

НИУ «МЭИ» **представляет учебный курс:**

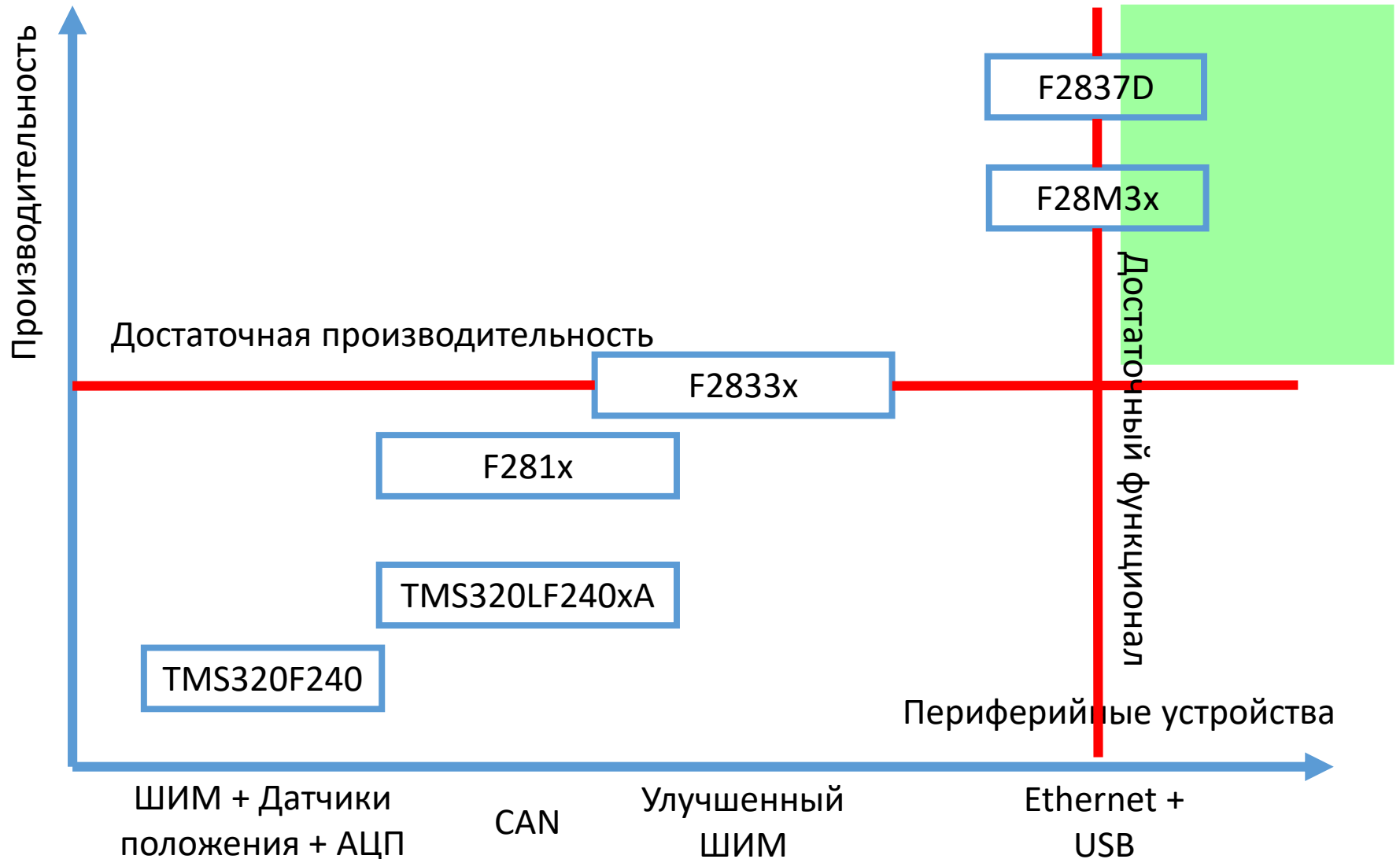
Проектирование цифровых систем управления на базе
отечественного микроконтроллера **НИИЭТ К1921ВК01Т**

Москва 2019

Лекция 1.1

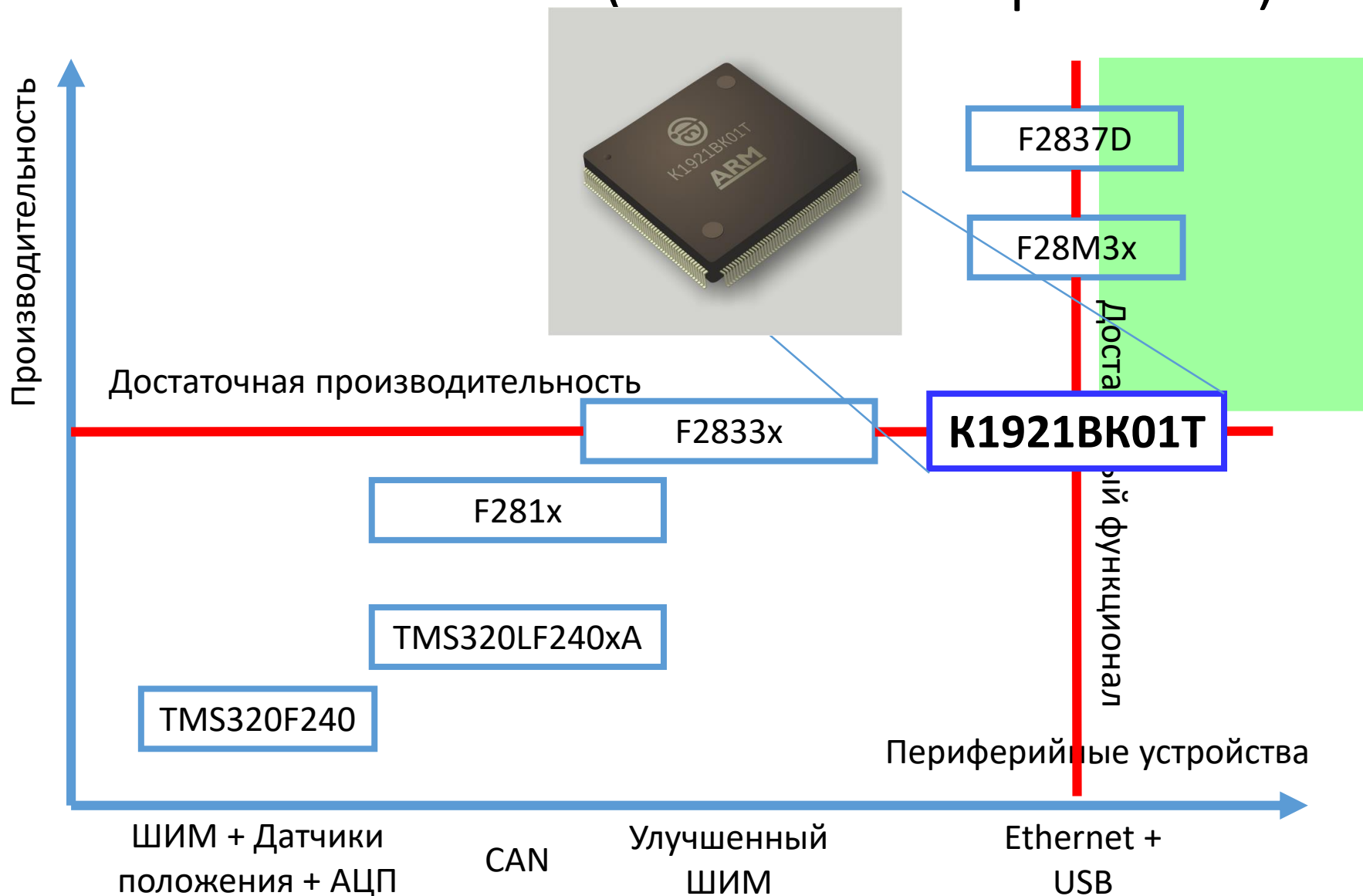
- Обзор архитектуры и состава периферийных модулей микроконтроллера K1921BK01T.
- Сравнение изделия с ближайшими отечественными и зарубежными аналогами.
- Отдельное рассмотрение периферийных модулей, предназначенных для управления электродвигателем.
- Знакомство слушателей на практике с существующими отладочными платами на базе K1921BK01T и их возможностями.

Тенденции развития встроенных систем управления на примере МК Texas Instruments



Микроконтроллер K1921BK01T

ARM 100 MHz (НИИЭТ Воронеж)



Ядро ARM Cortex-M4F

MPU

JTAG и SWD

NVIC

FPU

Контроллер внешней памяти
(SRAM, PROM, NOR Flash)

Сторожевой
таймер

Контроллер
сброса

24-канальный
контроллер
DMA

Мост
AHB - APB

3 таймера

12 двух-
канальных
12-разрядных
АЦП

ОЗУ
192K x 8

Память
программ
Flash
1M x 8

Пользователь-
ская Flash
64K x 8

3 аналоговых
компаратора

9 двух-
канальных
модулей
формирования
ШИМ-сигналов

Блок
синхронизации

Осциллятор

PLL

Модуль RTC
с батарейным
питанием

2 импульсных
квадратурных
декодера

6 модулей
захвата/
сравнения

Шина APB

Шина AHB

Контроллер TwinCAN 2.0b

4 контроллера SPI

2 контроллера I2C

4 модуля UART

8 портов ввода-вывода общего назначения

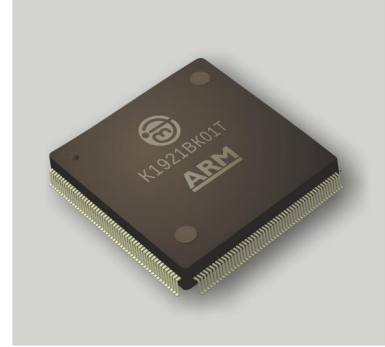
Состав K1921BK01T

Огромное
количество
периферии с ядром
Cortex-M4F
100МГц

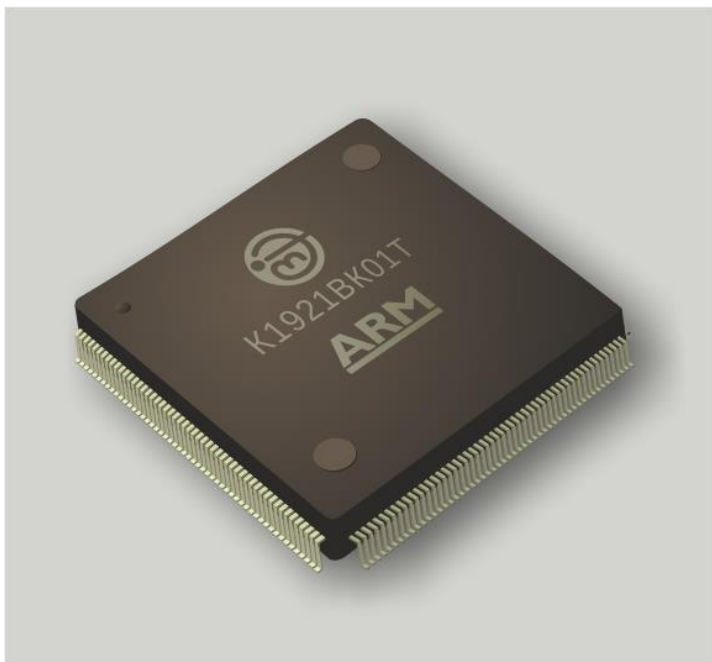
Функционально
годен для любых
задач электропривода
и преобразователей
энергии

Вычислительное ядро
относительно
медленное

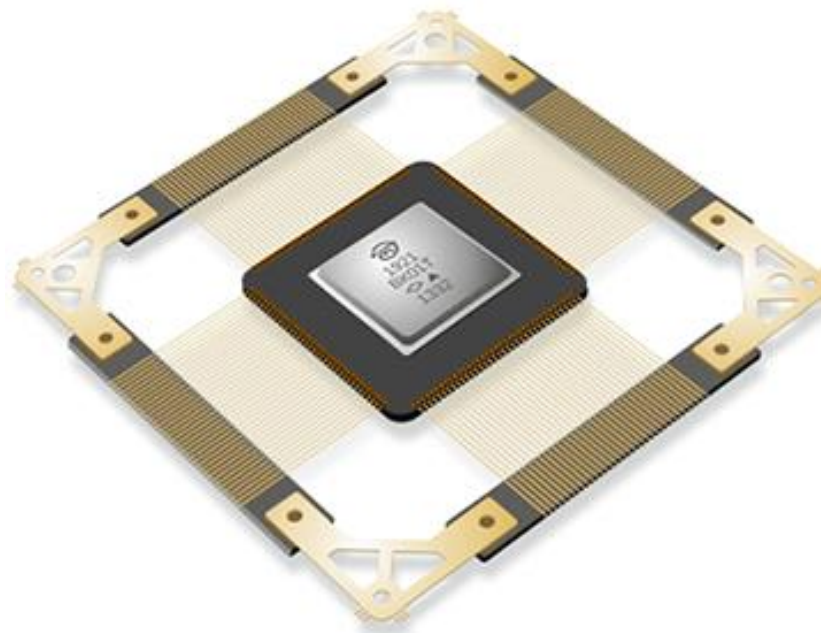
K1921BK01T создавался так, как это делают все современные производители: разработка микросхемы похожа на разработку печатной платы.



