладают в суммарных потерях мощности полупроводниковых переключателей. Уменьшение потерь переключения становится одной из самых ключевых задач. Помня об этом, схема драйвера должна быть спроектирована так, чтобы времена нарастания (t_r) и спада (t_f) сигнала при переключениях были минимальными.

Хоть и имеется много вариантов аппаратной реализации MOSFET/IGBT драйверов (например: на платах из рассыпных компонентов, или в виде готовых модулей), микросхемы драйверов [1] наиболее привлекательны для разработчиков (см. рис. 1). Это проявляется в их компактности, коротких временах задержки распространения сигналов в драйвере, коротком времени нарастания и спада сигнала при переключении, в предсказуемости и серийной воспроизводимости их технических характеристик, а также экономии времени и средств разработчиков при проектировании силовых устройств.

Одним из основных преимуществ микросхем драйверов – их компактность. Использование микросхем драйверов приводит к значительному уменьшению размеров схемы. Много полезных особенностей, таких как UV, OV, OL и DESAT могут быть встроены в схему управления микросхемы драйвера. Они в действительности имеют наиболее короткие времена задержки распространения сигналов из-за уменьшения расстояний проводников, на которых наводятся пересекающиеся сигналы. По этим же причинам, плюс более короткие пути проводимости, выходы микросхем драйверов имеют



Рисунок 1 Внутренняя структура нижнего (слева) и верхнего (справа) плеча 6-ти амперного каскада микросхемы полумостового драйвера IX6R11

меньшие времена нарастания и спада сигнала при переключениях на емкостной нагрузке, чем их прототипы из рассыпных компонентов. К другим преимуществам микросхем драйверов можно отнести воспроизводимость и предсказуемость их технических характеристик, чего нельзя достичь в других аппаратных реализациях драйверов. Проектирование схем MOSFET/IGBT драйверов с использованием микросхем драйверов дает большое удобство в планировании и проектировании печатных плат, в формировании и испытании опытных образцов и, наконец, в меньшем количестве компонентов, необходимых для производства. Доступность PSpice моделей микросхем драйверов, с помощью которых можно на компьютере теоретически смоделировать будущую схему всего устройства – дополнительная выгода для разработчиков. Так как все важные параметры определены в микросхеме драйвера, проектировщикам нет необходимости заниматься трудоемким процессом расчета, проектирования и испытания схемы MOSFET/IGBTs драйвера. Как результат – экономия времени и средств, при разработке и внедрении новых силовых устройств.

УНИКАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА ДРАЙВЕРА НА ТОК 30 А

Известно, что часто при включении и выключении MOSFET/IGBT транзисторов происходит заряд или разряд нагрузочных конденсаторов большой емкости. Предположим, что необходимо зарядить емкостную нагрузку 30000 пФ от 0 до 15 В DC (с помощью мощного MOSFET или IGBT) за 25 нсек, используя сверхскоростную микросхему драйвера. Средний ток заряда такой емкости, в соответствии с формулой 1 будет таким:

$$I = \Delta V \cdot C / \Delta t \quad (1)$$

$$I = (15 - 0) \cdot 30000 \cdot 10^{-12} / (25 \cdot 10^{-9})$$

$$I = 18 \text{ A.}$$

Формула 1 показывает, что выходной ток драйвера прямопропорционален напряжению, емкости и обратнопропорционален времени нарастания выходного сигнала на нагрузке. В реальной схеме, ток заряда непостоянен, пиковое его значение может достигать 29 А. До этого времени, был только путь создания быстро нарастающих импульсов тока с помощью использования выходного усилительного каскада драйвера на подходящих PNP/NPN или

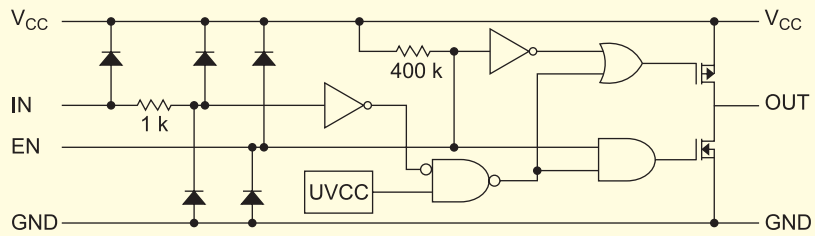


Рисунок 2 Блок схема микросхемы драйвера IXDD430

N-channel /P-channel MOSFET транзисторах по схеме (см. рис. 2).

