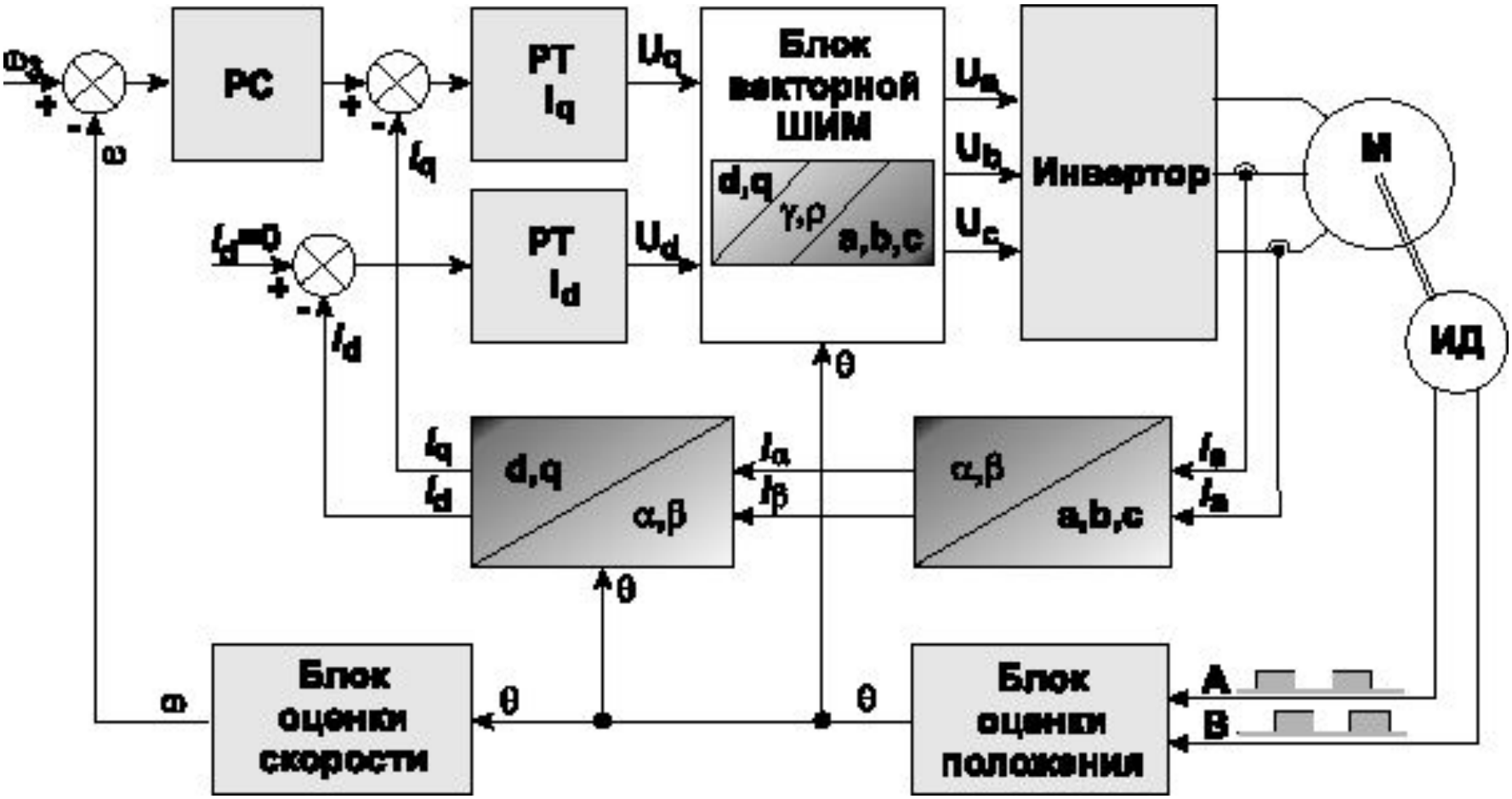
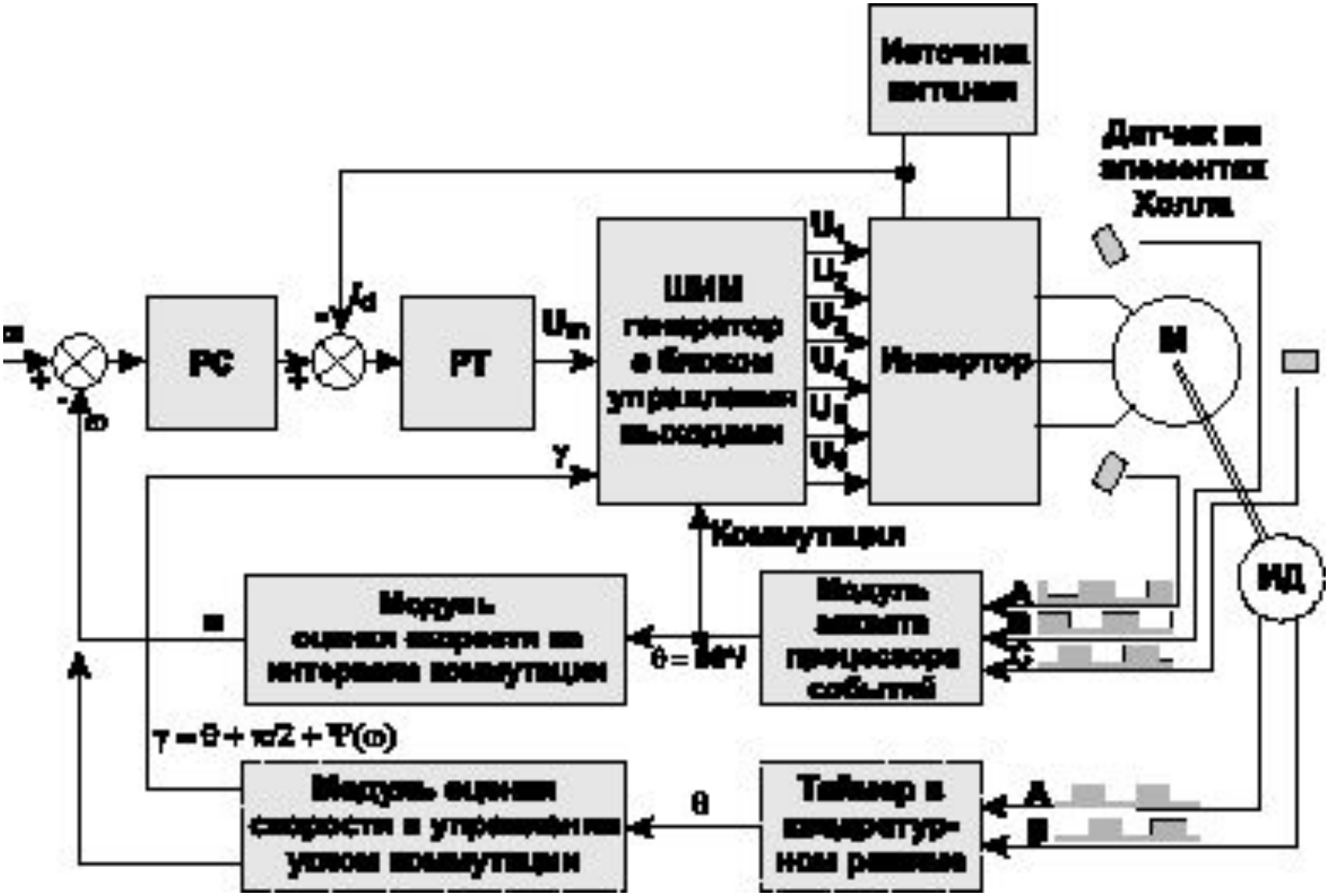
Микропроцессорные системы управления двигателями переменного тока

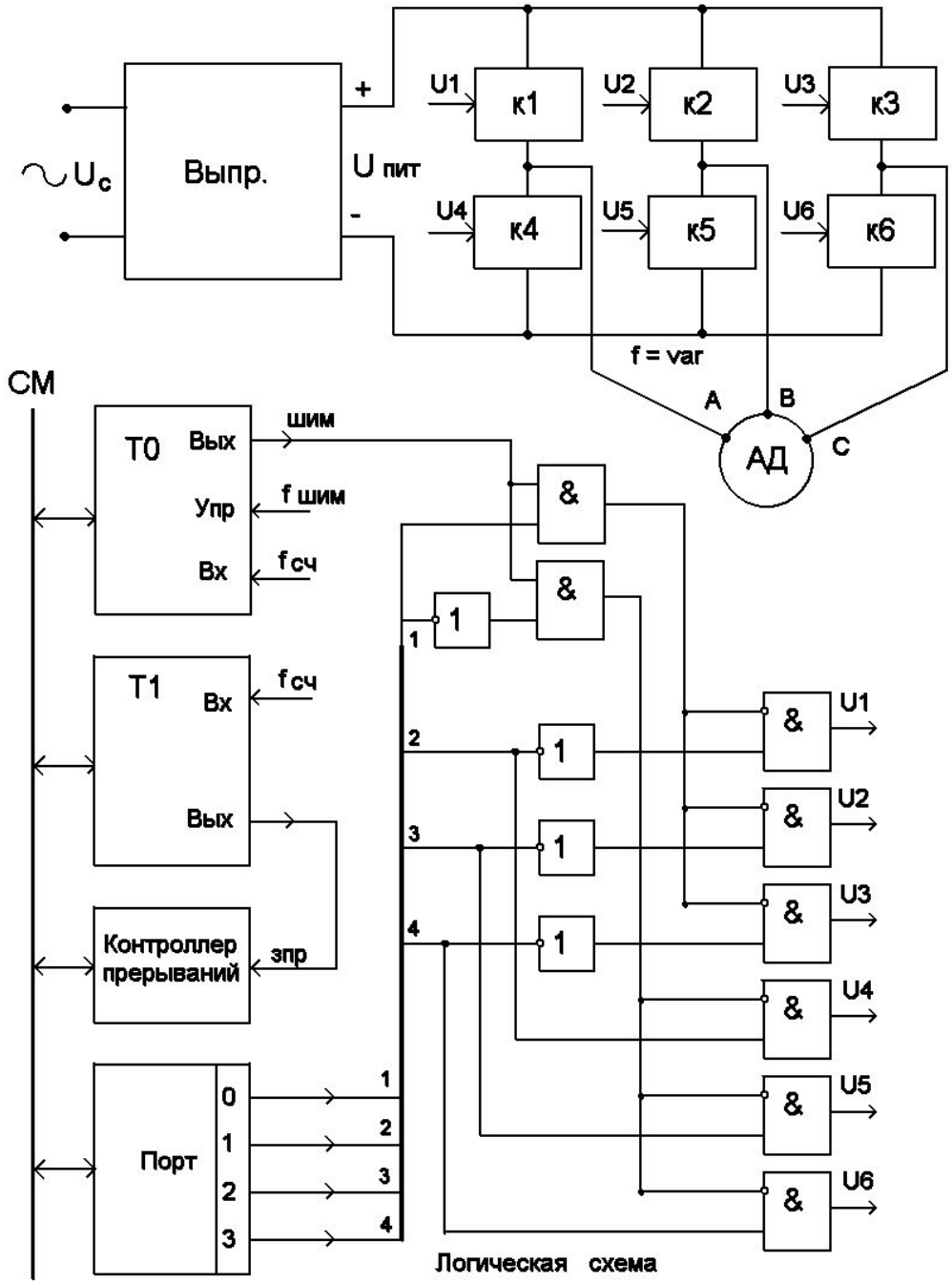
1 Алгоритмы управления ключами инвертора при частотном управлении двигателями переменного тока.

2 Основные тенденции развития встроенных периферийных устройств микроконтроллеров серий *Motor Control* .

3 Примеры контроллеров серий *Motor Control* ведущих фирм.


