

Александр Калачев (г. Барнаул)

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ STMICROELECTRONICS В MOSFET



Силовые транзисторы **MOSFET** – то поле, на котором постоянно происходит битва технологий с целью повышения плотности энергии. Пятая модификация известной технологии **STMicro MDMesh** – это радикальное **снижение сопротивления открытого канала** за счет уменьшенного расстояния между вставками в пространственной структуре кристалла. Эти транзисторы применяются в преобразователях напряжения, корректорах коэффициента мощности, импульсных источниках питания, автомобильном оборудовании.

Одной из характерных черт современной полупроводниковой силовой электроники является постоянное повышение плотности энергии – увеличиваются рабочие напряжения, токи и рабочие частоты при уменьшении габаритов изделий и увеличении энергоэффективности. Это ставит производителей перед необходимостью постоянно совершенствовать технологии производства полупроводниковых изделий. Одними из ключевых компонентов для управления и преобразования электрической энергии являются полевые транзисторы, от которых требуются низкие потери на переключение, низкие потери проводимости и высокая эффективность рассеивания излишнего тепла.

Компания **STMicroelectronics** постоянно совершенствует технологии производства транзисторов для высоковольтных и низковольтных приложений. Ассортимент силовых транзисторов **STMicroelectronics** включает MOSFET-транзисторы для работы с напряжениями 500...1500 В, IGBT-транзисторы с предельными напряжениями 350...1300 В, а также широкий спектр биполярных транзисторов [1].

Портфолио MOSFET-транзисторов **STMicroelectronics** включает в себя р- и п-канальные транзисторы с рабочими напряжениями до 1500 В с малой емкостью затвора и низким сопротивлением открытого канала, представленные в более чем тридцати вариантах корпусов различного способа монтажа (TO-220, TO-220FP, I2PAK, D2PAK, I2PAKFP, DPAK, IPAК, TO-247, Max247, PowerFLAT и др.).

Спектр технологий компании **ST** для производства транзисторов представлен на рисунке 1 [2].

Система маркировки MOSFET-транзисторов **STMicroelectronics**, представленная на рисунке 2 [2], позволяет получить основную информацию о компоненте – максимальные рабочие токи, напряжение пробоя, тип канала и технология изготовления.

Компания **STMicroelectronics** постоянно работает над совершенствованием технологий производства. Это касается и такого большого сегмента рынка, как силовые транзисторы (силовые MOSFET). При этом переход на каждую из новых технологий дает достаточ-

но существенное улучшение характеристик. Одним из ключевых показателей является сопротивление транзистора во включенном состоянии (сопротивление «исток-сток», $R_{DS(ON)}$), чаще фигурирующее в нормализованном виде, т.е. помноженное на площадь кристалла транзистора, $R_{DS(ON)} \cdot S$.

В начале 2000-х годов **STMicroelectronics** представила на рынок технологию «Super Junction MOSFET». Базовая структура транзистора данной технологии представлена на рисунке 3 [3]. Основная идея технологии заключается в том, что исток разбит на отдельные области, связанные металлическими переходниками.

Нормализованное сопротивление открытого канала, $R_{DS(ON)} \cdot S$ (площадь транзистора) и напряжение пробоя связаны между собой и представляют так называемый «теоретический предел», зависящий от материала транзистора (рисунки 4). Усилия разработчиков были направлены на приближение $R_{DS(ON)} \cdot S$ к

