

УДК 621.382

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ GAN HEMT ТРАНЗИСТОРА С Si MOSFET ТРАНЗИСТОРАМИ

Барышев А.Р., студент гр. ЭАм-251, I курс
Научный руководитель: Негадаев В.А., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.
Горбачева, г. Кемерово

В статье проведен сравнительный анализ GaN HEMT транзистора с Si MOSFET транзисторам на основе компьютерного моделирования.

Ключевые слова: GaN HEMT, Si MOSFET.

Si MOSFET – это полевой транзисторный элемент, полупроводником которого является кремний. GaN HEMT относится к другому типу транзисторов и имеет более сложную, многослойную структуру. Полупроводником в данном элементе выступает GaN (нитрид галлия).

GaN транзисторы имеют более высокую подвижность носителей заряда, крайне низкий заряд затвора и не имеют обратного восстановления. Это означает, что потери на переключение, которые могут составлять 30-60% от общих потерь в полевых транзисторах, кратно снижены. Также стоит добавить, что отсутствие обратного восстановления и низкий заряд затвора позволяют работать транзистору на более высоких частотах стабильнее и эффективнее.

Однако GaN HEMT крайне требователен к разводке платы и монтажу. Иными словами, потери транзистора напрямую зависят от качества исполнения. При крайне плохом монтаже GaN транзистор может иметь намного большие потери, нежели Si MOSFET на той же плате. Это связано с паразитными параметрами, индуктивностью и импедансом дорожки, к которым GaN очень чувствителен. Так, к примеру, при индуктивности 1,5-2 нГн для дорожки истока происходит звон затвора амплитудой от -2 до 7 В при номинальном значении от 0 до 5 В, что губительно для транзистора [1].

В данной работе будут рассмотрены потери нескольких Si MOSFET транзисторов и одного GaN транзистора при повышающейся мощности, снижающемся качестве платы и разных частотах.

Для сравнения показателей потерь были выбраны три полевых транзистора на основе кремния: IPB016N06L3, BSC026N08NS5, BSC047N08NS3, обладающие достаточно низким сопротивлением открытого канала и паразитными показателями, а также один транзистор на основе нитрида галлия: GaN EPC2367. Параметры используемых транзисторов приведены ниже в таблице 1 [2][3][4][5].

Таблица 1 – Параметры используемых транзисторов

	IPB016N06L3	EPC2367	BSC026N08NS5	BSC047N08NS3
Технология	Кремний (Si), OptiMOS	Нитрид галлия (GaN)	Кремний (Si), OptiMOS 5	Кремний (Si), OptiMOS 3
Напряжение сток-исток (VDS), В	80	100	80	80
Сопротивление (RDS(on)), мОм	1.2 (тип) 1.6 (макс)	1.2 (тип) 2.5 (макс)	2.2 (тип) 2.6 (макс)	3.9 (тип) 4.7 (макс)
Ток стока (ID) (пост.), А	180	101	100	100
Заряд затвора QG, нКл	166	17	74	52
Входная емкость CISS, пФ	28000	2170	5200–6800	3600–4800
Выходная емкость COSS, пФ	2100–2700	590–782	840–1100	960–1300
Обратное восстановление QR R, нКл	54–81	0	92–184	109

Для моделирования использовалась схема с общим истоком. На стоке установлен токоограничивающий резистор в 1 Ом. На стоках, истоках и затворах установлены конденсаторы и катушки индуктивности, имитирующие паразитные параметры медной дорожки. На рисунке 1 изображена имитационная модель транзисторов в среде LTspice.