Возможно 30-тиамперная микросхема драйвера корпорации IXYS, не только преодолела эти токовременные пределы, но и открыла двери к большому множеству других возможностей. Очень важно понимать, что когда требуется управлять мощными MOSFET/IGBT транзисторами с помощью тридцатиамперных импульсов тока, то будет неблагоприятно использовать для этого две микросхемы пятнадцатиамперного драйвера включенных в параллель. Так как из-за задержки распространения сигналов между параллельно включенными драйверами возможно перетекание тока из верхнего P-channel плеча одного драйвера в нижнее N-channel плечо другого драйвера (см. рис. 2). При этом последствия такого перетекания могут быть самые серьезные, вплоть до выгорания по току транзисторов верхнего и нижнего плеча микросхем драйверов.

Давайте посмотрим на несколько ключевых параметров 30-тиамперной микросхемы драйвера IXDD430 корпорации IXYS:

- Времена нарастания и спада: $t_{rise} < 20$ нсек и $t_{fall} < 18$ нсек при $V_{CC} = 15$ В DC и емкостной нагрузке 15000 пФ.
- Диапазон входных напряжений: -5 В... $V_{CC} + 0.3$ В
- Диапазон питающих напряжений: $V_{CC} = 8.5...35$ В DC.
- Выходное сопротивление верхнего и нижнего плеча: $R_{oh} = 0.3$ Ом, $R_{ol} = 0.2$ Ом при $V_{CC} = 18$ В.
- Время включения: 41 нсек при $C_l = 5600$ пФ, $V_{CC} = 18$ В.
- Время выключения: 35 нсек при $C_l = 5600$ пФ, $V_{CC} = 18$ В.
- Пиковый выходной ток: $I_{peak} = 30$ А при $V_{CC} = 18$ В.

В качестве примера рассмотрим схему управления для силового MOSFET модуля серии VMO650-01F, на ток 650 А при напряжении 100 В. Принимая во внимание, что частота переключения $f_{sw} = 250$ кГц, $V_{CC} = 12$ В, $R_{oh} = 0.3$ Ом,

$R_{ol} = 0.2$ Ом, $R_{gext} = 0.0$ Ом. Находим, что согласно технического описания в Datasheet для VMO650-01F, заряд тока $Q_g = 2700$ нС при $V_{CC} = 12$ В. Тогда мощность управления этим модулем будет определяться формулой 2:

$$P_d = P_d(on) + P_d(off) = (R_e \cdot V_{CC} \cdot Q_g \cdot f_{sw}) / (R_{ol} + R_{gext} + R_{gint}) \quad (2)$$

$$P_d = (0.25 \cdot 12 \cdot 2700 \cdot 250000 \cdot 10^{-9}) / (0.2 + 0 + 0)$$

$$P_d = 10.13 \text{ Вт,}$$

где R_{gext} – сопротивление соединения между выходом микросхемы драйвера и затвором MOSFET модуля.

Для 30-ти амперной микросхемы драйвера серии IXDD430 корпорации IXYS, выполненной в корпусах TO-220 или TO-263 и смонтированной на охлаждающий радиатор, повышение температуры драйвера не выходило бы за пределы допустимого, вследствие управления мощным МОП транзисторным модулем серии VMO650-01F. Учитывая возможность дополнительного рассеивания тепловой мощности IXDD430 на хорошем охлаждающем радиаторе, одна микросхема драйвера IXDD430 имеет также способность управления двумя параллельно включенными MOSFET модулями серии VMO650-01F или другим одним бо-

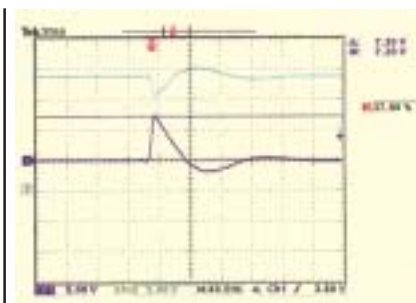


Рисунок 3 Импульс выходного тока IXDD430 (ch 1, первый канал осциллографа), измеренный через емкость 30 нФ, на сопротивлении 0.2 Ом, достигает пикового значения 36.5 А, при $t_{rise} < 10$ нсек

лее мощным ВЧ MOSFET модулем, вплоть до частот переключения в 1 МГц.