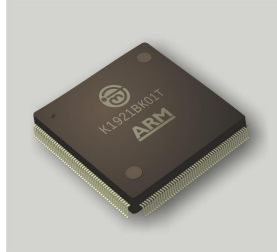
- Инициативная разработка ОА «НИИЭТ»
- Выполнялась совместно с НПП «Цифровые решения»
- Ядро ARM лицензировано (приобретено в виде описания аппаратной части ядра в VHDL)
- Модули АЦП, DMA, USB и прочие также приобретены в виде IP ядер (законченных блоков в VHDL и описанием), доступных на рынке
- Блоки ШИМ, QEP, CAP разработаны самостоятельно по аналогии с аналогичными блоками Texas Instruments (исходя из текстового описания функционирования)
- Интеграция блоков друг с другом для получения единого изделия выполнена НПП «Цифровые решения»
- Отладка работы будущего изделия осуществлялась на ПЛИС Kintex7, итеративно. Проводились как синтетические тесты, так и проверка управления реальным электродвигателем (эти работы вела НПФ «ВЕЕКТОР»)
- Конечный этап конструирования – трассировка (разводка) микросхемы для получения слоев для печати (как при производстве печатных плат)
- Производство чипа по полученным «слоям» фотолитографическим способом может производиться на любой фабрике, поддерживающей необходимый техпроцесс. Первая партия чипов была заказана на одной из фабрик Китая
- Корпусировка готовых чипов может проводиться так же на любой фабрике. Так, в пластиковый корпус упаковка производилась на фабрике Китая, в металлокерамический силами ОА «НИИЭТ»



K1921BK01T
пластик
~3500р



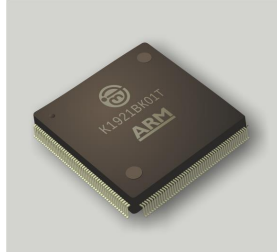
K1921BK01T1
Керамика
Приемка «5»
~30000р



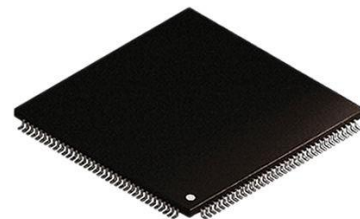
VS



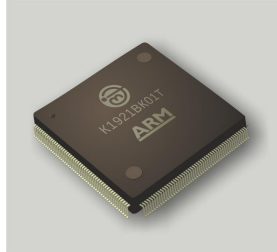
K1921BK01T НИИЭТ		TMS320F28335 TI
100МГц, ядро медленнее	производительность	150 МГц, ядро C28 быстрее
18 каналов	ШИМ	12 каналов
23 канала, «12 медленных»	АЦП	12 каналов, «один быстрый»
2	QEP (квадратур. блок)	2
6	Блок захвата CAP	6
4 / 2 / 4 / 2	SPI / I2C / UART / CAN	3 / 1 / 3 / 2
нет	ЦАП	нет
192 Кбайт	ОЗУ	68 Кбайт
1024 Кбайт	Flash	512 Кбайт
64 Кбайт	Польз. память	нет
1	USB	нет
1	Ethernet	нет
1	Часы	нет



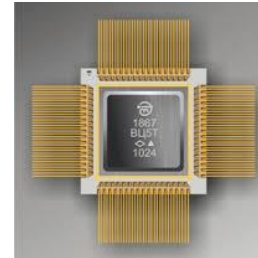
VS



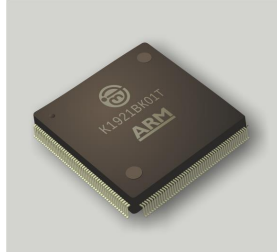
K1921BK01T НИИЭТ		STM32F423VH SMT
100МГц	производительность	100 МГц
18 каналов	ШИМ	6 полных каналов +12 доп.
23 канала, «12 медленных»	АЦП	16 каналов, «один быстрый»
2	QEP (квадратур. блок)	1 (совмещен с ШИМ)
6	Блок захвата CAP	N (совмещен с ШИМ)
4 / 2 / 4 / 2	SPI / I2C / UART / CAN	5 / 4 / 10 / 3
нет	ЦАП	2
192 Кбайт	ОЗУ	320 Кбайт
1 Мб	Flash	1,5 Мб
64 Кбайт	Польз. память	нет
1	USB	1
1	Ethernet	нет
1	Часы	1



VS



K1921BK01T НИИЭТ		1867BQ5T НИИЭТ
100МГц, ядро быстрее	производительность	25 МГц (16-битный, целочисл)
18 каналов	ШИМ	6 полных каналов +6 доп.
23 канала	АЦП	11 каналов
2	QEP (квадратур. блок)	2
6	Блок захвата CAP	4
4 / 2 / 4 / 2	SPI / I2C / UART / CAN	1 / 0 / 1 / 3
нет	ЦАП	нет
192 Кбайт	ОЗУ	0.5 Кбайт
1 Мб	Flash	16 Кб
64 Кбайт	Польз. память	нет
1	USB	нет
1	Ethernet	нет
1	Часы	нет

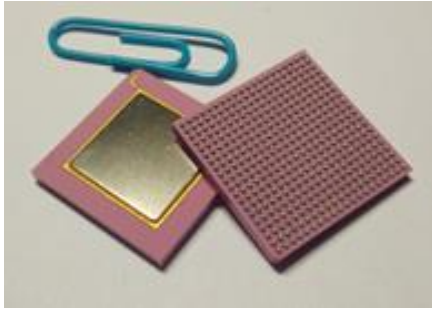


VS



K1921BK01T НИИЭТ		K1986BE1QI МИЛАНДР
100МГц	производительность	144МГц
18 каналов	ШИМ	8 каналов (совм. с захватом)
23 канала	АЦП	8 каналов
2	QEP (квадратур. блок)	нет
6	Блок захвата CAP	4 (совм. с ШИМ)
4 / 2 / 4 / 2	SPI / I2C / UART / CAN	3 / 0 / 2 / 2
нет	ЦАП	2
192 Кбайт	ОЗУ	48 Кбайт
1024 Кб	Flash	128 Кб
64 Кбайт	Польз. память	нет
1	USB	1
1	Ethernet	1
1	Часы	нет

Новинка! 1921BK028



Корпус:

- Корпус BGA 400 (21x21 мм)

Ядро:

- Cortex-M4F
- тактовая частота до **200 МГц**

Память:

- кэш данных и инструкций 16+16 кБ
- 2 МБ основной флеш-памяти
- 512 кБ загрузочной флеш-памяти
- 64 кБ флеш-памяти польз. данных
- 704 кБ внутренней ОЗУ)

Питание и тактирование:

- внешнее питание 3.3В, 1.2В
- встроенный RC-генератор 16 МГц
- внешний осциллятор 8-24 МГц
- встроенный PLL

АЦП:

- 4 штуки 12-канальный 12-разрядный
- до 2.5 М/с на канал
- диапазон преобразования: 0-3.3 В

Периферийные устройства:

- DMA (32 каналов)
- 8 32-битных таймера
- сторожевой таймер
- 6 блоков захвата
- 10 2-канальных блоков ШИМ
- 4 квадратурных декодера
- программируемые логические ячейки
- 4 канала сигма-дельта демодулятора
- RTC с батарейным питанием

- **блок тригонометрических вычислений**

Интерфейсы:

- 6 UART
- 4 SPI
- 2 I2C
- 2 CAN 2.0B
- 2 MILSTD1553B
- 2 SpaceWire
- 2 OneWire
- Ethernet MII 100Мбит/с

Новинка! 1921BK035



Корпус:

- Корпус МК 5162.48-1. **(6x6 мм)**

Ядро:

- Cortex-M4F
- тактовая частота до 200 МГц

Память:

- кэш данных и инструкций 8+8 кБ
- 64 кБ основной флеш-памяти
- 4 кБ загрузочной флеш-памяти
- 16 кБ внутренней ОЗУ)

АЦП:

- 4-канала, 12 разрядов
- до 2.5 М/с на канал
- диапазон преобразования: 0-3.3 В

Периферийные устройства:

- 4 32-битных таймера
- сторожевой таймер
- 3 блока захвата
- 3 2-канальных блока ШИМ
- 1 квадратурный декодер

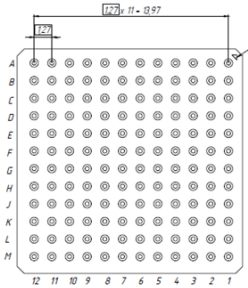
Интерфейсы:

- 2 UART
- 1 SPI
- 1 I2C
- 1 CAN 2.0B

Питание и тактирование:

- внешнее питание 3.3В
- встроенный RC-генератор 16 МГц
- внешний осциллятор 8-24 МГц
- встроенный PLL
- Режим пониженного энергопотребл.

Новинка! Миландр ХХХ



Корпус:

- Корпус 4244.256-3 144 вывода
- Температурный диапазон -60 -125 °C

Ядро:

- 2 ядра Cortex-M4F (отдельно или в режиме дублирования)
- тактовая частота до 160 МГц

Память:

- кэш данных и инструкций 8+8 кБ
- 1 МБ основной флеш-памяти
- 256 кБ внутренней ОЗУ)

Питание и тактирование:

- внешнее питание 3.3V
- встроенный RC-генератор
- внешний осциллятор
- 4 блока PLL
- часовой генератор

АЦП:

6 аналоговых 12-ти разрядных АЦП;

Периферийные устройства:

- 2 блока контроллера DMA;
- часы реального времени RTC;
- сторожевой таймер WDG;
- 4 таймера общего назначения с функцией ШИМ
- 9 независимых блоков ШИМ;
- 4 модуля захвата с функциями ШИМ;
- Блок аппаратных тригон. вычислений;
- 4 аналоговых компаратора;
- 4 цифро-аналоговых преобразователя;
- 2 модуля квадратурных декодеров.