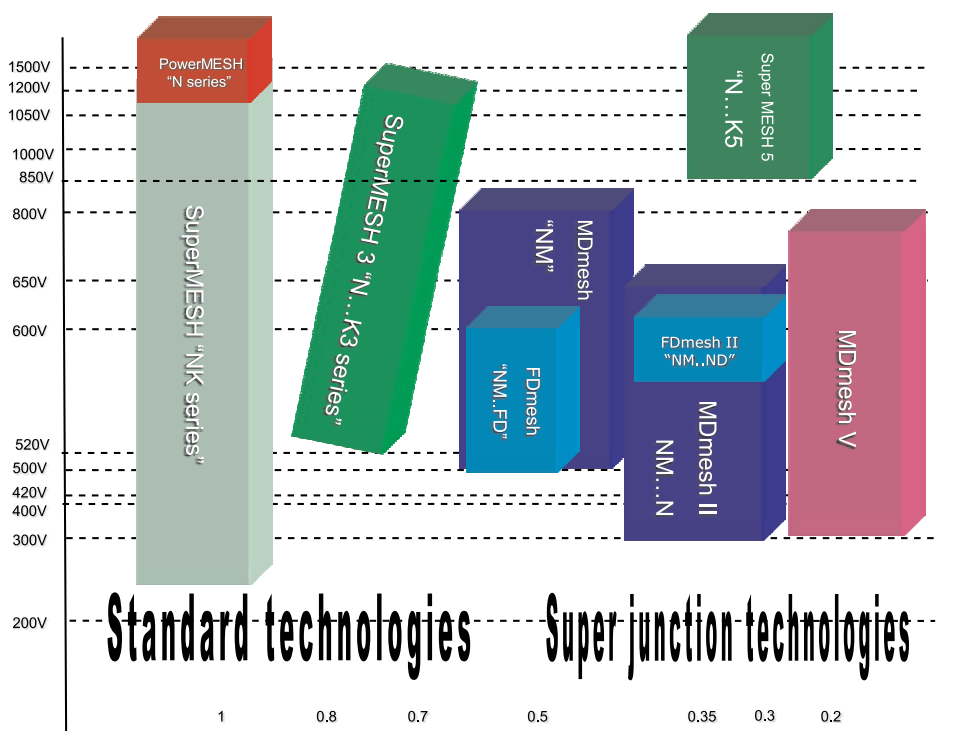


Рис. 1. Спектр технологий производства транзисторов

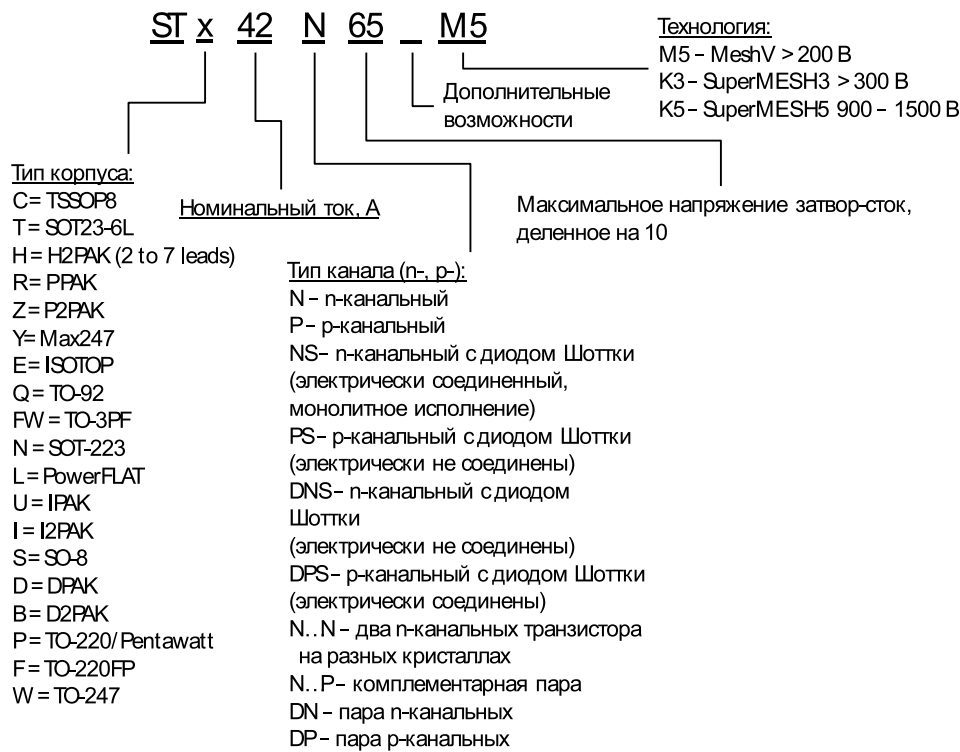


Рис. 2. Система маркировки MOSFET-транзисторов STMicroelectronics

теоретическому пределу за счет снижения $R_{DS(on)}$.

Увеличение плотности размещения областей стока позволило существенно снизить сопротивление эпитаксиального слоя и самого канала, и уменьшить его протяженность. Однако для получения требуемого напряжения пробоя необходимо увеличивать площадь кристалла, что негативно сказывается на частотных характеристиках транзистора. Теоретический предел технологии Super Junction MOSFET также представлен на рисунке 4 [3].

Развитием технологии SuperJunction явилась концепция MDmesh, воплощенная компанией в нескольких последующих поколениях транзисторов. Она заключается в следующем: в тело стока встраиваются протяженные p-области в виде полос (рисунок 5) [2].

Это позволяет снизить сопротивление эпитаксиальной n-области без снижения напряжения пробоя, а также – активное сопротивление канала. Геометрия полос и чередование p- и n-областей позволяет получить постоянную напряженность электрического поля во всем объеме сто-

