

Концепция «PoL-converter»

Коновалов Алексей



Цель :

- Разработать концепцию и провести основные расчёты PoL-преобразователя с шиной PMBus и с максимальной выходной мощностью 55 Вт.

Исходные характеристики:

- Входное напряжение 12 В (9-18 В)
- Выходное напряжение 3,3 В
- Максимальный выходной ток 16,7 А
- Частота преобразования 2 МГц

Исходно предлагаемые электронные компоненты:

- Контроллер TPS40400 Texas Instruments
- Драйвер LMG1210 Texas Instruments
- Силовые ключи Half-Bridge сборка GaN-FETs
- Дроссель XAR7030-161ME Coilcraft

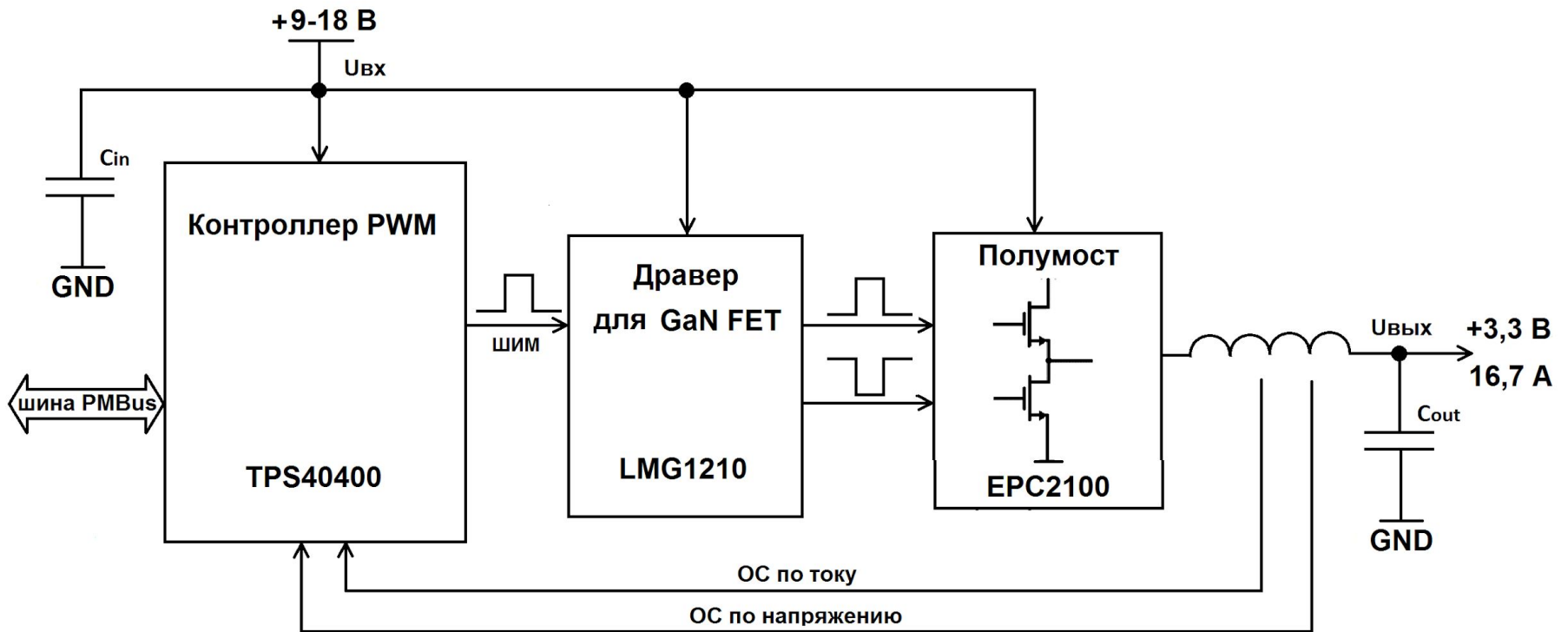
Параметры транзисторов

В преобразователе был выбран GAN(нитрид-галлиевый) полумостовой транзистор EPC2100.