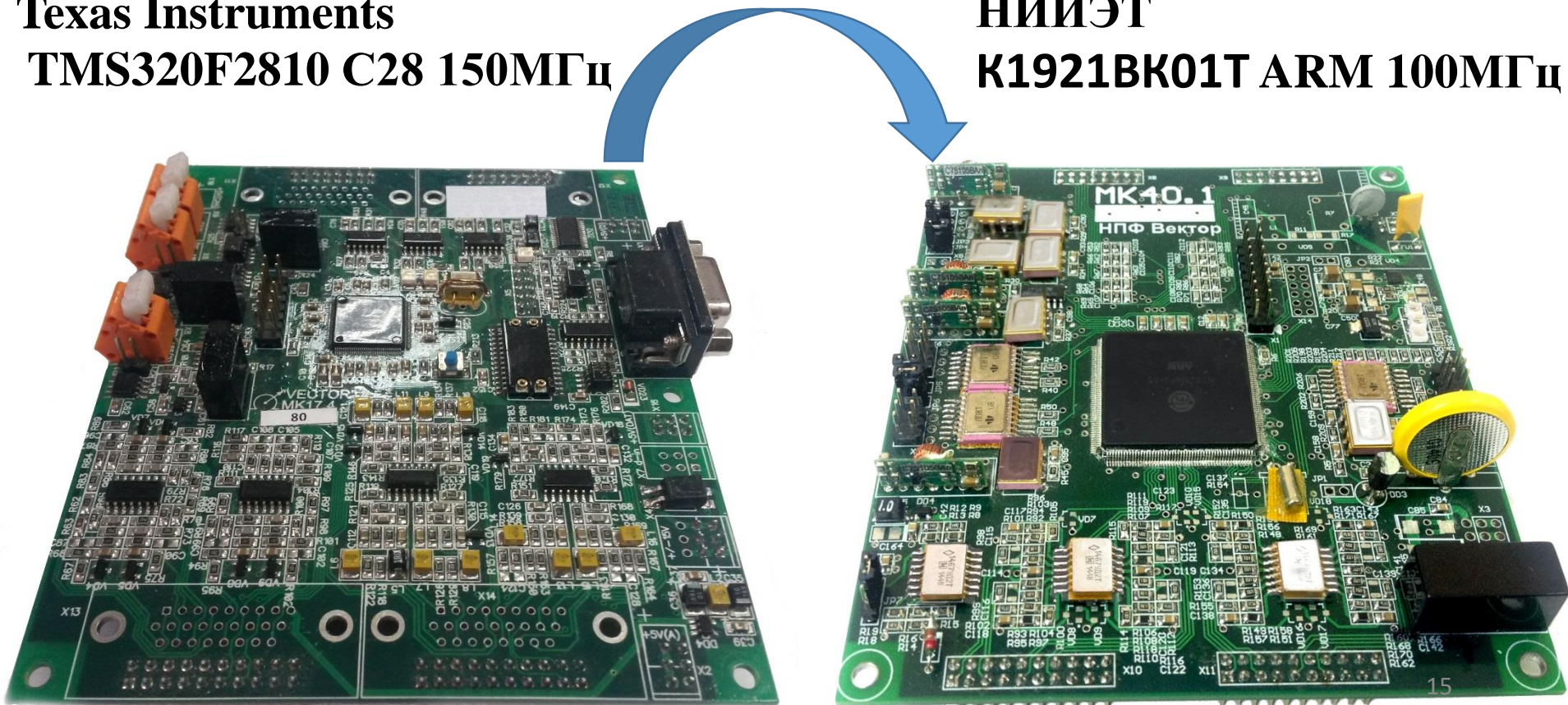
Интерфейсы:

- EthernetMAC 10/100 Мбит/с;
- МКПД в режимах КШ, ОУ, Монитор;
- 2xCAN
- 2xSSP
- 1xI1C
- 4xUART
- 1xUSB;

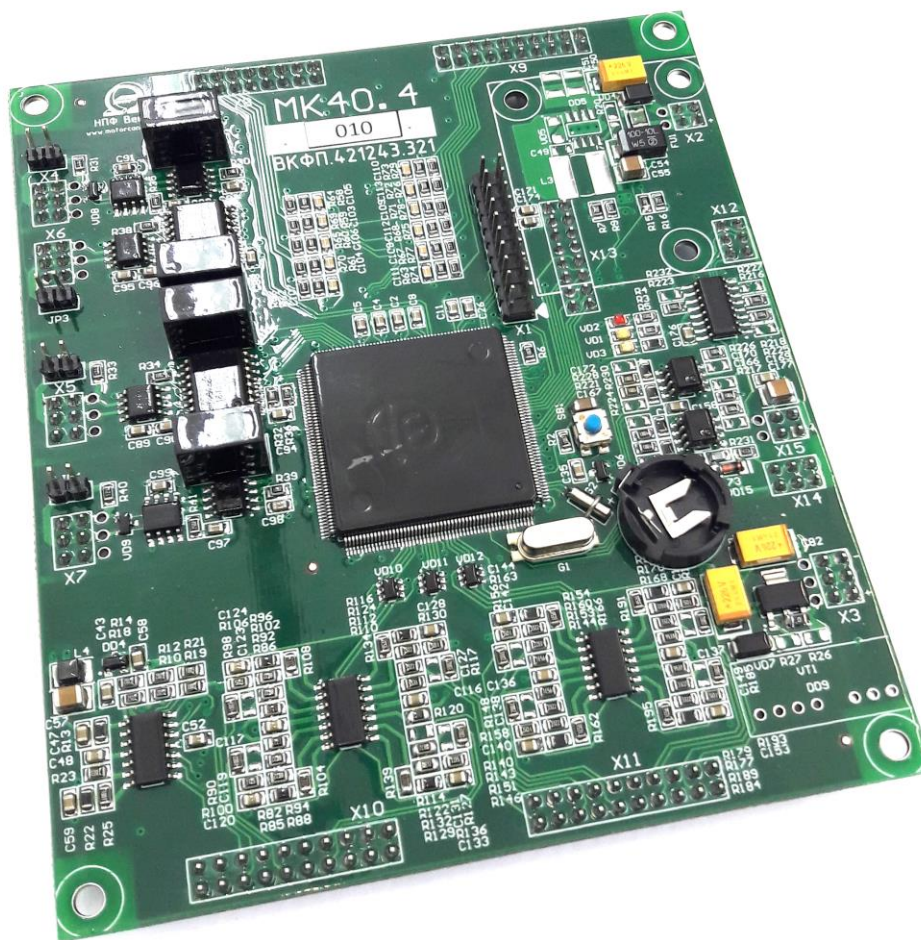
**Сделать контроллер полностью на
отечественных компонентах в тех же габаритах и
посадочных местах взамен контроллера на
импортных комплектующих? Это возможно!**

**Texas Instruments
TMS320F2810 C28 150МГц**

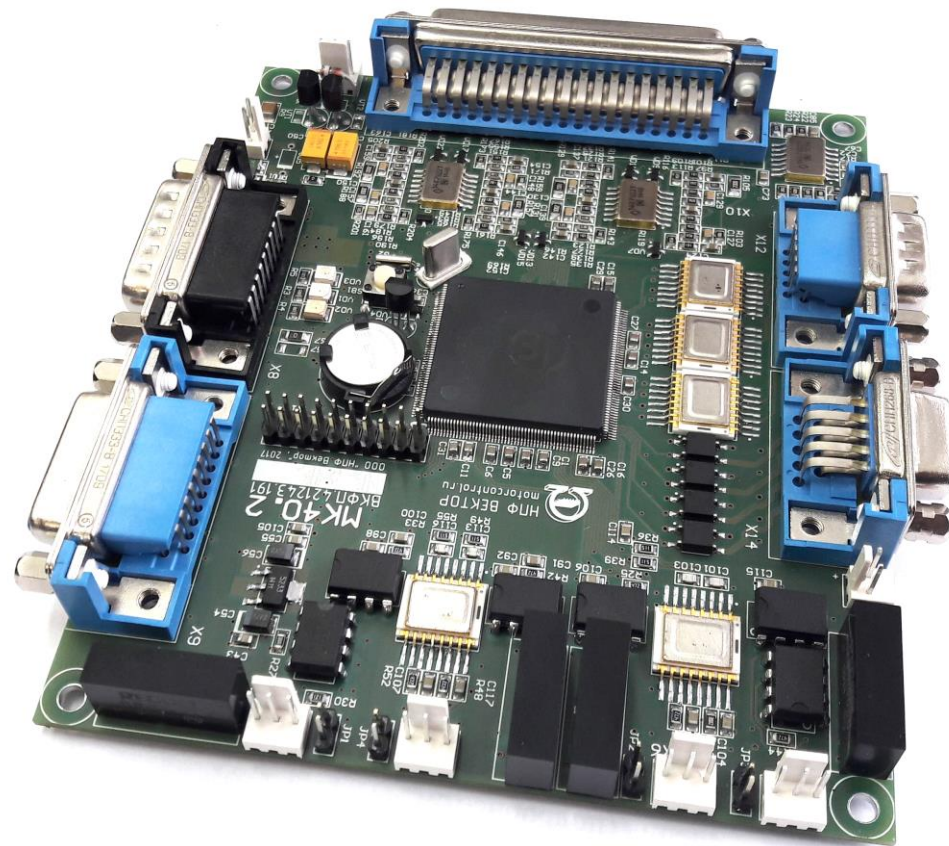
**НИИЭТ
К1921ВК01Т ARM 100МГц**



**МК40.4 – на импортных
компонентах, но с
К1921ВК01Т**



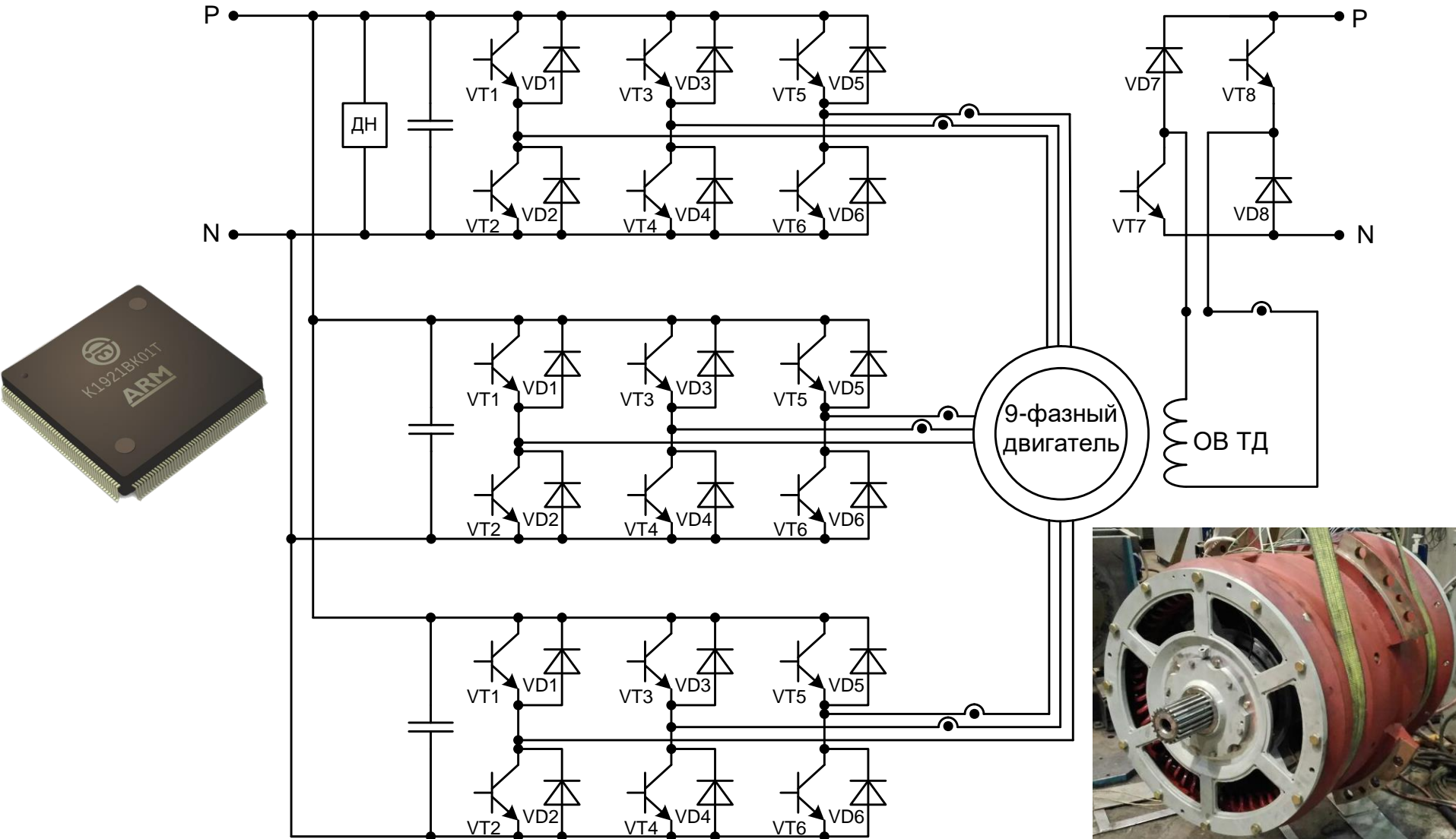
**МК40.2 – другая вариация
контроллера на отечественных
компонентах**