РС
РТ
I_q
РТ
I_d
U_q
U_d
Блок
векторной
ШИМ
d,q
γ,ρ
a,b,c
U_a
U_b
U_c
Инвертор
М
ИД
$\omega_з$
ω
I_q
I_d
I_d=0
θ
d,q
α,β
I_α
I_β
α,β
a,b,c
I_a
I_b
Блок
оценки
скорости
Блок
оценки
положения
A
B

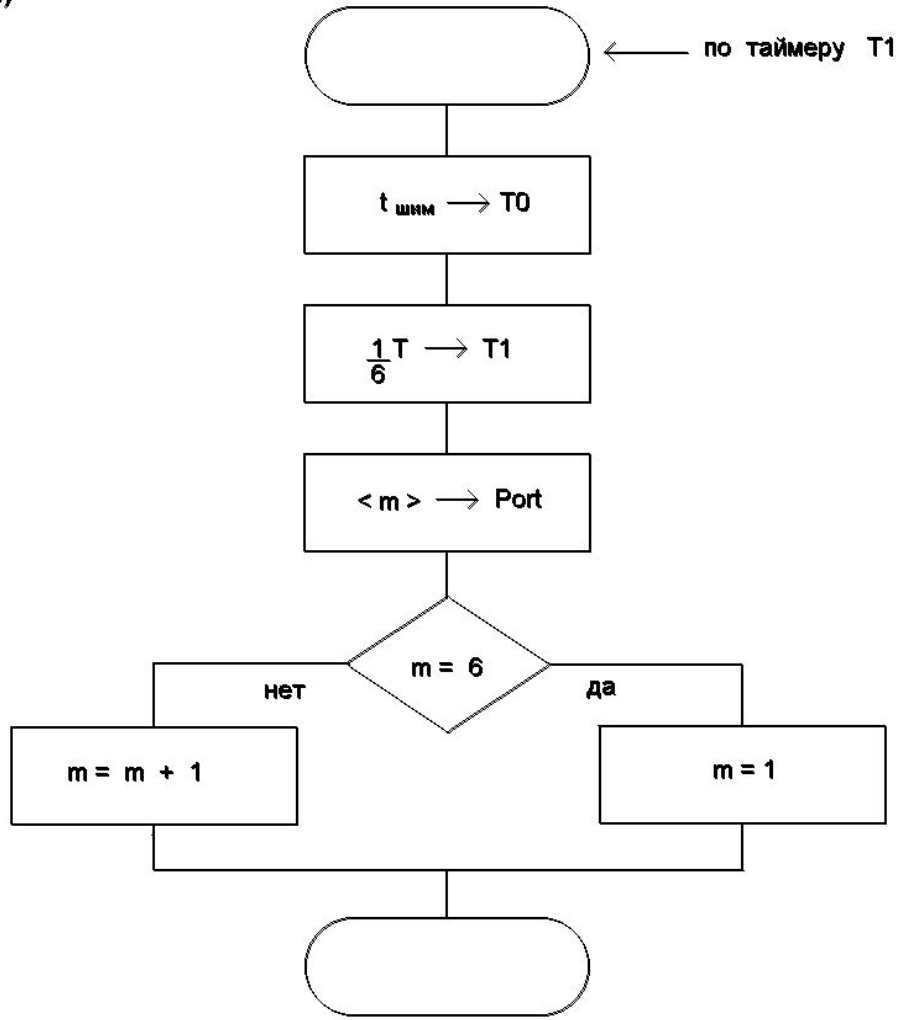

Источник питания
Датчик на элементах Холла
РС
РТ
ШИМ генератор с блоком управления выходами
Инвертор
М
ИД
Коммутация
Модуль оценки скорости на интервале коммутации
Модуль захвата процессора событий
Модуль оценки скорости и управления углом коммутации
Таймер в квадратурном режиме
A
B
C

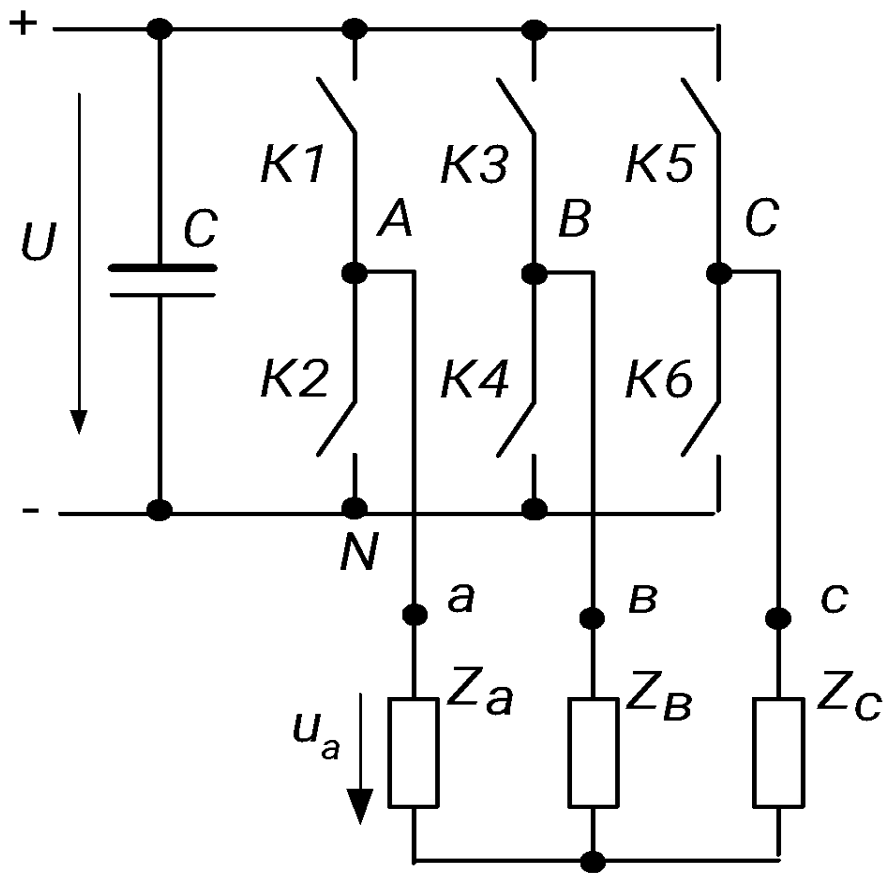

Uc
Выпр.
+
U пит
-
U1
к1
U2
к2
U3
к3
U4
к4
U5
к5
U6
к6
f = var
A
B
C
АД
СМ
Т0
Вых
Упр
Вх
шим
f шим
f сч
Т1
Вх
Вых
f сч
Контроллер прерываний
зпр
Порт
0
1
2
3
1
2
3
4
&
1
U1
U2
U3
U4
U5
U6
Логическая схема

а)

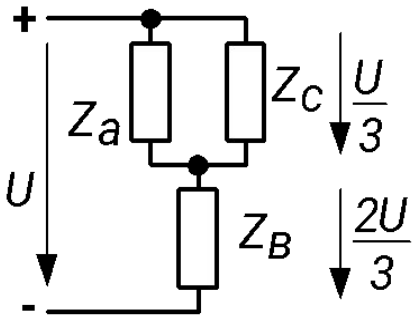
Port	Фазы / кл. / m	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	0	0	0
2	2	0	0	1	1	1	0
3	3	1	0	0	0	1	1
	4	0	0	0	1	1	1
	5	1	1	0	0	0	1
	6	0	1	1	1	0	0
0	Верхний / Нижний	0	1	0	1	0	1

б)

