

УДК 681.32

ЭКОНОМИЧНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В.С. КОТОВ, В.В. ТОКАРЕВ, А.А СЕВОСТЬЯНОВ, В.Е. БОРИСЕНКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 11 мая 2011

Предложено использовать кремниевые высоковольтные (600 В) полевые транзисторы и, как их частный случай, диоды, ограничивающие ток, в экономичных стабилизированных источниках питания интегральных микросхем. Показано, что приборы на основе таких транзисторов позволяют упростить схемы питания интегральных AC/DC преобразователей вторичных источников питания электронных устройств за счет уменьшения количества дискретных элементов и обеспечивают требуемую стабилизацию тока и напряжения питания.

Ключевые слова: микроэлектроника, проектирование, технология, прибор, полевой транзистор.

Введение

Постоянное расширение областей применения интегральных электронных устройств предъявляет новые требования к источникам их питания электрической энергией. Это, в первую очередь компактность и экономичность.

На рис. 1 приведены типичные схемы питания на основе AC/DC преобразователей. AC/DC преобразователи являются вторичными источниками электрического питания электронных устройств, преобразующими переменный ток в постоянный. Здесь ОС – обратная связь по выводу Drain, V_{CC} – вывод питания интегральной микросхемы (ИМС), V_{STR} – вывод запуска ИМС. Практически все схемы реализованы так, что для питания микросхемы, входящей в их состав, используется обратная связь по высоковольтному выводу Drain. Принцип работы схемы питания заключается в заряде конденсатора через резистор в момент включения и дальнейшая подпитка ИМС электрической энергией, запасенной этом конденсаторе. Как правило, напряжение питания ИМС, используемой в таких преобразователях, составляет 16–40 В. Управление схемой питания осуществляется в ряде случаев оптоэлектронной парой.

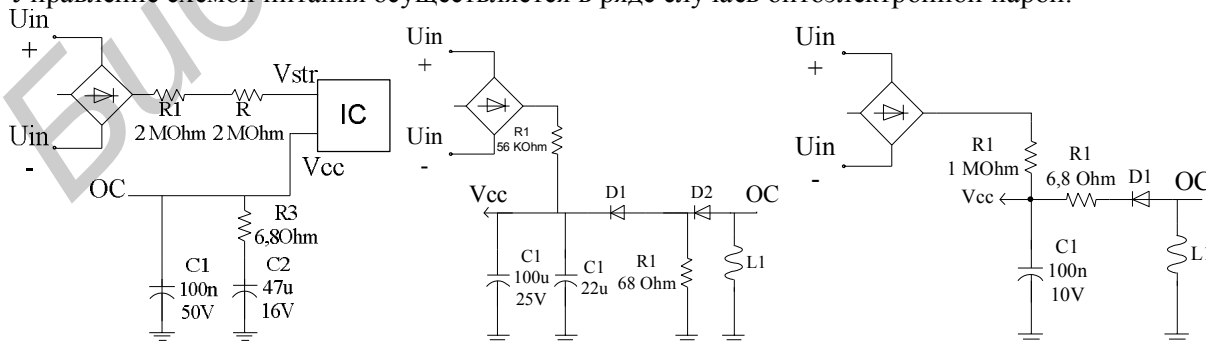


Рис. 1. Типовые схемы питания ИМС (IC) AC/DC преобразователей

Перспективным для экономичных вторичных источников питания представляется использование схем с высоковольтным полевым транзистором, управляемым $p-n$ переходом. Разработка таких схем ведется начиная с 80-х годов прошлого века. Современные интегральные

вторичные источники питания на основе полевых транзисторов рассчитаны на регулируемый ток от 10 мкА до 15 мА в диапазоне напряжений 1–100 В с мощностью до 1 Вт [1–3], что позволяет использовать их лишь в маломощных электронных устройствах, таких как блоки телефонных линий, портативные устройства.

Целью данной работы является разработка конструкции простых экономичных источников стабилизированного питания ИМС на основе кремниевого высоковольтного полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом, для AC/DC преобразователей и технологического процесса их изготовления. Предложенная нами конструкция позволяет расширить диапазон рабочих напряжений до 600 В.

Конструкция высоковольтного полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом

Для обеспечения стабилизированного напряжения и тока предлагается в качестве основного элемента использовать кремниевый 600 В полевой транзистор, управляемый $p-n$ переходом, с дополнительным защитным диодом с прямым напряжением менее 0,8 В, который изготавливается в интегральном исполнении вместе с полевым транзистором. Такое решение выгодно отличается от наиболее близкого к нему аналога CL2 фирмы Supertex [4] уменьшенным размером кристалла, в котором формируются требуемые полупроводниковые элементы, и более простой технологией изготовления. Причем для 600В полевого транзистора не требуется применения понижающих напряжение схем после выпрямительного диодного моста.