Интересно отметить просадку напряжения питания V_{CC} (на втором канале диаграммы осциллографа), при переключении драйвера (см. рис. 3).

Несмотря на превосходную фильтрацию с шунтированием помех по питанию, трудно устранить просадку напряжения V_{CC} . Это происходит из-за индуктивностей проводящих цепей в схеме, которые трудно устраняются. Из-за этих потерь пиковое выходное значение тока (36.2 А) внутри микросхемы драйвера IXDD430 немного больше, чем реально отдаваемое в силовой MOSFET/IGBT модуль пиковый ток (30 А).

45-ТИ МЕГАГЕРЦОВЫЙ СДВОЕННЫЙ ДРАЙВЕР ДЛЯ РЧ MOSFET ТРАНЗИСТОРОВ

С ростом популярности радиочастотных (РЧ) MOSFET транзисторов в промышленных и телекоммуникационных применениях, появление микросхемы драйвера IXDD415 (см. рис. 4) оказалось весьма кстати. Ее основные параметры:

- Времена нарастания и спада: $t_{rise} = 2.3$ нсек и $t_{fall} = 2.1$ нсек при $V_{CC} = 15$ В DC и емкостной нагрузке 1000 пФ.
- Диапазон входных напряжений: -5 В... $V_{CC} + 0.3$ В.
- Диапазон питающих напряжений: $V_{CC} = 8.0...30$ В DC.
- Выходное сопротивление верхнего и нижнего плеча: $R_{oh} = 0.8$ Ом, $R_{ol} = 0.8$ Ом при $V_{CC} = 15$ В.
- Время включения: 32 нсек при $Cl = 4000$ пФ, $V_{CC} = 15$ В.

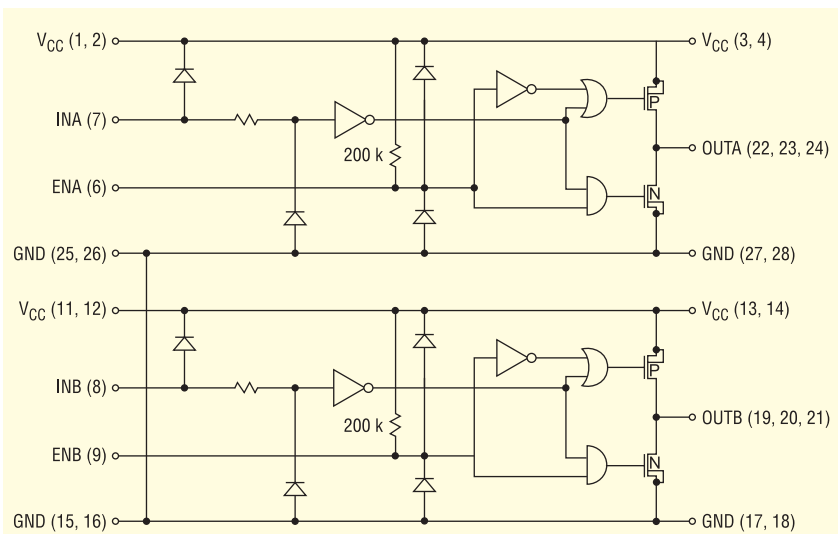


Рисунок 4 Блок схема микросхемы драйвера IXDD415

- Время выключения: 29 нсек при $Cl = 4000$ пФ, $V_{CC} = 15$ В.
- Пиковый выходной ток: $I_{peak} = 15$ А при $V_{CC} = 15$ В.

Для IXDD415 на рисунках 5 и 6 изображена зависимость времени нарастания и спада сигнала от величины емкости в нагрузке.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Работа MOSFET транзисторов в классах усиления D и E на ВЧ и радиочастотных применениях также хороша, как и для других применений, требующих сверхбыстрого времени спада и нарастания, или минимальной ширины импульса. Однако применение таких ВЧ режимов работы MOSFET транзисторов тре-

бует особой осторожности при проектировании и серийном производстве. Особое внимание при разработке таких схем следует уделить: характеристикам индуктивной цепи проводящих дорожек на печатной плате, разветвлению проводников электропитания, размещению компонентов и дорожек на плате, а также заземлению и экранированию.

