

Интеллектуальный модуль УПТ

Особенности

- Дифференциальный усилитель мощности постоянного тока
- Типовой КПД >97%
- Gallium-nitride силовые транзисторы
- Рабочая частота до 2 МГц
- Напряжение питания до 80 В
- Выходной ток до 20А
- Габаритные размеры 76 x 36 x 18 мм



Области применения

- Усилители мощности
- Преобразователи постоянного тока
- Управление электроприводами

Общая информация

Интеллектуальный модуль УПТ (ИМУПТ) предназначен для применения в устройствах преобразования постоянного тока с высокими требованиями к КПД и удельной плотности мощности. Встроенная система защиты и управления (СЗУ) на основе микросхемы программируемой логики (ПЛИС) предотвращает большинство аварийных ситуаций. ИМУПТ ускорит разработку различных узлов на его базе, позволяя разработчикам сосредоточиться на функциональной сути проектов.

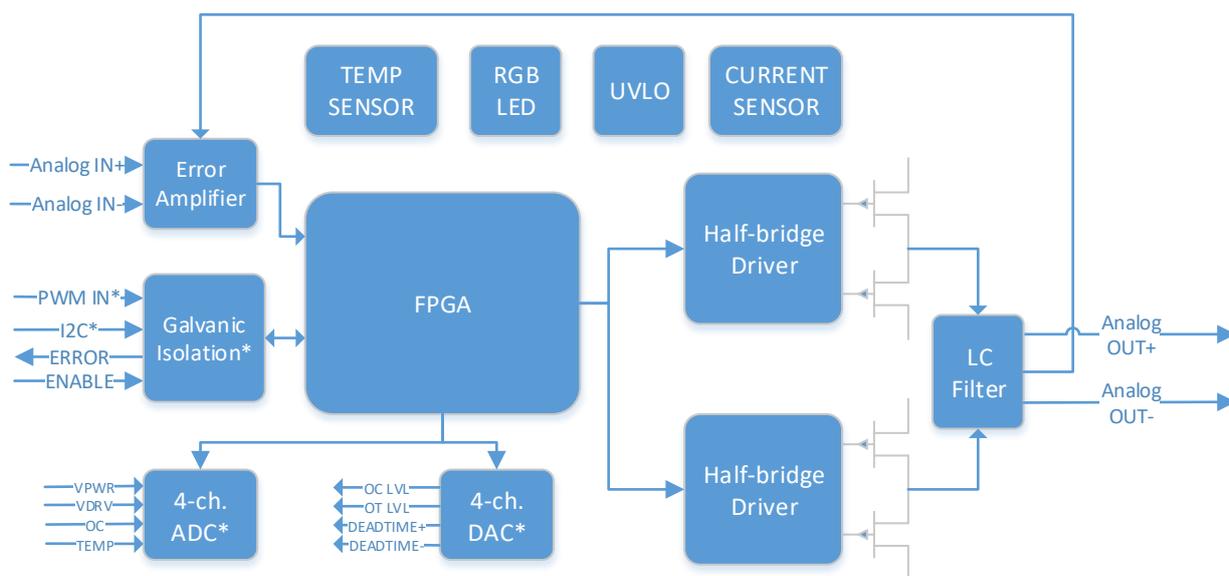


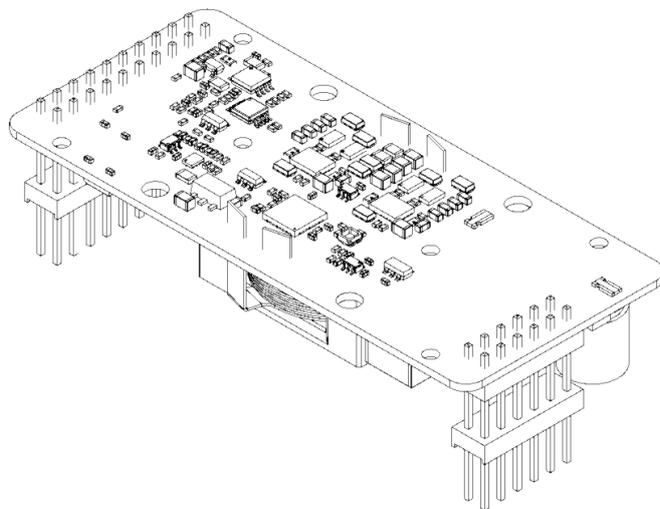
Рис. 1. Упрощенная структура ИМУПТ, * - опциональные блоки и сигналы.

