

# G5 HVIC – НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ИС

**Евгений Звонарев**

**Пятое поколение** высоковольтных микросхем **HVIC** (High-Voltage Integrated Circuit) компании **International Rectifier** для управления транзисторами и мостами имеет ряд дополнительных функциональных возможностей, более высокую степень интеграции, более низкую стоимость. Данная статья поможет разработчику в выборе наиболее подходящей микросхемы для управления мощным силовым каскадом с напряжением питания до 600 или 1200 В.

Драйверы MOSFET- и IGBT-транзисторов предназначены для управления мощными полупроводниковыми приборами в выходных каскадах преобразователей электрической энергии. Используются в качестве промежуточного звена между управляющей схемой (контроллером или цифровым сигнальным процессором) и мощными исполнительными элементами, коммутирующими нагрузку. Драйверы - это основная группа высоковольтных ИС International Rectifier. К ней также можно отнести контроллеры электронных балластов.

Этапы развития энергетической (силовой) электроники определяются достижениями в технологиях силовых ключей и схем управления. Динамические и статические параметры силовых приборов постоянно улучшаются, но мощными ключами нужно еще и эффективно управлять. Для сбалансированного взаимодействия между управляющей схемой и выходными каскадами и предназначены новые мощные драйверы MOSFET- и IGBT-транзисторов фирмы International Rectifier. Драйверы IR имеют высокие выходные токи (до  $\pm 4$  А), малые длительности фронта, спада, задержки и другие интересные отличительные особенности. Выпускаемые International Rectifier управляющие микросхемы предназначены для работы в любых конфигурациях силовых каскадов в диапазоне мощности до 3-5 кВт.

Упрощенная структура силового каскада с высоковольтной управляющей микросхемой показана на рисунке 1.