Мы уже применили K1921BK01T для:

- Системы векторного управления тяговым вентильно-индукторным электроприводом мощностью 60кВт. Привод имеет 3 фазы и обмотку возбуждения.
- Системы векторного управления тяговым вентильно-индукторным электроприводом мощностью 320кВт. Привод имеет 9 фаз и обмотку возбуждения.
- Системы скалярного управления асинхронным двигателем с функцией резервирования и «подхвата» вращающегося двигателя. Привод на стадии испытаний.
- Системы позиционного сервопривода на базе синхронного двигателя и инкрементального энкодера. Привод доступен в виде отладочных комплектов VectorCARD K1921BK01T.
- Отладочной платы контроллера и преобразователя частоты MotorControlBoard

Для каких задач в K1921BK01T так много периферии motorcontrol?



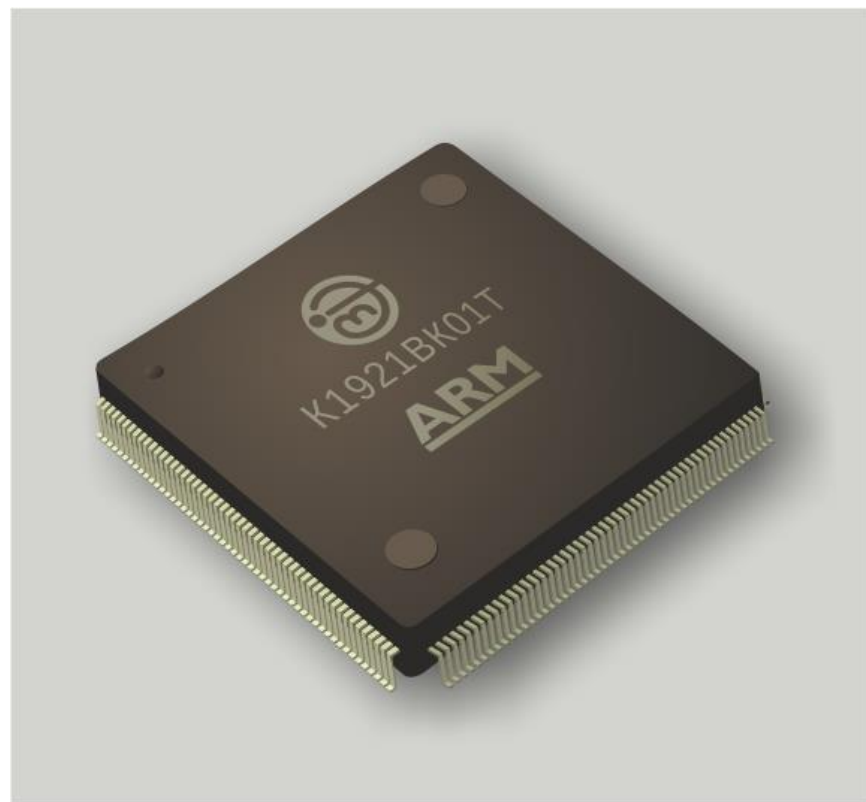
9-ти фазный вентильно-индукторный привод мощностью 320кВт
ШИМы должны быть синхронизированы – 1 микроконтроллер

А что с производительностью?

Сравним типичный Motorcontrol МК с K1921BK01T



VS



Texas Instruments
TMS 320F2810
ядро C28
150МГц

НИИЭТ
K1921BK01T
ядро Cortex M4F
100МГц

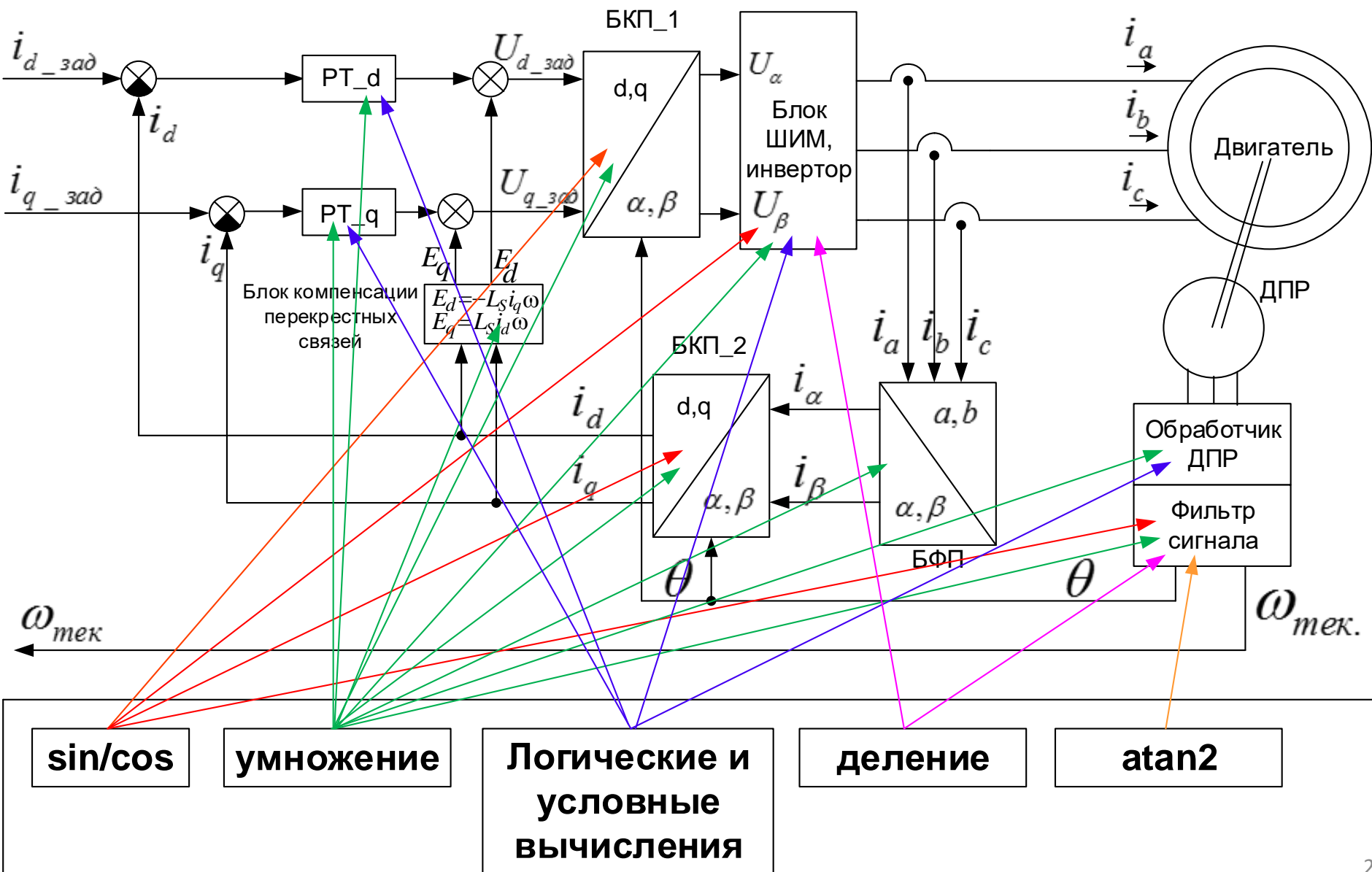
**Как сравнить вычислительную
производительность?**

**Всё зависит от используемых
компиляторов и вида вычислений.**

**На какой вычислительной задаче
сравнивать?**

**Рассмотрим классическую структуру
векторного управления
электродвигателем.**

Какие вычислительные задачи решает микроконтроллер для векторного управления электродвигателем?



Какие библиотеки использовать?

Для ядра Texas Instruments C28 есть оптимизированная и написанная на ассемблере библиотека целочисленных вычислений в формате Q24 (и других) – IQmath.

Для ядра Cortex-M4F есть библиотека CMSIS-DSP, которую делает ARM.

Но:

- 1. Она медленная!**
- 2. Из целочисленных там только форматы 1.15, 16.16 и 1.31 – они неудобны!**

Можно сделать свою библиотеку функций с нужной точностью и эффективностью

В интернете можно найти множество реализаций вычисления различных функций с разной точностью. Большинство реализаций – на Си.

Соответственно, эффективность работы таких функций сильно зависит от оптимизирующих свойств используемого компилятора.

Сравним компиляторы и готовые библиотеки на базе вычисления функции синуса.

Оценка производительности компиляторов на функции аппроксимированного **синуса** в целочисленной арифметике с фиксированной точкой в формате 8.24

```
int32 _IQ24sinPU(int32 x)
{
    int32 c, y;
    static const int32 qN= 13, qA= 12, B=19900, C=3516;
    x=x>>9; //from 8.24
    c= x<<(30-qN); // Semi-circle info into carry.
    x -= 1<<qN; // sine -> cosine calc

    x= x<<(31-qN); // Mask with PI
    x= x>>(31-qN); // Note: SIGNED shift! (to qN)
    x= x*x>>(2*qN-14); // x=x^2 To Q14

    y= B - (x*C>>14); // B - x^2*C
    y= (1<<qA)-(x*y>>16); // A - x^2*(B-x^2*C)
    y=y<<12; // to 8.24
    return c>=0 ? y : -y;
}
```

Честный
точный
табличный
синус!