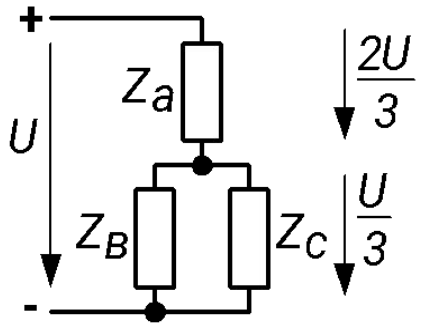



+
-
U
C
K1
K2
K3
K4
K5
K6
A
B
C
N
a
в
c
Z_a
Z_B
Z_C
u_a

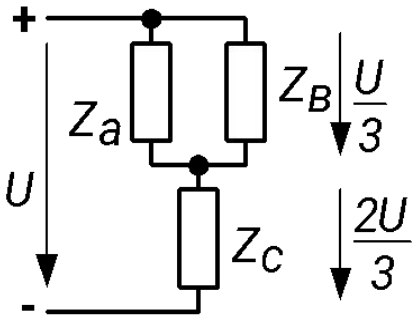
інтервал 6



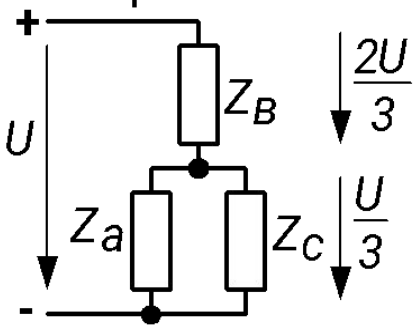
інтервал 1



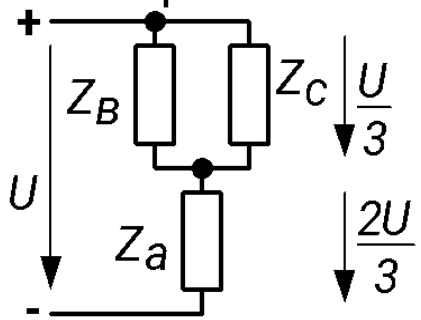
інтервал 2



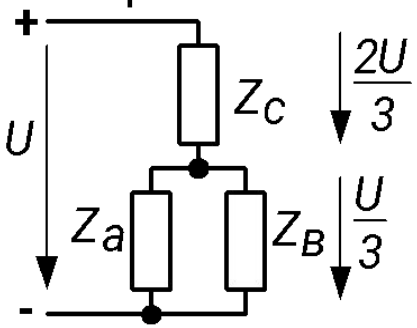
інтервал 3

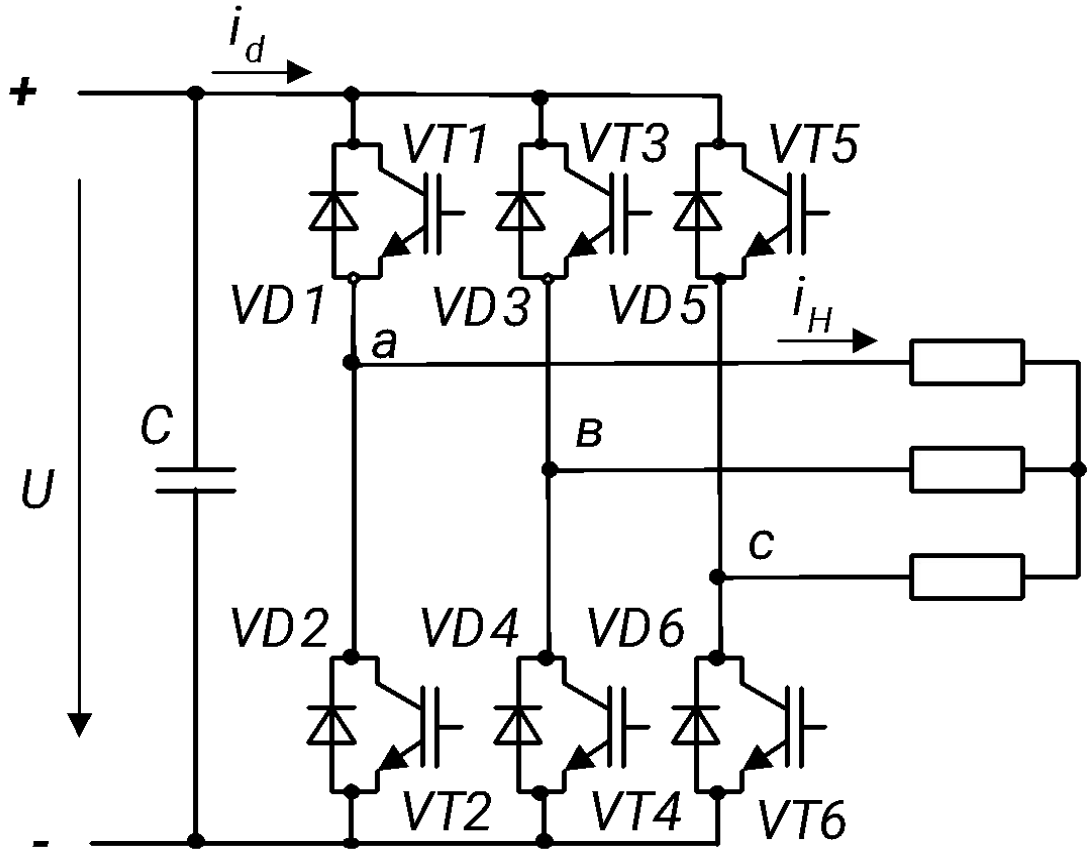


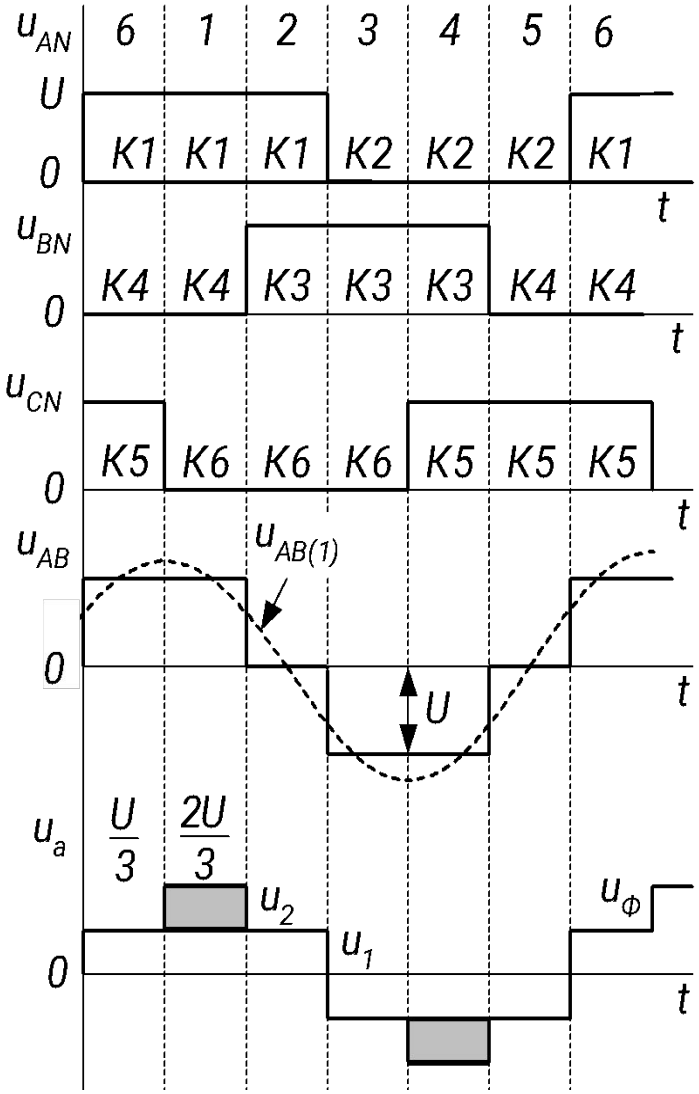
інтервал 4

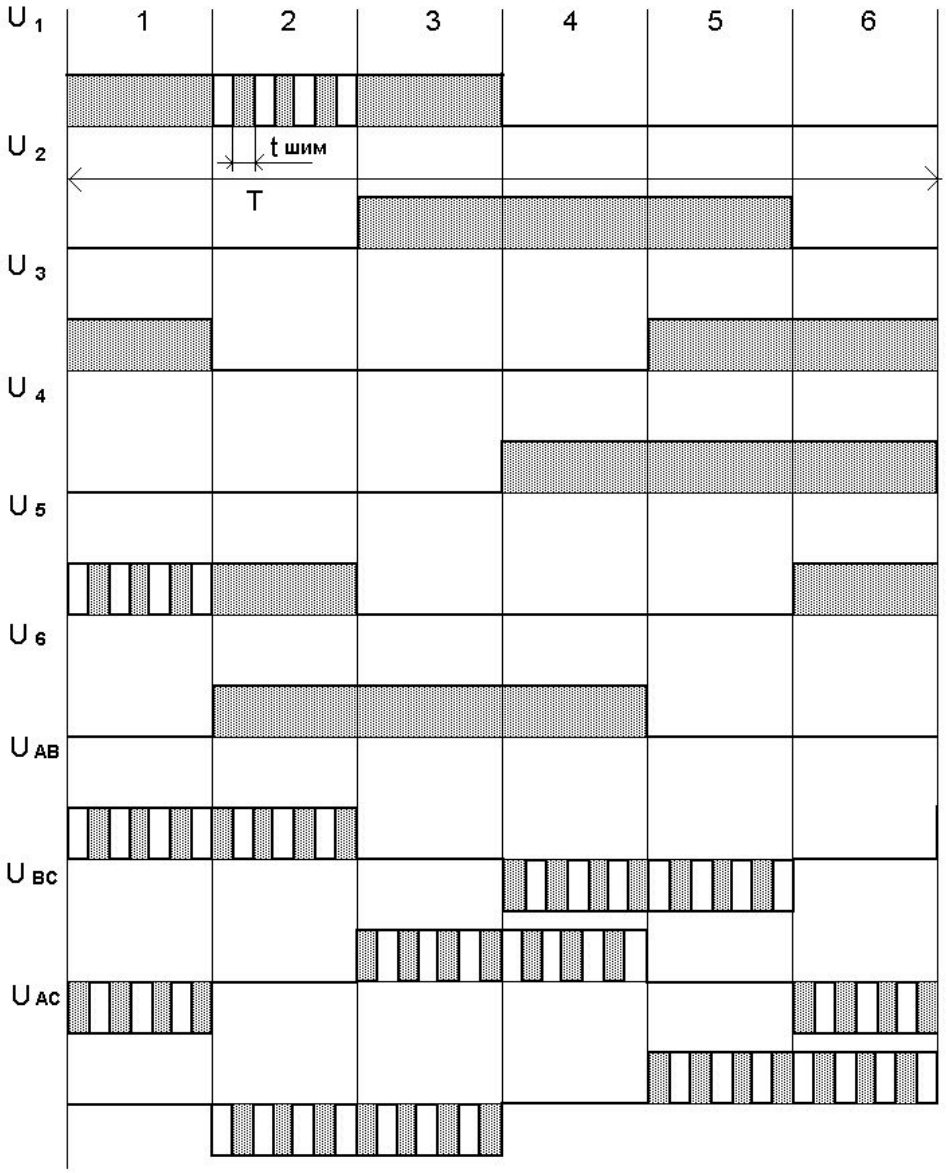


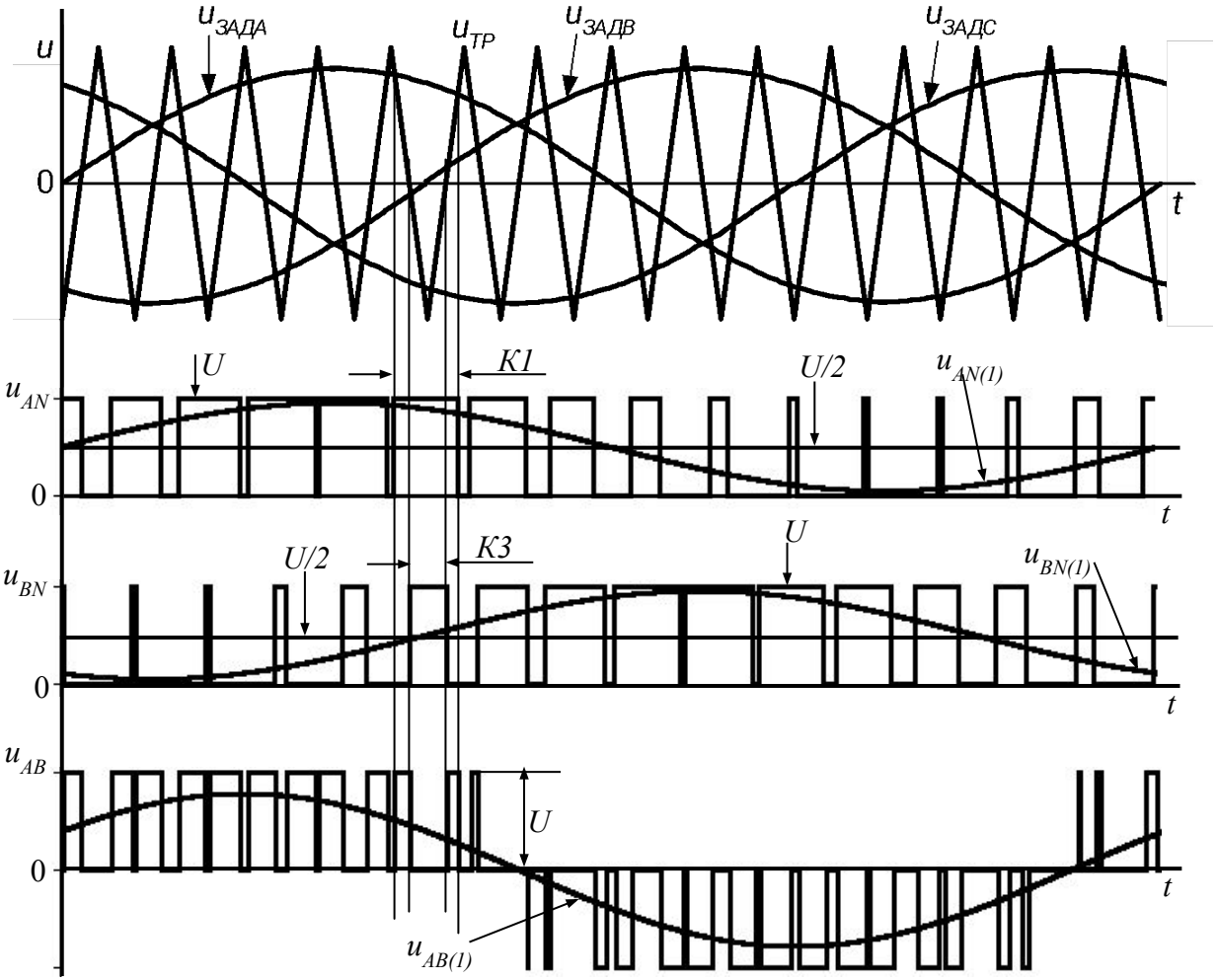
інтервал 5

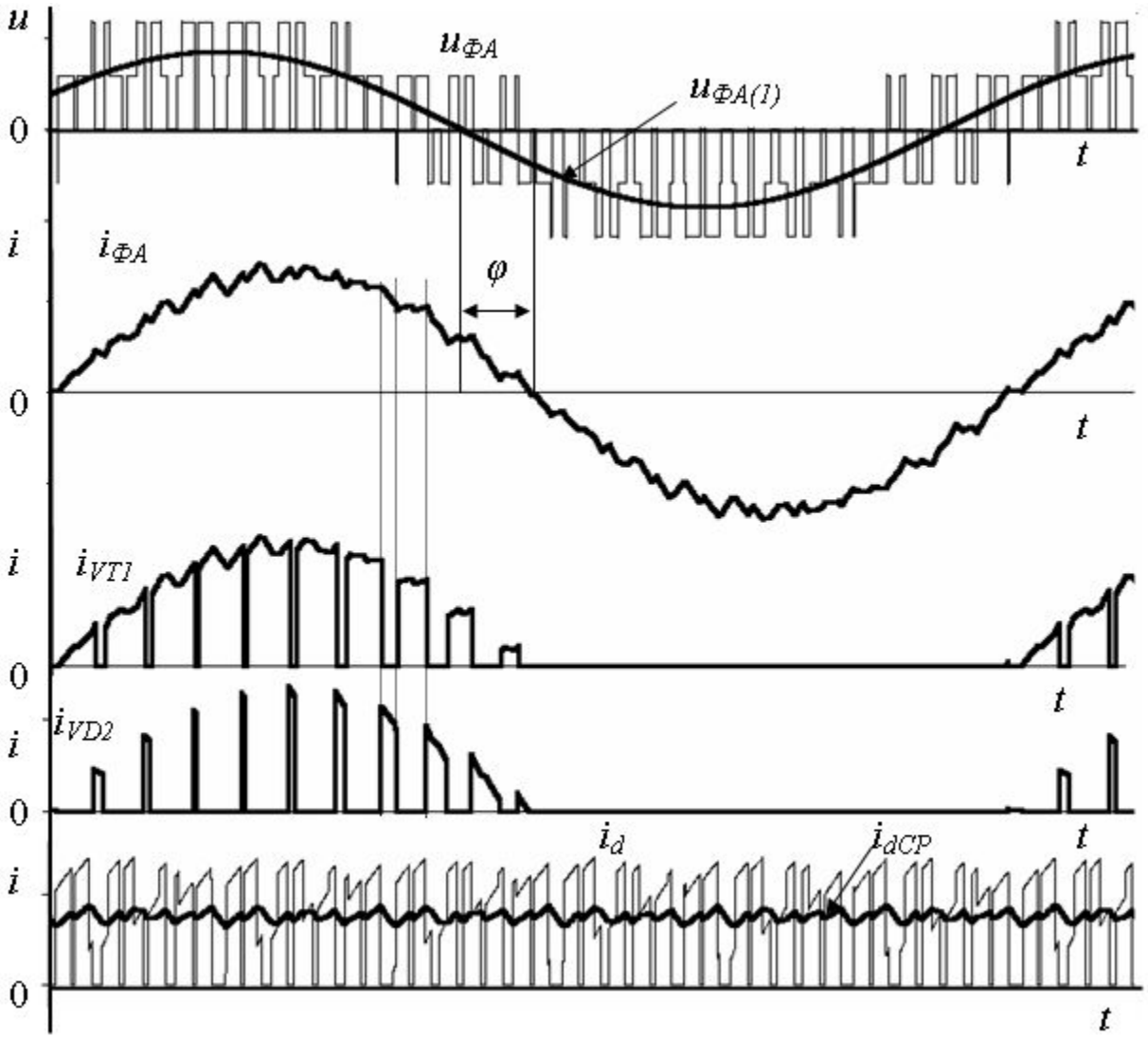


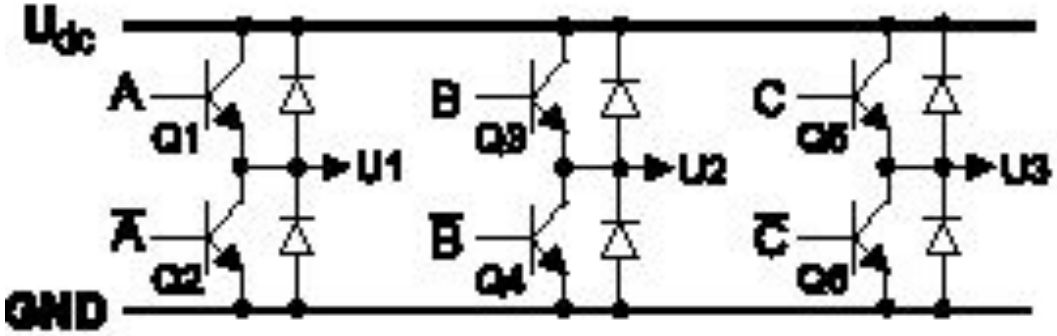

i_d
+
VT1
VT3
VT5
VD1
VD3
VD5
i_H
a
C
в
U
c
VD2
VD4
VD6
VT2
VT4
VT6
-


u_{AN}
6
1
2
3
4
5
6
U
0
K1
K1
K1
K2
K2
K2
K1
t
u_{BN}
K4
K4
K3
K3
K3
K4
K4
0
t
u_{CN}
K5
K6
K6
K6
K5
K5
K5
0
t
u_{AB}
$u_{AB(1)}$
0
U
t
u_a
$\frac{U}{3}$
$\frac{2U}{3}$
u_2
u_1
u_Φ
0
t


U 1
1
2
3
4
5
6
U 2
t шим
T
U 3
U 4
U 5
U 6
U AB
U BC
U AC


u
$u_{ЗАДА}$
$u_{ТР}$