Токовый путь от плюса источника питания к земле определяется проводящей цепью, имеющей индуктивную составляющую. Эта цепь должна иметь по возможности наименьшую длину. Один из методов устранения просадки напряжения питания при переключениях выходного транзистора является использование крошечных конденсаторов припаянных вплотную к выводам V_{CC} и земля микросхемы драйвера. Значение емкости такого шунтиру-

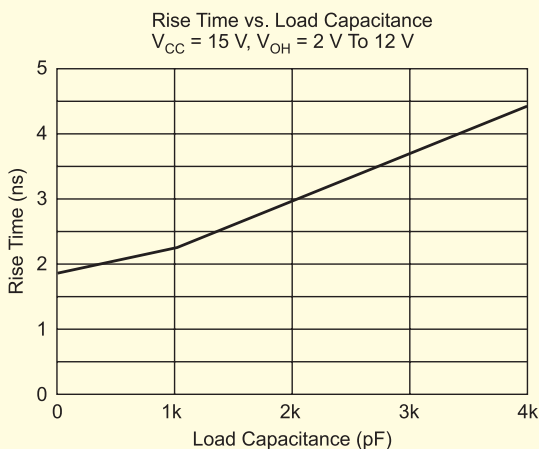


Рисунок 5 Время нарастания в зависимости от нагрузочной емкости для микросхемы драйвера IXDD415

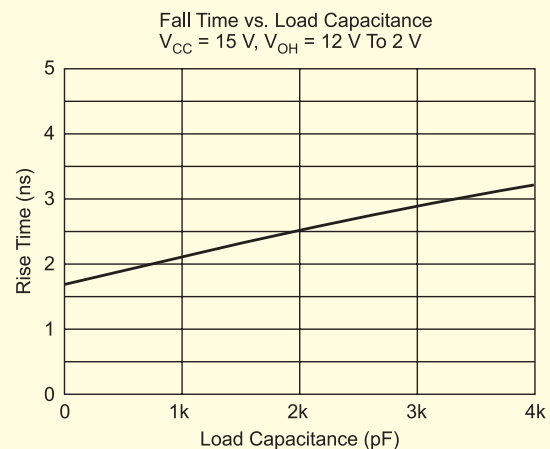


Рисунок 6 Время спада в зависимости от нагрузочной емкости для микросхемы драйвера IXDD415

ющего помеху конденсатора может быть рассчитано по формуле 3:

$$C_{bypass} = ((I_q \cdot d / f_{sw}) + Q_g) / V_{ripple} \quad (3)$$

где I_q – ток потребления от V_{cc} в режиме покоя, d – рабочий цикл ШИМ генератора, Q_g – общий заряд по затвору для MOSFET транзистора, f_{sw} – частота переключения, V_{ripple} – допустимый уровень пульсаций по цепи V_{cc} .

К примеру, пусть нам необходимо управлять Q2-Class HiPerFET силовым MOSFET транзистором IXFB38N100Q2 со встроенным ультрабыстрым диодом. IXFB38N100Q2 обладает низким зарядом затвора, сверхнизким выходным сопротивлением включения $R_{ds(on)}$, $I_q = 25 \text{ mA}$, $d = 0.5$, $Q_g = 230 \text{ nC}$. Задавая допустимый уровень пульсаций по питанию $V_{cc} = 15 \text{ V DC}$ не более $V_{ripple} = 25 \text{ mV}$, мы можем рассчитать в соответствии с формулой 4 для определения требуемого значения емкости конденсатора шунтирующего помехи, одновременно просаживающие питание.

$$C_{bypass} = ((0.25 \cdot 0.5 / 100000) + 230 \cdot 10^{-9}) / (25 \cdot 10^{-3}) \quad (4)$$

$$C_{bypass} = 14.2 \cdot 10^{-6}$$

Это хорошая идея, размещать несколько параллельно включенных шунтирующих конденсаторов с суммарной емкостью 14.2 мкФ , потому как уменьшается эквивалентное последовательное сопротивление общего конденса-