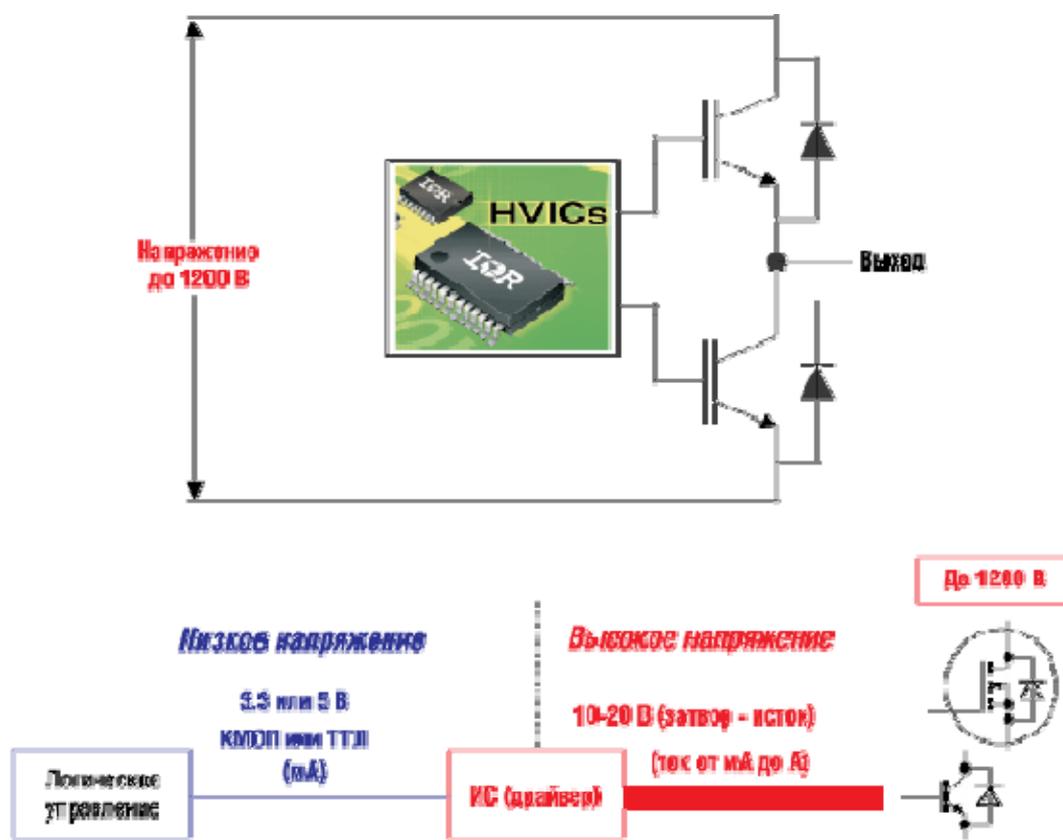


Рис. 1. Упрощенная структура полумостового силового каскада с высоковольтным драйвером (HVIC)

Высоковольтный драйвер MOSFET/IGBT должен удовлетворять следующим требованиям:

- управляться логическим сигналом, связанным с сигнальной шиной общего провода, следовательно, драйвер верхнего плеча должен иметь высоковольтный каскад сдвига уровня;
- мощность, рассеиваемая схемой управления, должна быть пренебрежимо мала по сравнению с общей рассеиваемой мощностью;
- схема управления должна обеспечивать токи заряда/разряда цепи затвора, гарантирующие динамические характеристики транзистора.

Производство микросхем управления HVIC вообрало в себя все достижения высоковольтных технологий, но их развитие происходит все более быстрыми темпами, появляются