$u_{ЗАДВ}$
$u_{ЗАДС}$
0
t
U
K1
U/2
$u_{AN(1)}$
u_{AN}
0
t
U/2
K3
U
$u_{BN(1)}$
u_{BN}
0
t
u_{AB}
U
0
t
$u_{AB(1)}$

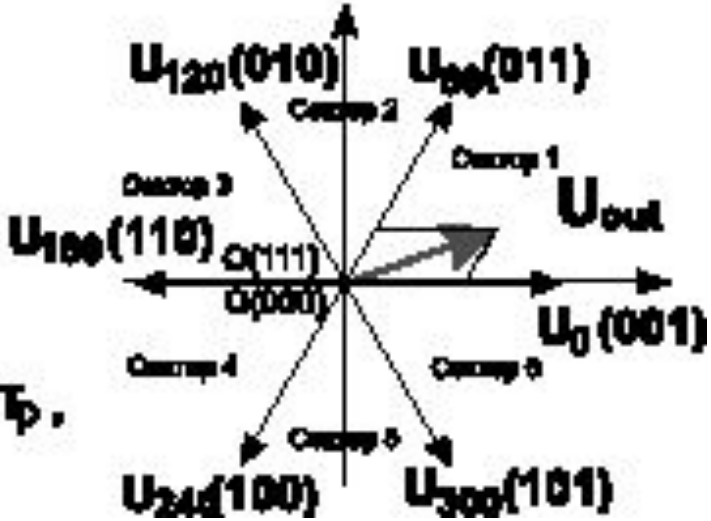

u
0
$u_{ФA}$
$u_{ФA(1)}$
t
i
$i_{ФA}$
φ
0
t
i
i_{VT1}
0
t
i
i_{VD2}
0
t
i
i_d
i_{dCP}
0
t



Базовые вектора

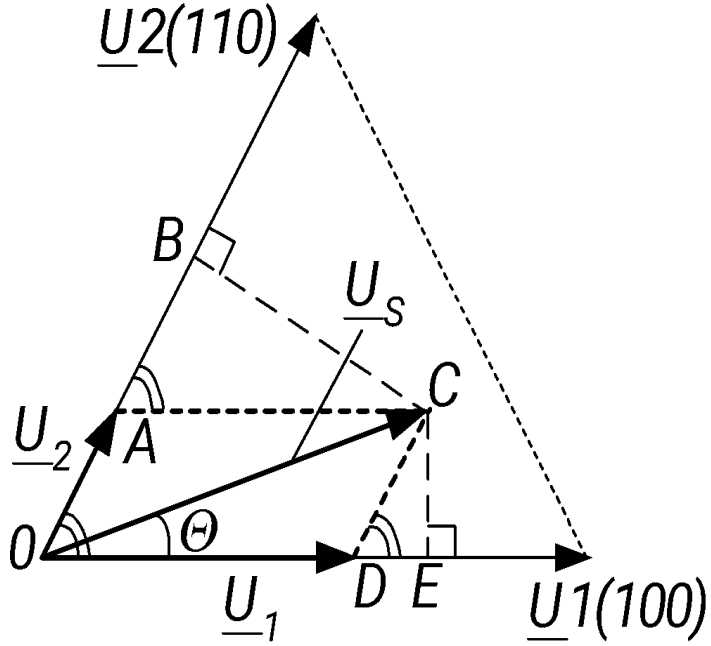
$U_x = U_x$ (C,B,A)

x = 0, 60, 120, 180, 240, 300



$U_{out} = [T_1 * U_x + T_2 * U_{x+60} + T_0 * O(000 \text{ или } 111)]/T_p$,

$T_0 = T_p - T_1 - T_2$, где T_p — период ШИМ


U2(110)
B
Us
C
U2
A
0
Θ
D
E
U1
U1(100)

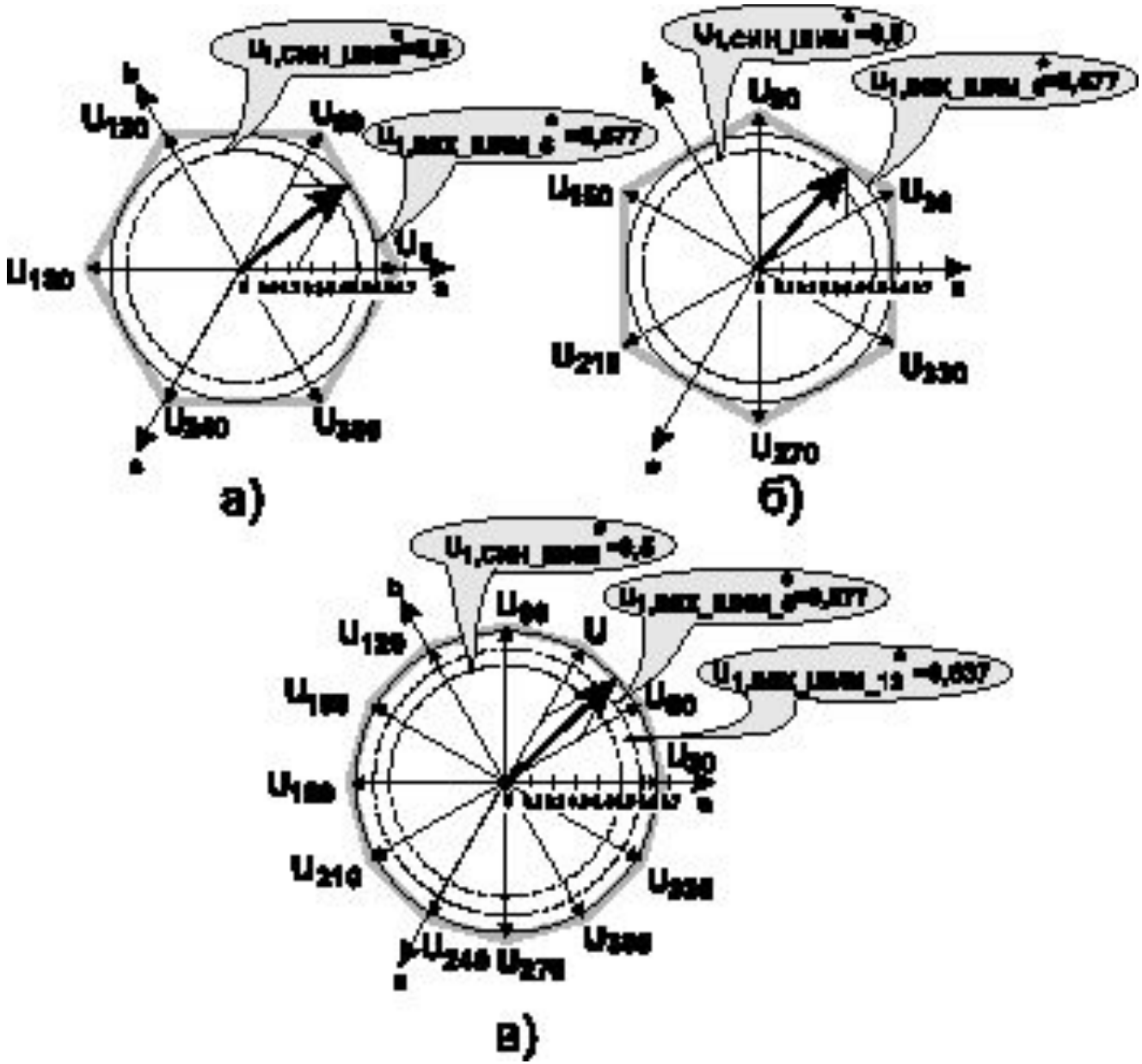
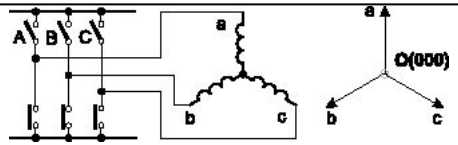
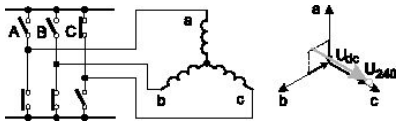
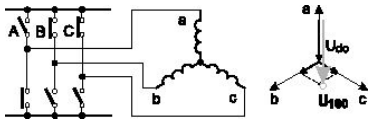
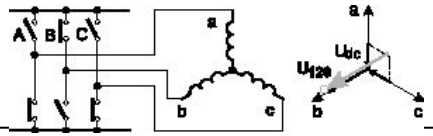
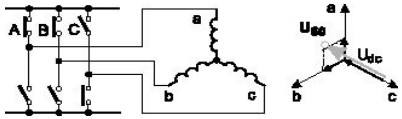
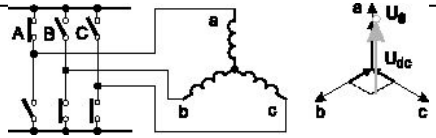
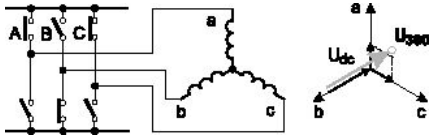
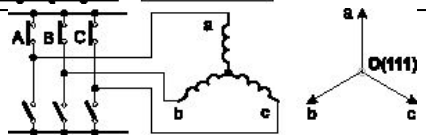
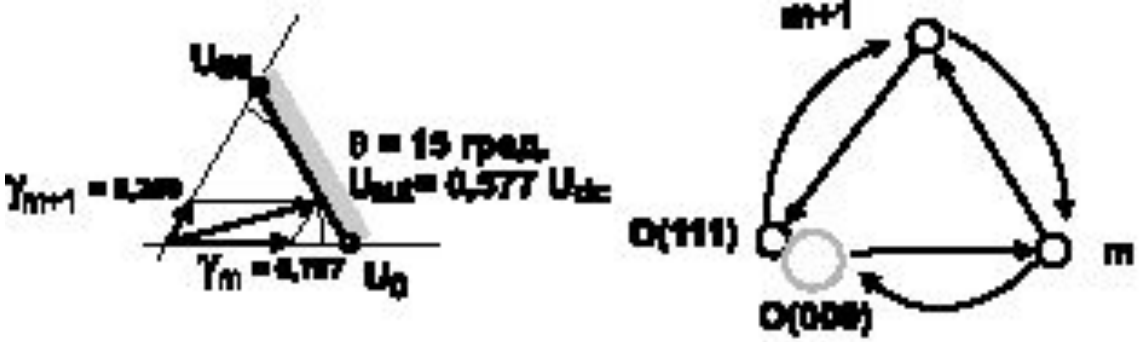