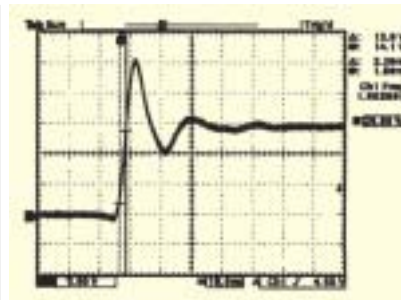


Рисунок 7 Время нарастания $t_{rise} = 2.2 \text{ нсек}$ при 15 V DC , $C_l = 1 \text{ нФ}$, $f_{sw} = 1 \text{ МГц}$

тора и улучшается шунтирование помех по питанию.

Крайне важно, выбирать правильный тип шунтирующих конденсаторов. Приемлемым типом такого конденсатора можно считать X7R MLCC (многослойный) керамический конденсатор, предпочтительнее в SMD исполнении, с выводами максимально приближенными к V_{cc} и земля микросхемы драйвера. Другой очень важный аспект – добротное заземление. Драйверу необходимо очень низкое сопротивление проводника тока подключенного к земле. В данном случае мы имеем три пути прохождения тока на землю: 1) от микросхемы драйвера к предварительному логическому драйверу; 2) от микросхемы драйвера к земле своего источника питания; 3) от микросхемы драйвера к стоку/эмитеру выходного MOSFET/IGBT транзистора. Все эти проводящие пути должны быть крайне корот-

кими по длине и минимальными по сопротивлению. Хорошим решением в этом случае будет считаться использование многослойных печатных плат с широким земляным слоем, расположенным под входной (затворной) схемой драйвера. Однако этот земляной слой должен быть надежно соединен со стоком/эмитером выходного MOSFET/IGBT транзистора, чтобы избежать разности земляных потенциалов.

С желаемыми временами нарастания и спада выходного сигнала микросхемы драйвера в диапазоне $2...3 \text{ нсек}$, необходимо максимально уменьшать длину токопроводящих проводников. Эмпирическое значение индуктивности для проводящих дорожек печатной платы может быть рассчитано по формуле 5:

$$L = 5 \cdot \ln((2 \cdot \pi \cdot h) / w) \quad (5)$$

где L – индуктивность в $\text{нГн}/\text{inch}$, h – высота проводящей дорожки над земляным слоем в inch , w – ширина проводящей дорожки в inch .

Если вы задаете $h = 0.01 \text{ inch}$ и $w = 0.04 \text{ inch}$, то получаете $L = 2.26 \text{ нГн}/\text{inch}$ ($0.089 \text{ нГн}/\text{мм}$) для данной длины дорожки. $di/dt = 5 \text{ A}/\text{нсек}$ для 45 МГц микросхемы драйвера с выходным пиковым током на 15 A , устанавливающегося за 3 мсек на затворе выходного MOSFET транзистора. В результате возникновения переходного напряжения на дорожках печатной платы равно $(L \cdot di/dt) 4.4 \text{ В}$, на каждом сантиметре