<http://www.coranac.com/2009/07/sines/> алгоритм работы данной аппроксимации

	GCC	IAR	C28 TI IQmath Q24	CMSIS-DSP Q15
Число ассемблерных команд	18	19	-	-
Число тактов	29	30	45	80

Оценка производительности компиляторов на функции целочисленного умножения в формате 8.24

```
inline int32 _IQ24mpy(int32 inArg0, int32 inArg1) {  
    return (int32)((((int64)inArg0 * inArg1)>> 24);  
}
```

	GCC	IAR	C28 TI IQmath
Число команд	6	6	7
Число тактов	8	8	7

Лучшие компиляторы для ядра Cortex-M4F проигрывают всего один такт ядру C28 Texas Instruments, где умножение реализовано в виде оптимизированной библиотечной функции

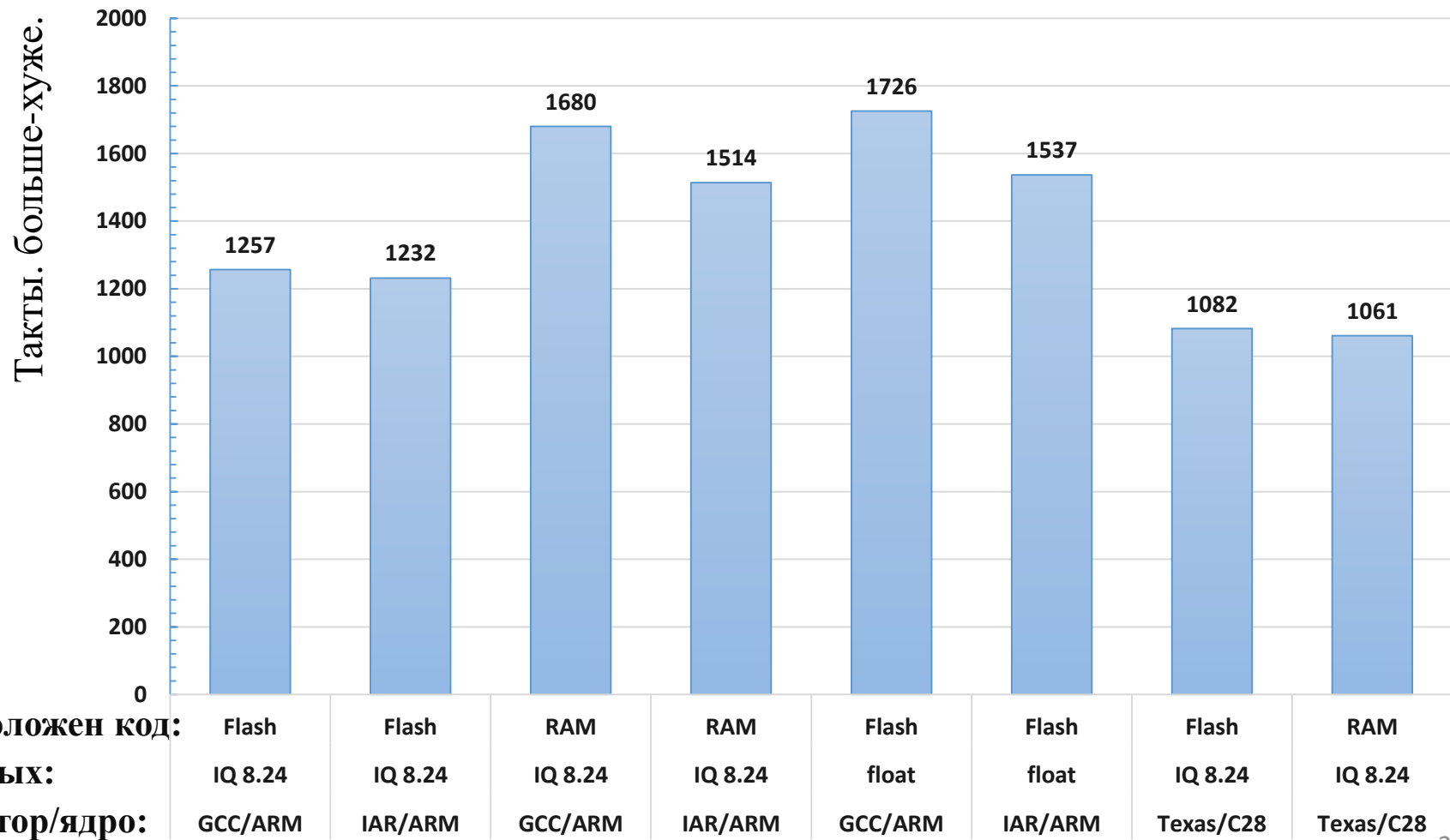
Промежуточные выводы

- **Современные компиляторы очень эффективны**
- **Свою библиотеку функций реализовать можно**
- **Там, где не требуется высокая точность готовых библиотек, своя библиотека будет быстрее!**

Мы реализовали свою библиотеку целочисленных вычислений с функциями умножения, деления, синуса, косинуса, `atan2`, квадратного корня и других на Си.

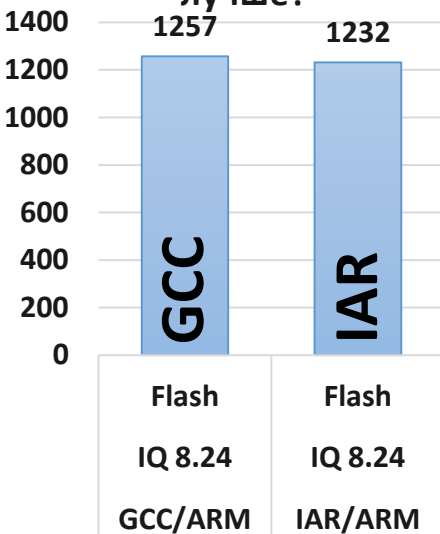
Проведем комплексное сравнение компиляторов и библиотек!

Комплексная задача: вычисление сложного программного модуля, который включает в себя **синус, косинус, множество формул, функцию арктангенса и деление**. Тест имитирует **среднестатистический набор** вычислений, требуемый для задач **векторного управления**.

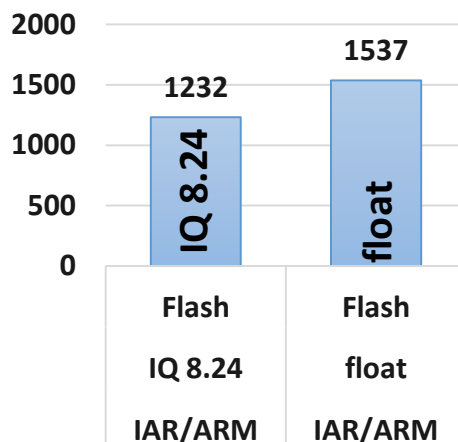


Интерпретация результатов теста

Какой компилятор лучше?

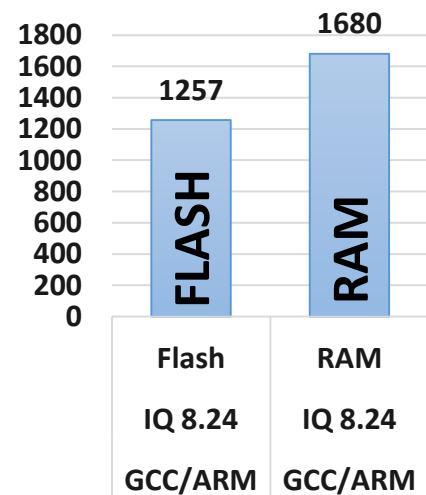


Фиксированная точка 8.24 или плавающая точка?

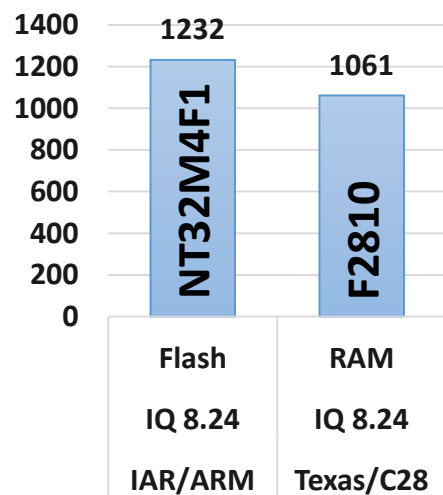


Вычисления во float отстают, несмотря на аппаратную поддержку float в ядре: из-за того, что для вычислений float в этом тесте использовались стандартные библиотеки компиляторов, а для IQ 8.24 – библиотека с быстрыми приближенными вычислениями.

Выполнение линейного кода из flash - быстрее



К1921ВК01Т против TMS320F2810



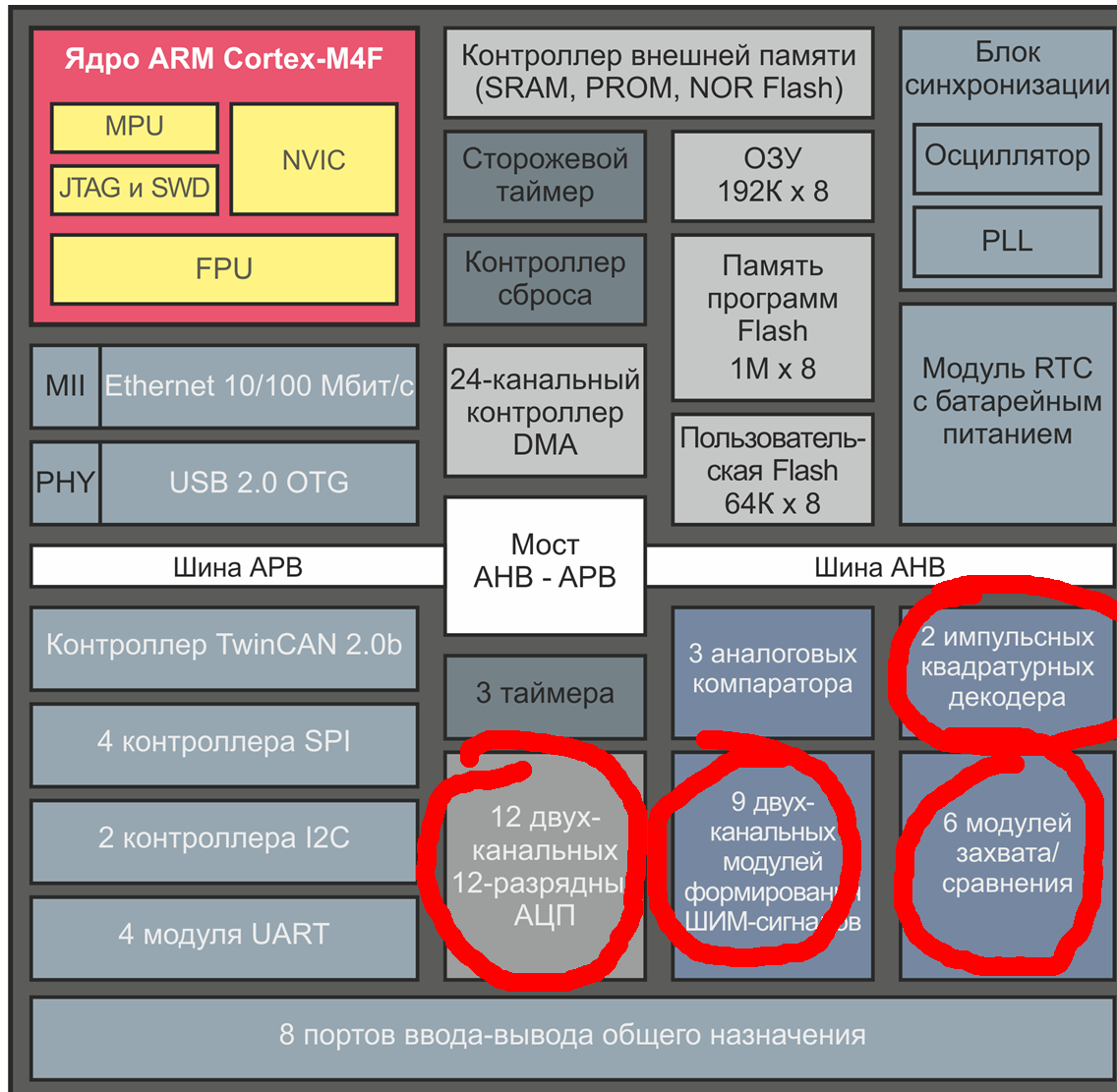
С разработанной «НПФ Вектор» библиотекой целочисленных вычислений МК К1921ВК01Т удалось приблизиться к результатам МК TMS320F2810 с фирменной библиотекой IQmath по числу тактов. Однако из-за более низкой частоты итоговое отставание К1921ВК01Т больше.