а)
б)
в)

Таблица Схемы включения и векторные диаграммы для инвентора в режиме ШИМ-модуляции базовых векторов

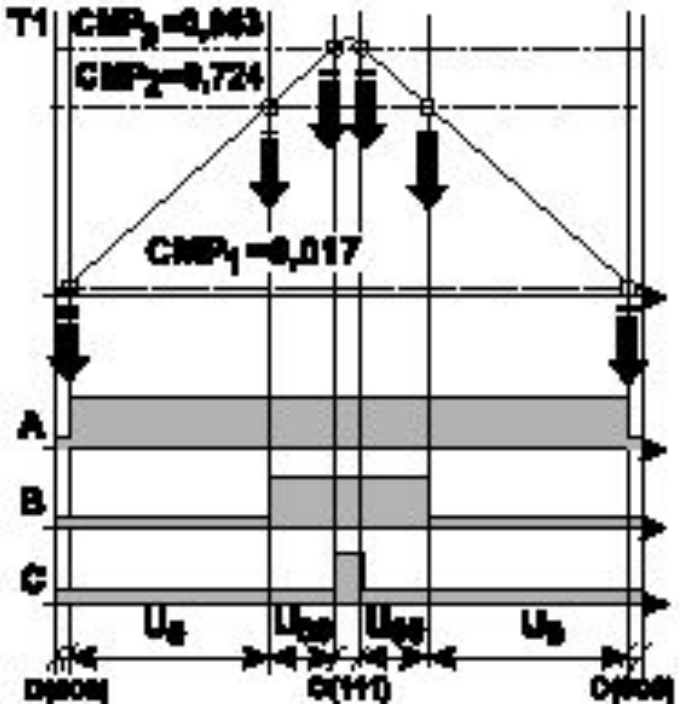
Базовый вектор				Схема включения и векторная диаграмма	Фазные напряжения ($U_ф/U_{dc}$		
Название	Код						
	C	B	A		U_c	U_b	U_a
O(000)	0	0	0		0	0	0
U_0(001)	0	0	1		-(1/3)	-(1/3)	+(2/3)
U_{60}(011)	0	1	1		-(2/3)	+(1/3)	+(1/3)
U_{120}(010)	0	1	0		-(1/3)	+(2/3)	-(1/3)
U_{180}(110)	1	1	0		+(1/3)	+(1/3)	-(2/3)
U_{240}(100)	1	0	0		+(2/3)	-(1/3)	-(1/3)
U_{300}(101)	1	0	1		+(1/3)	-(2/3)	+(1/3)
O(111)	1	1	1		0	0	0

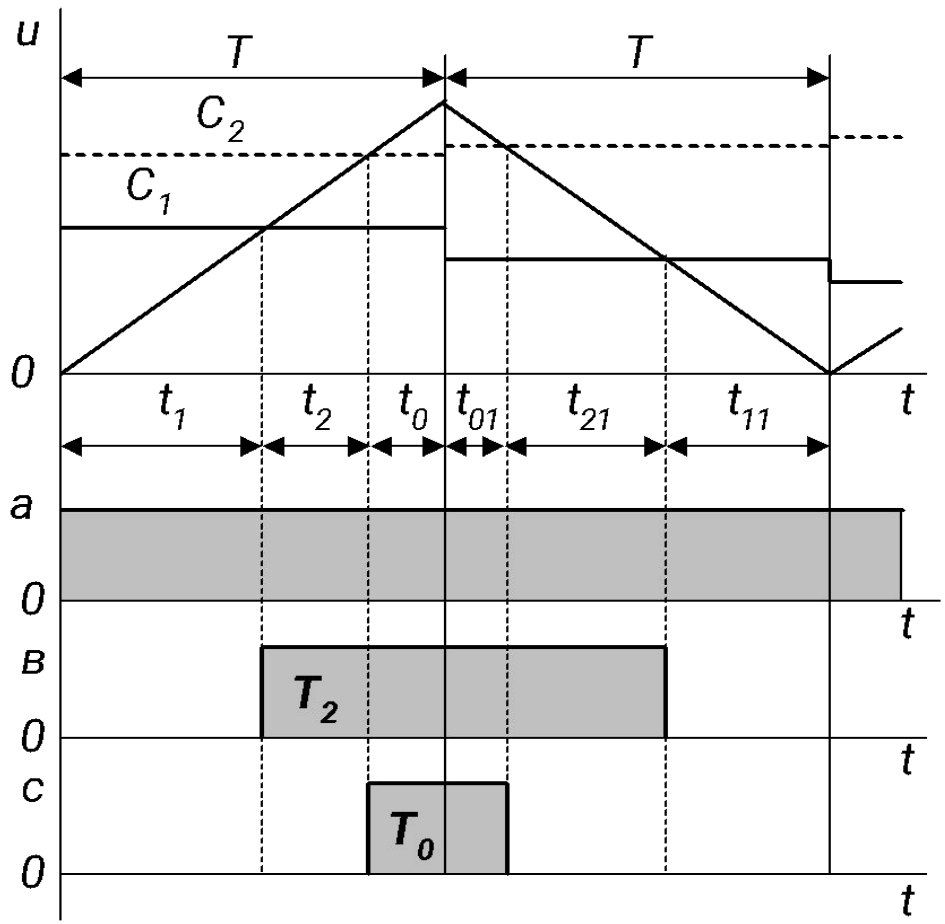


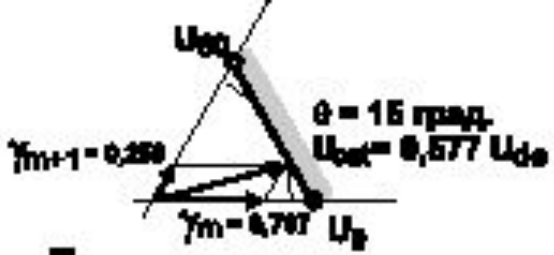
Тип коммутации

O(000), m, m+1, O(111) , m+1, m, O(000)

$$CMP_1^* = \frac{1-\gamma_m-\gamma_{m+1}}{2}; \quad CMP_2^* = \frac{1+\gamma_m-\gamma_{m+1}}{2}; \quad CMP_3^* = \frac{1+\gamma_m+\gamma_{m+1}}{2}$$



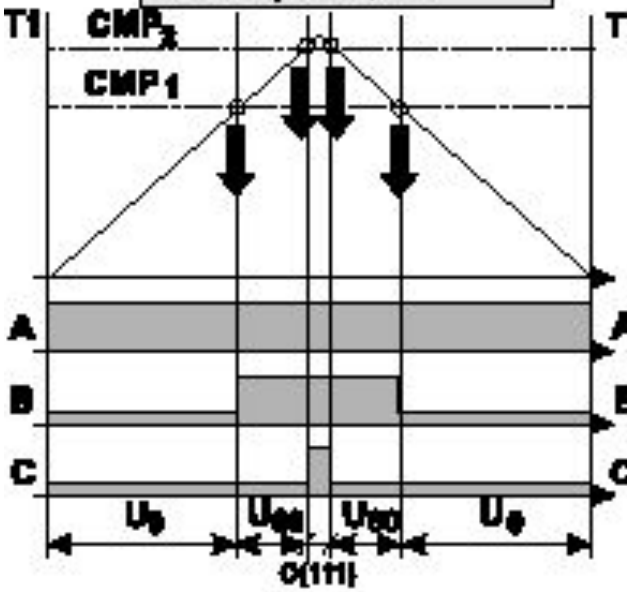

u
T
T
C2
C1
0
t1
t2
t0
t01
t21
t11
t
a
0
t
в
T2
0
t
c
T0
0
t



Тип коммутации:

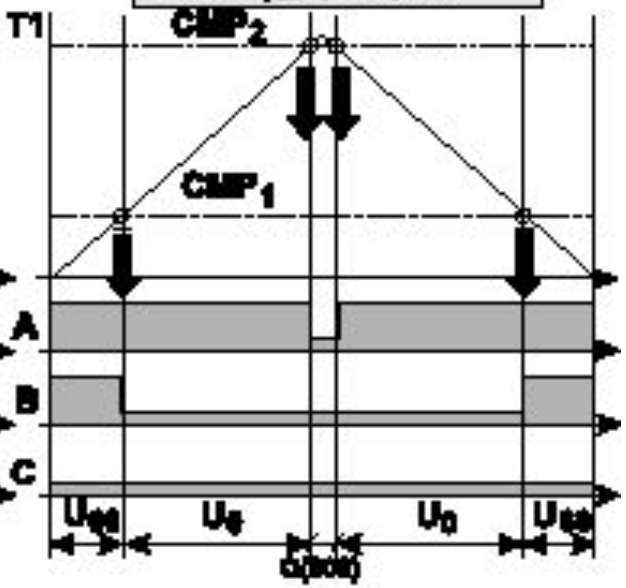
m, m+1, O(111) , m+1, m
m, m+1, O(000), m+1, m

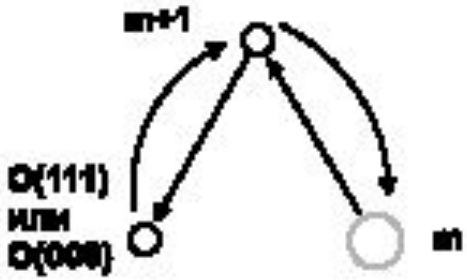
$CMP_2^* = \gamma_m + \gamma_{m+1} = 0,966$
$CMP_1^* = \gamma_m = 0,707$