1. Отличия в версиях исполнения

Функция	Версия Full	Версия Lite
Установка порога срабатывания защиты по току	 (0.1 А ... 20 А)	фикс. 10 А
Установка порога срабатывания защиты по температуре	 (50 °С ... 105 °С)	фикс. 95 °С
Установка значения мертвого времени силового каскада	 (3 нс ... 20 нс)	фикс. 8 нс
Измерение напряжения питания силового каскада		
Измерение питания драйвера		
Измерение температуры ИМУПТ		
Измерение среднего выходного тока ИСМ		
Настройка диапазона частот преобразования и индекса модуляции		
Чтение кодов ошибок		
Гальваническая изоляция ДПИ		
Аналоговый вход		
Вход ШИМ		
Управление параметрами через ДПИ		
Уникальный серийный номер		

2. Описание устройства

ИМУПТ представляет собой полностью дифференциальный самоосциллирующий усилитель мощности постоянного тока, охваченный общей отрицательной обратной связью. Выходной каскад усилителя, выполненный в виде двух полумостов, работает в ключевом режиме. С выходов полумостов импульсный сигнал поступает на дифференциальный демодулирующий LC-фильтр. Типичная частота несущей составляет приблизительно 800 кГц и может варьироваться в зависимости от значения уровня входного сигнала, выходной



мощности и импеданса нагрузки в пределах $\pm 30\%$. В качестве усилителя ошибки применяется микросхема быстродействующего прецизионного компаратора, обеспечивающая низкое значение времени апертурной неопределенности. Усилитель обладает высокой линейностью (КНИ $< 0.01\%$) и широкой полосой пропускания (> 50 кГц). Типовой КПД усилителя – 97-98%. При уровнях выходной мощности до 250 Ватт, на музыкальных сигналах, силовой модуль не потребует дополнительного охлаждения. Существует возможность добавления дополнительной внешней схемы «интегратора» внутрь цепи ООС (для этого предусмотрены дополнительные сигналы модуля **CFB_P**, **CFB_N**) с целью увеличения общего петлевого усиления. Такое решение может обеспечить линейность усилителя на уровне 1-2 ppm в полосе частот входного сигнала до 10 кГц.

3. Интеллектуальные функции

Основной задачей СЗУ является поддержание безопасных режимов работы силовых ключей и выходного дросселя вне зависимости от характера входного сигнала. Осуществляется ограничение индекса модуляции и ограничение минимальной входной частоты управляющих сигналов. При падении частоты входного сигнала ниже установленной, ПЛИС начинает вырабатывать дополнительные импульсы, предотвращающие срабатывание UVLO-детекторов из-за разряда подпорных конденсаторов верхнего плеча в драйверах полумостов, а через некоторое время срабатывает программируемый таймер, и ПЛИС переводит модуль в режим аварии. Также ограничивается минимально возможная длина импульсов для ограничения среднего тока заряда подпорных конденсаторов. При соответствии параметров входного сигнала введенным ограничениям, сигнал со входов передается на драйверы полумостов асинхронно, с задержкой в ПЛИС менее 5 нс. Все ограничения и таймеры программируются через двухпроводный последовательный интерфейс (ДПИ) и могут быть деактивированы пользователем. В ИМУПТ встроена защита по току с быстродействием 100 нс, гарантирующая сохранность модуля при коротких замыканиях в цепи нагрузки или замыкании выходов на землю (в цепях нагрузки). **Защита не обеспечивается при замыкании выходов на положительную шину силового питания!** Встроенный датчик температуры обладает погрешностью в 1°C , малой постоянной времени (0.5 с) и не позволяет перегреваться элементам схемы при длительных тяжелых нагрузках. Текущие значения выходного тока, температуры, напряжения силового питания и напряжения питания драйверов могут быть считаны по ДПИ. Другая важная функция СЗУ - обеспечение безопасного цикла выключения ИМУПТ при авариях.

ПЛИС выполняет аварийную последовательность, разрядив дроссель с помощью нижних ключей, и только затем уже отключит драйверы полумостов.

Опционально, модуль оснащается возможностью управления силовым каскадом с помощью внешнего ШИМ-сигнала. Физический уровень входного ШИМ-сигнала – LVDS, в модуле осуществляется гальваническая развязка с помощью широкополосного трансформатора (постоянные уровни не поддерживаются, минимальная частота работы 100 КГц).