Рисунок 6.1 – Организация памяти

Адресное пространство	Ремарк-адрес	Название блока	Описание
00000000h – 000FFFFFFh	40000000h – 400FFFFFFh	Загрузочная флеш (I-Code)	Шина выборки инструкций
		Загрузочная флеш (D-Code)	Шина данных, расположенных в коде программы
20000000h – 2002FFFFFFh	–	Внутреннее ОЗУ 192 Кбайта	Шина данных, расположенных в области ОЗУ
40000000h – 400FFFFFFh	00000000h – 000FFFFFFh	Внешняя память	
80000000h – BFFFFFFFh	–	SFR	Регистры управления периферийными блоками
E0000000h – E00FFFFFFh	–	Private Peripheral Bus	–
E0100000h – FFFFFFFFh	–	Vendor_SYS	Область системных регистров

Знакомство с motorcontrol периферией K1921BK01T

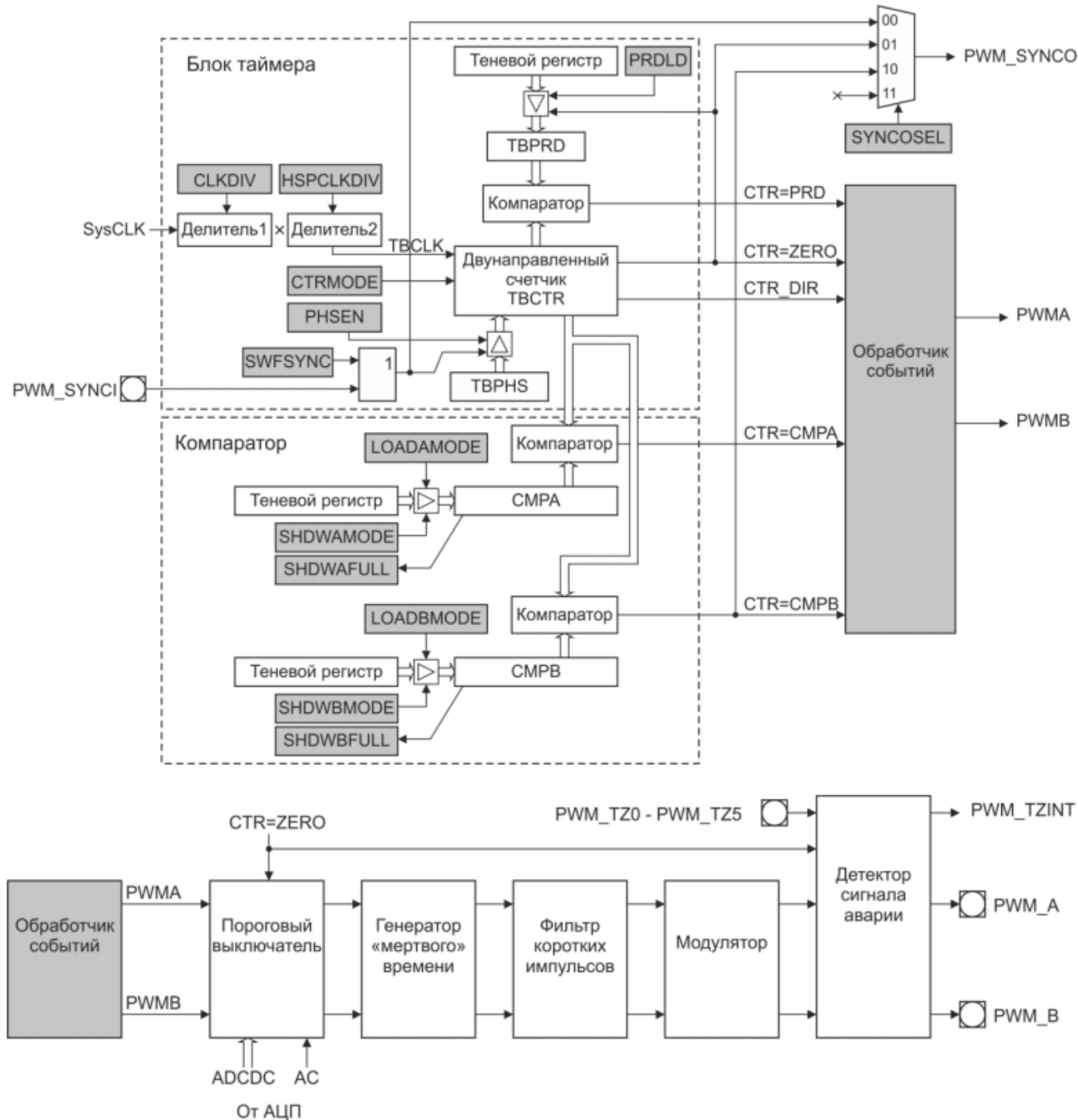


ШИМ

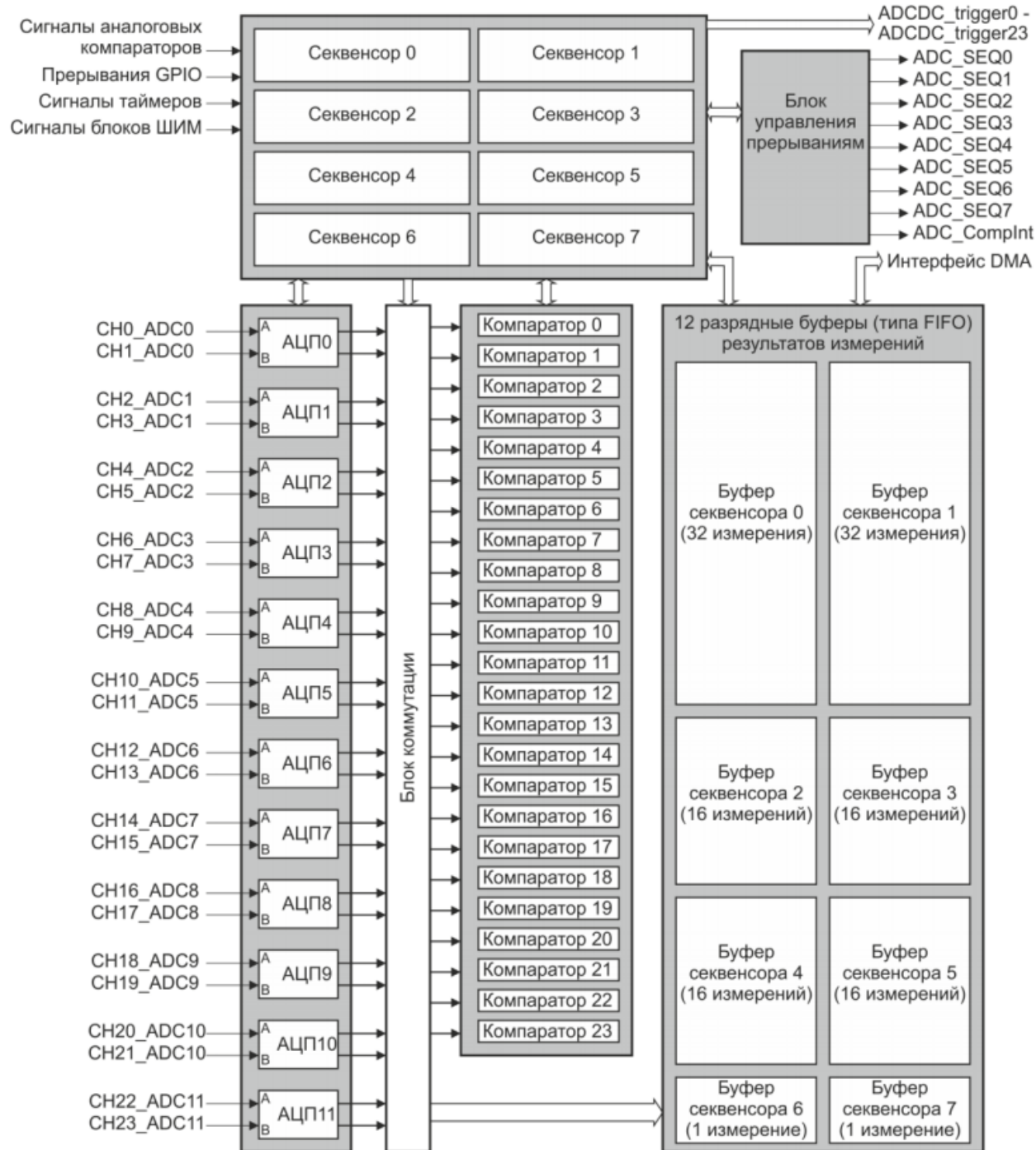
выполнен по аналогии с Texas Instruments:

9 блоков ШИМ,

- каждый со своим таймером,
- генератором мертвого времени
- 2мя программируемыми выходами
- Модулятором для чоппера



Все блоки при необходимости можно между собой синхронизировать.



АЦП

- 12 двухканальных модулей АЦП
- Производительность каждого 4М/с
- Точность 12 разрядов
- Восемь секвенсоров, каждый из которых позволяет независимо произвести запуск измерений
- Восемь буферов результатов измерений (FIFO)
- блок управления прерываниями.

CAP (блок захвата)

- 6 независимых блоков
- Нужны для обработки датчиков Холла
- Захватывает время между событиями (фронт вверх, вниз и т.п.)
- Генерирует прерывания по событиям
- Возможность работы в качестве дополнительного ШИМ модуля