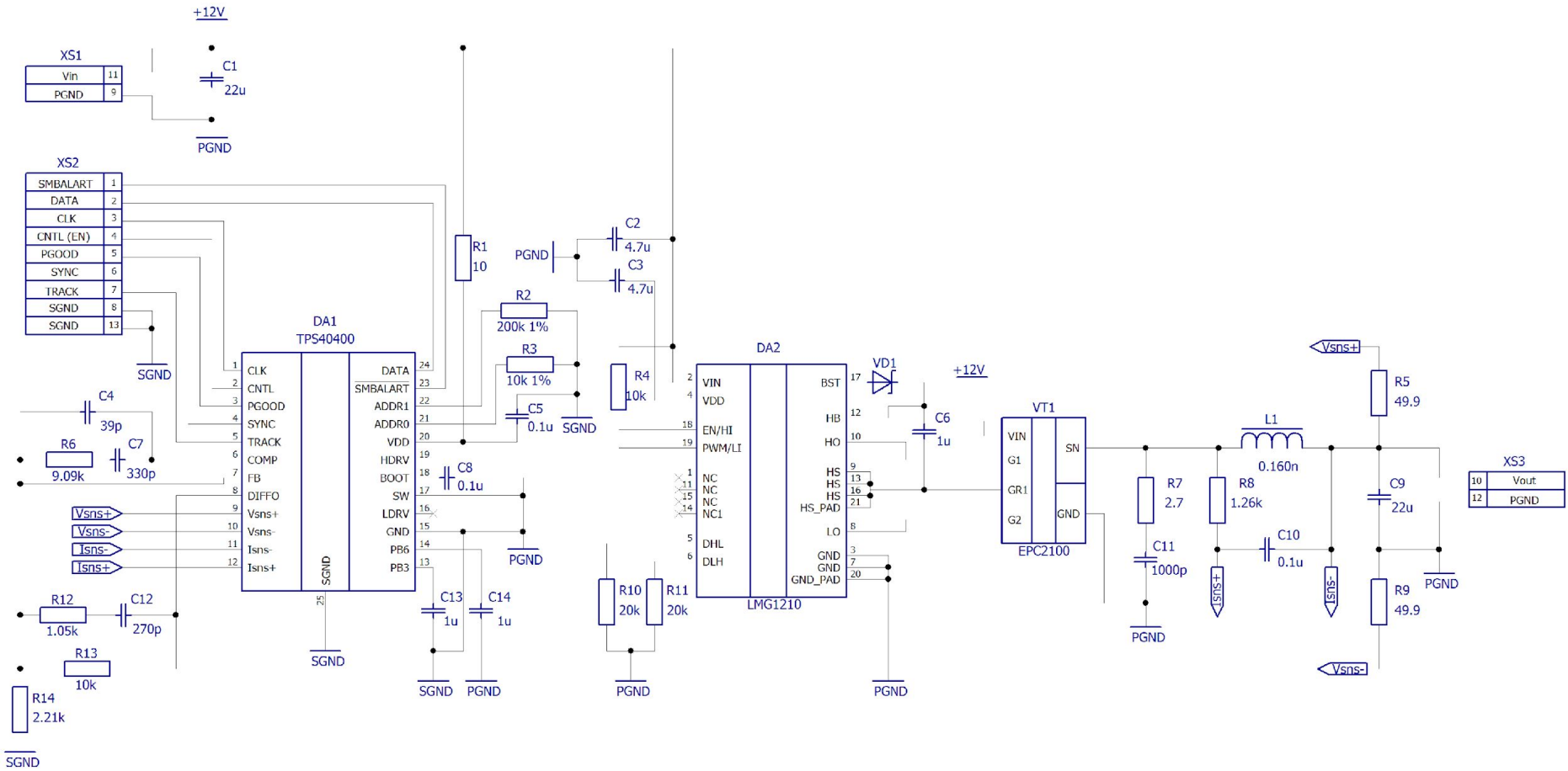
Таблица 1 — Основные параметры транзистора EPC2100

Параметры	Значения	
	Верхний транзистор Q1	Нижний транзистор Q2
Vds (напряжение стока-истока)	30 В	30 В
Id (непрерывный ток стока)	10 А	40А
Vgs (напряжение затвор-исток)	6 В	6 В
TJ_MAX (макс. рабочая температура)	+150 °С	+150 °С
Rds(on) (сопротивление открытого транзистора)	8,2 мОм	2,1 мОм
Qg (емкость затвора)	4,9 нФ	19нФ