4. Система индикации режимов работы

На верхнюю плоскость корпуса выведен трехцветный многорежимный индикатор режимов работы. Отображается наличие и характер ошибок и причина аварийного режима. При возникновении ошибок, выходной сигнал ERR становится активным и код ошибки можно считать через двухпроводный интерфейс. При срабатывании системы защиты необходимо повторно инициализировать ИМУПТ внешним сигналом ENABLE. Виды ошибок кодируются сериями вспышек, разделенными длинной паузой.

Статус индикатора	Описание текущего состояния	Примечания
 горит постоянно	Нормальный режим работы	
 мигает 50%/50%	Режим ожидания с пониженным потреблением	Силовая часть отключена
 горит постоянно	Обнаружено лимитирование выходного сигнала (клиппирование)	СЗУ вырабатывает защитные интервалы для предотвращения срабатывания UVLO драйверов силовых ключей
 +	Превышен выходной ток	Необходим цикл сброса ИМУПТ сигналом ENA или записью соответствующей команды
 +	Обнаружен перегрев	
 +	Превышен выходной ток и обнаружен перегрев	
 +	Обнаружена постоянная составляющая на выходе более 0.5 секунды, или длительное клиппирование.	
 +	Провал напряжения питания драйверов силовых ключей	

При отсутствии на плате целевого устройства средств автоматизации (микроконтроллеров, ПЛИС) повторное включение ИМУПТ после аварии можно выполнять автоматически, с помощью встроенного таймера, вырабатывающего защитный интервал (данный режим может быть активирован заводом-изготовителем по запросу, в версии **LITE**, или сконфигурирован через ДПИ в версии **FULL**).

5. Предельные эксплуатационные параметры

Обозначение параметра	Параметр		Диапазон допустимых значений	Единица измерения
V _{PWR}	Напряжение питания силового каскада		-0.5...+80	Вольт
V _{DRV+}	Напряжение питания схемы драйвера		-0.5...+16	Вольт
V _{A+}	Напряжение питания аналоговой схемы		-0.5...+12.6	Вольт
V _{VL+}	Напряжение питания цифровой схемы		-0.3...+5.5	Вольт
I _{OUT}	Выходной ток		±20	Ампер
V _{LOGIC}	Напряжение логических сигналов управления	PWM_P, PWM_N, ENABLE, SCL, SDA, ERROR	-0.3...+5.5	Вольт
T _{STG}	Температура хранения		-60...+125	°C
T _{AMB}	Температура окружающей среды при эксплуатации		-40...+85	°C

6. Рекомендуемые эксплуатационные параметры

Обозначение параметра	Параметр		Диапазон допустимых	Единица измерения

			значений	
V_{PWR}	Напряжение питания силового каскада		+12...+72	Вольт
V_{DRV+}	Напряжение питания схемы драйвера		-0.5...+12	Вольт
V_{A+}	Напряжение питания аналоговой схемы		-0.5...+12	Вольт
I_{OUT}	Выходной ток		± 18	Ампер

7. Основные характеристики

Обозначение параметра	Параметр		Диапазон допустимых значений	Единица измерения
t_{ON}	Время включения ИСМ при подаче питания		<10	мс
t_{OC}	Время срабатывания защиты по току		100	нс
$R_{INPDIFF}$	Дифференциальное сопротивление PWM входа		98...102	Ом
V_{UVP}	Порог срабатывания компаратора Power Good по цепи питания 12В		7,2...7,6	В
R_{ONSTAT}	Суммарное выходное сопротивление активных потерь на постоянном токе		15...25	МОм
$R_{INPUTDIFF}$	Дифференциальное сопротивление аналогового входа		6	кОм
K_G	Коэффициент усиления по напряжению		16,5	дБ
f_{BW-3dB}	Полоса пропускания усилителя	-3дБ	>50	кГц

I _{OC}	Порог срабатывания защиты по току		±(0,1...20)	A
T _{OTHYST}	Температурный гистерезис тепловой защиты		3	°C
I _{VDRV}	Ток потребления по цепи схемы драйвера	f _{SW} < 2 МГц	120	мА
I _{VA}	Ток потребления по цепи аналоговой схемы	f _{SW} < 2 МГц	30	мА
P _{OUT}	Действующее значение выходной мощности, Вариант Full , не менее	V _{PWR} = 76 В, R _{LOAD} = 4 Ом	500	Ватт
P _{OUT}	Действующее значение выходной мощности, Вариант Lite , не менее	V _{PWR} = 48 В, R _{LOAD} = 4 Ом	200	Ватт
THD	Коэффициент нелинейных искажений	P _{OUT} = 100 Вт V _{PWR} = 48 В, R _{LOAD} = 4 Ом	0.01	%

8. Протокол обмена данными

Используется двухпроводный последовательный интерфейс и протокол SMBUS с 8-битным адресом. SMBUS адрес ИСМ - 1010000R - где R - бит R/W.