дополнительные функциональные возможности, возрастает степень интеграции при уменьшении площади кристалла и стоимости. Воплощением всех этих достижений стали высоковольтные силовые микросхемы управления 5-го поколения G5 HVIC. На рисунке 2 проиллюстрирован переход от старых серий высоковольтных управляющих микросхем к новому поколению G5 HVIC. Микросхемы предыдущих поколений со временем будут сняты с производства, цена старых драйверов в переходный период будет расти. Из нижних графиков рисунка 2 видно, что со временем отношение функциональность/стоимость будет увеличиваться. Это объясняется дальнейшим снижением цен при улучшении параметров с добавлением дополнительных функций при повышении степени интеграции ИС.

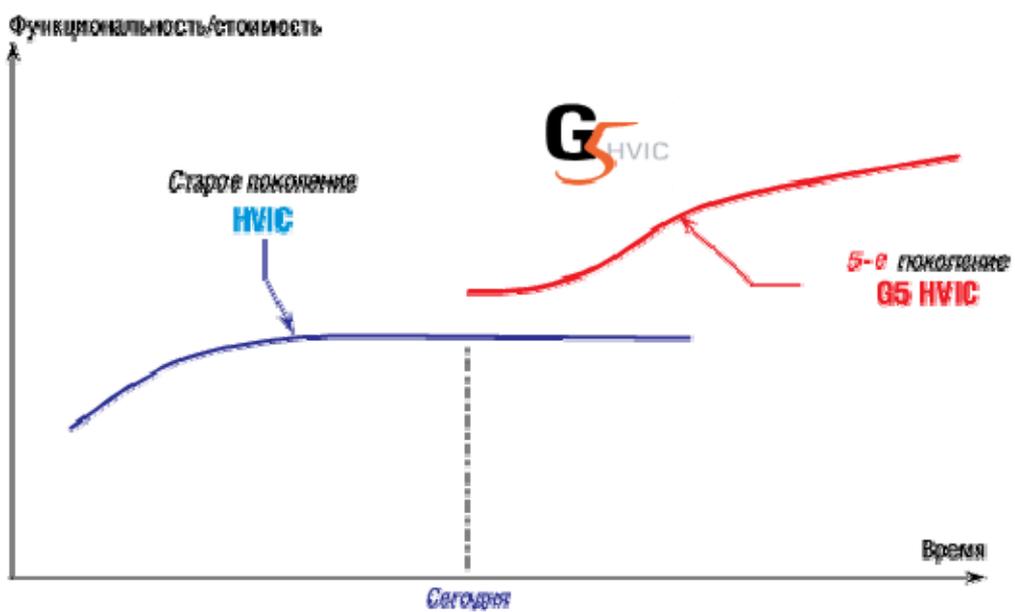
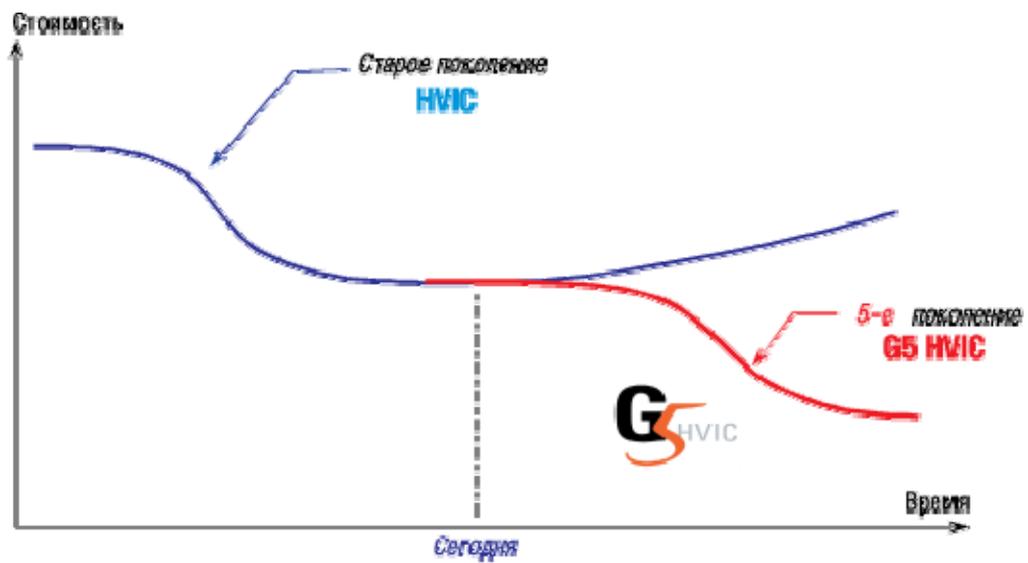