Структура разработанного полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом, и защитного диода в интегральном исполнении показана на рис. 2,а, а на рис. 2,б представлена структура такого же транзистора, но с закороченными затвором и истоком, выполняющего роль ограничивающего ток диода. Защитный диод, образованный $p-n$ -переходом $P+$ /карман N -типа (расположен в правой части рис. 2,а,б), служит для предотвращения протекания тока от подключенной к нему цепи обратно через полевой транзистор.

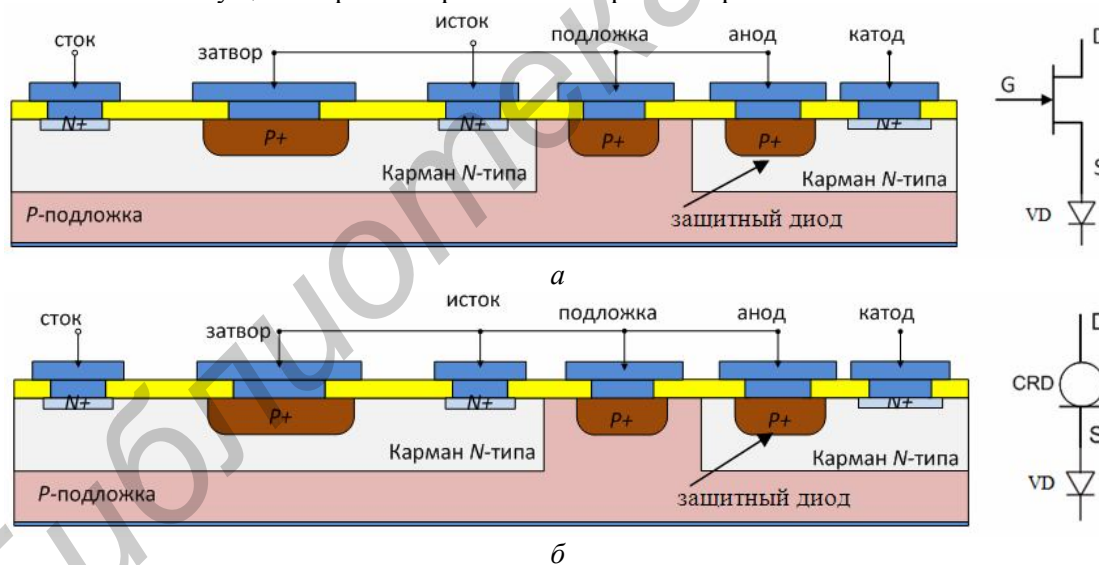


Рис. 2. Структура полевого транзистора на кремнии (а) и ограничивающего ток диода (б) в интегральном исполнении с защитным диодом и их условное графическое обозначение

Варианты использования 600 В полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом, и ограничивающих ток диодов вместо стандартной схемы для питания ИМС в AC/DC преобразователях, показаны на рис. 3.

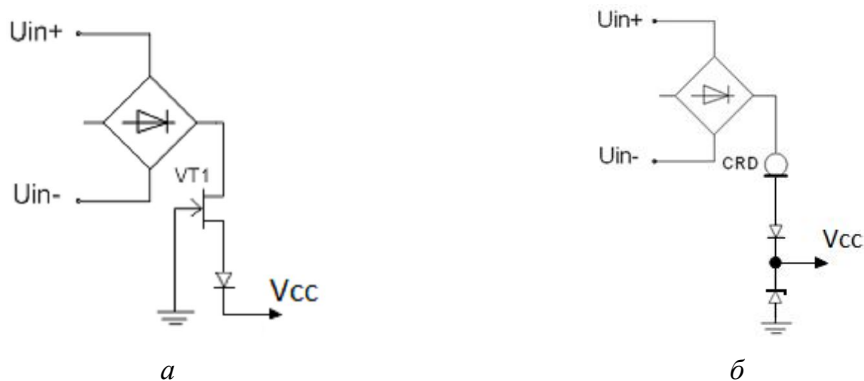


Рис. 3. Схема замещения цепи питания ИМС AC/DC преобразователей полевым транзистором, управляемым $p-n$ -переходом (а) и ограничивающим ток диодом (б)

Полевой транзистор в комбинации с диодом с прямым падением напряжения менее 0,8 В и ограничивающий ток диод в комбинации с вышеназванным диодом и стабилитроном дают стабилизированные ток и напряжение на вход питания V_{cc} . Изменение входного напряжения почти не оказывает влияния на выходной стабилизированный ток и напряжение, в то время как входное напряжение может расти до 600 В, что обусловлено пологой частью выходной характеристики полевого транзистора, показанной на рис. 4, где I_P – рабочий ток; V_K – напряжение, при котором выходной ток составляет 80% тока отсечки; V_B – напряжение пробоя; I_R – допустимый обратный ток.