Структура адреса регистров:	
Бит 0...6	Адрес регистра.
Бит 7	Запрет автоинкремента адреса. Если этот бит равен нулю, то после считывания или записи байта данных адрес автоматически увеличивается на 1. Иначе, если этот бит равен 1, автоинкремента адреса не происходит
Описание регистров:	
Адрес = 0x00. Первый регистр статуса. Запись любого значения в данный регистр приводит к сбросу триггеров ошибок. Второй способ сброса ошибок - перевод сигнала ENA (с учетом его режима в конфигурационных регистрах) в неактивное состояние и возврат в активное.	
Бит 0	Состояние триггера ошибки по перегреву. Устанавливается в 1 при ошибке. Сбрасывается при сбросе ошибок.

Бит 1	Состояние триггера ошибки по перегрузке по току. Устанавливается в 1 при ошибке. Сбрасывается при сбросе ошибок.
Бит 2	Состояние триггера ошибки по обнаружении постоянного уровня 1 или 0 на входе. Устанавливается в 1 при ошибке. Сбрасывается при сбросе ошибок.
Бит 3	Состояние триггера ошибки по супервизору питания. Устанавливается в 1 при ошибке. Сбрасывается при сбросе ошибок.
Бит 4	0 — зарезервировано
Бит 5...7	Текущее состояние модуля: 000 - выключено. 001 - переходное состояние, зарядка бутстрапов. Это состояние вряд ли реально увидеть, оно очень короткое. 010 - фаза 0 софт-старта — подъем напряжения с постоянной длительностью импульса. 011 - фаза 1 софт-старта — подъем напряжения с увеличивающейся длительностью импульса 100 - ожидание переключения на PWM 101 - Рабочий режим 110 - фаза разряда перед выключением
Адрес 0x01. Второй регистр статуса.	
Бит 0	Текущее состояние сигнала PG
Бит 1	Текущее состояние сигнала OC
Бит 2	Текущее состояние сигнала OT
Бит 3	Текущее состояние сигнала ENA
Бит 4	Текущее состояние детектора «клиппинга»
Бит 5	0 - загрузка конфигурационных умолчаний в процессе 1 - инициализация конфигурационных данных завершена При «0» нет гарантии того, что конфигурационные регистры имеют заданные по умолчанию значения, нет доступа к контроллеру флеш-памяти и нельзя разрешить работу модуля ни внешним ENA, ни через конфигурационные регистры.
Бит 6	0 - Reserved

Бит 7	1 - работа модуля запрещена. Причиной запрета может быть неактивный сигнал ENA (учитывая его режим в конфигурационных регистрах), либо незавершенный power-on reset, либо незавершенная загрузка конфигурационных умолчаний.
Адрес 0x02. Первый конфигурационный регистр.	
Бит 0...3	Минимальная длительность импульса PWM, ниже которой импульс растягивается до этого значения. $T_{PWM_MIN}=(2*X+1)/1.33e8$
Бит 4...6	Максимальная длительность паузы без перепадов на сигнале PWM, после которой выдается защитный импульс. $T_{PAUSE_MAX}=(64*x)/1.33e8$
Бит 7	0 (по умолчанию) – Противофазное управление ключами в полумостах 1 – Синфазное управление ключами Синфазное управление ключами может применяться в различных преобразователях напряжения
Адрес 0x03. Второй конфигурационный регистр.	
Бит 0...1	Мультиплексор входа. x0 (по умолчанию) – Режим самоосциллятора, аналоговый вход AIN+ и AIN- 10 – PWM-вход, режим LVDS, входы PWM+ и PWM- 11 – PWM-вход, режим CMOS, вход ENA
Бит 2	Инверсия сигнала входа. 0 (по умолчанию) – нет инверсии 1 – инверсия
Бит 3	Режим софт-старта 0 (по умолчанию) – режим софт-старта 1 - отключение софт-старта.
Бит 4	Отключение сигнала ENA от его функции разрешения или запрета работы модуля 0 (по умолчанию) – управление сигналом ENA 1 – управление осуществляется с помощью Бит 5.