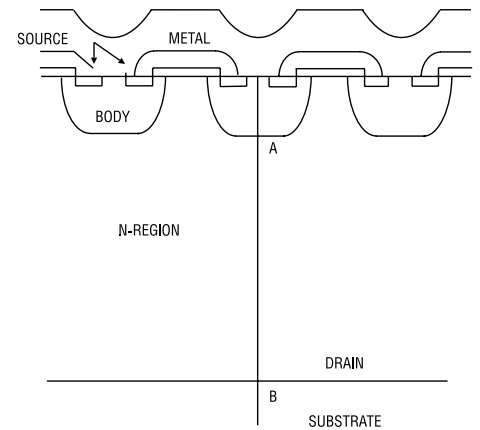


Рис. 3. Структура транзистора технологии SuperJunction MOSFET

ка, несмотря на низкое сопротивление проводящей области [2, 3].

Технология MDmesh позволяет вплотную приблизиться к идеальному теоретическому пределу для кремния (рисунок 4).

Дальнейшее развитие технологии связано с оптимизацией трехмерной структуры транзистора. Таким образом, следующее поколение транзисторов технологии MDmesh II обладает примерно на 40% меньшим показателем $R_{DS(on)} \cdot S$ (среднее значение $30 \text{ мОм} \cdot \text{см}^2$), чем транзисторы первой версии. Дальнейшее уменьшение размеров полос p-вставок и уменьшение расстояния между ними в технологии MDmesh V дало снижение $R_{DS(on)} \cdot S$ на 40% по сравнению с MDmesh II. Устойчивое снижение $R_{DS(on)} \cdot S$ от технологии к технологии иллюстрирует рисунок 6 [3].

По сравнению с предыдущей транзисторной технологией MDmesh II, в технологии MDmesh V изменена структура вставок, уменьшен шаг их следования,