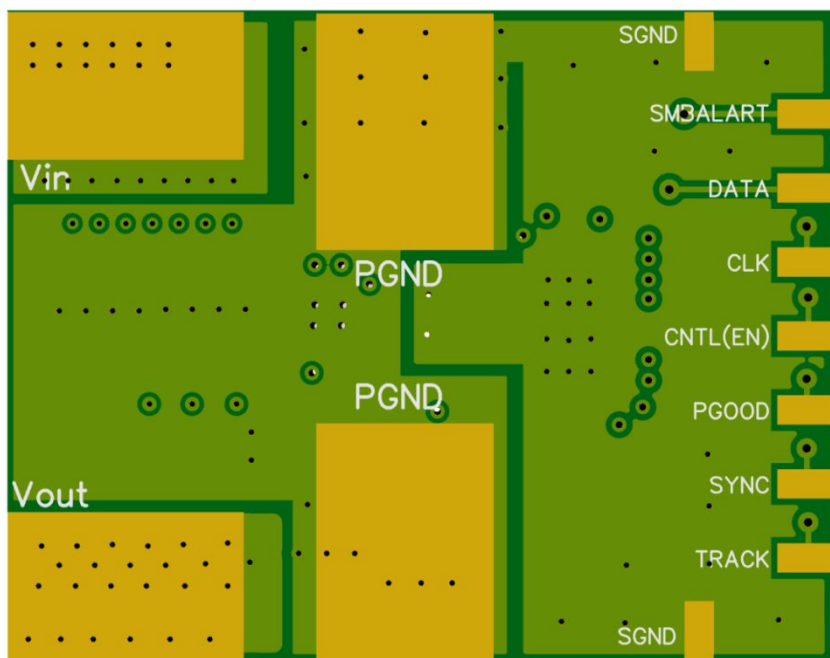
Структурная схема



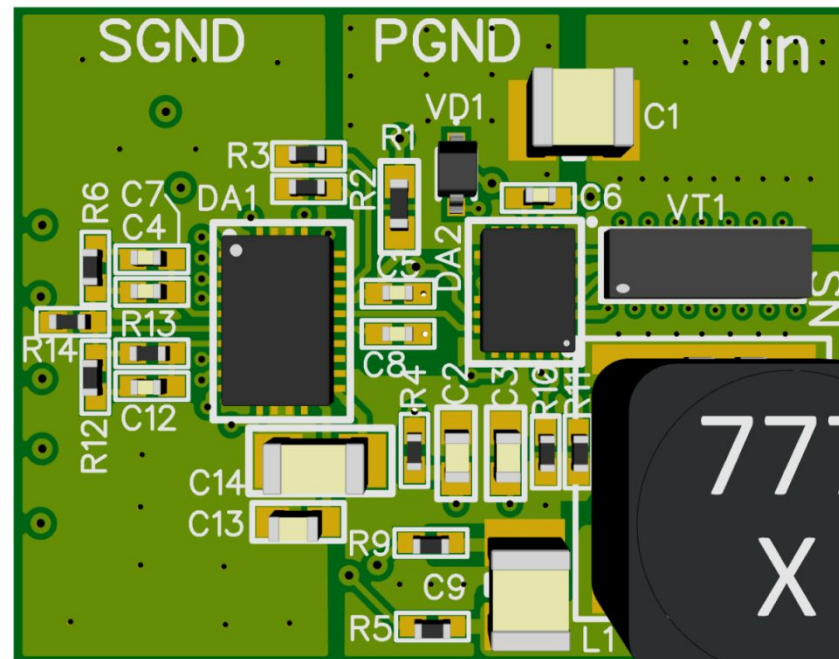
Электрическая принципиальная схема



Печатная плата



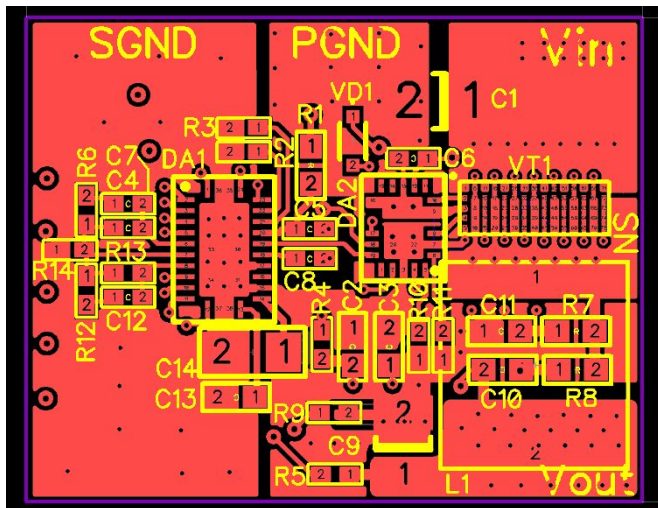
Вид снизу



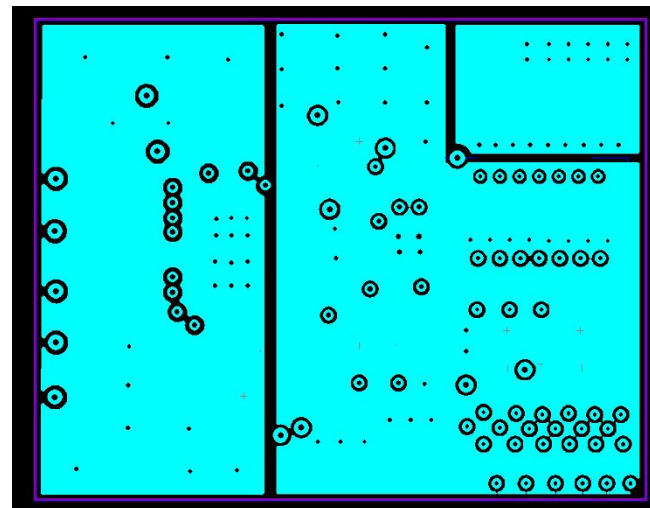
Вид сверху



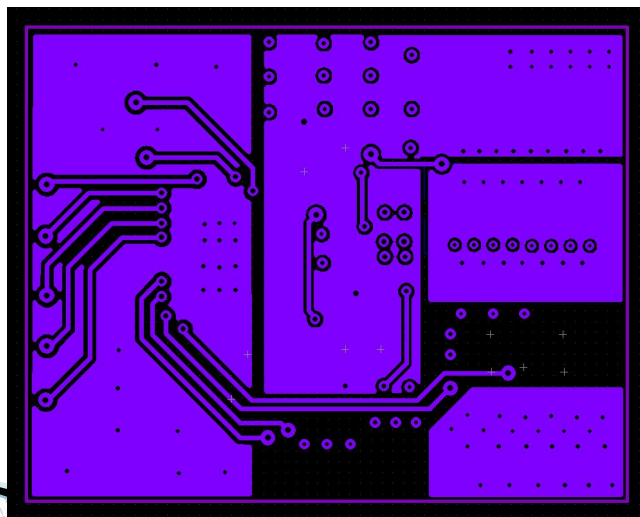
Слой печатной платы