Бит 5	<p>Разрешение работы модуля.</p> <p>0 – выключено</p> <p>1 – включено</p> <p>Заменяет внешний сигнал ENA, если установлен Бит 4, или если сигнал ENA выбран в качестве PWM-входа.</p>
Бит 6	<p>Запрет плавного выхода из софт-старта.</p> <p>0 - выход из процесса софт-старта синхронизируется с перепадом входного сигнала PWM, что подразумевает переход входного сигнала (в режиме самоосциллятора) через ноль. Этим обеспечивается гарантированное начало работы тракта при околонулевом входном напряжении в данный момент времени, и гарантированное отсутствие слишком резких скачков выходного дифференциального напряжения, могущих привести к нежелательной осцилляции в выходном фильтре.</p> <p>1 - выход из процесса плавного старта производится сразу после его завершения, независимо от того, каков входной сигнал и есть ли на входе перепады. Данный способ выхода предназначен для случаев работы от внешнего источника PWM сигнала, либо если внешними цепями при старте обеспечивается незначительное напряжение на входе в режиме самоосциллятора для исключения возможности слишком резкого возрастания выходного дифференциального напряжения.</p>
Бит 7	<p>Запрет разряда выходных цепей на землю при выключении.</p> <p>0 (по умолчанию) - при выключении (снятии ENA), открываются на 250 мкс нижние ключи в обоих полумостах, тем самым разряжая внешние цепи, затем полумосты переходят в третье состояние.</p> <p>1 - полумосты сразу переходят в третье состояние</p> <p>В некоторых применениях, разряд полумостов на землю может иметь катастрофические последствия.</p>
<p>Адрес 0x04. Третий конфигурационный регистр.</p>	
Бит 0...2	<p>Поправка к частоте мигания светодиода. Формат бит - число со знаком в диапазоне [-4...+3]. Итоговый базовый временной интервал равен $125 + \langle \text{значение} \rangle * 16$ миллисекунд</p>
Бит 3	<p>Мультиплексор сигнала ERR.</p> <p>0 – объединенный выход ошибки</p>

	1 - выход PWM, после мультиплексора входов и инвертора, но до защитных систем и софт-старта.
Бит 4...6	Количество циклов индикации ошибок перед автоматическим перезапуском. 0 (по умолчанию) — нет автоматического перезапуска. Иначе производится <значение>*2 циклов индикации, после чего следует сброс ошибки и автоматический перезапуск ИМУПТ.
Бит 7	Полярность сброса ошибок сигналом ENA 0 — по фронту 1 — по спаду.

Значения конфигурационных регистров по умолчанию при старте ПЛИС сначала загружаются из внутреннего слова со значением 0x80374000, то есть I2C адрес не меняется (используется 0x50+<пин ERR>), а в три конфигурационных регистра загружается соответственно 0x37, 0x40 и 0x00. Затем автомат инициализации считывает значение USERCODE, и инициализирует регистры и I2C адрес согласно его значению. Затем автомат считывает слово из UFM (User Flash Memory), и инициализирует регистры и I2C адрес из него. Таким образом существует три уровня умолчаний. Первый задан жестко в конфигурации ПЛИС, второй однократно программируем через USERCODE, а третий многократно программируем через UFM. USERCODE предназначен для хранения конфигурации по умолчанию, заданной на производстве, если она отлична от жестко вшитой, а UFM предназначен для последующего задания новых умолчаний конечным пользователем.

Модуль поставляется с работоспособным набором настроек по умолчанию. Максимальное количество перезаписей области USERCODE составляет 100.000, по этой причине не рекомендуется осуществлять перезапись параметров при каждом включении усилителя, а цикл включения начинать со считывания и проверки актуальности параметров.

9. Считывание значений встроенных датчиков ИМУПТ (доступно только в версии сборки FULL)

См. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tla2021.pdf>

Входной диапазон установлен по умолчанию ($\pm 2.048\text{В}$).

Канал 0: Монитор питания 12В (Полный диапазон измерения 0...+24.5В)

Канал 1: Монитор силового питания (Полный диапазон измерения 0...+104.5В)

Канал 2: Монитор выходного тока (Чувствительность преобразования 100 мВ/А)

Канал 3: Монитор температуры (Чувствительность 10 мВ/°С, 500 мВ при 0°С)

10. Установка значений некоторых параметров ИМУПТ (доступно только в версии сборки FULL)

В качестве микросхемы ЦАП применена модель Microchip MCP4728T. Микросхема обладает возможностью автозагрузки начальных значений выходных напряжений из встроенной EEPROM, что позволяет сконфигурировать ее на заводе-изготовителе, в соответствии с требованиями Заказчика.

См. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22187E.pdf>

- Контроль мертвого времени полумостов (Dead-time Control)

*Диапазон установки значений 3...20 нс. Настройка выполняется с помощью каналов C и D (по отдельности, для каждого полумоста) микросхемы ЦАП MCP4728T, входящей в состав ИМУПТ. Дополнительная информация предоставляется по запросу Заказчика. **Непреднамеренное или случайное изменение этих параметров без глубокого понимания и контроля процессов, текущих в силовом каскаде, может привести к выходу из строя силового каскада, что будет признано не гарантийным случаем!***

- Установка порога срабатывания защиты по температуре

Задействован канал В микросхемы ЦАП. Чувствительность 10 мВ/°С, 500 мВ при 0 °С. Напряжение 1.5В соответствует температуре срабатывания защиты 100 °С. Номинальное значение, устанавливаемое заводом-изготовителем – 1.45 В. **Установка порога срабатывания защиты более, чем на 105 °С не рекомендуется и может привести к тепловому пробую и отказу ИМУПТ.**

- Установка порога срабатывания защиты по току

Задействован канал А микросхемы ЦАП. Чувствительность 100 мВ/А. Номинальное значение, устанавливаемое заводом-изготовителем – 2 В.

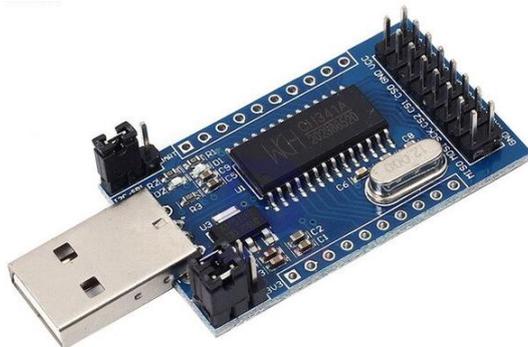
11. Спецификация ДПИ

Диаграмма сигналов соответствует спецификации System Management Bus Specification, Revision 1.0.

<http://www.smbus.org/specs/smb10.pdf>

12. Утилита для диагностики и конфигурации модуля

Для работы с модулем разработана специальная утилита, использующая в качестве интерфейсного устройства конвертор протоколов на базе микросхемы SN341A. При установке драйвера необходимо выбрать драйвер “Parallel Mode”.