Таблица 1. Параметры транзисторов технологии SuperMesh3

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(on)}$, Ом	Наименование	Тип корпуса
450	3,5	STx3N45K3	SOT-223/SO-8/IPAK
	2,6	STx4N52K3	TO-220/FP/TO-247/DPAK
525	1,5	STx5N52K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK/IPAK
	1,2	STx6N52K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK
	0,98	STx7N52K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK
	1,15	STx7N52DK3	TO-220/FP/DPAK
	3	STx2N62K3	TO-220/FP/DPAK/IPAK
620	2,5	STx3N62K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK/IPAK/I2PAK
	2,0	STx4N62K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK/IPAK/I2PAK/PowerFLAT_5x6
	1,6	STx5N62K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK/IPAK
	1,28	STx6N62K3	TO-220/FP/DPAK/D2PAK/IPAK/I2PAK/PowerFLAT_5x6_HV
	0,75	STx10N62K3	TO-220/FP/I2PAK
	0,38	STx17N62K3	TO-220/FP/TO-247
650	1	STx10N65K3	TO-220/FP

Таблица 2. Параметры транзисторов технологии MDmesh II

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(on)}$, Ом	Наименование	Тип корпуса
500	0,790	<u>STx8NM50N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,630	<u>STx10NM50N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,470	<u>STx11NM50N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,320	<u>STx14NM50N</u>	D2PAK, DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,250	<u>STx19NM50N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,190	<u>STx23NM50N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,158	<u>STx28NM50N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,043	<u>STW60NM50N</u>	TO-247
	0,022	<u>STY105NM50N</u>	Max247
600	0,900	<u>STx7NM60N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,745	<u>STx9NM60N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,550	<u>STx10NM60N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,600	<u>STx10NM60ND</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,360	<u>STx13NM60N</u>	DPAK/TO-220/TO-220FP
	0,285	<u>STx18NM60N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,220	<u>STx22NM60N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,190	<u>STx24NM60N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,165	<u>STx26NM60N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220/FP
	0,105	<u>STX34NM60N</u>	D2PAK-TO-247-TO-220FP
	0,110	<u>STx34NM60ND</u>	TO-247-TO-220
	0,070	<u>STW48NM60N</u>	TO-247
	0,060	<u>STW56NM60N</u>	TO-247
	0,049	<u>STW62NM60N</u>	TO-247
	0,029	<u>STY100NM60N</u>	Max247
650	0,410	<u>STx11NM65N</u>	TO220/FP/DPAK
	0,350	<u>STx15NM65N</u>	TO-220
	0,250	<u>STx20NM65N</u>	TO-220

применен более эффективный диффузионный процесс, повышен уровень легирования n-области.

Снижение сопротивления канала в транзисторах технологии MDmesh V позволяет существенно снизить потери в схемах коррекции коэффициента мощности и в первичных преобразователях напряжения питания. Это, в свою очередь, позволяет повысить эффективность преобразователей и корректоров, уменьшить габариты устройств за счет меньших размеров радиаторов и уменьшения площади печатной платы.

В каждой из технологий производства транзисторов компания STMicroelectronics представляет серии на различные диапазоны напряжений, высоковольтные версии транзисторов, а также транзисторы с диодами с малым временем восстановления.

Некоторые параметры транзисторов STMicroelectronics различных технологий представлены в таблицах 1...7.

Для некоторых серий одного и того же эшелона напряжений и токов сопротивление канала транзисторов технологии MDmeshV оказывается существенно ниже, что при прямой замене аналогичных по напряжению и токам транзисторов может дать неплохой выигрыш за счет сокращения потерь проводимости. Помимо этого, транзисторы технологии MDmesh V обладают меньшими потерями на переключение по сравнению с аналогами.

Улучшение характеристик транзисторов дает и заметное улучшение характеристик схем на их основе. К примеру, возьмем отладочную плату корректора коэффициента мощности **STEVALLISF001V1** [4], работающего по методу фиксированного времени выключенного состояния.