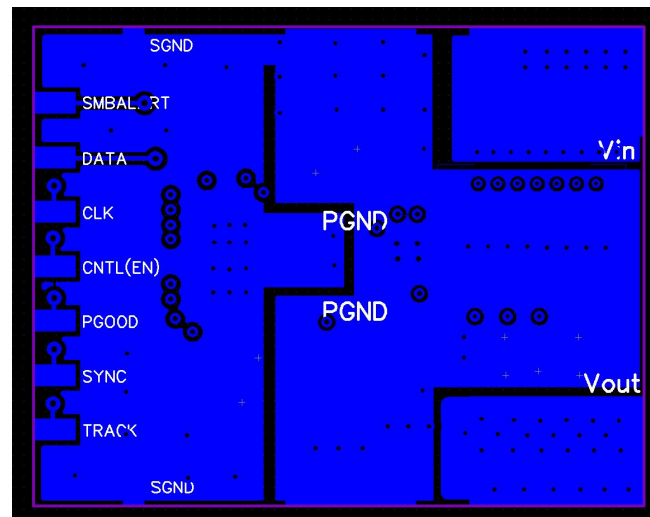
TOP



INT1



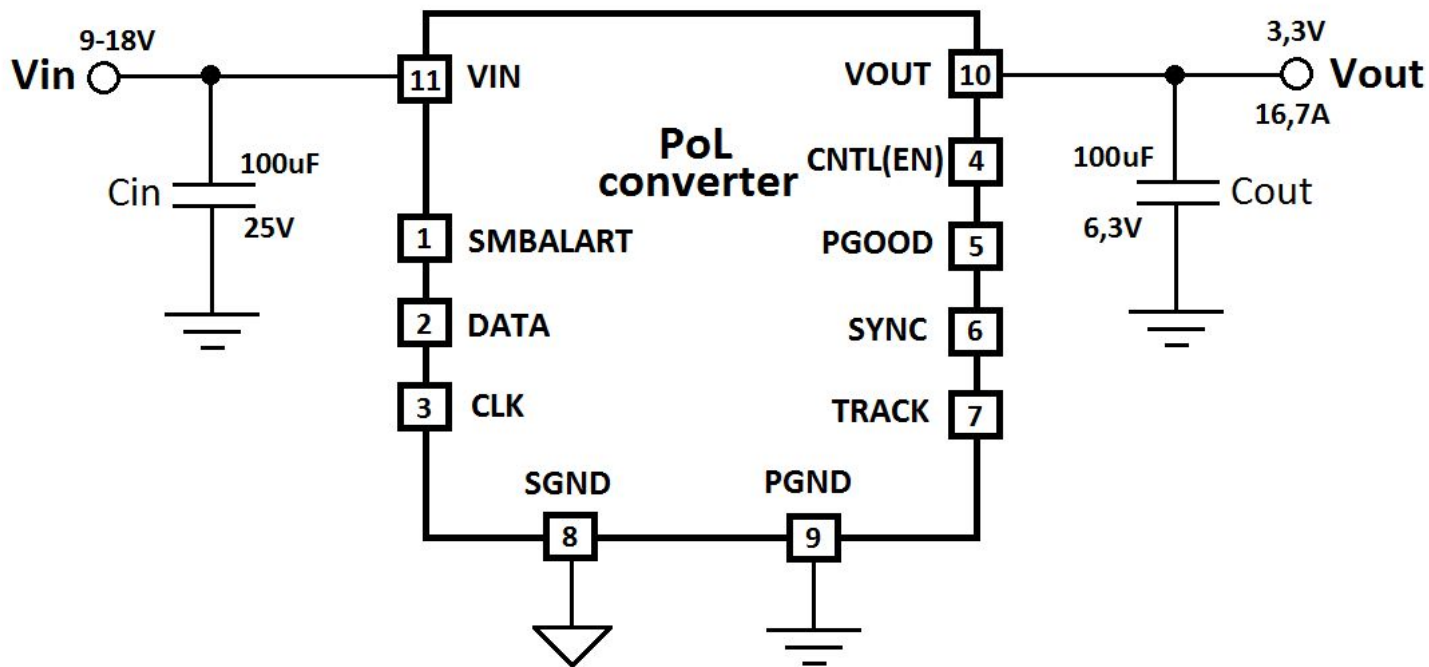
INT2



BOT

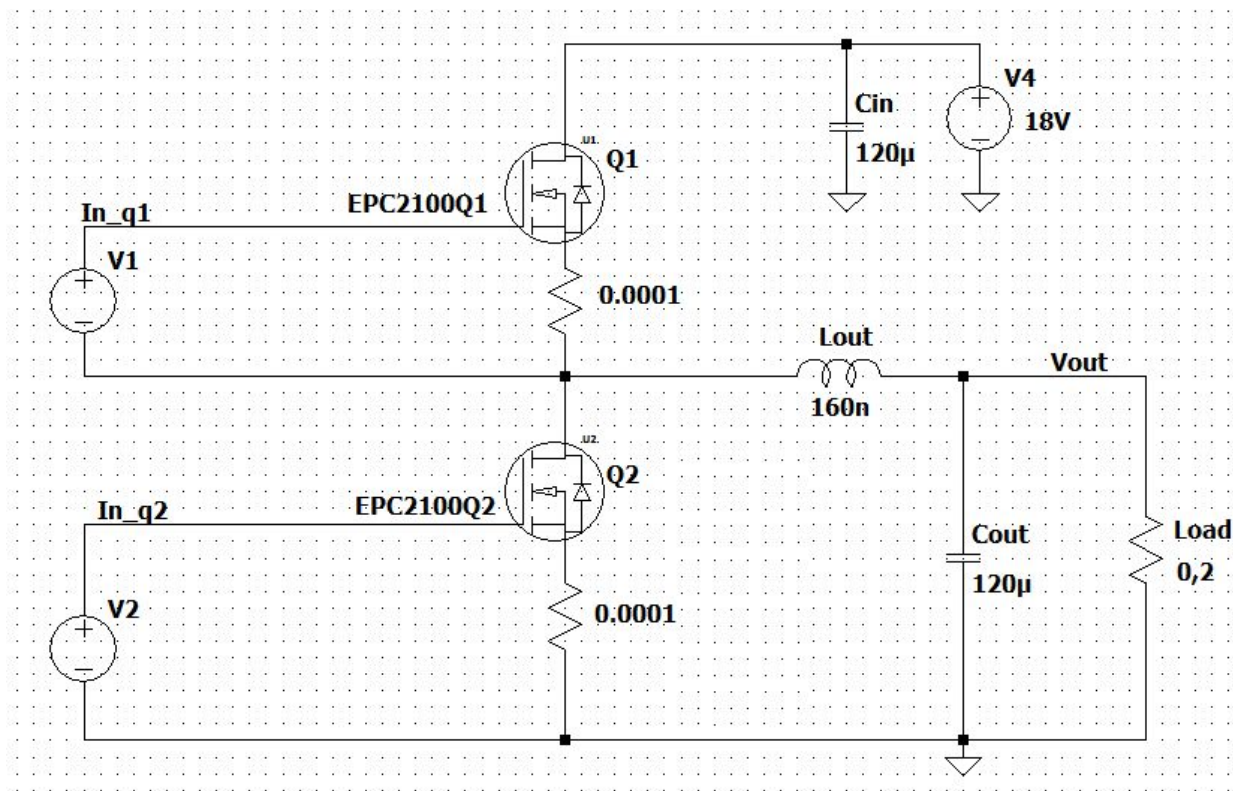
Условно-графическое изображение PoL-converter

При установке PoL-converter на печатную плату, необходимо разместить входной конденсатор C_{in} емкостью не менее 100мкФ (25В), и выходной конденсатор C_{out} емкостью 100мкФ (6.3В).