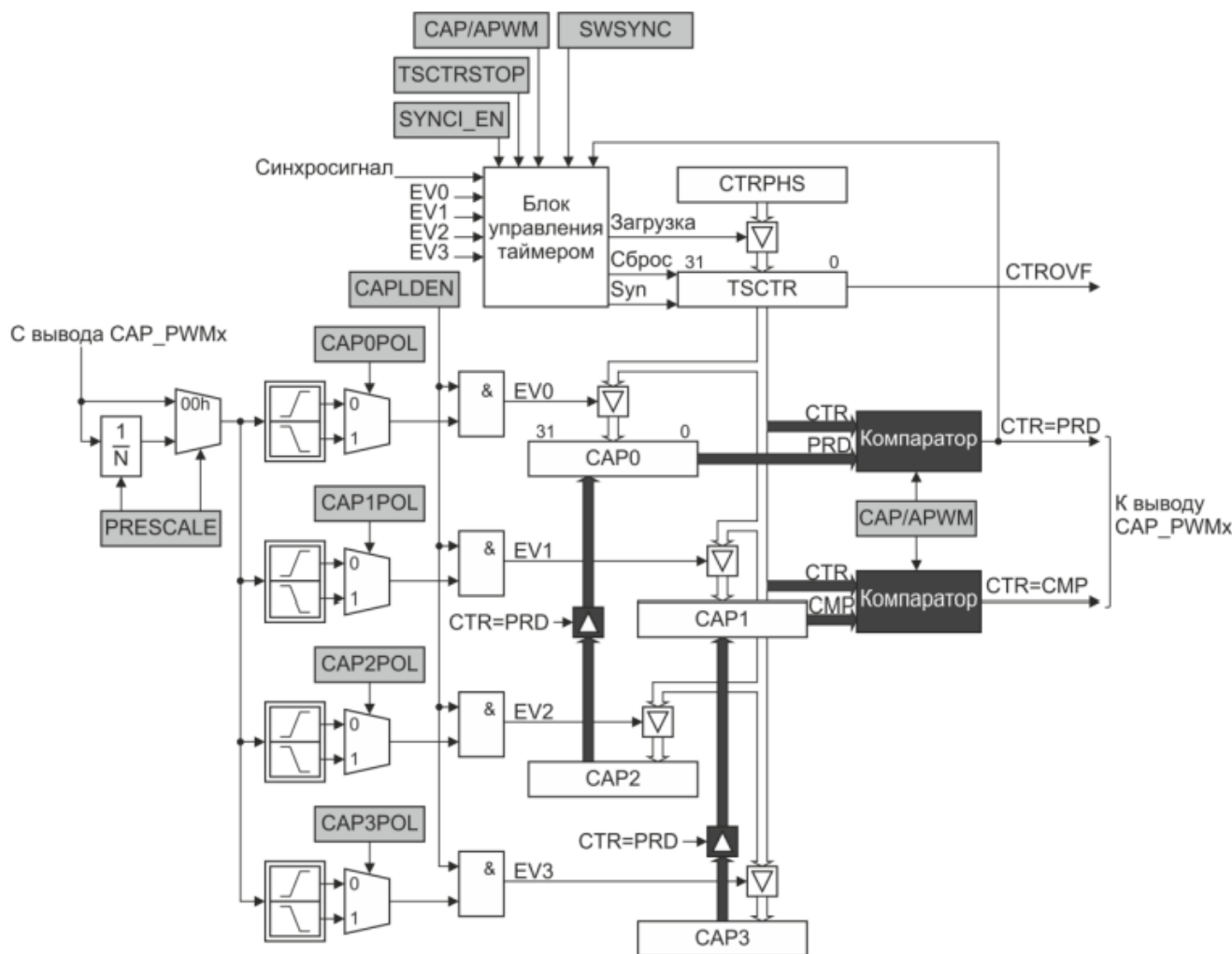


Рисунок 12.1 – Блок захвата

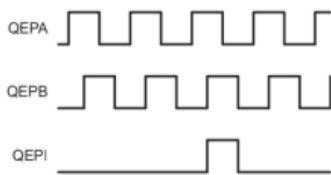


Рисунок 13.2 – Диаграмма входных сигналов



13.1 – Схема квадратурного декодера с мультиплексором входных/выходных сигналов

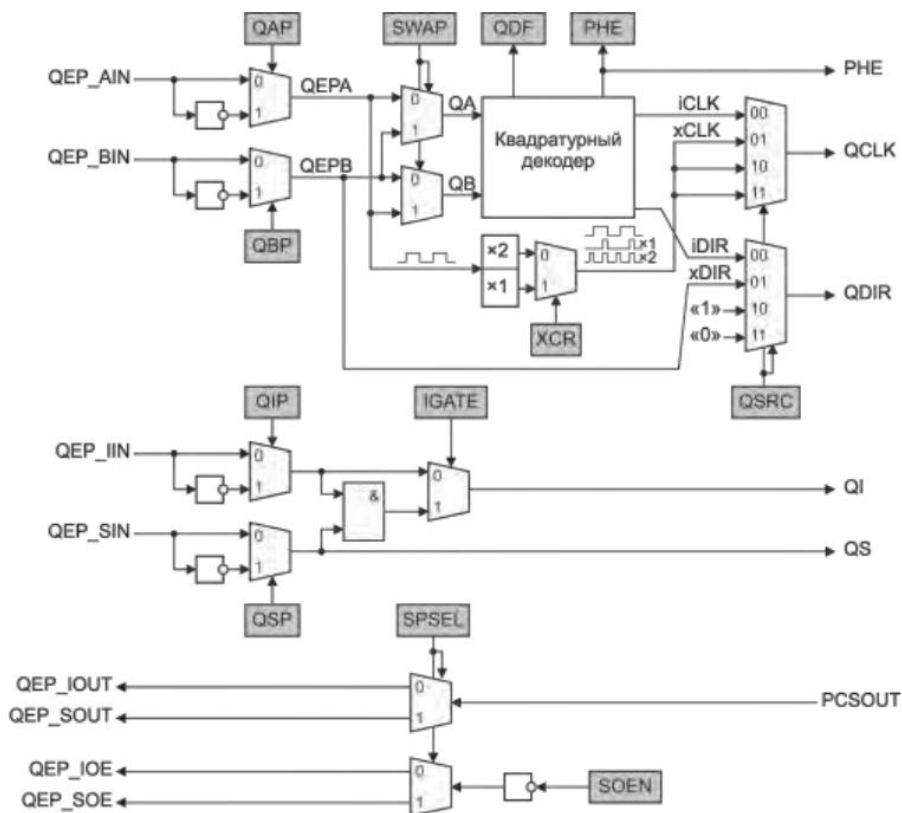
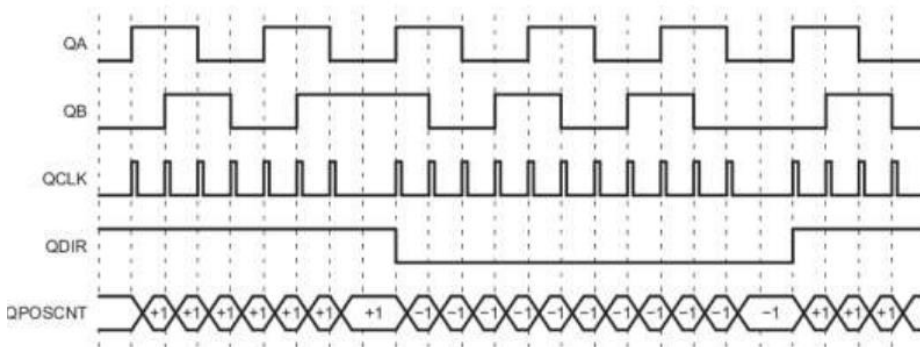
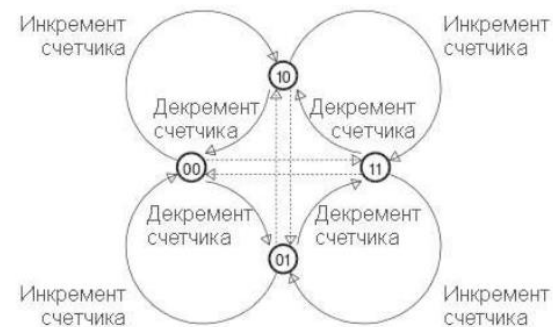
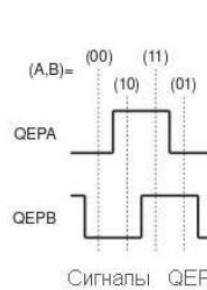


Рисунок 13.3 – Схема квадратурного преобразователя



Отладочные комплекты для K1921BK01T



НИИЭТ
NIET_1921BK01T



Мехатроника-Про
MBS-K1921BK01T



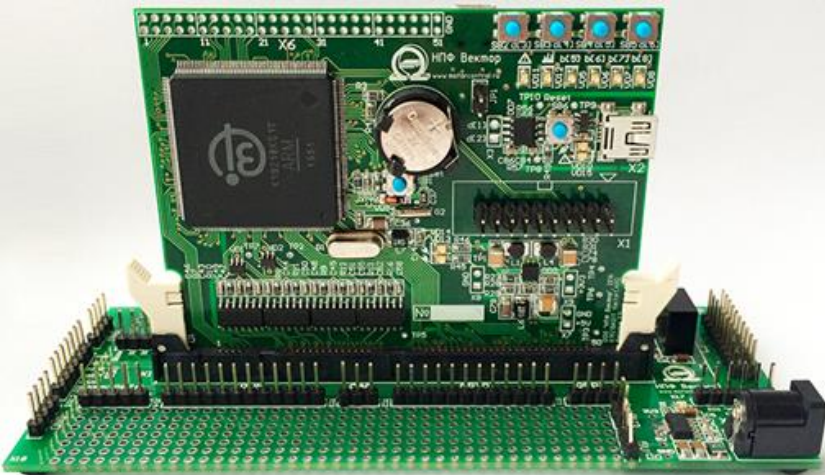
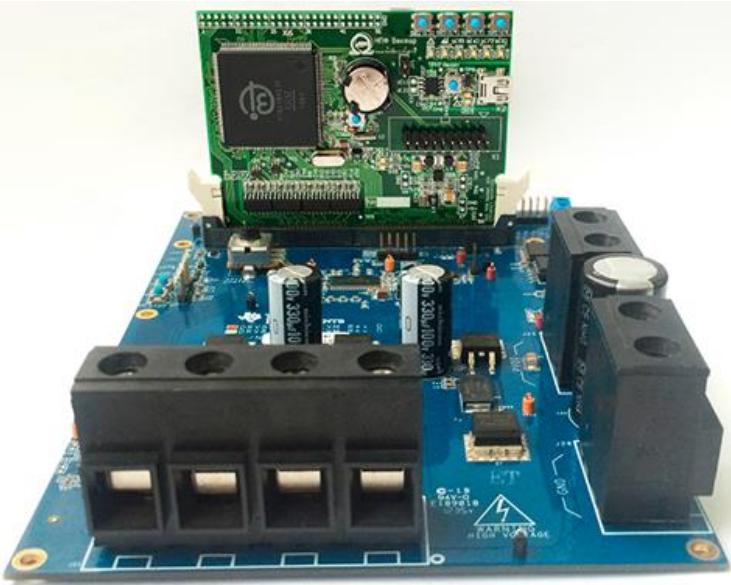
ЛДМСИС
LDM-HELPER-K1921BK01T



НПФ Вектор
VectorCARD K1921BK01T

VectorCARD K1921BK01T от «НПФ Вектор»

Для VectorCARD подходят различные базовые платы от Texas Instruments: от макетной платы до высоковольтного инвертора.



Комплектация для управления электродвигателем (motorcontrol)

- Инвертор на 60В U_{DC} с шунтовыми датчиками токов
- Гальванически развязанные интерфейсы связи CAN, UART-USB, SPI
- Синхронная машина с постоянными магнитами на роторе
- Датчики положения (инкрементальный и на эффекте Холла)
- USB-JTAG
- Среда разработки на базе Eclipse
- ПО для K1921BK01T в исходных кодах, реализующее векторное управление
- ПО компьютера для параметрирования, управления приводом и осциллографирования процессов



Разработка программного обеспечения для K1921BK01T

Какие эмуляторы JTAG подходят?

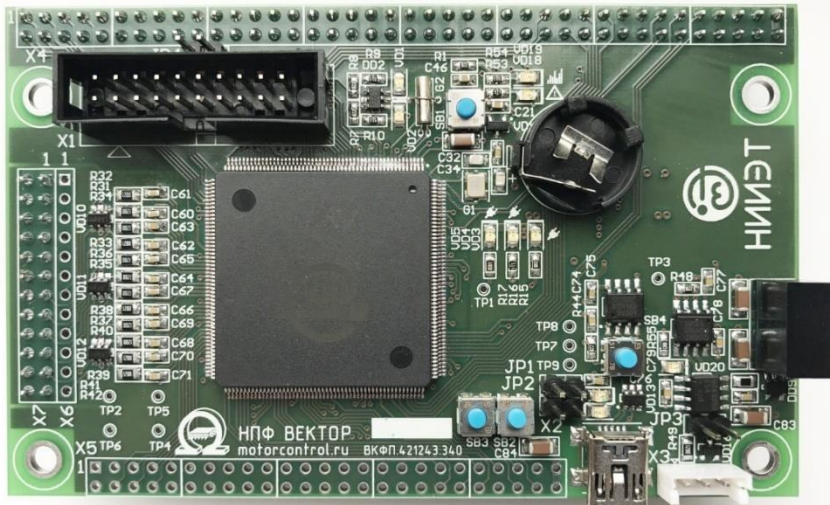
Подходят любые JTAG для Cortex-M4F!