Применение в отладочной плате транзистора **STW88N65M5** дает прирост эффективности на несколько десятых процента (цифра может показывать

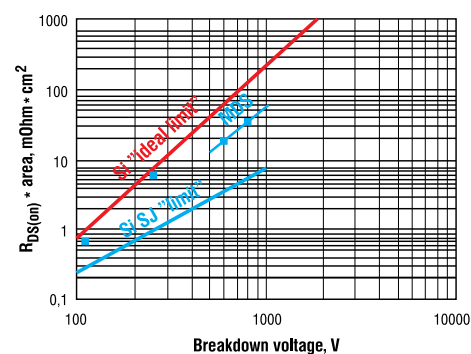


Рис. 4. Зависимость $R_{DS(on)}$ от напряжения пробоя

ся малой, но речь идет о мощностях 500...2000 Вт, и при длительной непрерывной работе экономия будет ощутимой). Что не менее важно, снижается рабочая температура транзистора при работе под нагрузкой. Особенно это заметно при больших мощностях [2].

Транзисторы технологии FDmesh разработаны специально для схем мо-

Таблица 3. Параметры транзисторов технологии MDmesh V

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(ON)}$, Ом	Наименование	Максимальный постоянный ток, Id, А	Тип корпуса
550	0,080	<u>STx36N55M5</u>	29	TO-220/TO-220FP/D2PAK
	0,100	<u>STx32N55M5</u>	25	TO-220/TO-220FP/D2PAK/I2PAK/TO-247
	0,240	<u>STx18N55M5</u>	14	TO-220/TO-220FP/D2PAK/DPAK
650	0,017	<u>STY139N65M5</u>	130	Max247
	0,029	<u>STx88N65M5</u>	84	TO-247
	0,045	<u>STW69N65M5</u>	60	TO-247/TO-3P
	0,059	<u>STx60N65M5</u>	45	TO-247/TO-3PF
	0,063	<u>STx57N65M5</u>	42	TO-220/TO-220FP/D2PAK/I2PAK/TO-247
	0,078	<u>STx45N65M5</u>	31	TO-220/TO-220FP/D2PAK/TO-247
	0,110	<u>STx34N65M5</u>	29	TO-220/TO-220FP/D2PAK/TO-247
	0,148	<u>STx31N65M5</u>	22	TO-220/TO-220FP/D2PAK/I2PAKFP/TO-247
	0,190	<u>STx20N65M5</u>	18	TO-220/TO-220FP/I2PAKFP/TO-247
	0,220	<u>STx18N65M5</u>	15	TO-220/TO-220FP/D2PAK/DPAK
	0,340	<u>STx15N65M5</u>	11	TO-220/TO-220FP/I2PAKFP/DPAK
	0,480	<u>STx11N65M5</u>	9	TO-220/TO-220FP/I2PAK/DPAK/IPAK
	1,200	<u>STL3N65M5</u>	2.5	PowerFLAT

Таблица 4. Параметры транзисторов технологии FDmesh II с диодами с малым временем восстановления

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(ON)}$, Ом	Максимальный заряд паразитной емкости диода, Q_{rr} , мкКл	Наименование	Тип корпуса
500	0,380	<1	<u>STx12NM50ND</u>	DPAK/D2PAK
600	0,700	<1	<u>STx8NM60ND</u>	DPAK/TO-220/FP
	0,450	<1	<u>STx11NM60ND</u>	DPAK/TO-220/FP
	0,299	<1	<u>STx15NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/TO-247
	0,220	<1	<u>STx21NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/TO-247
	0,180	<2	<u>STx23NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/TO-247
	0,160	<2	<u>STx25NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/TO-247
	0,130	<2	<u>STx30NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/FP/TO-247
	0,110	<2	<u>STx34NM60ND</u>	TO-220/TO-247
	0,088	<2	<u>STx43NM60ND</u>	D2PAK/TO-220/FP/TO-247
	0,060	<2	<u>STW55NM60ND</u>	TO-247
	0,085	<2	<u>STW48NM60ND</u>	TO-247
650	0,060	<2	<u>STW56NM60ND</u>	TO-247
	0,067	<2	<u>STW53NM65ND</u>	TO-247
	0,065	<2	<u>STW54NM65ND</u>	TO-247
	0,057	<2	<u>STW62NM65ND</u>	TO-247