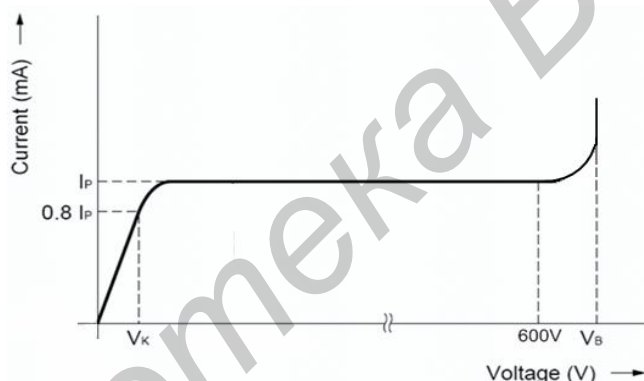


Рис. 4. Схематическая выходная характеристика 600 В полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом

В табл. 1 приведены основные требования к основным параметрам полевого транзистора для температуры 25°C, применяемого в схемах, показанных на рис. 3.

Таблица 1. Основные параметры полевого транзистора при 25°C

Параметр	Мин.	Типовое	Макс.	Ед. измерения
Рабочий ток, I_P	-20%	От 0,2...до 10	+20%	мА
Максимальное рабочее напряжение, V_{ds}	600	-	-	В
Наклон характеристики на участке стабилизации от 40 до 600 В, gL		20~40		%
Напряжение отсечки, V_{PINCH_OFF}	-30%	10, 15, 20	+30%	В
Рабочие температуры	-40	-	125	°C
Предельные температуры	-55	-	150	°C

Расчет конструкции и технологического процесса

Расчет элементов конструкции 600 В полевого транзистора, управляемого $p-n$ -переходом, и основных параметров технологического процесса его изготовления осуществлен с использованием стандартного пакета САПР *TCAD SINOPSIS*.

Маршрут изготовления прибора включает в себя шесть фотолитографических операций и пять высокотемпературных разгонок примесей.

Варьируемые параметры технологического процесса для получения требуемого напряжения отсечки: доза легирования N -кармана, время разгонки N -кармана; время разгонки затвора p -типа. Данные параметры определяют ширину канала полевого транзистора: остаток N -кармана под затвором p -типа. Зависимость напряжения отсечки V_{PINCH_OFF} от ширины канала представлена на рис. 5. В результате расчетов установлено, что такой важный параметр как наклон характеристики на участке стабилизации gL зависит от длины канала (рис. 6).

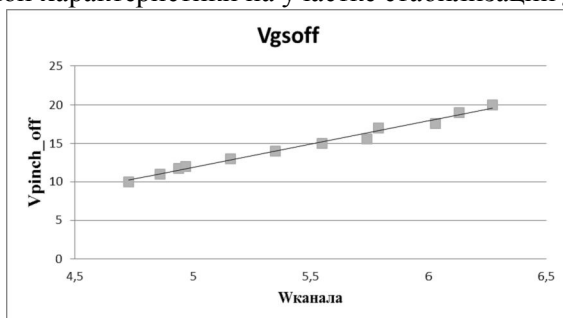


Рис. 5. Зависимость напряжения отсечки (V_{PINCH_OFF}) от ширины канала ($W_{канала}$)

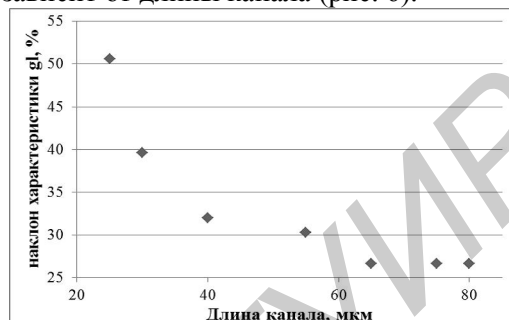


Рис. 6. Зависимость наклона характеристики (g_1) в диапазоне напряжений 40-600 В от длины канала ($L_{канала}$)

При длине канала 65 мкм и более наклон характеристики на участке стабилизации становится минимально возможным и от дальнейшего увеличения длины канала практически не зависит.