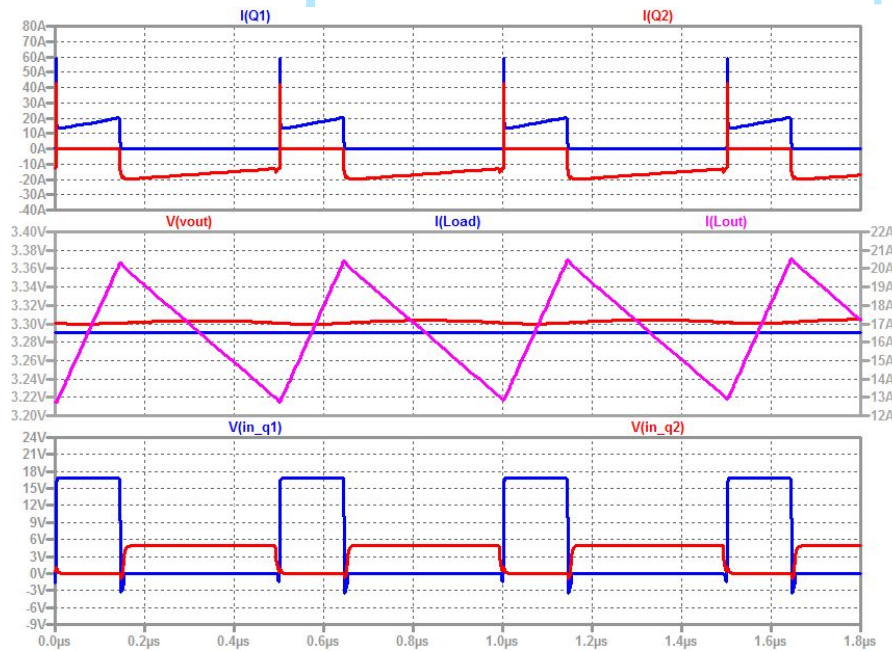


Моделирование выходного каскада

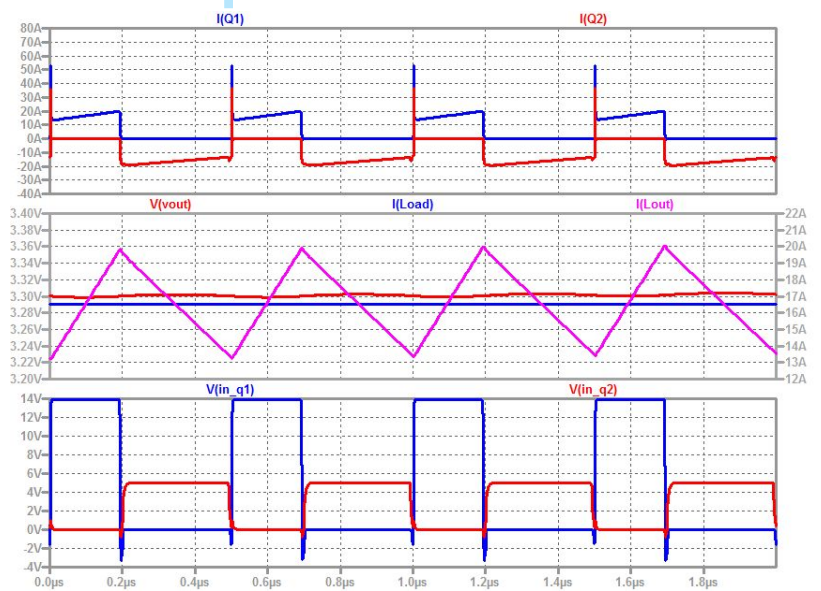
В программе LTspice промоделирован выходной каскад понижающего преобразователя. Для полумостовой сборки EPC2100 использовалась spice-модель, скачанная с сайта производителя.