Таблица 5. Параметры транзисторов технологии FDmesh V с диодами с малым временем восстановления

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(ON)}$, Ом	Наименование	Тип корпуса
650	0,031	<u>STW88N65DM5</u>	TO-247
	0,085	<u>STP/W/B57N65DM5</u>	D2PAK/TO-220/TO-247
	0,230	<u>STD18N65DM5</u>	DPAK/TO-220FP/TO-220

Таблица 6. Параметры высоковольтных транзисторов VHV

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Наименование	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(ON)}$, Ом	Тип корпуса
1500	<u>STW9N150</u>	2,5	TO-247
	<u>STx4N150</u>	7	TO-247/TO-3PF/TO-220/H2PAK
	<u>STx3N150</u>	9	TO-247/TO-3PF/TO-220/H2PAK
1700	<u>STx3N170*</u>	13	TO-247/TO-3PF/TO-220

Таблица 7. Высоковольтные транзисторы SuperMesh V

Максимальное напряжение, U_{DSS} , В	Максимальное напряжение открытого канала, $R_{DS(ON)}$, Ом	Наименование	Тип корпуса
800	1,2	<u>STx7N80K5</u>	TO-220/FP/DPAK/PowerFLAT
	0,95	<u>STx8N80K5</u>	TO-220/FP/I2PAKFP/DPAK/PowerFLAT
	0,375	<u>STx12N80K5</u>	TO-220/FP/D2PAK/TO-247
	0,260	<u>STx25N80K5</u>	TO-220/TO-220FP/TO-247
850	0,275	<u>STx23N85K5</u>	PowerFLAT/TO-247
900	0,299	<u>STx21N90K5</u>	TO-220/TO-220FP/TO-247/D2PAK
950	1,25	<u>STx6N95K5</u>	IPAK/DPAK/TO-220/TO-220FP/TO-247
1200	0,330	<u>STx20N95K5</u>	TO-220/TO-220FP/TO-247/D2PAK
	0,690	<u>STx12N120K5</u>	TO-220/TO-3PF/TO-247

Таблица 8. Аналоги популярных MOSFET-транзисторов от STMicroelectronics

Транзисторы ST	Аналоги других производителей					
	Infineon	NXP	Fairchild	ONS	Vishay	IR
<u>STB120NF10T4</u>			<u>FDB3632</u>			
<u>STB14NK50ZT4</u>			<u>FDB15N50</u>		<u>IRF840SPBF</u>	
<u>STB30NF20</u>						<u>IRFS31N20D</u>
<u>STB6NK60ZT4</u>						
<u>STB75NF75T4</u>			<u>FDB16AN08A0</u>		<u>SUB75N08-10</u>	<u>IRF2807S</u>
<u>STB80N20M5</u>						
<u>STD20NF06LT4</u>				<u>NTD20N06L</u>		
				<u>NTD20N06LT4G</u>		
<u>STD20NF20</u>		<u>PSMN130-200D</u>				<u>IRFR4620PBF</u>
<u>STD2HNK60Z</u>					<u>IRFRC20PBF</u>	
<u>STD2HNK60Z-1</u>					<u>IRFUC20</u>	
<u>STD30NF06LT4</u>						<u>IRLR2905PBF</u>
<u>STD30NF06T4</u>				<u>NTD32N06</u>		<u>IRFR1205PBF</u>
<u>STD3NK50Z-1</u>				<u>NDD03N50Z-1G</u>	<u>IRFU420PBF</u>	
					<u>IRFU420APBF</u>	
<u>STD3NK50ZT4</u>					<u>IRFR420PBF</u>	
					<u>IRFR420APBF</u>	
<u>STD5N52K3</u>					<u>IRFR430PBF</u>	
					<u>IRFR430APBF</u>	
<u>STD5NK40Z-1</u>					<u>IRFU320PBF</u>	
<u>STD5NK40ZT4</u>					<u>IRFR320TRPBF</u>	
<u>STD5NK50ZT4</u>						
<u>STD60NF06T4</u>						<u>IRFR3806</u>
						<u>IRFR2405</u>
<u>STF18NM80</u>	<u>SPA17N80C3</u>					
<u>STF19NF20</u>			<u>FOPF19N20</u>		<u>IRFI640GPBF</u>	
<u>STP4NK80Z</u>					<u>IRFBE30</u>	
<u>STP5N52K3</u>					<u>IRF830PBF</u>	
<u>STP6N62K3</u>					<u>IRFBC40</u>	
					<u>IRFBC40A</u>	
<u>STW18NM80</u>	<u>SPW17N80C3</u>					
<u>STW19NM50N</u>	<u>SPW16N50C3</u>				<u>IRFP23N50L</u>	
					<u>IRFP22N50A</u>	
					<u>IRFP460N</u>	

