

Московский физико-технический институт (государственный университет)
Факультет радиотехники и кибернетики
Кафедра информатики и вычислительной техники

Система питания типового блока многоядерного микропроцессора Эльбрус-8С2

Выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)

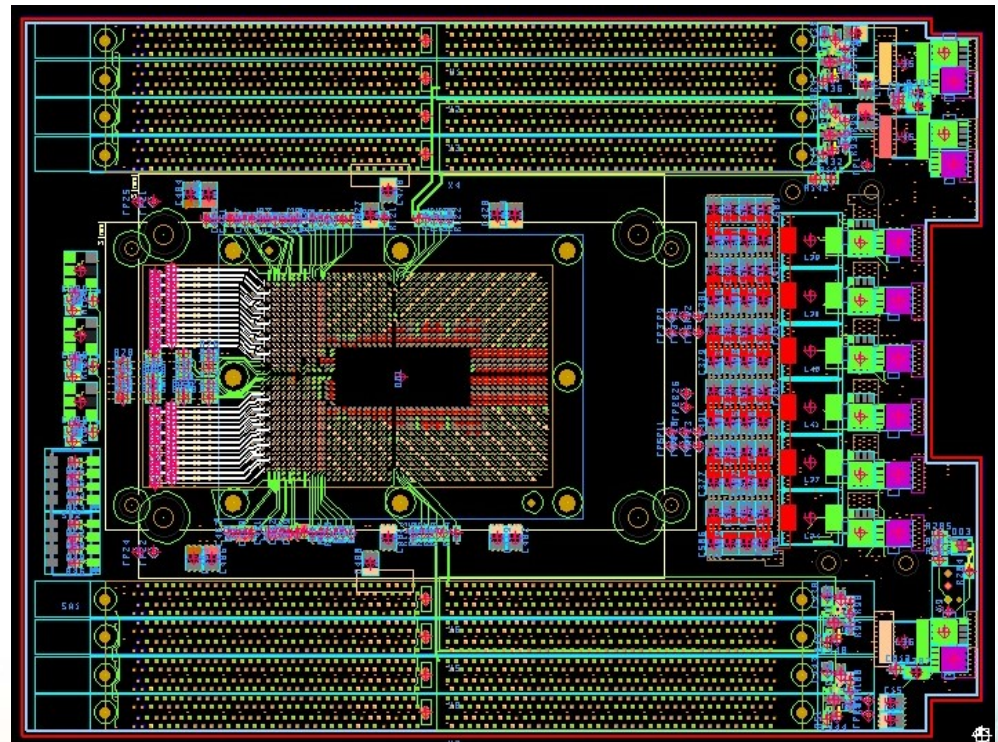
Выполнил: студент 313 группы Халиков А.В.
Научный руководитель: д.т.н. Бычков И.Н.

Москва, 2017

Типовой блок

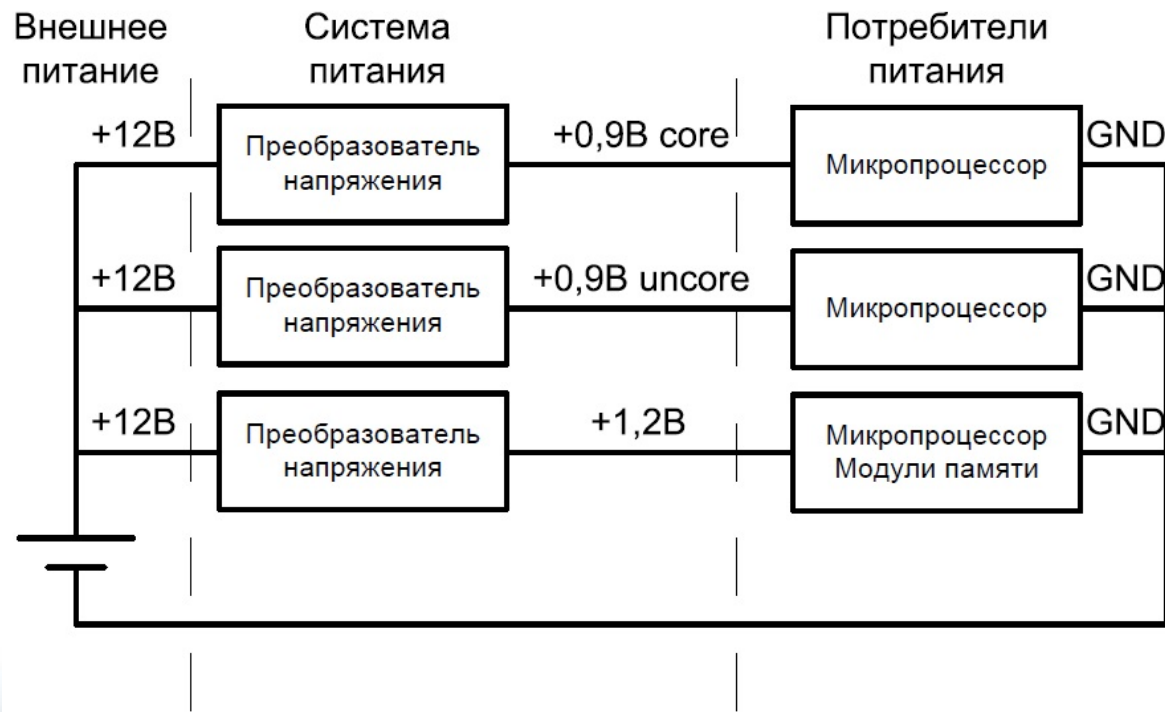
- Типовой блок (переиспользуемый блок, reusable block) – часть платы, библиотечный элемент, предназначенный для сокращения времени разработки многопроцессорных модулей плат.
- Содержит микропроцессор, модули памяти, систему синхронизации, систему управления, датчики температуры, систему питания.