Результаты расчетов основных параметров полевого транзистора, управляемого p - n -переходом, приведены в табл. 2. Показано, что для достижения напряжений отсечки 20 В необходимо получить ширину канала порядка 6,2 мкм. Распределение потенциала в расчетной структуре в предельном режиме и основные вольт-амперные характеристики прибора показаны на рис. 7–9.

Таблица 2. Результаты моделирования 600В полевого транзистора с рабочим током 10 мА

Расчетные параметры транзистора с длиной канала 30 мкм			
V_{PINCH_OFF} , В ($V_{ds} = 40$ В, $I_d = 100$ нА)	-10	-15	-20
BV_{DS} , В ($I_d = 15$ мА)	616	630	636
BV_{GS} , В	80	77	81
I_d , мкА/мкм ($V_{ds} = 40$ В, $V_{gs} = 0$ В)	5,52	10,37	10,64
g_L , % ($V_{ds} = 40 - 600$ В)	39,6	31,3	22,3
g_L , % ($V_{ds} = 40 - 540$ В)	14	19	18
$W_{канала}$, мкм	4,73	5,56	6,24
Расчетные параметры транзистора с длиной канала 65 мкм			
V_{PINCH_OFF} , В ($V_{ds} = 40$ В, $I_d = 100$ нА)	-10	-15	-19,5
BV_{DS} , В ($I_d = 15$ мА)	615	630	622
BV_{GS} , В	82	81	85
I_d , мкА/мкм ($V_{ds} = 40$ В, $V_{gs} = 0$ В)	2,62	4,31	8,49
g_L , % ($V_{ds} = 40 - 600$ В)	26,6	27,5	35
g_L , % ($V_{ds} = 40 - 540$ В)	10	19	22
$W_{канала}$, мкм	4,71	5,59	6,23

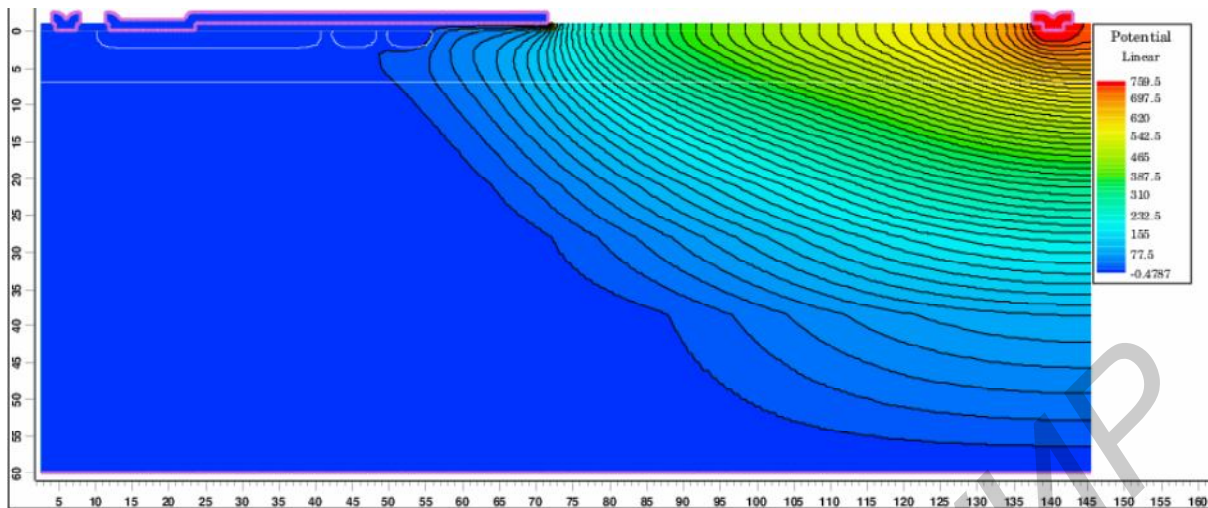


Рис. 7. Распределение потенциала в полевом транзисторе при напряжении исток-исток 750 В