NK...Z

MD

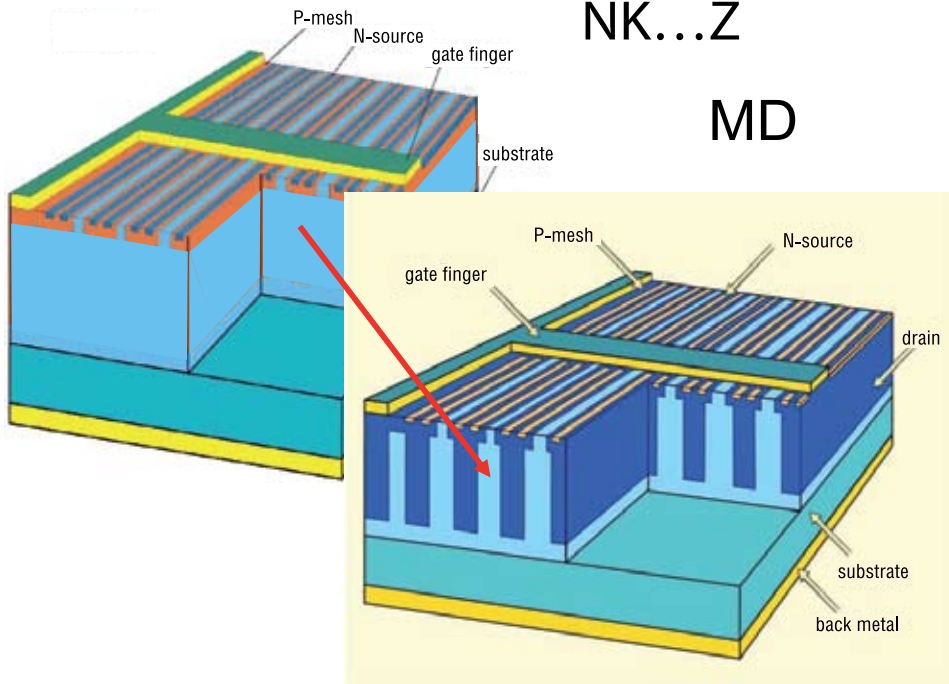


Рис. 5. Сравнение структуры транзисторов в технологиях Super Junction и MDmesh

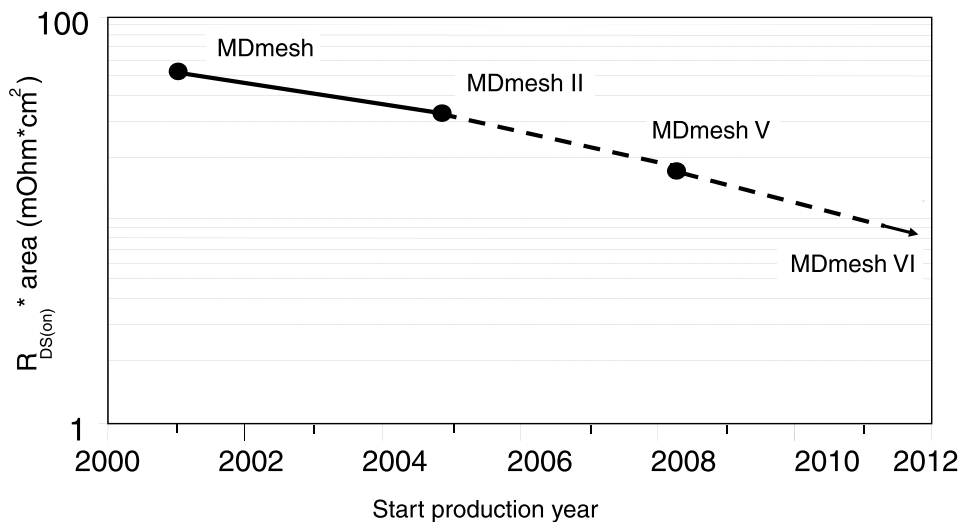


Рис. 6. Снижение $R_{DS(on)}$ по мере развития технологий производства

стовых преобразователей, выпрямителей и прекрасно подходят для импульсных высокочастотных схем. Обладают малым временем восстановления диода, высокой скоростью нарастания напряжения на выходе (dU/dt).

Одним из примеров таких схем является схема инверторов для солнечных батарей.

Транзисторы технологии FDmesh V рассчитаны на применение в импульсных источниках питания, инверторах, преобразователях напряжения, в том числе — в источниках альтернативной энергии (ветрогенераторы, солнечные батареи).

Высоковольтные транзисторы технологии SuperMesh V при крайне низком сопротивлении канала обладают рабочи-

ми напряжениями до 1200 В. Доступен широкий выбор компактных корпусов, в том числе — корпусов для поверхностного монтажа, включая новые корпуса FlatPOWER.

Заключение

Вариация рабочих параметров и корпусных исполнений транзисторов STMicroelectronics позволяет подобрать оптимальное решение для любого диапазона рабочих напряжений и областей применения. Эти транзисторы применяются в преобразователях напряжения, корректорах коэффициента мощности, импульсных источниках питания, автомобильном оборудовании.

Компания КОМПЭЛ, совместно с STMicroelectronics, выводит на массо-

вый рынок аналоги [6] (таблица 8) широко используемых полевых транзисторов таких производителей, как:

- International Rectifier,
- Infineon,
- Vishay,
- ON Semiconductor,
- Fairchild.

Ценовая политика STMicroelectronics и превосходные параметры производимых ею MOSFET-транзисторов во многих случаях способны склонить чашу весов в свою сторону.

Литература

1. Power MOSFETs — STMicroelectronics//http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM100/CL824

2. Maurizio Giudice. ST High Voltage Power MOSFET//<http://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/HV-Power-MOSFET.pdf>

3. AN3994 — Application note. Managing the best in class MDmesh™ V and MDmesh™ II super junction technologies: driving and layout key notes//http://www.arroweurope.com/nc/about-arrow/download-center.html?jumpurl=fileadmin%2Fuser_upload%2Fdownload%2FEvent%2520documents%2F2012-01_-_Hardware_Forum%2FAN3994.pdf&juSecure=1&locationData=72%3Att_content%3A3795&juHash=573b3054cc

4. AN2951. Application note 3 kW fixed-off-time (FOT) power factor correction//http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00228417.pdf?s_searchtype=keyword

5. AN2794 Application note 1 kW dual stage DC-AC converter based on the STP160N75F3//http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00201961.pdf?s_searchtype=keyword

6. Аналоги популярных MOSFET от STMicroelectronics//<http://www.compel.ru/2012/10/12/aktsiya-analogi-populyarnyih-mosfet-v-roznitsu-po-optovyim-tsenam/>

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: power.vesti@compel.ru