Пример верхнего слоя топологии типового блока



Система питания

- Система питания типового блока преобразует входное напряжение в требуемые номиналы.
- Потребители питания в типовом блоке: микропроцессор, модули памяти
- Система питания должна выдавать необходимый потребителю ток. Пульсации напряжения должны быть ограничены



Цель:

- Разработка системы питания типового блока на основе контроллера TI TPS40140

Задачи:

- Разработка электрической схемы (ЭС), включающей
 - Многофазовую систему нескольких преобразователей
 - Модулятор
 - Фильтр
 - Компенсацию
- Выполнение размещения компонентов и трассировки

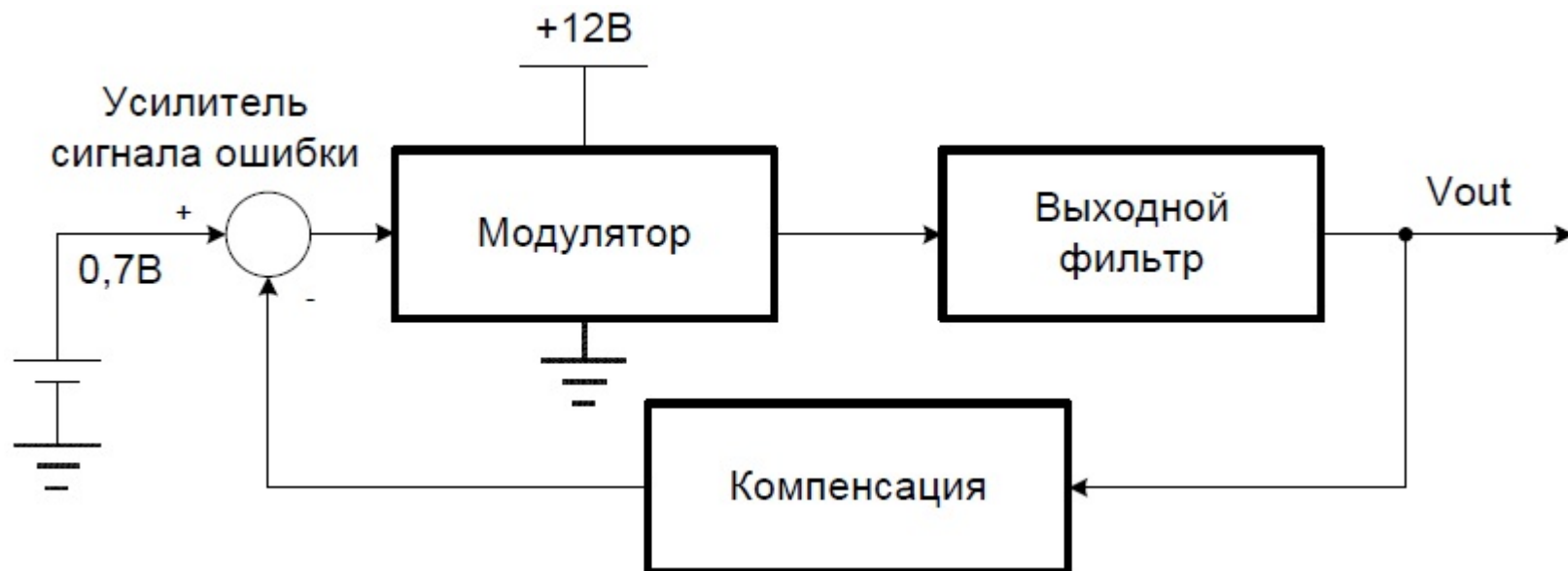
Требования:

- Номиналы 0.9V core, 0.9V uncore для процессора и 1.2V для модулей памяти
- Максимальный ток: 120A для 0.9V core, 7.7A для 0.9V uncore, 9.1A для 1.2V
- Допустимые пульсации напряжения: 20мВ
- Требуемый уровень стабилизации напряжения: максимальная ожидаемая ступенька тока 50% от максимального тока
- Возможность регулировать номинал питания процессора программно и физически, путем перепайки резисторов
- Ток пульсаций для одной фазы $I_{ripple} = 0.15$ от I_{low} – рабочего тока одной фазы

Возможные решения

Тип преобразователя	Линейные регуляторы	Готовые импульсные преобразователи			Выбранное решение: Разработка преобразователя с использованием контроллера: TI TPS40140
		Linear LTM4676IY#PBF	TI PTH08T210W	GE PDT012, MDT040	
Соответствие задачам	—	+	+	—	+
Мультифазность	—	+	+	—	+
Размеры	+	+	—	+	+
Простота проектирования	+	+	+	+	—
Цена	1\$/A	2\$/A	1\$/A	0.8\$/A	0.3\$/A

Импульсный преобразователь напряжения

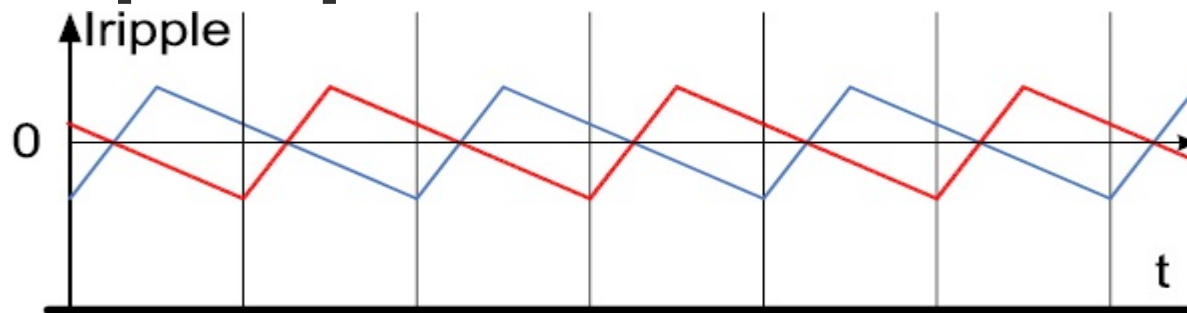


- ШИМ-модулятор попеременно замыкает на фильтр входное напряжение питания 12В и землю GND с частотой 500кГц
- Выходной фильтр – LC-контур сглаживает переключения модулятора, т.е. ограничивает пульсации тока и напряжения
- Компенсация задаёт выходное напряжение и делает его менее восприимчивым к изменению выходных нагрузок

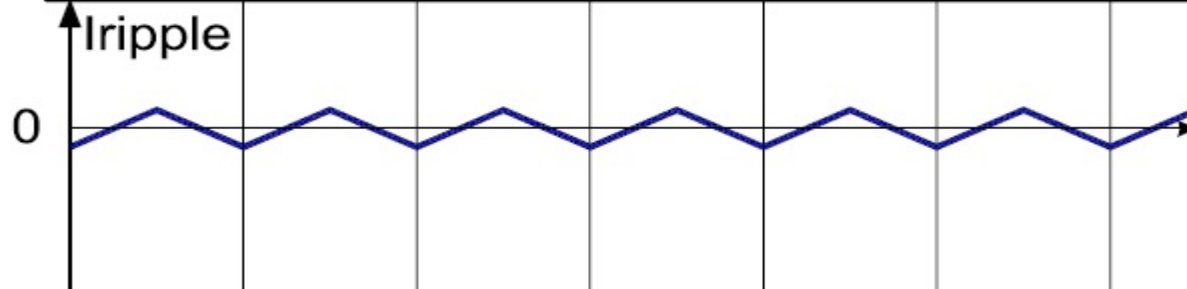
Разработка электрической схемы.