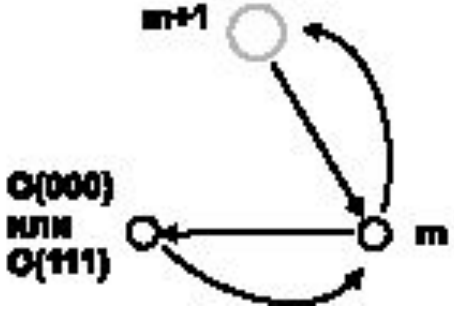


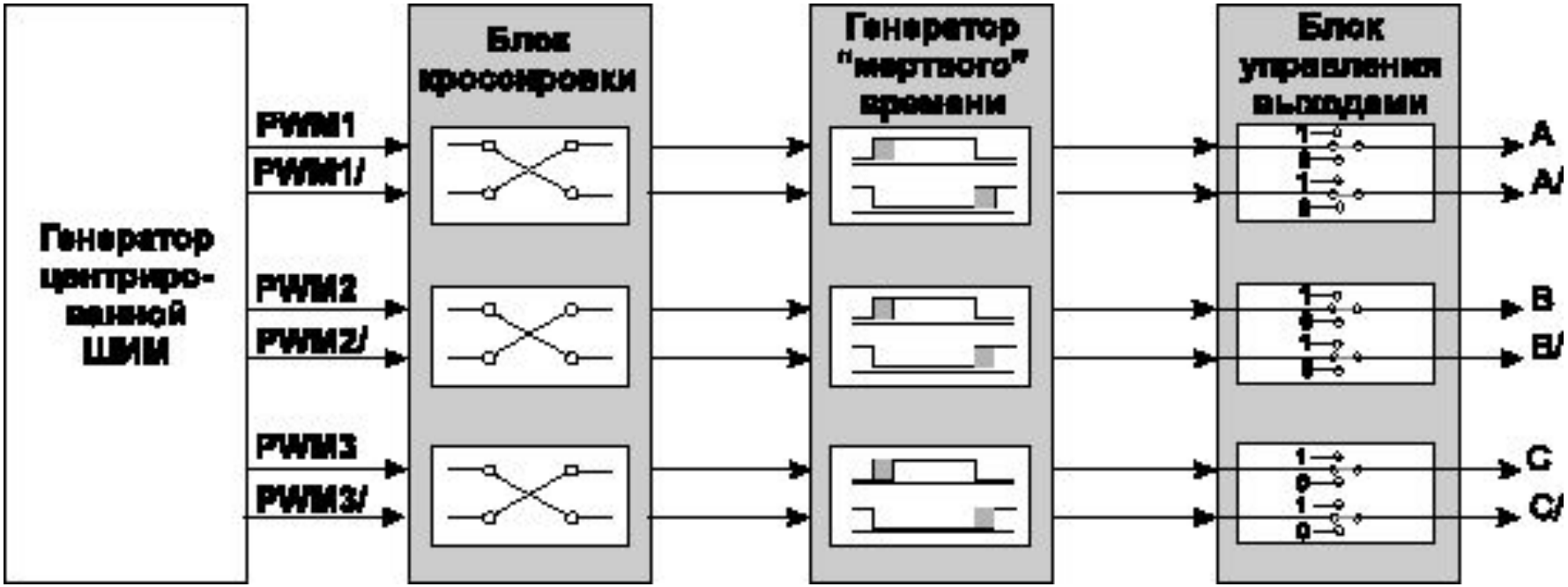
m+1, m, O(000), m, m+1
m+1, m, O(111), m, m+1

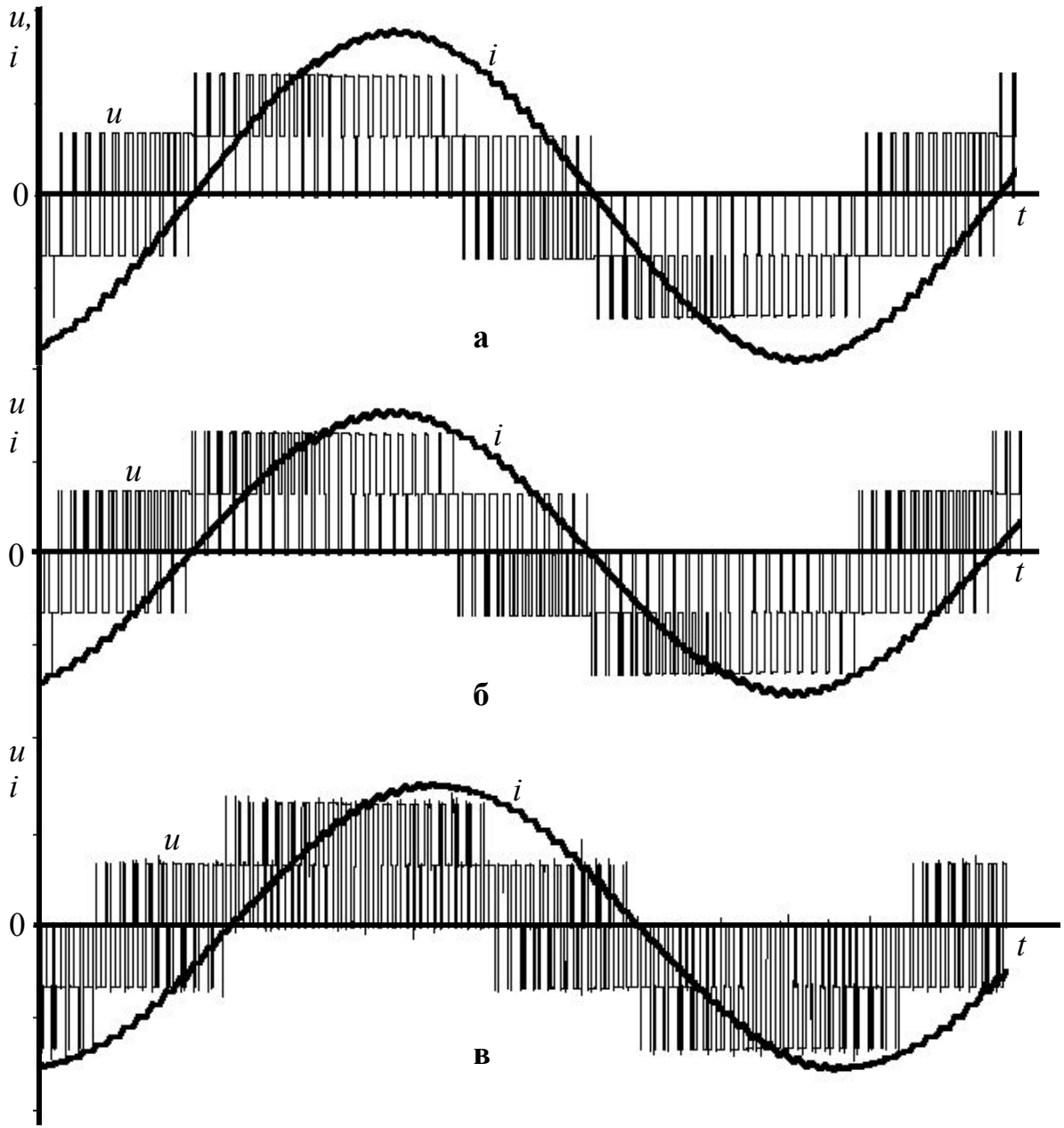
$CMP_2^* = \gamma_m + \gamma_{m+1} = 0,966$
$CMP_1^* = \gamma_{m+1} = 0,259$

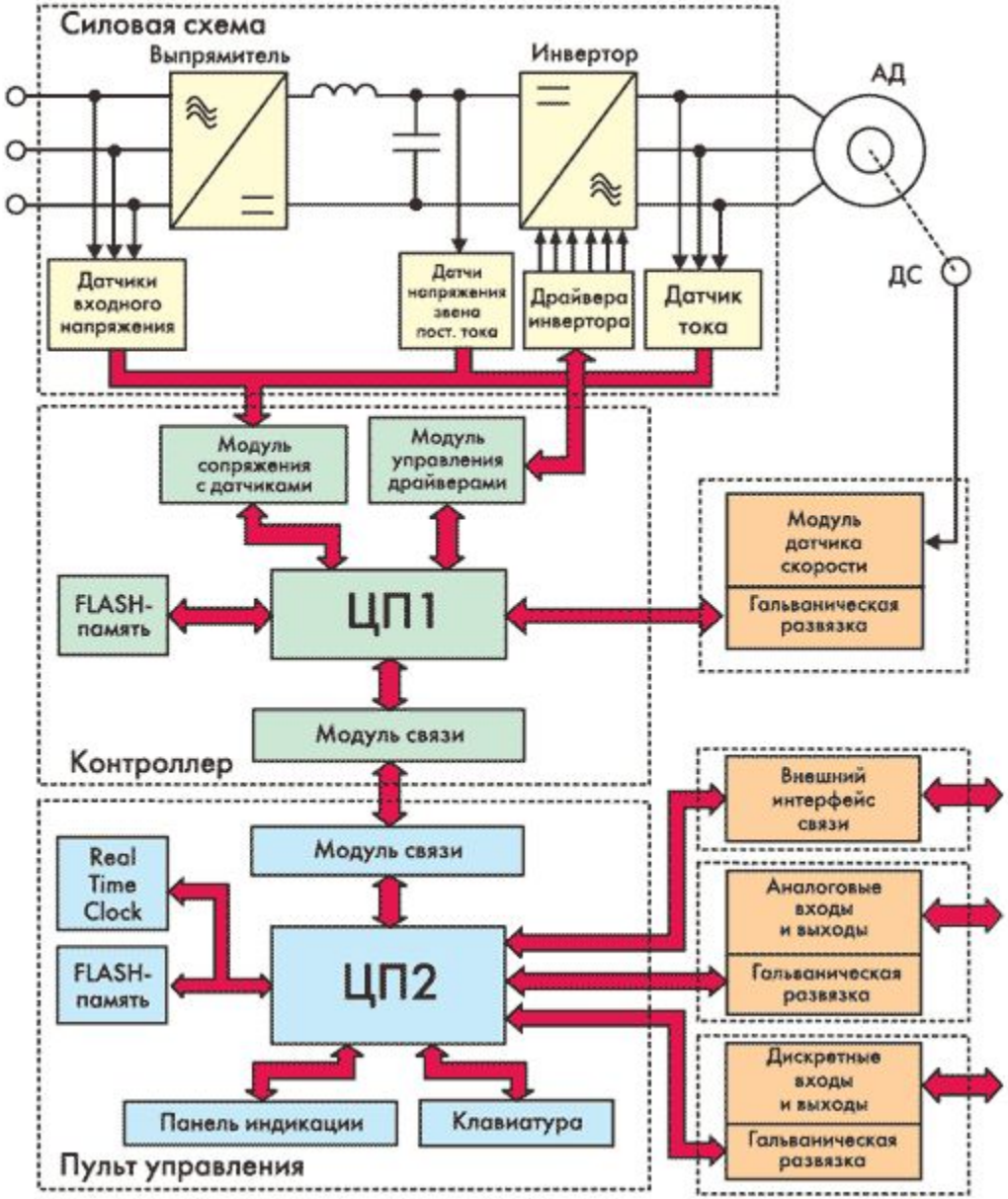







Генератор центрированной ШИМ
PWM1
PWM1/
PWM2
PWM2/
PWM3
PWM3/
Блок кроссировки
Генератор "мертвого" времени
Блок управления выходами
A
A/
B
B/
C
C/