Рис. 2. Развитие HVIC (высоковольтных ИС) International Rectifier

Драйверы нового поколения G5 HVIC условно можно разделить на две категории, показанные на рисунке 3:

- обновленные версии первых поколений;
- новые драйверы с расширенной функциональностью и улучшенными характеристиками.

# G5 HVIC драйверы International Rectifier

Две категории продукции:

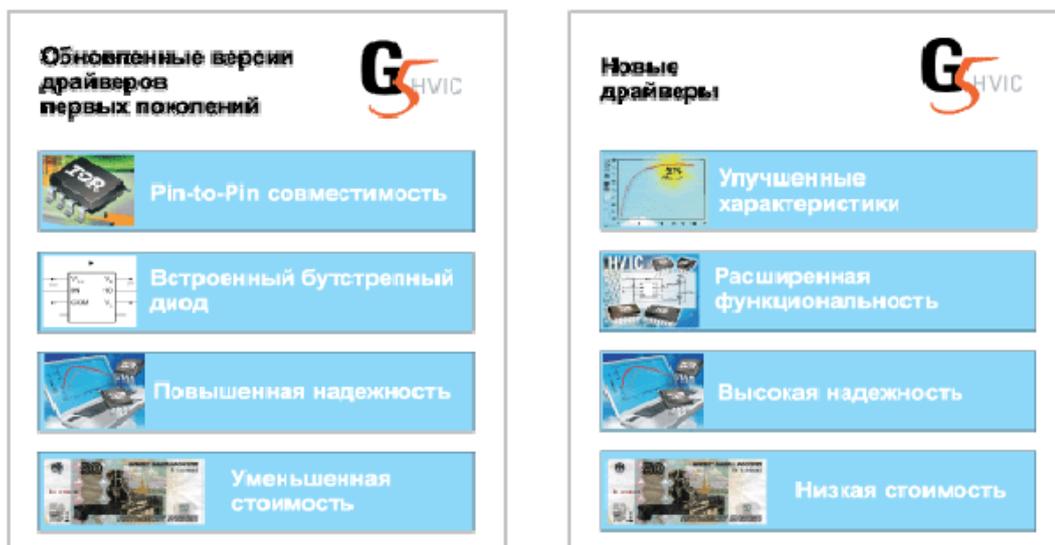


Рис. 3. Две категории новых высоковольтных драйверов G5 HVIC

Обновленные версии драйверов новых поколений полностью совместимы по выводам, имеют более жесткие допуски по многим параметрам, благодаря чему расширяется выбор внешних дискретных компонентов и упрощается расчет схемы, дополнительно повышается надежность всей схемы. Во многих случаях новые ИС уже содержат встроенный бутстрепный диод (bootstrap diode), благодаря чему отпадает необходимость в относительно громоздком по сравнению с самой микросхемой драйвера внешнем бутстрепном диоде. Высокая плотность структуры при уменьшенном кристалле, совместимость с логикой 3,3 В, отдельные выводы для сигнальной и силовой «земли», фиксируемое и программируемое время паузы (deadtime) при переключении транзисторов полумостовых и мостовых схем, блокировка по низкому напряжению питания облегчают разработку проектирование высоконадежных силовых устройств.

Основные параметры новых драйверов и микросхем предыдущих поколений сведены в таблицу 1. Обозначения микросхем новых серий отличаются добавленной буквой «S», похожей на цифру «5» (5-е поколение G5). Наименования некоторых новых микросхем оканчиваются на букву «D», что означает наличие встроенного бутстрепного диода. Некоторые новые драйверы G5 не имеют аналогов в предыдущих поколениях микросхем.

Таблица 1. Замены для высоковольтных микросхем предыдущего поколения из новых серий G5 HVIC

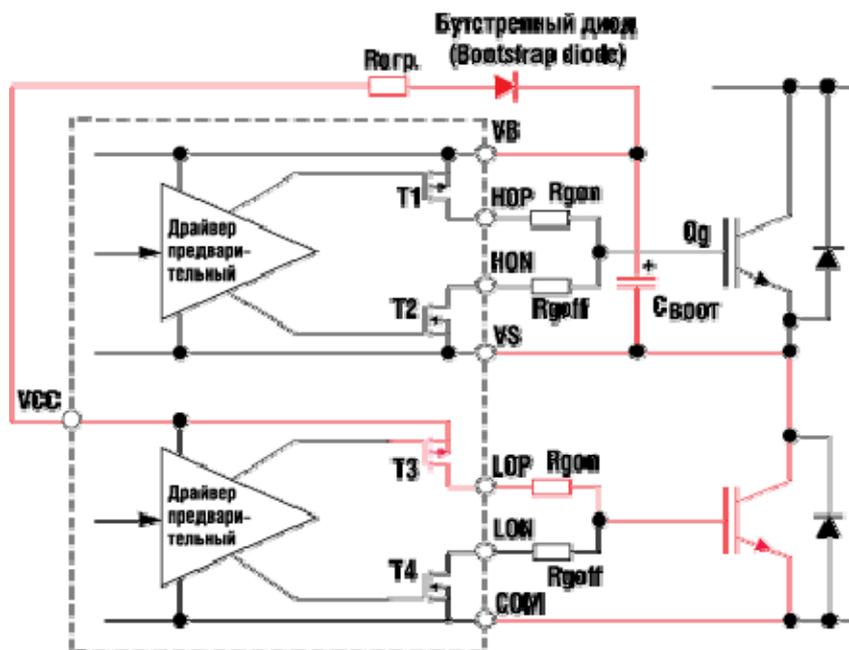
G5 HVIC	Наименование предыдущего поколения	Корпус (а)	Комментарии
<b>Драйверы нижнего и верхнего ключей (High/Low Driver)</b>			
IRS2001	-	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2011	IR2011	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 1$ А; UVLO VCC и VBS
IRS2101	IR2101	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2106	IR2106	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS21064	IR21064	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2110	IR2110	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 2,5$ А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2112	IR2112	SOIC/DIP	Выходной ток 290/600 мА; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2113	IR2113	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 2,5$ А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2181	IR2181	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS2184	IR21814	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS2186	IR2186	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 4$ А; UVLO VCC и VBS
IRS21664	IR21864	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 4$ А; UVLO VCC и VBS
IRS2301	IR2301	SOIC	UVLO VCC и VBS
<b>Драйверы полумоста (Half-Bridge Driver)</b>			