Нами были успешно испытаны:

- ✓ J-link v8 производства Segger
- ✓ Недорогой аналог J-link, Jet-link
- ✓ ST-link v2
- ✓ JEM JTAG Emulator



Референсный контроллер на основе K1921BK01T



- ✓ Питание
- ✓ Развязанный CAN
- ✓ Развязанный USB-UART
- ✓ Кнопки, светодиоды
- ✓ Батарейка и кварц часов
- ✓ Доступны почти все выводы МК
- ✓ Втычные разъемы
- ✓ Компактный дизайн

forum.niiet.ru/viewtopic.php?f=37&t=562

питающей сети	Частота, Гц
Вес	кг

Архив с полной конструкторской документацией от

ВЛОЖЕНИЯ

[КФДЛ.435321.001.преобразователь.7z](#)

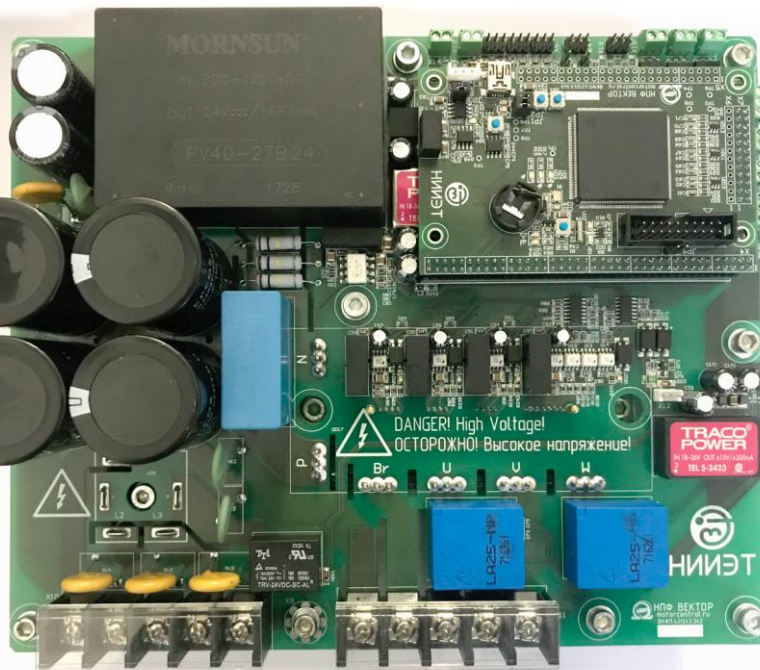
(21.59 МБ) 16 скачиваний

Схемотехника и трассировка платы
[доступны на сайте НИИЭТ](#)

Можно изготавливать «как есть» под свои нужды, а также брать за образец при создании нового контроллера.

Референсный преобразователь для K1921BK01T

- ✓ 9кВт (14A RMS, 540V Udc)
- ✓ Инвертор 6 ключей + тормозной ключ
- ✓ Вход: 380В 3 фазы или 220В одна фаза
- ✓ Цепь заряда ёмкости
- ✓ Гальванически развязанный ДПР:
 - ✓ инкрементальный энкодер
 - ✓ 3 датчика холла
 - ✓ SSI
- ✓ Дискретные входы/выходы
- ✓ Интерфейсы CAN, RS485, SPI



forum.niiet.ru/viewtopic.php?f=37&t=562

питающей сети	Частота, Гц
Вес	кг

Архив с полной конструкторской документацией от

ВЛОЖЕНИЯ

[КФДЛ.435321.001.преобразователь.7z](#)

(21.59 МБ) 16 скачиваний

Схемотехника и трассировка платы
[доступны на сайте НИИЭТ](#)

Можно изготавливать «как есть» под
свои нужды, а также брать за образец
при создании нового контроллера.

Открытое программное обеспечение K1921BK01T для управления электродвигателями

- ✓ ПО написано модульно: можно отдельно использовать модуль ШИМ или модуль ДПР для своего проекта
- ✓ ПО хорошо прокомментировано и структурировано
- ✓ ПО имеет обзорное описание на русском языке с отсылками к статьям и диссертациям
- ✓ Описание имеет «лабораторные работы», выполняя которые можно настроить тот или иной режим работы
- ✓ ПО «из коробки» работает с синхронными, асинхронными трехфазными двигателями с разными датчиками положения
- ✓ ПО написано на чистом Си (bare metal) и не использует какую-либо закрытую или платную операционную систему. Может быть адаптировано под любой Си-компилятор.

Технология CANopen для отладки систем управления

Можно (помимо обычных функций CANopen):

- ✓ Смотреть и менять настройки привода в физических единицах
- ✓ Смотреть любые текущие значения, такие как сигналы АЦП, выходы регуляторов и т.п.
- ✓ Снимать осциллограммы любых величин с дискретностью 100мкс
- ✓ Сохранять и загружать параметры на компьютер
- ✓ Обновлять ПО микроконтроллера через CAN (без JTAG)
- ✓ Получать доступ к банку аварий устройства

Стек CANopen и сопутствующее ПО для K1921BK01T полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории

<https://bitbucket.org/niietcm4/motorcontroldemo>

Технология CANopen для отладки систем управления

UniCON - Universal Control Software (Версия 1.86)

Файл Сервис Помощь

Узел 1

Серво F28069-0000 v.01.01 5.1.2014 (00000048_1C250101) профиль

Подключиться Обновить словарь Серво F28069 авто профиль.xml

Управление объектами словаря

Загрузить параметры Сохранить параметры Загрузить по умолчанию

Монитор Параметры Осциллограф Турбо

название	значение	размерность
Задание [5103.01]	158.9	град
Обратная связь [5103.02]	131.8	град
Пропорц. коэфф. Kp [5103.03]	5,000	
Максимум выхода [5103.04]	1000.00	об/м
Минимум выхода [5103.05]	-1000.00	об/м
Выход регуля		
Задание ш		
Тип регуля		

Программирование

C:\WorkSpaces\CCS51\ServoPiccolo69\Debug\ServoPiccolo69.out

Как правильно прошить контроллер?

Открыть файл

Прошить

СТОП

Code Security Password:

Key 7 FFFF

Key 6 FFFF

Key 5 FFFF

Key 4 FFFF

Key 3 FFFF

Key 2 FFFF

Key 1 FFFF

Key 0 FFFF

Состояние: 0: Свободен

Ошибки передачи буфера: 0

Ошибки передачи sdo: 0

Пакетов передано: 217

Скорость прошивки: 1582Слов/сек

Прошиваемый адрес: 0x003D8000

☒ Интерпр. принудно

Ручной сброс

Всего для загрузки 5 части(-ей)

Размер бинарных данных 54808 Слов

Часть 0, адрес 3D8000, размер 000040

Часть 1, адрес 3E4000, размер 002542

Часть 2, адрес 3E8000, размер 006C9A

Часть 3, адрес 3F0000, размер 0043FA

Часть 4, адрес 3F7FF6, размер 000002

Прошивка...

Программирование завершено

Version: 0

CPU_ID: 156

Размер пакета: 256

Тип процессора: 28

Сгенерировать *Data28xxx.c файл

Авария: SRV-Нет аварий

Статус: ГОТОВ

Предупреждение: НОРМА

Режим работы: Вращение вект. тока

Задание скорости: 100.00 об/м

Ток I/F: 3.00 A

Скорость с датчика: 0.00 об/м

Ток удержания: 5.00

Пуск Стоп

Сброс аварии

Sin nSin

Ток вектора: 1.00 A

Задание угла: 92

DS402: 0

statusword: 0000.0000.0000.0001

DS402

Modes of Operation: 7

Название Иерархия

Полн. Корот.

Объектов: 898 Индексов: 177

Групп: 31

Статус: работа

0 1мс таймер:60423896; Rx:7248; Rx_SDO:4998; Tx:18955; Потеряно в сети:40; Потеряно в DLL:281; Загрузка:18%; Успешных SDO:76/сек; x0; y0; z0

STR

Стек CANopen и сопутствующее ПО для K1921BK01T полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории

<https://bitbucket.org/niietcm4/motorcontroldemo>

Модели электропривода для K1921BK01T

Как обычно строится разработка новой системы управления приводом?

1. Моделирование структуры системы управления и объекта управления в Matlab
2. Повторение системы управления на Си для микроконтроллера
3. Отладка системы управления «на железе»

Проблемы:

1. При реализации структуры управления на микроконтроллере зачастую сложно понять, почему именно система работает не так, как задумано: из-за ошибок программирования или неучтенных факторов реального объекта управления
2. Отладка системы управления на микроконтроллере затруднена в силу невозможности проверить реализованную СУ на модели
3. Сложность проведения опытов на реальной установке: опасность выхода оборудования из строя, сложность постановки нужного опыта

Модели электродвигателей полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории <https://bitbucket.org/niietcm4/motorcontroldemo>

Модели электропривода для K1921BK01T

Предлагаемое решение проблемы:

Модель объекта управления (электродвигатель) реализуется непосредственно на микроконтроллере.

Тогда:

- 1. Систему управления можно разрабатывать и отлаживать на модели сразу на Си: исключаются ошибки переноса с блоков Matlab на Си**
- 2. Можно разработать и отладить ПО микроконтроллера без реального объекта**
- 3. При работе с микроконтроллером через предлагаемые CANopen технологии возможности по осциллографированию и наблюдению работы системы управления не менее удобны, чем Matlab**

Модели электродвигателей полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории <https://bitbucket.org/nietcm4/motorcontroldemo>

Модели электропривода для К1921ВК01Т

В открытом ПО для К1921ВК01Т реализованы следующие модели электроприводов:

- Электропривод с двигателем постоянного тока
- Электропривод с асинхронным двигателем
- Электропривод с синхронным двигателем
- Вентильно-индукторный привод

Имитационные модели выполнены на языке Си в виде программного кода, решающего дифференциальные уравнения, описывающие динамику электропривода. Например, для асинхронного электропривода решаются следующие системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = u_{s\alpha} - i_{s\alpha}R_s; \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = u_{s\beta} - i_{s\beta}R_s; \\ \frac{d\psi_{rd}}{dt} = -i_{rd}R_r; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} = -i_{rq}R_r. \end{array} \right\} \quad \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{L_r}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 & \frac{L_m}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 \\ 0 & -\frac{L_r}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 & \frac{L_m}{L_m^2 - L_s L_r} \\ \frac{L_m}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 & -\frac{L_s}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 \\ 0 & \frac{L_m}{L_m^2 - L_s L_r} & 0 & -\frac{L_s}{L_m^2 - L_s L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{s\alpha} \\ \psi_{s\beta} \\ \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix}.$$

Модели электродвигателей полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории <https://bitbucket.org/nietcm4/motorcontroldemo>

Модели электропривода для K1921BK01T

- Модель электропривода рассчитывается на микроконтроллере в реальном времени
- Модель занимает порядка 30% вычислительных ресурсов микроконтроллера
- Модели имеют стандартные наборы параметров для разных типов электродвигателей
- Внутри ПО микроконтроллера модель двигателя «вставляется» между модулем ШИМ (перехватывает заданное на инвертор напряжение) и модулем АЦП (подменяет измеренные АЦП значения токов на моделируемые)
- Переключение работы с моделью на работу с реальным оборудованием выполняется простой заменой вызываемых функций (пересборкой проекта)

Модели электродвигателей полностью бесплатны и без ограничений доступны для загрузки в репозитории <https://bitbucket.org/niietcm4/motorcontroldemo>

Выводы - 1

В настоящее время для микроконтроллера K1921BK01T созданы все условия для легкого применения его потребителями:

1. Доступно множество вариантов отладочных плат
2. Существует широкий выбор сред разработки (платные, бесплатные)
3. Создан референсный дизайн контроллера и инвертора с открытой КД для самостоятельного производства
4. Создано открытое ПО для микроконтроллера, реализующее различные структуры управления электродвигателями
5. Созданы математические модели электропривода, позволяющие отладить систему управления микроконтроллера до запуска реального оборудования
6. Создан и выложен в свободный доступ CANopen стек с набором ПО для компьютера, позволяющий параметризовать, отлаживать, перепрограммировать систему управления
7. На форуме НИИЭТ осуществляется поддержка пользователей с ответами на все вопросы по программированию микроконтроллера

Выводы

- K1921BK01T – полноценный motorcontrol микроконтроллер на уровне зарубежных аналогов.
- Можно относительно «безболезненно» **перенести программное обеспечение** с TI TMS320F2810 на НИИЭТ K1921BK01T **в целочисленной арифметике**, реализовав собственные библиотечные функции на Си – **проигрыш** в вычислениях **не более 20%**. С учетом более низкой частоты ядра, придется оптимизировать ПО.
- При использовании стандартных библиотек работы **с плавающей точкой**, встроенных в компиляторы, вычисление происходит **медленнее**, чем с целыми числами в формате 8.24.
- **Использовать плавающую точку** имеет смысл **при разработке ПО с нуля**, при этом требуется **найти «быструю» библиотеку** функций синуса, арктангенса и т.п.
- В продажу поступают новые разработки на 200МГц!