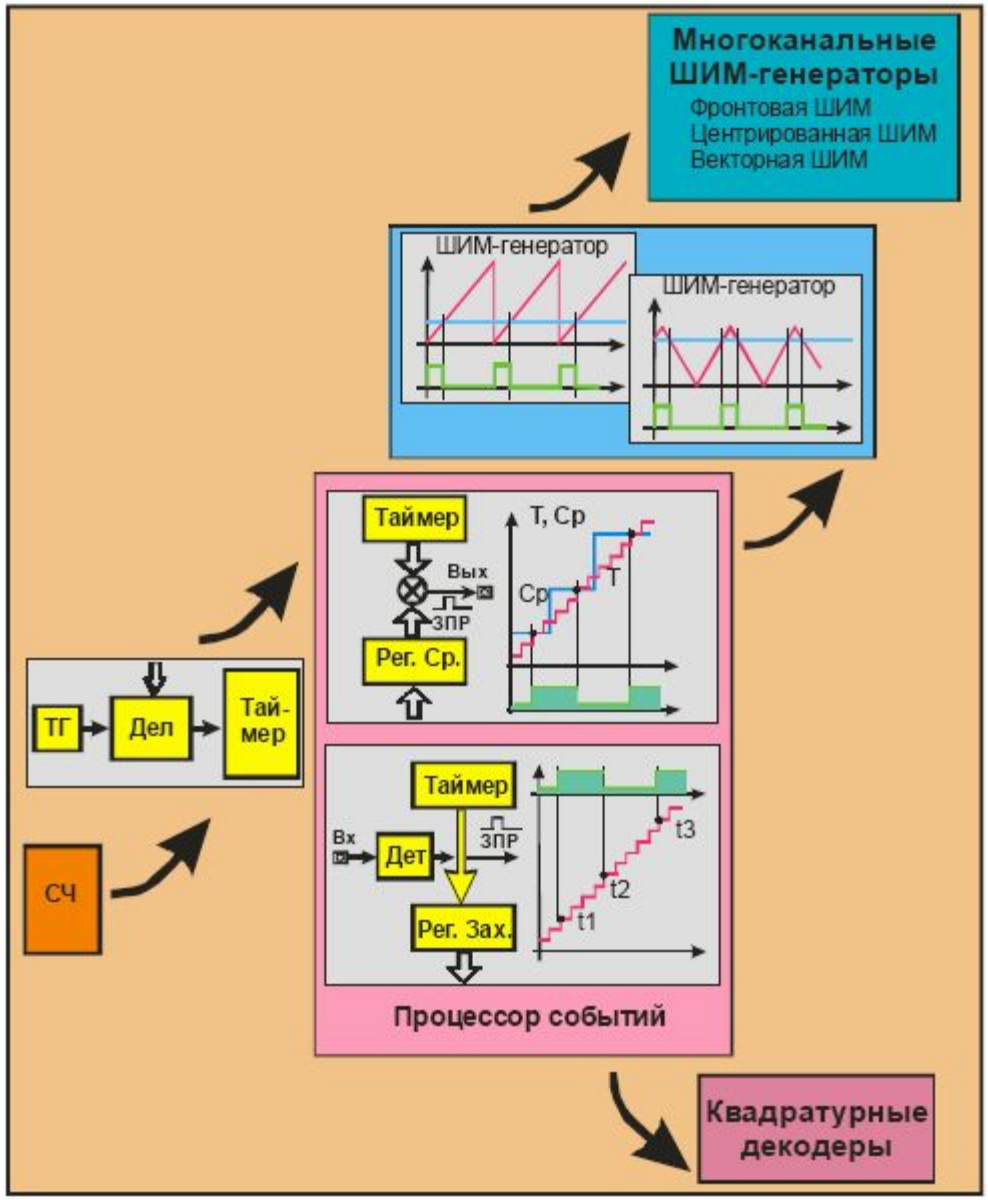

u,
i
u
i
0
t
а
u
i
u
i
0
t
б
u
i
u
i
0
t
в


Силовая схема
Выпрямитель
Инвертор
АД
ДС
Датчики входного напряжения
Датчи напряжения звена пост. тока
Драйвера инвертора
Датчик тока
Модуль сопряжения с датчиками
Модуль управления драйверами
FLASH-память
ЦП1
Модуль датчика скорости
Гальваническая развязка
Модуль связи
Контроллер
Внешний интерфейс связи
Real Time Clock
Модуль связи
Аналоговые входы и выходы
Гальваническая развязка
FLASH-память
ЦП2
Дискретные входы и выходы
Гальваническая развязка
Панель индикации
Клавиатура
Пульт управления

Метод формирования выходного напряжения	– Синусоидальная ШИМ; – метод пространственной модуляции базовых векторов (Space Vector Modulation).
	Частота ШИМ настраиваемая, 8...16 кГц для мощностей от 0,75 до 30 кВт и 4...8 кГц для мощностей выше 37 кВт. Для снижения уровня акустического шума используется метод «мягкой» ШИМ.
Метод управления двигателем	Скалярное управление: – классическое скалярное управление по заданной характеристике U/f; – скалярное управление с компенсацией падения напряжения на статоре (IR-компенсация); – скалярное управление с компенсацией скольжения.
	Векторное управление: – бездатчиковое векторное управление скоростью; – бездатчиковое векторное управление моментом; – векторное управление скоростью с датчиком обратной связи по скорости; – векторное управление моментом с датчиком обратной связи по скорости.
Методы торможения двигателя	– Постоянным током; – динамическое торможение с использованием встроенного или внешнего тормозного резистора.

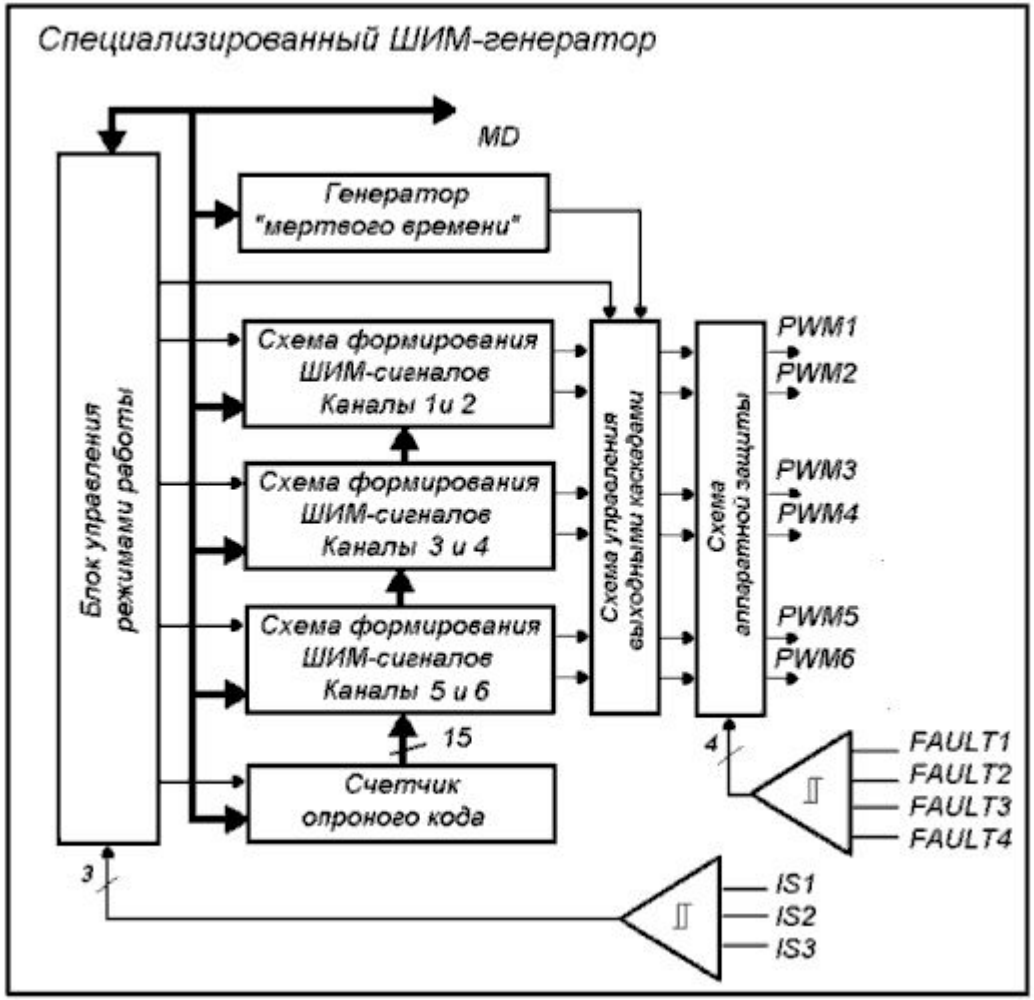
Основные задачи, решаемые программным обеспечением преобразователей частоты

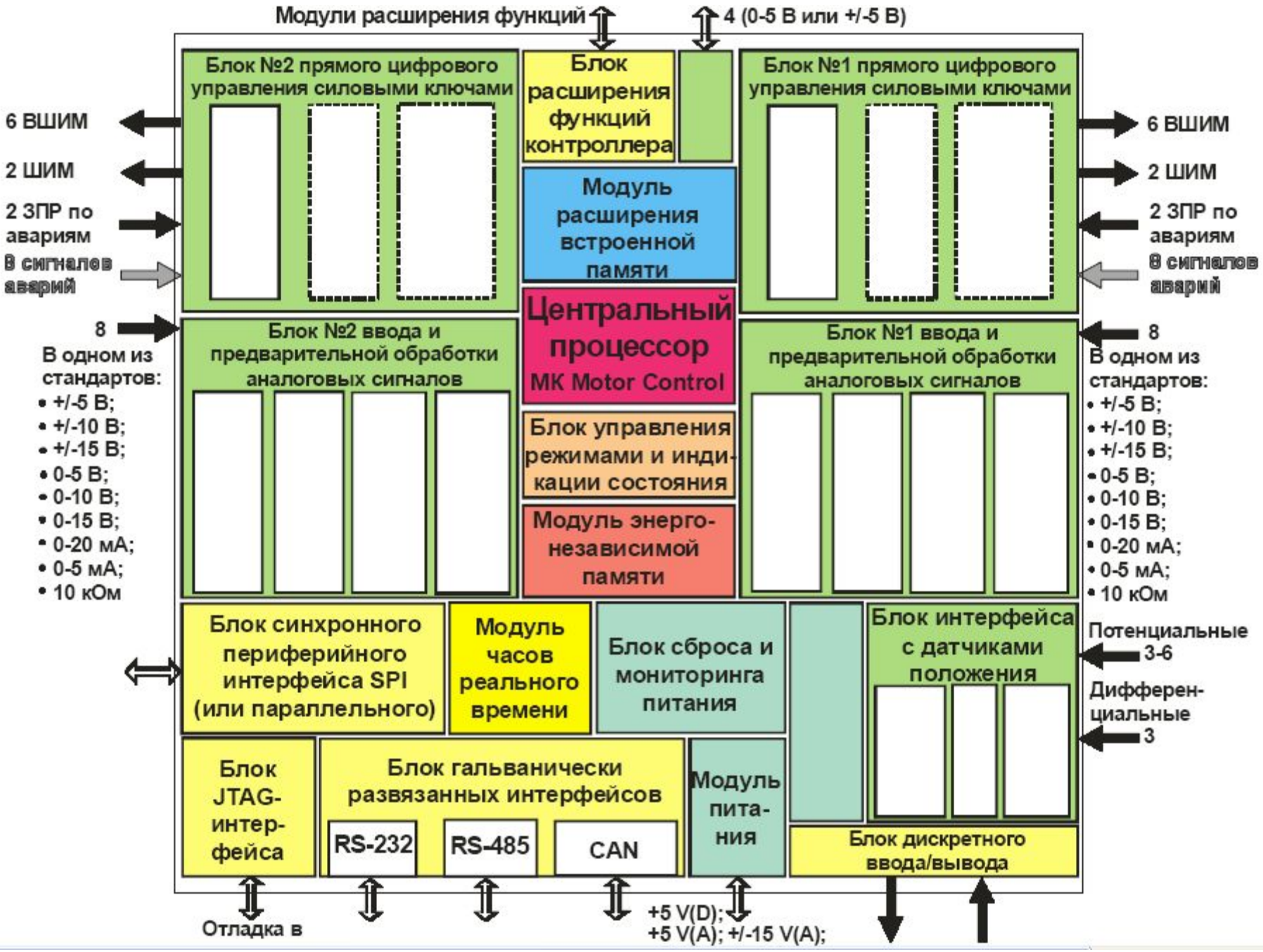
- 1. Реализация различных методов управления электродвигателем и методов формирования выходного напряжения.
- 2. Управление входным выпрямителем
- 3. Прием и обработка информации с датчиков.
- 4. Взаимодействие с периферийными модулями.
- 5. Взаимодействие с системой автоматизации верхнего уровня.
- 6. Обработка внешних сигналов и выдача управляющих воздействий на внешнюю аппаратуру в случае управления преобразователем частоты через дискретные или аналоговые входы.
- 7. Обеспечение интерфейса с пользователем.
- 8. Диагностика аппаратуры и самодиагностика.
- 9. Реализация защитных функций.
- 10. Сохранение информации о режимах, длительности работы, периодичности включения преобразователей частоты; подсчет показателей эффективности за определенный период; ведение журнала произошедших сбоев и аварий.
- 11. Реализация дополнительных функций.