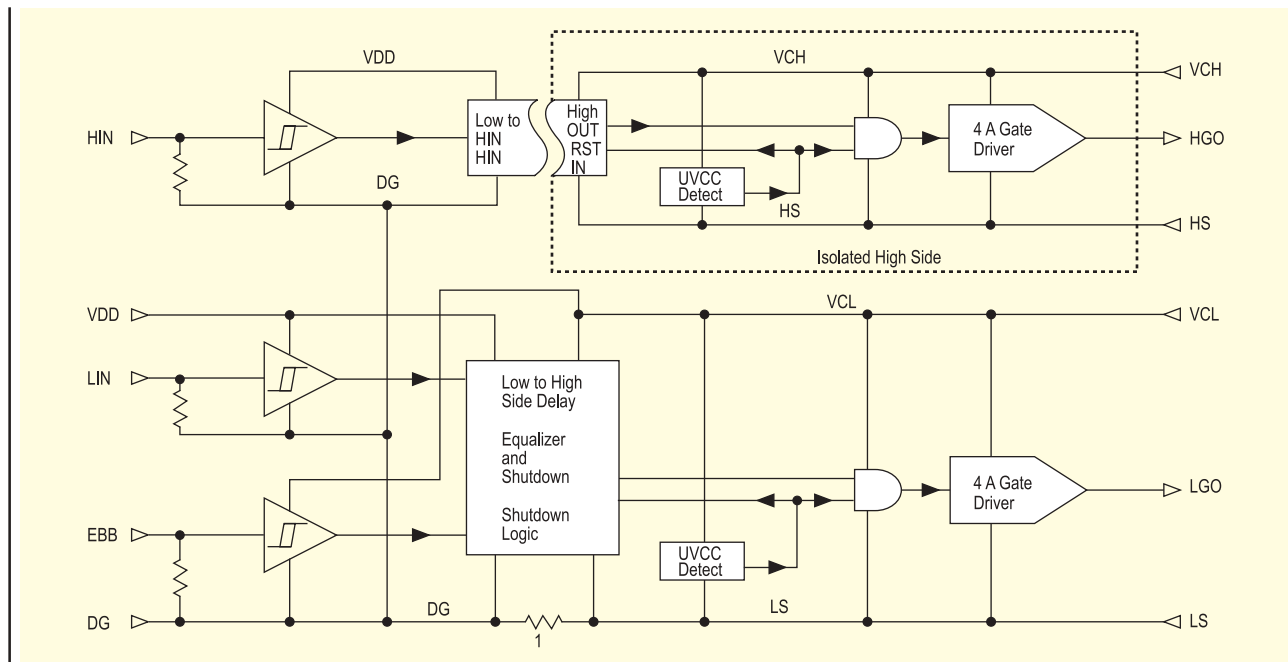


Рисунок 8 Блок схема микросхемы драйвера IX6R11

длины этой дорожки, выходное напряжение микросхемы драйвера на такую же величину уменьшается. Хороший прием для борьбы с этим негативным явлением, это использование напряжения питания микросхемы драйвера увеличенного до 20 В DC. Если нет возможности уменьшить длину печатной дорожки с выхода микросхемы драйвера на вход затвора MOSFET транзистора, тогда можно увеличить ширину этой дорожки, что уменьшит ее паразитную индуктивность. Другой паразитный эффект длинной проводящей дорожки – это излучение радиопомех. Индуктивность дорожки совместно с паразитной входной емкостью MOSFET транзистора могут создать резонансную систему, из-за которой будет сложно сделать чистой форму выходного сигнала, особенно в моменты переключений.

Важно помнить тот факт, что каждый MOSFET/IGBT транзистор имеет небольшую индуктивность в зависимости от типа корпуса и схемы. Приемлемым будет максимально уменьшить значение этой индуктивности, так как при наличии такой индуктивности, включенной последовательно между эмитером/стоком выходного IGBT/MOSFET транзистора и землей, будет происходить увеличение времени переключения из-за отрицательной обратной связи [3] (см. рис. 7).

Оба драйвера микросхемы IXDD415 имеют управляющий вывод ENABLE (ENA, ENB на рис. 4), который в низком состоянии по сигналу FAULT с выхода от внешнего компаратора (реагирующего на перегрузку или короткое замыкание),

вводит встроенные N-channel и P-channel транзисторы микросхемы драйвера в треть (высокоимпедансное) состояние. Это не только останавливает и отключает любой выход микросхемы драйвера, но также и позволяет сделать это отключение плавным. Существует два метода реализации этого режима работы. Соединяя резистор R подходящего значения между затвором и стоком MOSFET транзистора вы создаете путь для разряда емкости между затвором и стоком – Cgs. Время плавного выключения будет тогда определяться произведением: $R \cdot C_{gs}$. Альтернативным методом будет являться последовательное соединение резистора R с затвором небольшого по мощности MOSFET транзистора, например 2N7000. Эта комбинация соединяет затвор и сток силового MOSFET транзистора через резистор R, выключая этот транзистор. Когда перегрузка или короткое замыкание проходит, другой компаратор обратно включает выходной транзистор 2N7000. Таким образом, MOSFET выключается плавно, и время выключения определяется произведением: $R \cdot C_{gs}$.