Многофазные преобразователи

Ток пульсаций двух фаз по отдельности

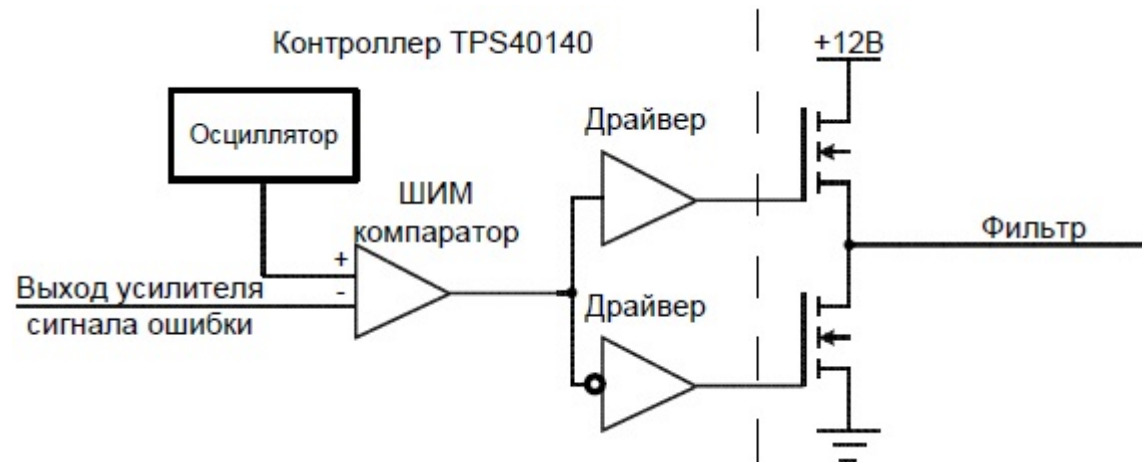


Ток пульсаций двух фаз в сумме



- Многофазные преобразователи дают возможность уменьшить ток пульсаций I_{ripple} путём согласования фаз преобразователей между собой
- В данной работе это необходимо для питания ядра (рабочий ток - 100А)
- По результатам расчета ток пульсаций уменьшается в $\sim 1,6$ раз для каждого источника

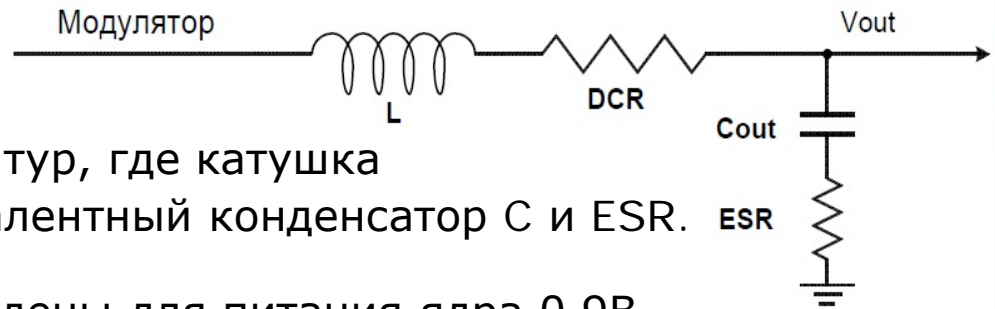
Разработка электрической схемы. Модулятор



- ШИМ-модулятор включает в себя два полевых транзистора, которые поочерёдно открываются контроллером для задания номинала согласно выходу усилителя сигнала ошибки.
- Коэффициент заполнения $D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 0,075$ - отношение длительности импульса на выходе ШИМ-модулятора к периоду. Среднее по времени значение напряжения на выходе модулятора – V_{out} .
- Основные потери в верхнем транзисторе (питание), открываемом на малую долю периода, приходятся на переключения, поэтому выбран транзистор BSC120NL03_LS_G с минимальным коммутационным зарядом $Q_{sw}=3\text{нКл}$.
- Нижний транзистор (земля) открыт большую часть периода. Выбран транзистор BSC010NE2LS с минимальным сопротивлением сток-исток полевого транзистора $R_{ds}=0,8\text{мОм}$.