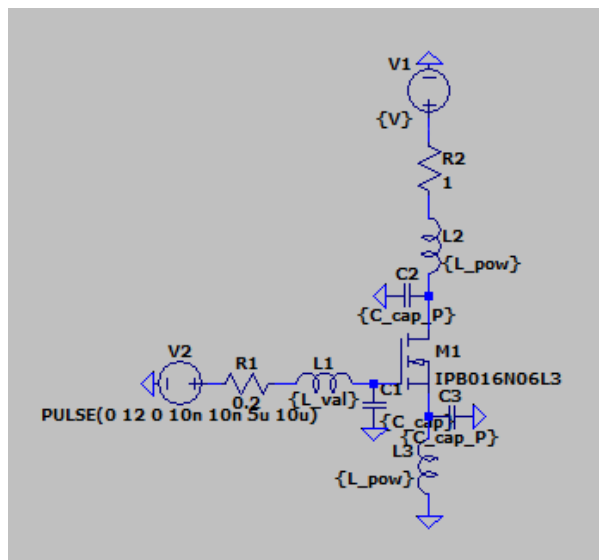
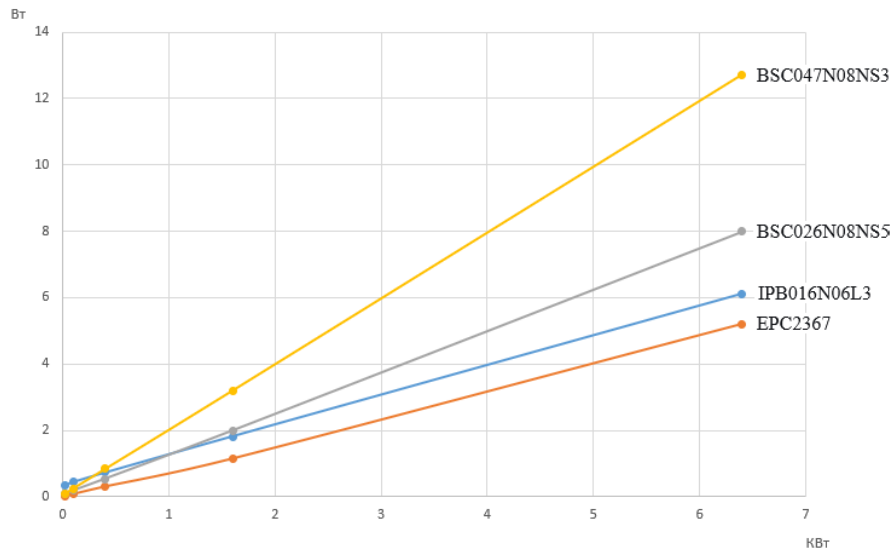
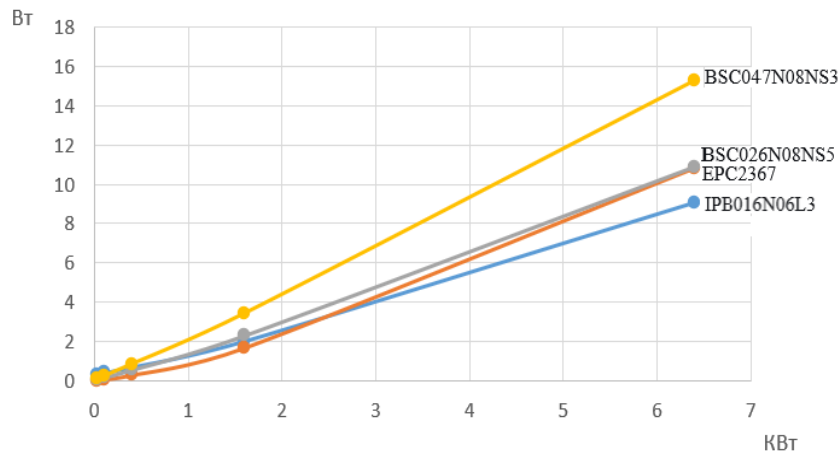


Рисунок 1 – Имитационная модель в среде LTspice

Результаты моделирования приведены графически на рисунке 2.



а)



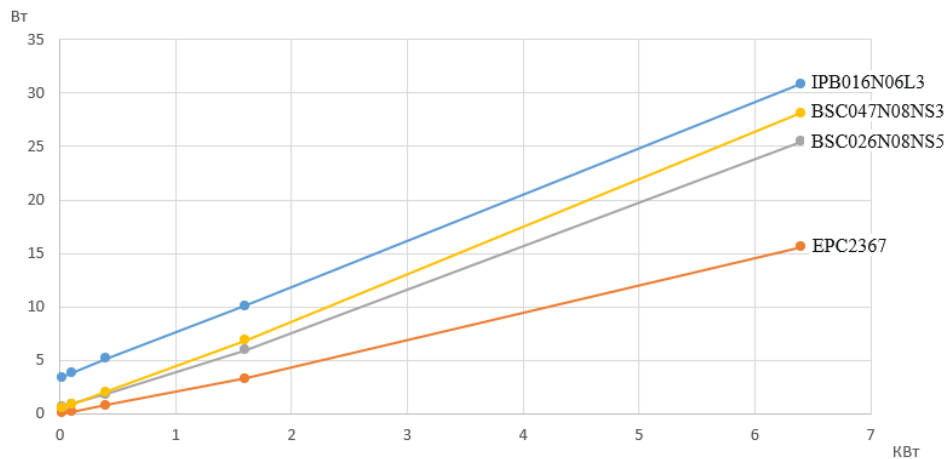
б)