IRS2003	-	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2004	-	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS20124	-	SOIC	Выходной ток 1/1,2 А, программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS20955	-	SOIC/DIP	Выходной ток 1/1,2 А, программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS2103	IR2103	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2104	IR2104	SOIC/DIP	UVLO VCC, входная логика для режима shutdown
IRS2108	IR2108	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS21084	IR21084	SOIC/DIP	Программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS2109	IR2109	SOIC/DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS21091	IR21091	SOIC/DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS21094	IR21094	SOIC/DIP	UVLO VCC, входная логика для режима shutdown, программируемое время deadtime
IRS2111	IR2111	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2153D	IR2153	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, 50% рабочий цикл, deadtime = 1,1 мкс
IRS21531D	IR21531	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, 50% рабочий цикл, deadtime = 0,6 мкс
IRS2166D	IR2166	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, программируемое время deadtime, ККМ + схема электронного балласта
IRS2168D	IR2167	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, программируемое время deadtime, ККМ + схема электронного балласта
IRS2183	IR2183	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS21384	IR21834	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, программируемое время deadtime
IRS2184	IR2184	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS21844	IR21844	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, программируемое время deadtime, входная логика для shutdown
IRS2302	IR2302	DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS2304	IR2304	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2308	IR2308	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2540	-	SOIC/DIP	Автоматический перезапуск, deadtime = 140 нс
IRS2541	-	SOIC/DIP	Автоматический перезапуск, deadtime = 140 нс
<b>Драйверы одноканальные (Single Channel Driver)</b>			
IRS2117	IR2117	SOIC/DIP	Выходной сигнал синфазен с входным
IRS2118	IR2118	SOIC/DIP	Выходной сигнал в противофазе с входным
IRS2127	IR2127	SOIC/DIP	Наличие входа для подключения датчика тока, входной и выходной сигнал синфазны
IRS2128	IR2128	SOIC/DIP	Наличие входа для подключения датчика тока, входной и выходной сигнал в противофазе
IRS21851	-	SOIC	Выходной ток ±4 А
<b>Драйверы нижнего ключа (Low Side Driver)</b>			
IRS4426	IR4426	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А
IRS4427	IR4427	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А

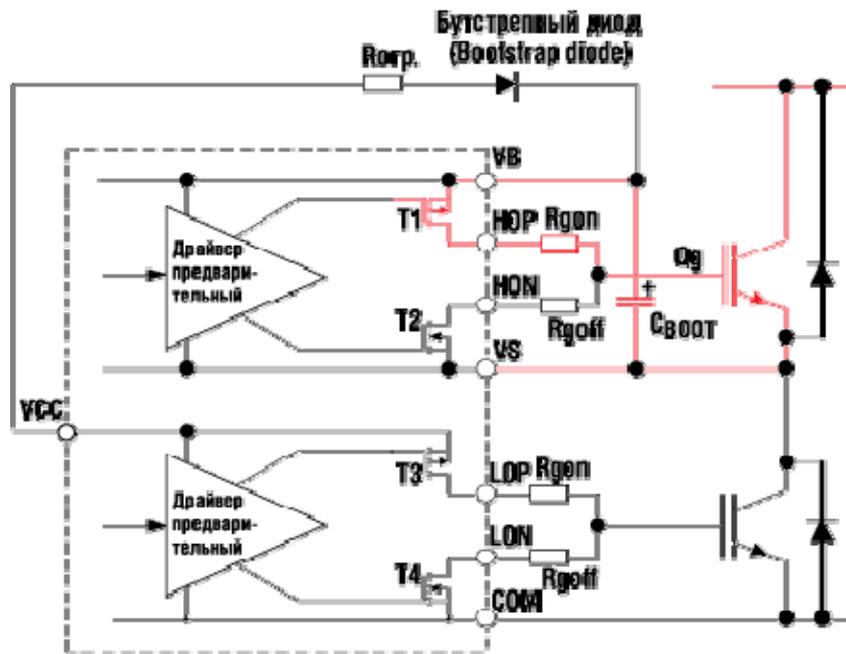
IRS4428	IR4428	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А
Мостовой драйвер (Full-Bridge Driver)			
IRS2453D	-	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, выходной ток 180/260 мА, микромощная схема запуска

### БУТСТРЕПНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Часто из-за слишком большого входного напряжения для транзисторов верхнего плеча применяется относительно простая и недорогая бутстрепная схема управления (схема с «плавающим» источником питания). В такой схеме длительность управляющего импульса ограничена величиной бутстрепной емкости. Кроме того, необходимо обеспечить условия для его постоянного заряда с помощью высоковольтного быстродействующего каскада сдвига уровня. International Rectifier применяет свою запатентованную схему каскада сдвига уровня на высоковольтных транзисторах MOSFET. Каскад сдвига уровня передает логический сигнал схеме управления транзисторам верхнего плеча. International Rectifier выпускает драйверы, рассчитанные на перепад напряжения до 600 В (серия IR21xx и новая серия IRS21xx) и до 1200 В (серия IR22xx и новая серия IRS22xx). Каскад сдвига уровня содержит генератор, формирующий короткие импульсы, совпадающие с фронтами входного логического сигнала, дискриминатор импульсов и RS-триггер (защелку) для формирования сигнала управления выходным транзистором верхнего плеча. Такое построение схемы управления позволяет резко снизить ток потребления верхнего каскада драйвера. Принцип работы бутстрепной схемы управления для полумостового каскада проиллюстрирован на рисунке 4. Красным цветом выделены основные компоненты, активные в рассматриваемый момент работы схемы.



При открытом выходном транзисторе нижнего плеча бутстрепный конденсатор  $C_{boot}$  заряжается до напряжения  $V_{CC}$  (без учета падения напряжения на бутстрепном диоде и ограничивающем резисторе  $R_{огр.}$ )



При закрытом транзисторе нижнего плеча выходной каскад драйвера верхнего плеча питается от бутстрепного конденсатора  $C_{boot}$  через открытый транзистор T1. Напряжение, подаваемое через резистор  $R_{goff}$ , открывает выходной транзистор верхнего плеча.

Рис. 4. Принцип работы бутстрепной схемы для полумостового каскада

Кроме формирования тока затвора MOSFET и IGBT драйверы International Rectifier имеют ряд очень важных дополнительных функций:

- защита от короткого замыкания (Short Circuit Protection);
- защита от перегрузки по току (Overcurrent Protection);
- защита от защелкивания при низких напряжениях питания и управления (Under Voltage LockOut - UVLO). Для ключей выходного каскада понижение напряжения управления очень опасно. В этом случае транзистор может перейти в линейный режим и может произойти катастрофический отказ из-за перегрева кристалла. Для исключения такого режима практически во всех современных драйверах MOSFET и IGBT имеется схема UVLO. Все драйверы International Rectifier выдерживают фронты напряжения до 50 В/нс. Этот параметр называется  $dv/dt$  immune. Он характеризует высокую устойчивость к режиму защелкивания, который, как известно, очень опасен для высоковольтных импульсных схем.

Поиск на сайте IR ([www.irf.com](http://www.irf.com)) функционально близких замен из нового поколения G5 для драйверов предыдущих поколений.

Инженеры International Rectifier составили большое количество таблиц для сравнения параметров новых драйверов G5 с высоковольтными микросхемами предыдущих поколений. Например, при поиске сравнительной таблицы для драйверов IR2110 в формате PDF необходимо на сайте IR в окне поиска набрать «PDF G5HVIC IR2110» и отметить "Site Search" (поиск по всему сайту). Необходимо обратить внимание на то, что G5HVIC необходимо набирать слитно. (см. рис. 5).