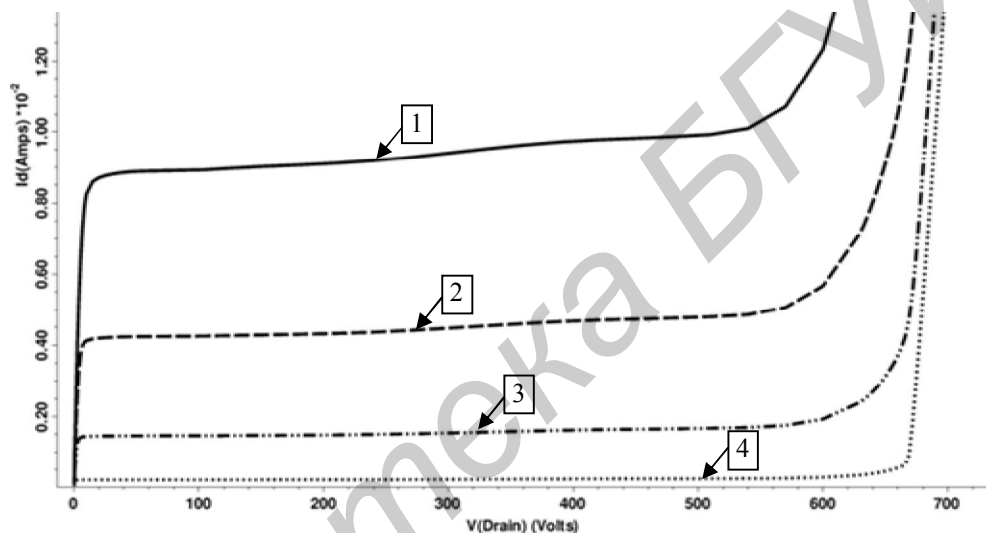


Рис. 8. Выходная вольт-амперная характеристика полевого транзистора в зависимости от напряжения на затворе: 1–0 В; 2 – минус 2,5 В; 3 – минус 5 В; 4 – минус 7,5 В

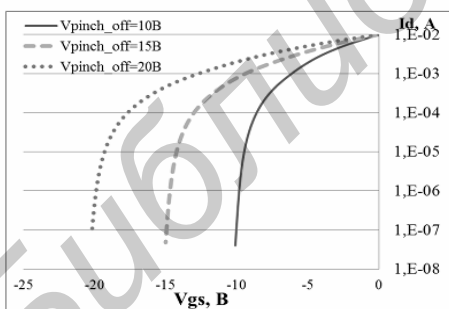


Рис. 9. Ток стока полевого транзистора с напряжением отсечки 10 В, 15 В, 20 В в зависимости от напряжения на затворе (напряжение отсечки дано на уровне 100 нА)

Планарная конструкция полевого транзистора, управляемого *p-n*-переходом, позволяет получить приборы с рабочим напряжением до 600 В с необходимыми характеристиками, достаточными для применения в цепи питания ИМС АС/DC преобразователей. Количество фотолитографий в процессе – 6. Проведенные расчеты позволили оценить оптимальную длину канала для обеспечения минимально возможного наклона характеристики на участке стабилизации.

Схемы замещения цепи питания ИМС АС/DC преобразователей с использованием 600 В полевого транзистора позволяют упростить наряду с упрощением снизить ее стоимость. В зависимости от технико-экономических возможностей производства экономия составит как минимум 40% при изготовлении приборов в Беларуси и до 70% при изготовлении в КНР.

Выводы

Показано, что 600 В приборы на основе полевого транзистора, управляемого *p-n*-переходом, позволяют упростить схемы питания ИМС АС/DC преобразователей за счет уменьшения количества используемых элементов. Упрощенная схема питания дает макси-

мально стабилизированный ток в диапазоне входного напряжения от 15 до 600 В. Как сам полевой транзистор, управляемый $p-n$ -переходом, так и вспомогательные элементы конструкции источника питания ИМС на его основе можно изготавливать по планарной кремниевой технологии с шестью фотолитографическими масками.

Авторы признательны Стаднику Г.М. за внимание к работе и конструктивные предложения при обсуждении результатов.

COST-SAVING HIGH-VOLTAGE STABILIZED POWER SUPPLY OF INTEGRATED CIRCUITS

V.S. KOTAU, V.V. TOKAREV, A.A. SEVOSTIYANOV, V.E. BORISENKO

Abstract

It was proposed to use silicon high-voltage (600 V) FETs, and as their special case, current limiting diodes, in cost-saving stabilized power supply of ICs. It is shown that devices based on these transistors allows to simplify the power supply circuits of integrated AC/DC converters of secondary power supply of electronic devices by reducing the number of discrete elements and provide required stabilization of supply current and voltage.

Литература

1. *Sze Chin* // Semiconductor Monthly. №15. 2000. P. 49.
2. [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.centalsemi.com/PDFs/products/CCLM0035-5750.PDF>, <http://www.semitec-usa.com/downloads/crd.pdf>, <http://www.linearsystems.com/datasheets/J500.pdf>
3. [Electronic resource]. Режим доступа: http://www.centalsemi.com/PDFs/products/Boosting_the_CLD.pdf
4. [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.supertex.com/pdf/misc/CL2PSS.pdf>