Разработка электрической схемы.

Выходной фильтр



Фильтр представляет собой LC-контур, где катушка характеризуется L и DCR , а эквивалентный конденсатор C и ESR .

Все дальнейшие результаты приведены для питания ядра 0,9В

На основании документации к контроллеру TPS40140 оценен нормированный коэффициент тока пульсаций мультифазного преобразователя:

$$I_{RIPPLE_NORM} = 0,62$$

Коэффициент показывает во сколько раз изменился ток пульсаций.

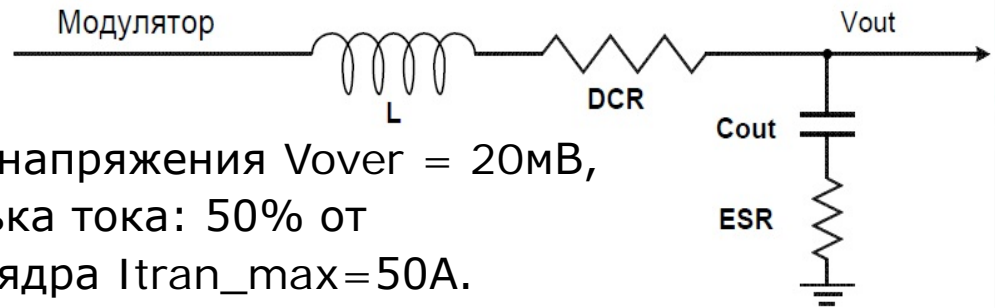
Из требований I_{ripple} должен быть ~15% от рабочего тока 15А для одной фазы. Принято значение $I_{ripple}=2,3А$. Индуктивность оценивается по формуле:

$$L = \frac{V_{in(max)} - V_{out}}{I_{ripple} * I_{ripple_norm}} * \frac{V_{out}}{V_{in(max)}} * \frac{1}{f_{SW}} = 0,54 \text{ мкГн}$$

Выбрана катушка индуктивности: IHLP4040DZERR47M11,
 $L = 0.47 \text{ мкГн}$, $DCR = 1.53 \text{ мОм}$

Разработка электрической схемы.

Выходной фильтр



Задано максимальное отклонение напряжения $V_{over} = 20\text{мВ}$,
 I_{tran_max} – максимальная ступенька тока: 50% от
максимального тока, Для питания ядра $I_{tran_max}=50\text{А}$.

Минимальная ёмкость конденсаторов определяется из условия:

$$C_{out}(min) = \frac{I_{tran(max)}^2 * L}{2 * V_{out} * V_{over}} = 1,9\text{мФ}$$

Максимальное эквивалентное сопротивление ESR:

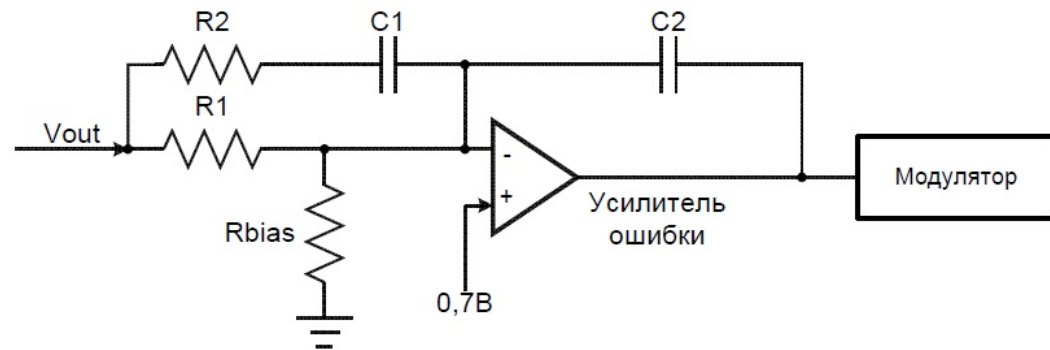
$$ESR_{Co} = \frac{V_{ripple(TotOUT)} - \frac{I_{ripple}}{8 * C_{out} * F_{SW}}}{I_{ripple}} = 4,3\text{мОм}$$

Выбраны конденсаторы: 13 шт. 560мкФ, ESR = 0,3мОм и

6 шт. 100мкФ, ESR = 0,17мОм.