Подключение осуществляется по интерфейсу I2C, причем питание входной логики VL+ может осуществляться непосредственно от данного адаптера.

```

Администратор: Командная строка
LSCC control utility v1.0a

USAGE: lssc_util <options>
Generic options:
-i <val>, --i2c_addr <val> - set device address to <val>, by default 0x50 (0x60 for DAC commands)
-a <val>, --addr <val> - set register address to <val>, by default 0

Generic actions:
-h, -?, --help - display this help
-r <len>, --read <len> - read from device's register[s] <len> bytes
device and register addresses are set by '-i'/'-a' opts
-w <b0> .. <bn>, --write .. - write to device's register[s] bytes <b0>...<bn>
device and register addresses are set by '-i'/'-a' opts
-n, --no_addr - Omit address/command phase in read/write commands

Lattice FPGA actions:
--uid - read UID from FPGA
--uc - read USERCODE (factory defaults) from FPGA
--ud - read user defaults from FPGA
--erase_ud - erase and disable user defaults in FPGA
--set_ud <val> - erase and enable and set user defaults to <val> in FPGA
--set_uc <val> - Set USERCODE (factory defaults) to <val> in FPGA

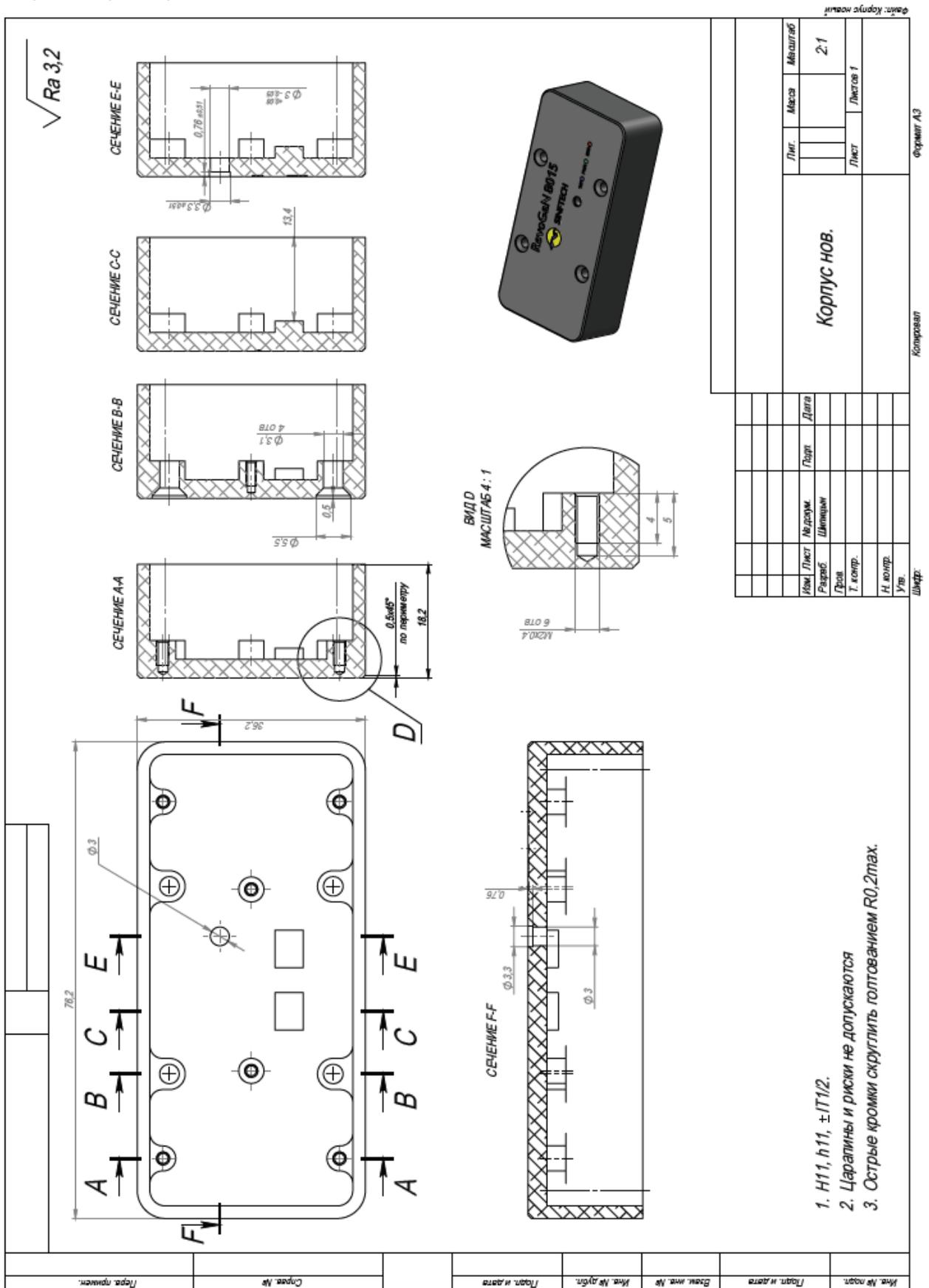
NOTE: --set_ud and --set_uc commands automatically sets high bit of <val>
NOTE: this enables applying of these defaults when FPGA initializes

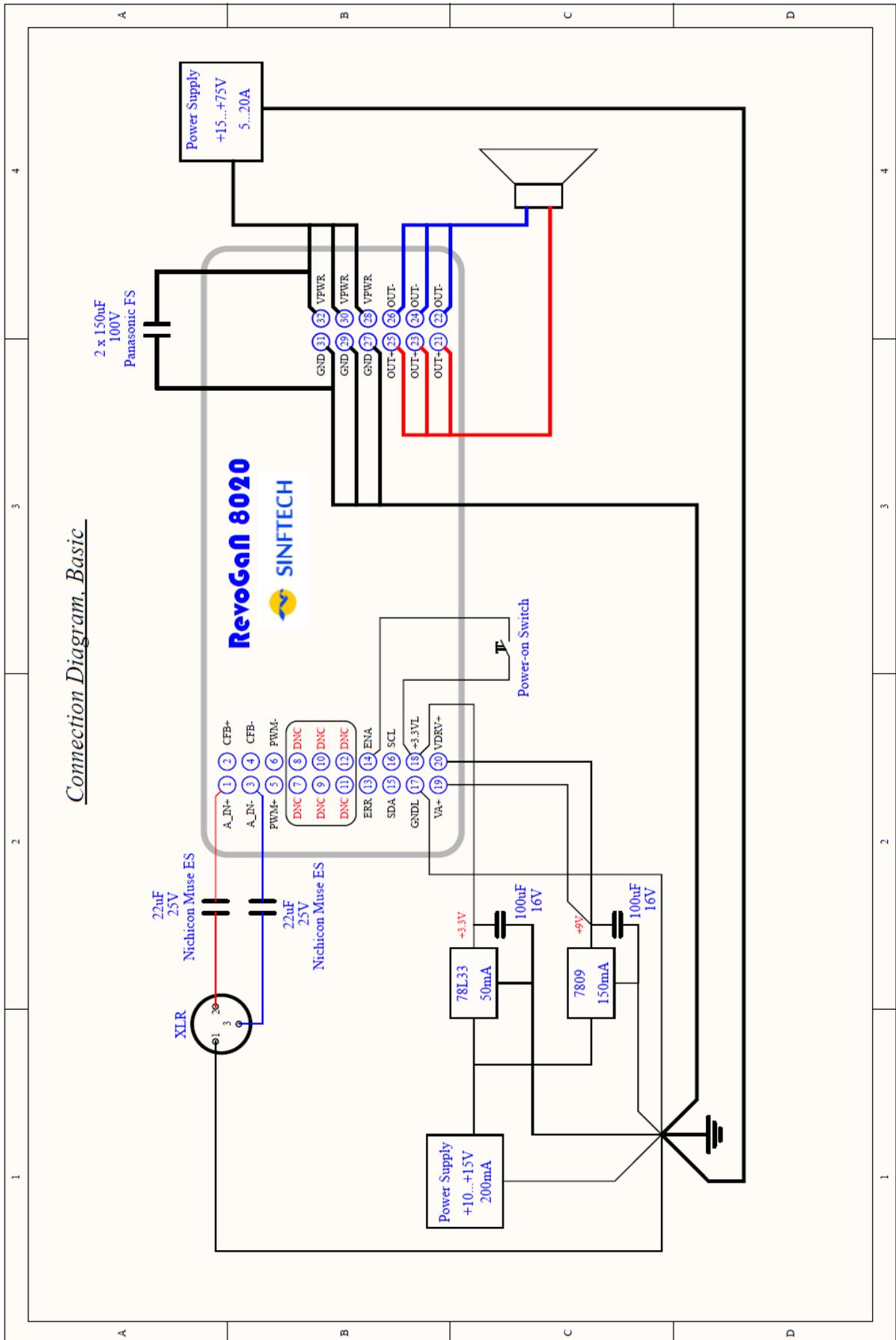
DAC actions (on GaN module):
-dt <ns> - set dead time to <ns> ns
-ot <temp> - set OT level to <temp> Celsius degrees
-oc <amps> - set OC level to <amps> Amperes
-p, --perm - update not only current values, and EEPROM also

ADC actions (on GaN module):
--adc - read ADC and display translated results
    
```