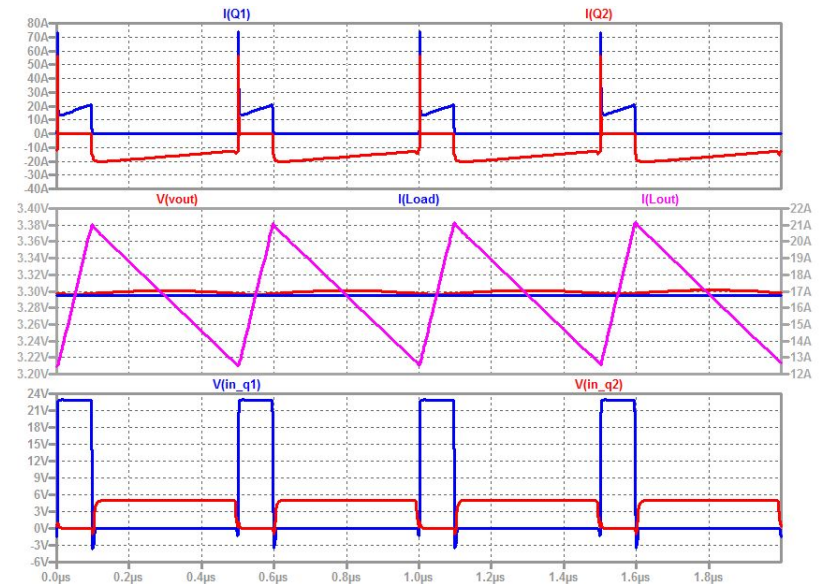
Осциллограммы входных и выходных сигналов при изменении входного напряжения



U_{in} = 12В, I_{out} = 16.7А



U_{in} = 9В, I_{out} = 16.7А



U_{in} = 18В, I_{out} = 16.7А

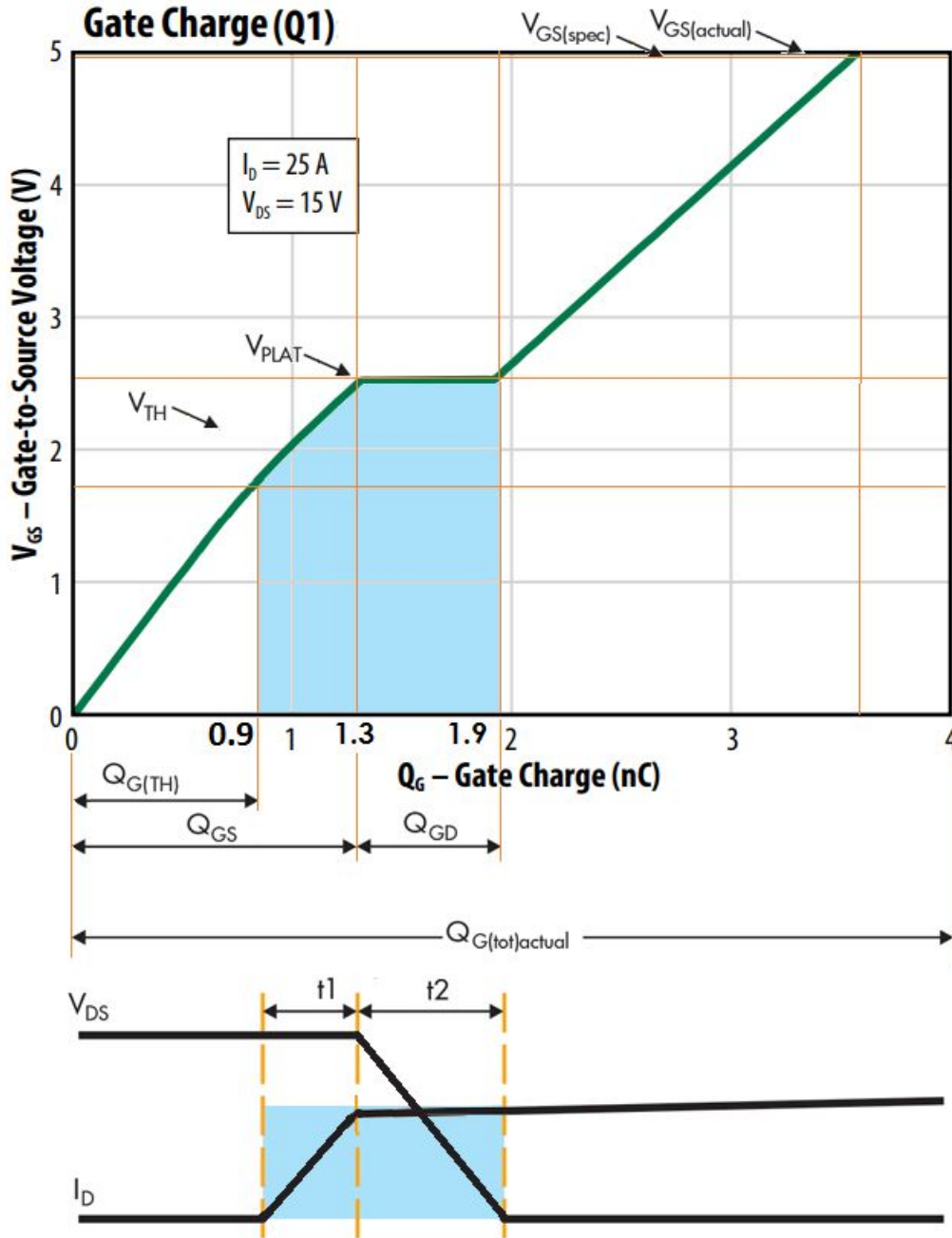
Таблица 2 – Параметры моделируемых сигналов