Набор разных конденсаторов обусловлен разными частотными характеристиками и местом установки этих конденсаторов.

Разработка электрической схемы. Компенсация



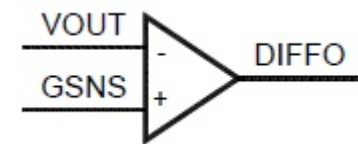
Компенсация позволяет задать рабочее напряжение и позволяет сделать преобразователь более устойчивым к резкому изменению входного напряжения и выходных нагрузок.

Делитель напряжения $V_{out}=0,9\text{В}$ выбирается так, чтобы на входе усилителя в нормальном режиме работы было $0,7\text{В}$:

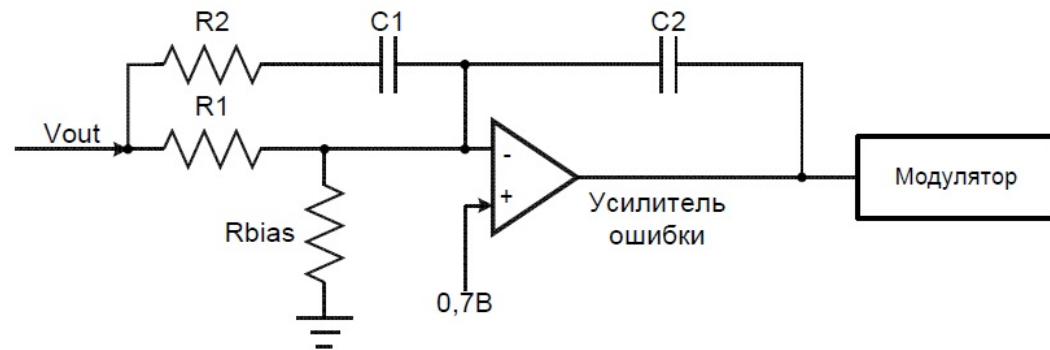
$$R_{bias} = 0,7 * \frac{R1}{V_{out}-0,7} = 31\text{кОм}, \text{ где } R1 \text{ принято за } 10,7\text{кОм}$$

В качестве V_{out} возможно выбрать выходное напряжение возле источника, но тогда требуется учесть падение напряжения до потребителя.

Другой вариант – снять значения напряжения и земли возле потребителя и использовать их разность. Минус такого решения – скачки напряжения возле потребителя



Разработка электрической схемы. Компенсация



Значения сопротивления резистора и ёмкостей конденсаторов компенсации вычислены на основании документации на контроллер:

- $R2 = 9410\text{м}$ для выходных конденсаторов 560мкФ
- $R2 = 330\text{м}$ для выходных конденсаторов 100мкФ
- $C1 = 3\text{нФ}$
- $C2 = 0,6\text{нФ}$

Выбраны значения: $R1 = 10,7\text{кОм}$. $R2 = 1000\text{м}$. $C1 = 10\text{нФ}$. $C2 = 1\text{нФ}$