НАИБОЛЬШИЕ ТОКИ НИЖНЕГО И ВЕРХНЕГО ПЛЕЧА МИКРОСХЕМЫ ПОЛУМОСТОВОГО ДРАЙВЕРА

Когда драйвер нижнего плеча используется для управления однофазных и трехфазных мостовых транзисторных схем, то драйвер верхнего плеча необходимо электрически изолировать от

нижнего драйвера. IX6R11, новый 6-ти амперный полумостовой драйвер верхнего (изолированного от нижнего) и нижнего плеча (см. рис.8), который может не только управлять оптроном или формирующим трансформатором, но и может управлять двухтактными схемами на MOSFET или IGBT транзисторах (см. рис.9), с частотами переключений до нескольких сотен килогерц. Основные особенности IX6R11:

- Времена нарастания и спада: $t_{rise} < 25$ нсек и $t_{fall} < 17$ нсек при $V_{CC} = 15$ В DC и емкостной нагрузке 2000 пФ.
- Диапазон входных напряжений верхнего плеча: $V_{INH} = 9.5 \text{ В} \dots V_{CC} + 0.3 \text{ В}$.
- Диапазон входных напряжений нижнего плеча: $V_{INL} = 0 \text{ В} \dots 6 \text{ В}$.
- Диапазон питающих напряжений: $V_{CC} = 10 \dots 35 \text{ В DC}$.
- Выходной ток короткого замыкания $I_{GO+} = +6 \text{ А}$ или $I_{GO-} = -6 \text{ А}$ при $V_{IN} = 0 \text{ В}$, $V_{GO} = 15 \text{ В}$ и импульсе шириной < 10 мсек.
- Устойчивость против резких изменений напряжения до $dv/dt = \pm 50 \text{ В/нсек}$.
- Устойчивость против переходных процессов отрицательной полярности.
- Устойчивость к перегрузкам.
- Одинаковое время нарастания, спада и задержки распространения для обоих выходов.

Максимальный выходной ток для микросхем полумостовых драйверов с нижним и изолированным верхним плечами от International Rectifier и большинства других производителей был равен 2 А. Ввод в производство корпорацией IXYS

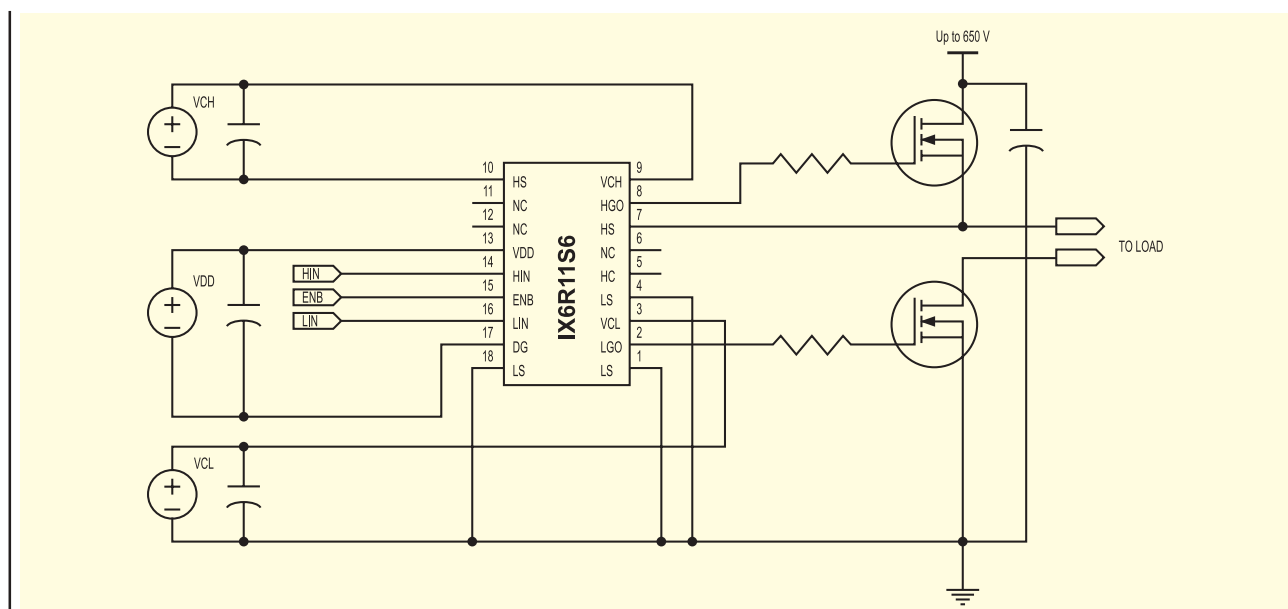


Рисунок 9 Схема управления двухтактным MOSFET каскадом с помощью микросхемы драйвера IX6R11