U _{IN}	T _{ON(Q1)}	D	ΔI _{RIPPLE}	I _{OUT}	U _{OUT}	I _{PEAK_}
9 В	189,5 нс	37,9 %	6,5 А	16,7 А	3,3 В	55 А
12 В	141 нс	28,2 %	7,5 А	16,7 А	3,3 В	60 А
18 В	92,4 нс	18,5 %	8,5 А	16,7 А	3,3 В	74 А
18 В	83 нс	16,6 %	4,2 А	0,1 А	3,3 В	34 А

Таблица 3 – Параметры рассчитанных сигналов

U _{IN}	T _{ON(Q1)}	D
9 В	183,3 нс	36,7 %
12 В	137,5 нс	27,5 %
18 В	91,67 нс	18,3 %

Расчет мощности транзистора Q1



Исходные данные:

$$V_{in} := 18 \text{ B}$$

$$V_{out} := 3,3 \text{ B}$$

$$I_{out} := 16,7 \text{ A}$$

$$f_{sw} := 2000000 \text{ Гц}$$

$$I_{g_r} := 1,58 \text{ A}$$

$$I_{g_f} := 3,1 \text{ A}$$

$$R_{ds_on_1} := 0,0082 \text{ Ом}$$

$$Q_{g_1} := 4,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{gs_1} := 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{gd_1} := 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{g_th_1} := 0,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$C_{oss_1} := 435 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Заряд переключения:

$$Q_{g_sw_1} := (Q_{gd_1} + Q_{gs_1}) - Q_{g_th_1} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Время включения:

$$t_{r_1} := \frac{Q_{g_sw_1}}{I_{g_r}} = 6,33 \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

Время выключения:

$$t_{f_1} := \frac{Q_{g_sw_1}}{I_{g_f}} = 3,23 \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

Потери на переключениях:

$$P_{sw_1} := \frac{V_{in} \cdot I_{out}}{2} \cdot f_{sw} \cdot (t_{r_1} + t_{f_1}) = 0,29 \text{ Вт}$$

Потери в верхнем драйвере:

$$P_{g_1} := Q_{g_1} \cdot V_{dd} \cdot f_{sw} = 0,05 \text{ Вт}$$

Потери проводимости:

$$P_{ds_q1} := \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot I_{out}^2 \cdot R_{ds_on_1} = 0,42 \text{ Вт}$$

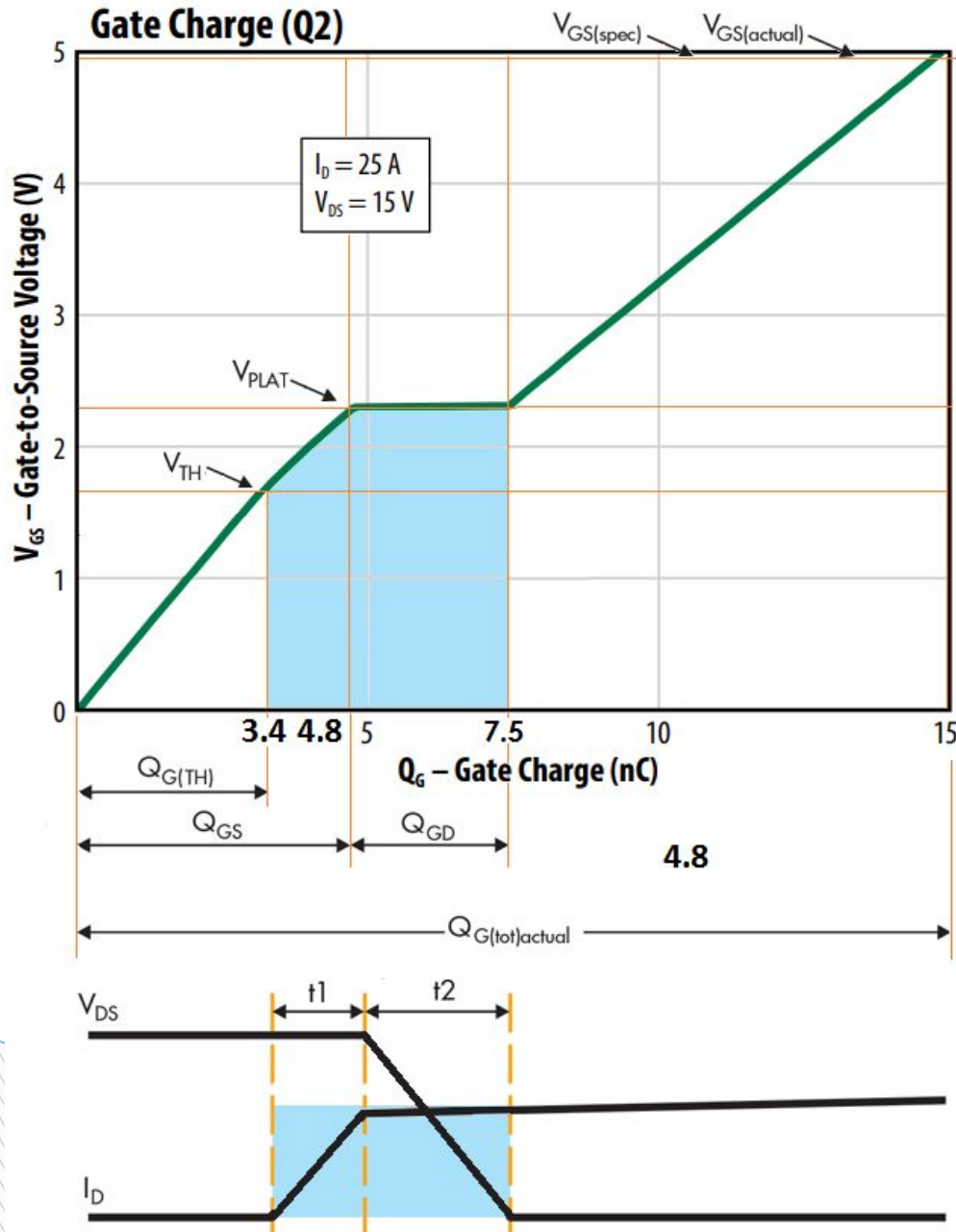
Потери на выходной емкости транзистора:

$$P_{oss1} := \frac{4}{3} \cdot \frac{(C_{oss_1}) \cdot V_{in}^2 \cdot f_{sw}}{2} = 0,19 \text{ Вт}$$

Общие потери на верхнем транзисторе:

$$P_{q1} := P_{sw_1} + P_{g_1} + P_{ds_q1} + P_{oss1} = 0,94 \text{ Вт}$$

Расчет мощности транзистора Q2



Исходные данные:

$$V_{in} := 18 \text{ B}$$

$$V_{out} := 3,3 \text{ B}$$

$$I_{out} := 16,7 \text{ A}$$

$$f_{sw} := 2000000 \text{ Гц}$$

$$I_{q_r} := 1,58 \text{ A}$$

$$I_{q_f} := 3,1 \text{ A}$$

$$R_{ds_on_2} := 0,0021 \text{ Ом}$$

$$Q_{g_2} := 19 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{gs_2} := 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{gd_2} := 2,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$Q_{g_th_2} := 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$V_{sd_2} := 2,3 \text{ B}$$

Заряд переключения:

$$Q_{g_sw_2} := (Q_{gd_2} + Q_{gs_2}) - Q_{g_th_2} = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Время включения:

$$t_{r_2} := \frac{Q_{g_sw_2}}{I_{q_r}} = 2,59 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

Время выключения:

$$t_{f_2} := \frac{Q_{g_sw_2}}{I_{q_f}} = 1,32 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

Потери на переключениях:

$$P_{sw_2} := 0 \text{ Вт}$$

Потери в нижнем драйвере:

$$P_{g_2} := Q_{g_2} \cdot V_{dd} \cdot f_{sw} = 0,19 \text{ Вт}$$

Потери проводимости:

$$P_{ds_q2} := \left(1 - \frac{V_{out}}{V_{in}}\right) \cdot I_{out}^2 \cdot R_{ds_on_2} = 0,48 \text{ Вт}$$

Потери на выходной емкости транзистора:

$$P_{oss2} := 0 \text{ Вт}$$

Потери на встроенном диоде:

$$P_{diode} := V_{sd_2} \cdot I_{out} \cdot f_{sw} \cdot (t_{r_2} + t_{f_2}) = 0,3 \text{ Вт}$$

Общие потери на верхнем транзисторе:

$$P_{q2} := P_{g_2} + P_{ds_q2} + P_{diode} = 0,97 \text{ Вт}$$

Полученные результаты

Таблица 4 – Результаты расчетов транзисторов

	Транзистор Q1					Транзистор Q2						
	Pds	Psw	Pgate	Pcoss	Pq1	Pds	Pdiod	Pgate	Psw	Pout	P_q2	P_all
Мощность, Вт	0.42	0.29	0.05	0.19	0.94	0.42	0.03	0.19	0	0	0.97	1.91

Таблица 5 – Результаты моделирования LTspice

	Pc in rms	Pc out rms	P l rms	P q1	P q2	P all
Мощность, Вт	0.001	0.007	0.393	1.59	1.33	3.3

Таблица 6 – Результаты расчетов

	Pc in rms	Pc out rms	P l rms	P q1	P q2	P all
Мощность, Вт	0.11	0.02	0.93	0.94	0.97	3.16

Таблица 7 – КПД при различном входном напряжении

	Uin=9 В	Uin=12 В	Uin=18 В
КПД	92.93%	93.05%	92.98%