Рисунок 2 – Графики потерь мощности транзисторов на частоте 100 кГц при маленькой индуктивности (0,03 нГн) дорожки истока (а) и при большой индуктивности (1 нГн) дорожки истока (б)

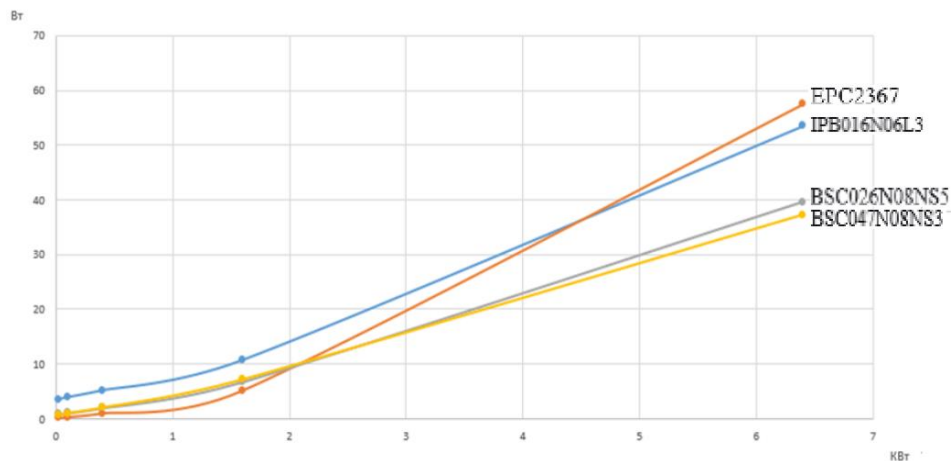
Рассмотрим графики потерь для четыре транзисторов при низкой (0,03 нГн) и высокой (1 нГн) индуктивностях дорожки истока. Видно, что при низкой индуктивности дорожки истока GaN транзистор показывает хорошие результаты, имея всего 5,2 Вт потерь мощности при мощности нагрузки 6,4 кВт. Но при снижении качества разводки платы и, следовательно, увеличении индуктивности GaN транзистор имеет сопоставимые потери мощности, как и другие кремниевые транзисторы.

Однако вспомним, что GaN обладает самым низким зарядом затвора (17 нКл) в 4-10 раз меньше, чем у кремния, а также имеет нулевое обратное восстановление, что является критическим преимуществом в высокочастотных устройствах, позволяющим переключаться в 5-10 раз быстрее, чем кремниевые транзисторы. Поэтому рассмотрим график потерь

мощности транзисторов при повышающейся мощности на частоте 1 МГц на рисунке 3.



а)

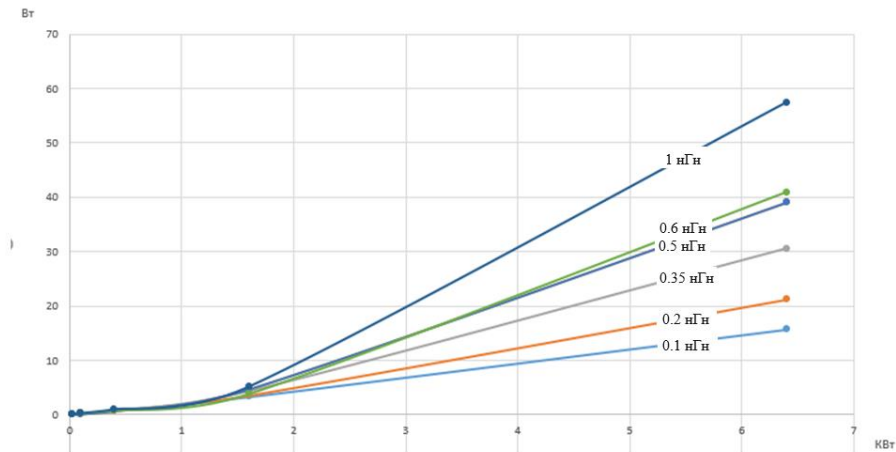


б)