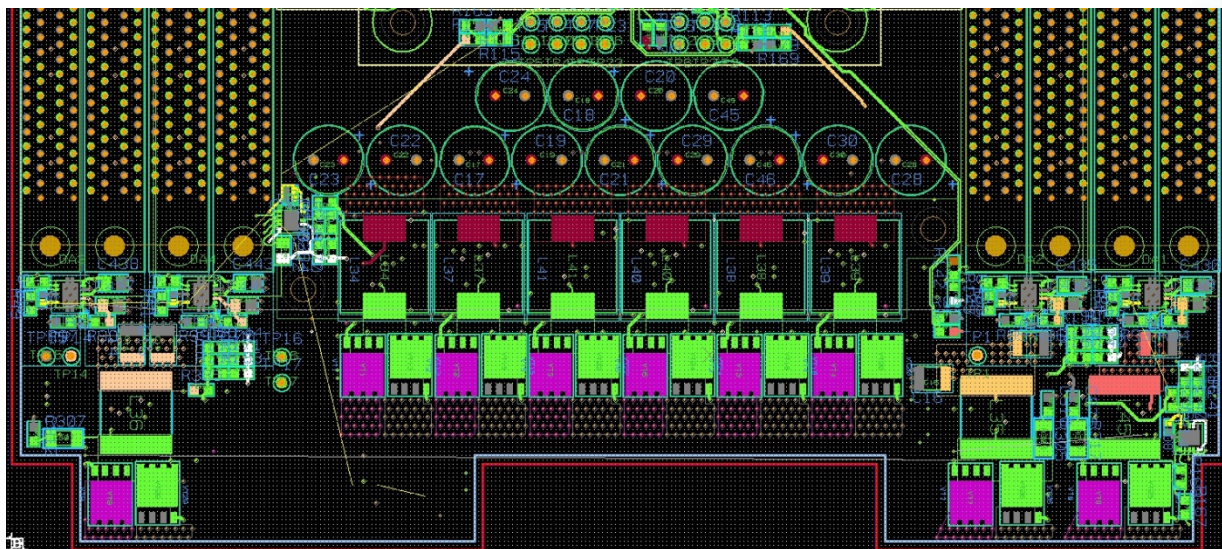
Размещение компонентов и трассировка

- MOSFET транзисторы должны быть смежны с индуктивностью и переключателями
- Длина цепей
 - +12В-транзистор-катушка-выходные конденсаторы и
 - GND-транзистор-катушка-выходные конденсаторы должна быть минимизирована
- Ток на слое земли в цепях, описанных выше, должен проходить под катушкой и транзисторами
- Земля сигналов AGND и земля питания GND должны быть разделены, а соединены возле выходных конденсаторов
- Длина трасс от драйверов переключателей к транзисторам должны быть минимизирована

Размещение компонентов и трассировка

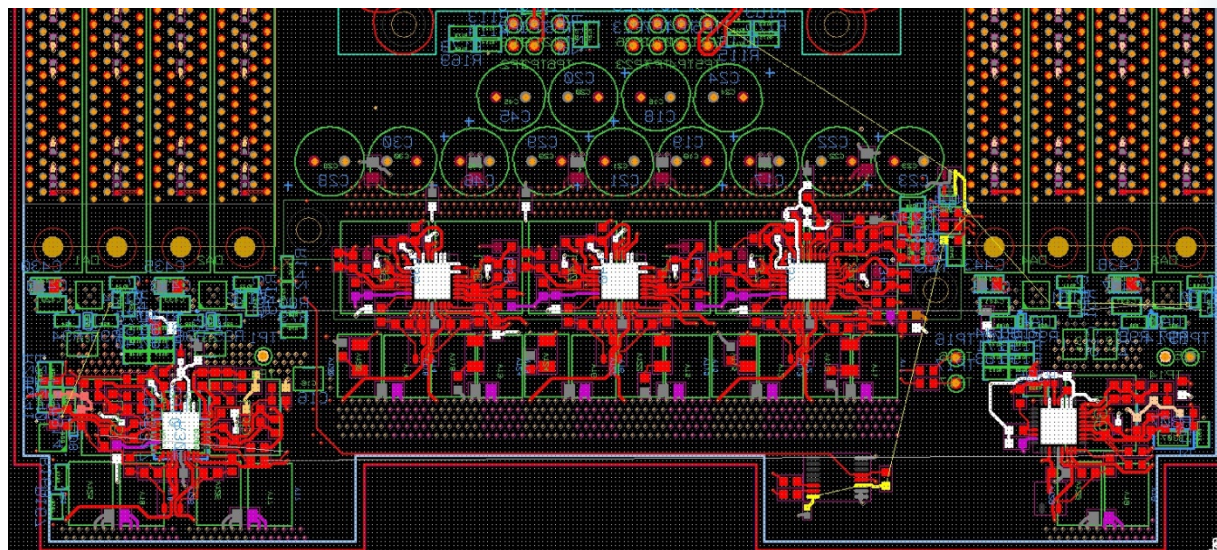
Top

- Минимизирована длина цепей с большим током
- Конденсаторы установлены вблизи использующих их цепей



Bottom

- Переключатели транзисторов установлены вблизи транзисторов
- Аналоговая и цифровая земли разделены



Результаты

Разработана электрическая схема системы питания типового блока, включающую многофазовую систему преобразователей напряжения, каждый из которых состоит из модулятора, фильтра и компенсации.

Выполнено размещение компонентов системы питания и трассировка.

Компонентная база системы питания стоит на порядок дешевле компонентных баз готовых решений.