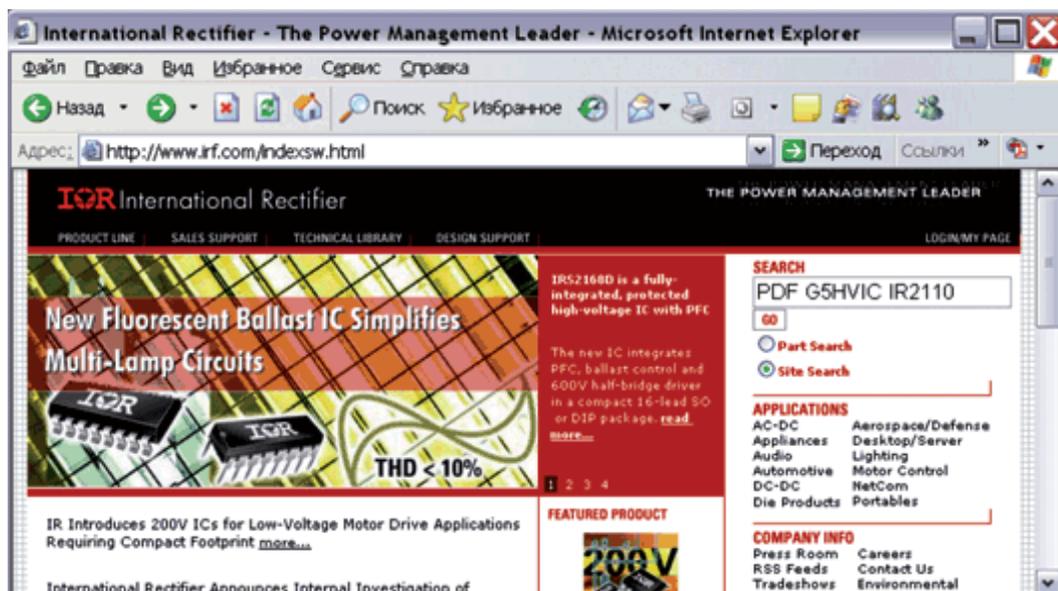


Рис. 5. Первое окно для поиска параметров новых функционально близких драйверов G5

Поиск по сайту производится средствами известного поискового механизма Google (см. рис. 6 со ссылками на результаты поиска).

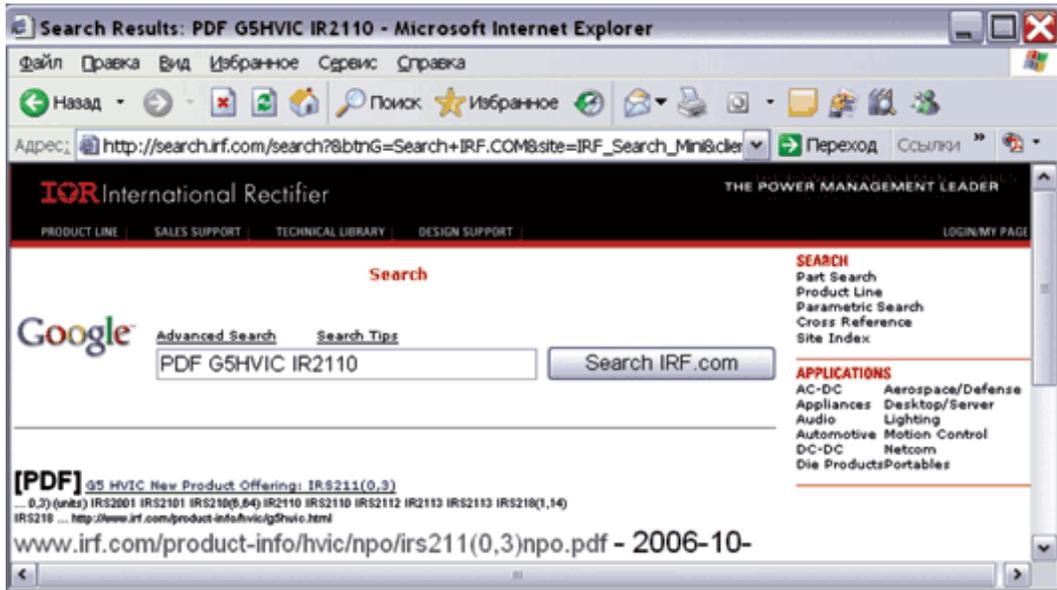


Рис. 6. Найденные ссылки с результатами поиска сравнительной таблицы параметров новых драйверов G5 и ИС предыдущих поколений