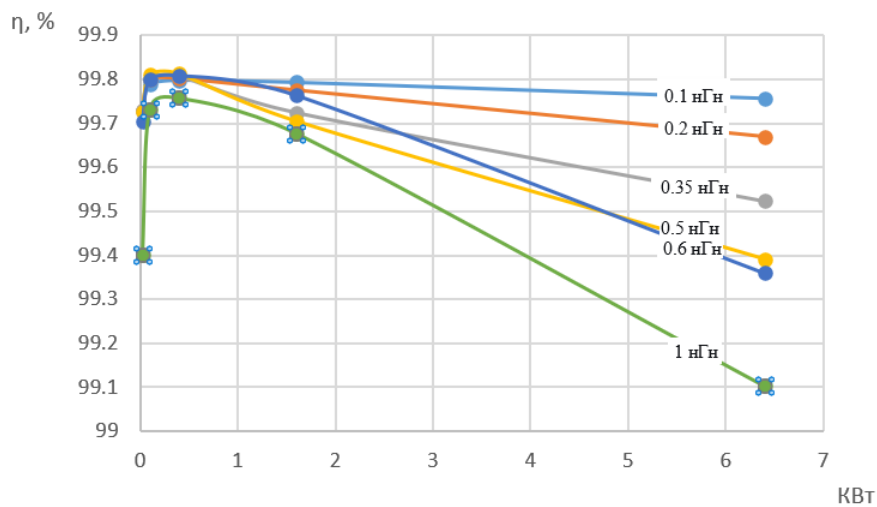
Рисунок 3 – Транзисторные потери при повышающейся мощности на частоте 1 МГц при хороших и нехороших монтажных параметрах

Из графиков видно, что на частоте 1 МГц GaN обладает вдвое меньшими потерями, нежели кремневые, при крайне низкой индуктивности дорожки в 0,1 нГн. Но при индуктивности 1 нГн GaN показывает более плохие результаты.

Как говорилось выше, потери GaN транзистора напрямую зависят от параметров дорожки. При длинных дорожках и следовательно большой индуктивности растут потери и это очень заметно на высоких частотах. На рисунке 4 приведен график потерь GaN транзистора при разных параметрах дорожки (для наглядности сравниваются КПД транзисторов).



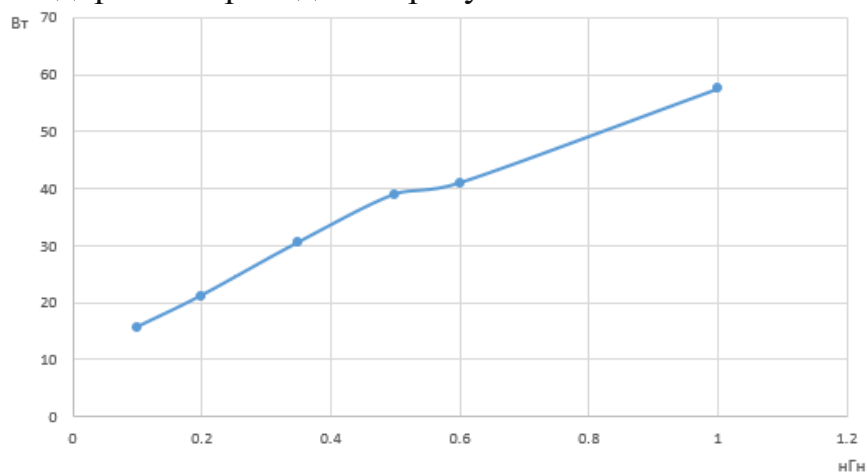
а)