6-ти амперной микросхемы драйвера позволяет разработчикам создавать более компактные и менее дорогие силовые устройства, охватывая большее число различных применений. Другой полезной особенностью 6-ти амперных драйверов, является их меньшая, чем у старых 2-х амперных микросхем драйверов мощность рассеивания верхнего и нижнего плеча. Все это делает наиболее приемлемым применение 6-ти амперных микросхем драйверов корпорации IXYS в более мощных и ВЧ силовых устройствах.

IX6R11 произведена в качестве альтернативы популярных драйверов IR2110, IR2113 фирмы INTERNATIONAL RECTIFIER. Исполнение IX6R11S3 полностью заменяет IR2110S, IR2113S в корпусе SOIC-16, вплоть до нумерации выводов. IX6R11 найдут широкое применение в следующем поколении сервоприводов для управления электродвигателями, в промышленных и телекоммуникационных импульсных источниках питания, в DC/DC-преобразователях, в источниках бесперебойного питания, в усилителях класса-D и в плазменных мониторах.

К еще одному удобству при разработке силовых систем, можно отнести наличие на сайте корпорации

IXYS, по ссылке: <http://www.ixys.com/psice01.asp> PSpice электронных эквивалентных моделей для всех микросхем драйверов IXYS, необходимых при компьютерном моделировании например в программе Orcad.

ВЫВОД

Будущее развитие силовой электроники зависит от совершенствования технологии изготовления отдельных компонентов и устройств, улучшения методов отвода высокой температуры от кристалла и создания принципиально новых микросхем драйверов с улучшенным алгоритмом управления. Эта статья описала три уникальных драйвера корпорации IXYS: 30-тиамперный IXDD430 с наибольшим выходным током в своем классе; IXDD415 – 45-ти мегагерцовый двоярный драйвер на наивысшую частоту переключения в своем классе, при выходном токе 15 А; IX6R1 – 6-ти амперная микросхема полумостового драйвера нижнего и верхнего плеча, первый драйвер на 6 А в своем классе. С помощью этих и других драйверов корпорации IXYS можно проектировать опти-

мальные силовые электронные системы с использованием передовых MOSFET и IGBT транзисторов.

Получить более детальную информацию, а также приобрести драйверы корпорации IXYS, Вы можете в офисе фирмы СЭА: тел. (044) 575-94-00, e-mail: info@sea.com.ua, www.sea.com.ua

Литература:

1. Abhijit D. Pathak, 'MOSFET/IGBT Drivers-Theory and Applications', доступно на сайте: www.ixys.com
2. Abhijit D. Pathak and Ralph E.Locher, 'How to Drive MOSFETs and IGBTs into The 21st Century' Proc. of PowerSystems Technology 2002 Conference, стр.242-269, Октябрь. 2002.
3. Sam S. Ochi, 'Driving Your MOSFETs Wild to Obtain Greater Efficiencies, Power Densities and Lower Overall Costs' Presented at the 2002 Taiwan Power Electronics Conference and is included in the TPEC'02 Conference Proceedings', стр.139-143.



ВИГРАШНИЙ ХІД НАПІВПРОВІДНИКИ ВІД IXYS ТА INTERNATIONAL RECTIFIER





MOSFET транзистори, модулі й драйвери



IGBT транзистори, модулі й драйвери



Тиристорно-діодні модулі





75V / 160A
MOSFET транзистори й транзисторні матриці



HVICs
MOSFET та IGBT драйвери



WAPPS
Діоди, тиристори, випрямні мости



Офіційний дистриб'ютор в Україні: СЕА
Наші координати: Україна, 02094,
м.Київ, вул.Краківська, 36/10.

тел. багатокан.: +38(044) 575-94-03,
тел./факс: +38(044)575-94-10
e-mail: info@sea.com.ua, www.sea.com.ua