Утилита позволяет прочитать значения датчиков (приводя их в явный вид – вольты, амперы, градусы), установить некоторые параметры, задать параметры при запуске и осуществить перепрошивку устройства.

За более подробными рекомендациями по использованию утилиты необходимо обращаться на завод-изготовитель.

13. Габаритные размеры


15. Схема типового включения в качестве УЗЧ


16. Версии документа

Номер версии	Дата версии	Автор	Примечания
0.8	24.10.20	PG	Ознакомительная версия
0.9	23.11.20	PG	Дополнения и исправления
1.0	11.01.21	PG	Дополнения и исправления

17. Рекомендации по применению

Последовательность подачи питающих напряжений значения не имеет.

В случае необходимости использования разъемного соединения с ИМУПТ на несущей плате при прототипировании, рекомендуется использовать высококачественные цанговые разъемы производства компании Samtec ESD-106-T-03, Mill-Max 803-41-012-10-001000 или аналогичные, рассчитанные на ток не менее 4-6А на один контакт для подключения сигналов VPWR, GND, OUT+ и OUT-. Остальные сигналы могут быть подключены с помощью стандартных разъемов типа PBD.

Для уменьшения проникания помех от работы силовой части в цепи усилителя ошибки, рекомендуется осуществлять питание аналоговой части от отдельного стабилизатора +10 В на базе малощумящего линейного стабилизатора с малым падением типа ТРА7А4901. В этом случае, ТРА7А4901 может быть запитан от напряжения +12 В, используемого для питания драйверов.