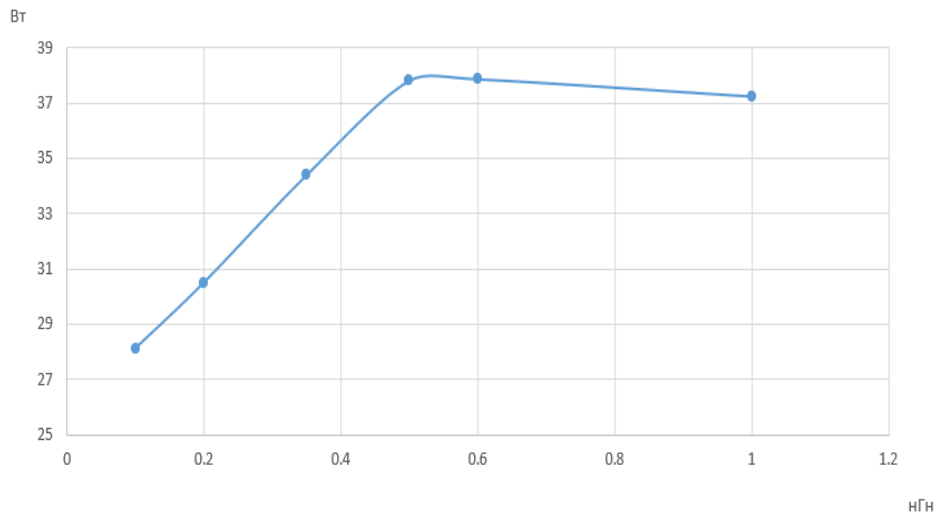
б)

Рисунок 4 – Потери мощности в GaN транзисторе при 1 МГц при повышении мощности (а) и КПД GaN транзистора при повышении мощности для разных индуктивностей дорожки истока (б)

График потерь мощности GaN и MOSFET транзисторов от индуктивности дорожки приведен на рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 5 – Потери мощности на 1 МГц при повышении индуктивности истока в EPC GaN 2367 (а) и в Si MOSFET BSC047N08NS3 (б)

Из графиков видно, что параметры платы менее ощутимы для Si MOSFET, нежели для GaN.

Заключение. В результате моделирования установлено, что GaN HEMT (EPC2367) обладает ключевыми преимуществами перед кремниевыми MOSFET: низким зарядом затвора (17 нКл против 52-166 нКл) и отсутствием обратного восстановления. На частоте 1 МГц при качественном монтаже потери GaN оказываются в 2 раза ниже.

Таким образом, GaN обеспечивает существенный выигрыш в эффективности на высоких частотах, но требует тщательной разводки платы – кельвиновского соединения, минимальной длины дорожек и вертикального силового контура. Без выполнения этих условий преимущества GaN нивелируются.

Использование GaN транзисторов взамен кремниевых полевых позволяет работать с частотами свыше 500 кГц, что приводит к возможности кратного снижения массогабаритных показателей силовых элементов преобразовательных устройств.

Список литературы:

1. Reusch D. eGaN® FET-Silicon Power Shoot-Out Vol. 13, Part 2: Optimal PCB Layout // Electronic Design. – 2013. – URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/eda/semiconductors/gan/article/21195833/egan-fet-silicon-power-shoot-out-vol-13-part-2-optimal-pcb-layout> (дата обращения: 25.03.2026).

2. IPB016N06L3 G – OptiMOS™ 3 Power-Transistor : datasheet [Электронный ресурс] / Infineon Technologies AG. – 2013. –

URL: <https://static.chipdip.ru/lib/661/DOC028661760.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).

3. EPC2367 – Enhancement Mode Power Transistor : datasheet [Электронный ресурс] / Efficient Power Conversion Corporation. – 2023. – URL: https://epc-co.com/epc/portals/0/epc/documents/datasheets/EPC2367_datasheet.pdf (дата обращения: 25.03.2026).

4. BSC047N08NS3 G – OptiMOS™ 3 Power-Transistor : datasheet [Электронный ресурс] / Infineon Technologies AG. – 2012. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/843/DOC011843888.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).

5. BSC026N08NS5 – OptiMOS™ 5 Power-Transistor, 80 V : datasheet [Электронный ресурс] / Infineon Technologies AG. – 2015. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/836/DOC031836948.pdf> (дата обращения: 25.03.2026).

Информация об авторах:

Барышев А.Р., студент гр. ЭАм-251, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, barysevsasa58@gmail.com

Негадаев В.А., к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28