Найденный PDF файл содержит несколько страниц. Страница со сравнительной таблицей, фрагмент которой показан на рисунке 7, находится в конце файла. Автор умышленно не стал переводить названия параметров, чтобы не вводить читателя в заблуждение. С другой стороны, есть полная уверенность, что в данном конкретном случае это и не требуется. Аналогичным способом поиска читатель может найти сравнительные таблицы для других драйверов ранних поколений, приведенных в таблице 1.

**Adopting G5 HVIC: IRS2110, IRS2113 (Замены для IRS2110, IRS2113 из новой серии G5 HVIC)**

	(units)	IRS2001	IRS2101	IRS210(6,64)	IR2110	IRS2110	IRS2112	IR2113	IRS2113	IRS210(1,14)	IRS210(6,64)	IRS2201
Offset voltage	V	200	400	600	500	600	600	600	600	600	600	600
Load reg. delay	ns	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SDP	-	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Dual supply	-	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
<b>INPUT LOGIC</b>												
Logic compatibility	V	3,3, 5, 15	3,3, 5, 15	3,3, 5, 15	3,3-20	3,3-20	3,3-20	3,3-20	3,3-20	3,3, 5	3,3, 5	3,3, 5, 15
H.N. LIN	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<b>OUTPUT</b>												
V <sub>out</sub>	V	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	5-20
I <sub>out</sub>	mA	250	250	250	2500	2500	250	2500	2500	1500	4000	250
R <sub>ds(on)</sub>	Ω	600	600	600	2500	2500	600	2500	2500	2000	4000	600
<b>RVLQ</b>												
V <sub>ce(sat)</sub>	V	-	-	0.9	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.9	0.9	4.1
V <sub>ce(sat)</sub>	V	-	-	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
V <sub>ce(sat)</sub>	V	-	-	0.7	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.3
V <sub>ce(sat)</sub>	V	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	4.1
V <sub>ce(sat)</sub>	V	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
V <sub>ce(sat)</sub>	V	-	-	0.7	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.3
<b>TIMING</b>												
t <sub>on</sub>	ns	160	160	220	120	130	135	120	130	160	170	220
t <sub>off</sub>	ns	160	150	200	94	120	130	94	120	220	170	200
t <sub>sd</sub>	ns	-	-	-	110	130	130	110	130	-	-	-
t <sub>tr</sub>	ns	70	70	100	25	25	25	25	25	40	22	100
t <sub>sw</sub>	ns	35	35	30	17	17	35	17	17	20	18	35
EN		50 (max)	60 (max)	30 (max)	10 (max)	10 (max)	30 (max)	20 (max)	20 (max)	35 (max)	30 (max)	50 (max)

**High and Low Side Driver Comparison**

Рис. 7. Найденная сравнительная таблица с параметрами для IR2110 и функционально близких к ним новых драйверов поколения G5

## НОВЫЕ G5 ДРАЙВЕРЫ

Необходимо обратить внимание на новые драйверы International Rectifier поколения G5:

- IRS2453D - мостовой 600-вольтовый драйвер со встроенными бутстрепными диодами и генератором. Выходные токи драйвера составляют 180/260 мА. Микромощная схема запуска, встроенный стабилитрон 15,6 В по питанию V<sub>cc</sub>, отличная защита от защелкивания, время паузы (deadtime) составляет 1,5 мкс, наличие входа shutdown;
- IRS2186, IRS21864 - 600-вольтовые драйверы нижнего и верхнего уровней. Выходные токи драйверов составляют ±4 А, совместимость с логикой управления 3,3 и 5 В, защита от пониженного напряжения, улучшенные показатели надежности;
- IRS21851S - одиночный 600-вольтовый драйвер верхнего уровня. Выходные токи ±4 А, длительность фронтов при нарастании и спаде напряжения около 170 нс, защита от пониженного напряжения, улучшенные показатели надежности.