Многоканальные ШИМ-генераторы
Фронтовая ШИМ
Центрированная ШИМ
Векторная ШИМ
ШИМ-генератор
ШИМ-генератор
Таймер
Вых
ЗПР
Рег. Ср.
T, Cp
Cp
T
ТГ
Дел
Тай-мер
СЧ
Таймер
Вх
Дет
ЗПР
Рег. Зах.
t1
t2
t3
Процессор событий
Квадратурные декодеры

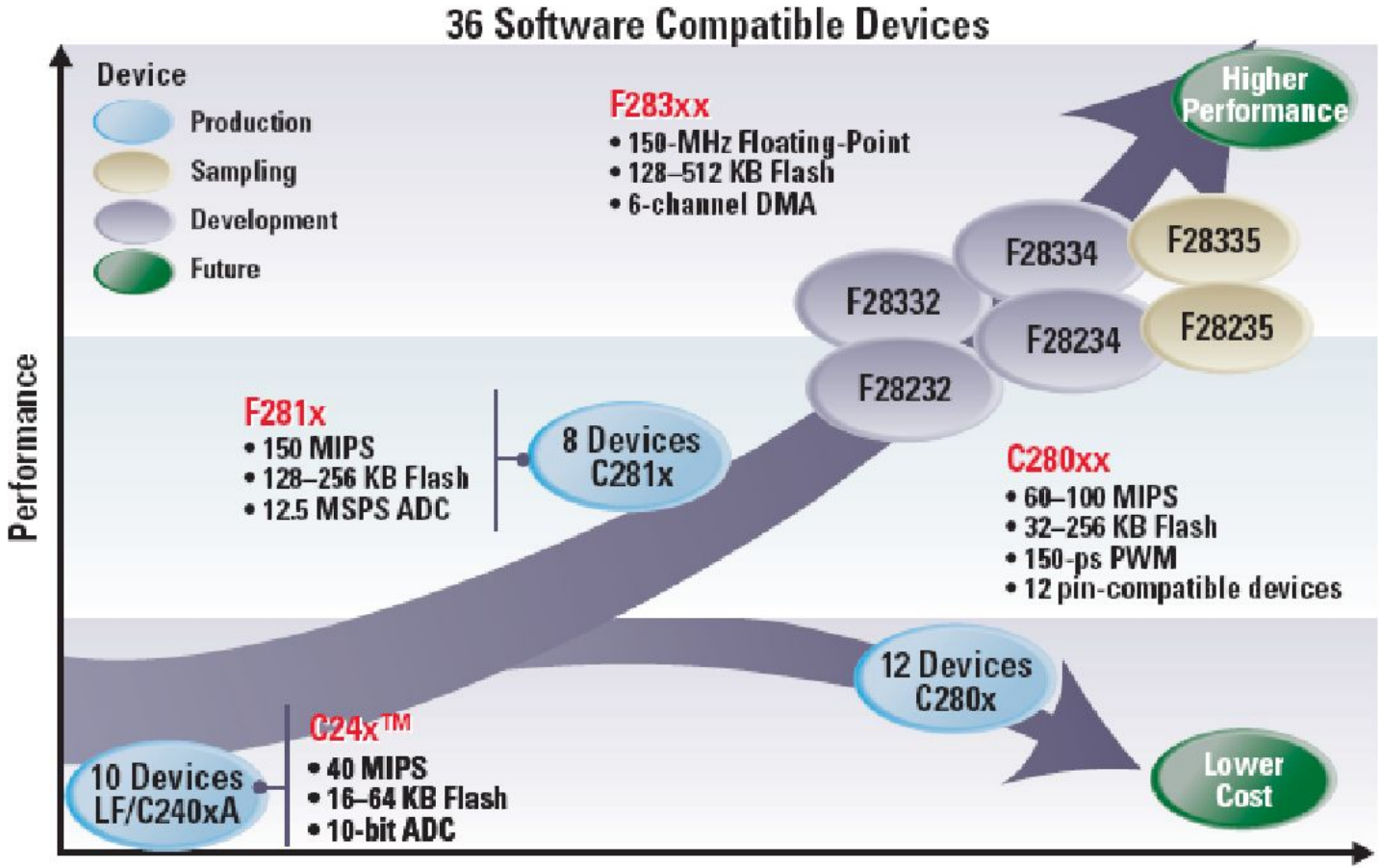
Основные тенденции развития встроенных периферийных устройств микроконтроллеров.

- 1. Переход от обычных счетчиков к наборам универсальных счетчиков/таймеров со
- встроенными каналами сравнения/захвата и далее к *многоканальным процессорам*
- *событий*.
- 2. Прецизионное формирование многоканальных последовательностей
- управляющих импульсов (в том числе для управления силовыми ключами в режиме
- ШИМ) – *функция высокоскоростного вывода* на часатотах до 20-50 кГц.
- 3. Прецизионная временная обработка входных многоканальных последовательностей импульсов для сопряжения с широким классом датчиков обратных связей– *функция высокоскоростноговвода* на часатотах до 100 кГц и выше.
- 4. Создание специализированных периферийных устройств типа *«квадратурных*
- *декодеров - функция идентификации положения и скорости*;
- 5. Создание *унифицированных многоканальных ШИМ – функция прямого*
- *управления силовыми ключами*.
- 6. Интеграция процессора событий и многоканального ШИМ-генератара в одном
- универсальном устройстве – менеджере событий;
- 7. Создание микроконтроллеров со сдвоенными менеджерами событий для прямого
- цифрового управления приводами по системе: «Активный выпрямитель-Инвертор-
- Двигатель» и «Преобразователь постоянного напряжения в постоянное – Инвертор –
- Двигатель», а также для управления двухдвигательными приводами.
- 8. Значительное повышение быстродействия аналого-цифровых преобразователей
- (время преобразования до 100 нс на канал).
- Поддержка функций прямого токового управления и прямого управления моментом.


Специализированный ШИМ-генератор
MD
Генератор "мертвого времени"
Блок управления режимами работы
Схема формирования ШИМ-сигналов Каналы 1и 2
Схема формирования ШИМ-сигналов Каналы 3 и 4
Схема формирования ШИМ-сигналов Каналы 5 и 6
Счетчик опроного кода
15
3
Схема управления выходными каскадами
Схема аппаратной защиты
4
PWM1
PWM2
PWM3
PWM4
PWM5
PWM6
FAULT1
FAULT2
FAULT3
FAULT4
IS1
IS2
IS3

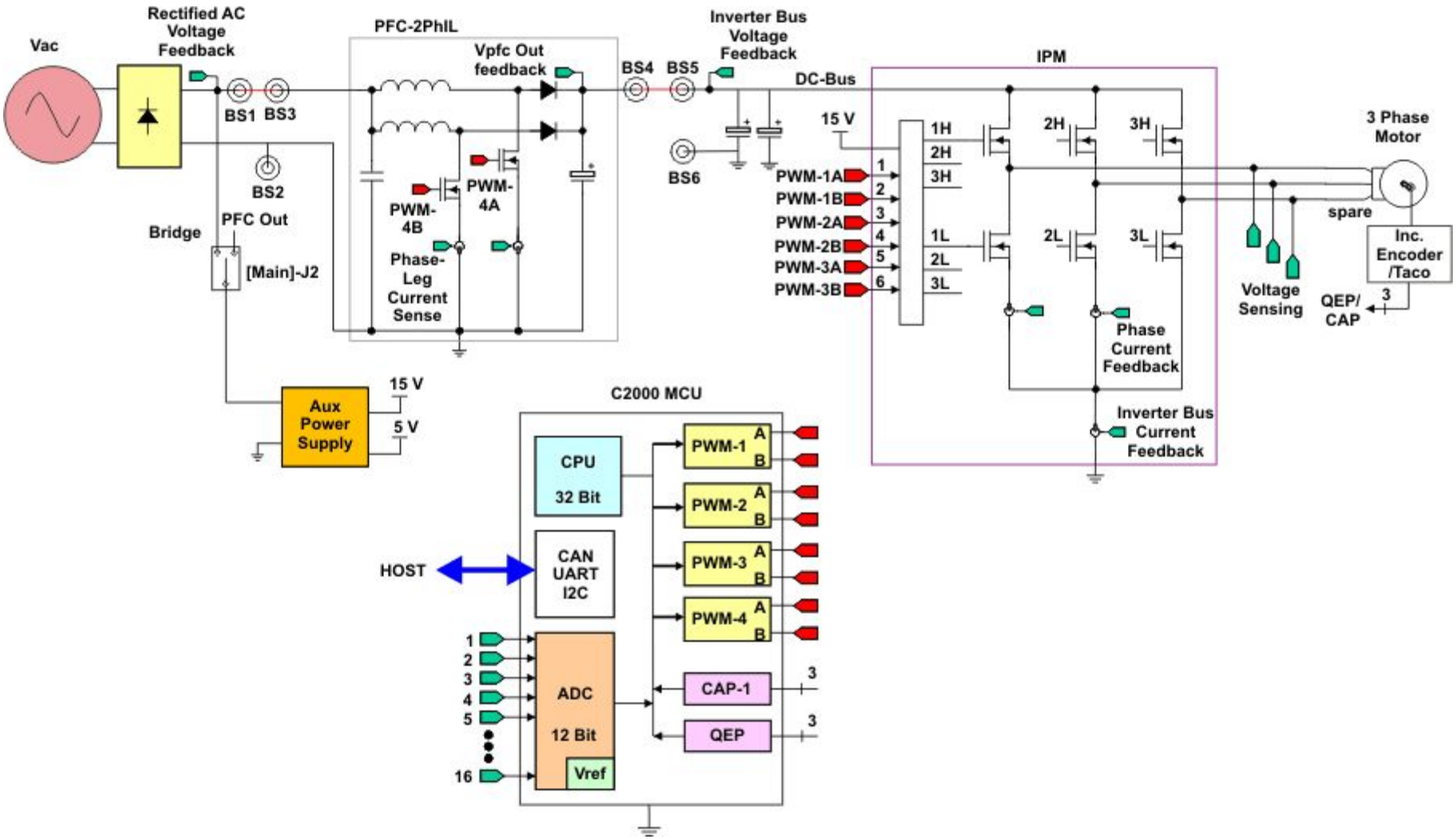

Модули расширения функций
4 (0-5 В или +/-5 В)
Блок №2 прямого цифрового управления силовыми ключами
Блок расширения функций контроллера
Блок №1 прямого цифрового управления силовыми ключами
6 ВШИМ
2 ШИМ
2 ЗПР по авариям
8 сигналов аварий
Модуль расширения встроенной памяти
Центральный процессор
МК Motor Control
8
В одном из стандартов:
• +/-5 В;
• +/-10 В;
• +/-15 В;
• 0-5 В;
• 0-10 В;
• 0-15 В;
• 0-20 мА;
• 0-5 мА;
• 10 кОм
Блок №2 ввода и предварительной обработки аналоговых сигналов
Блок №1 ввода и предварительной обработки аналоговых сигналов
Блок управления режимами и индикации состояния
Модуль энерго-независимой памяти
Блок синхронного периферийного интерфейса SPI (или параллельного)
Модуль часов реального времени
Блок сброса и мониторинга питания
Блок интерфейса с датчиками положения
Потенциальные 3-6
Дифферен-циальные 3
Блок JTAG-интер-фейса
Блок гальванически развязанных интерфейсов
RS-232
RS-485
CAN
Модуль пита-ния
Блок дискретного ввода/вывода
Отладка в
+5 V(D);
+5 V(A); +/-15 V(A);

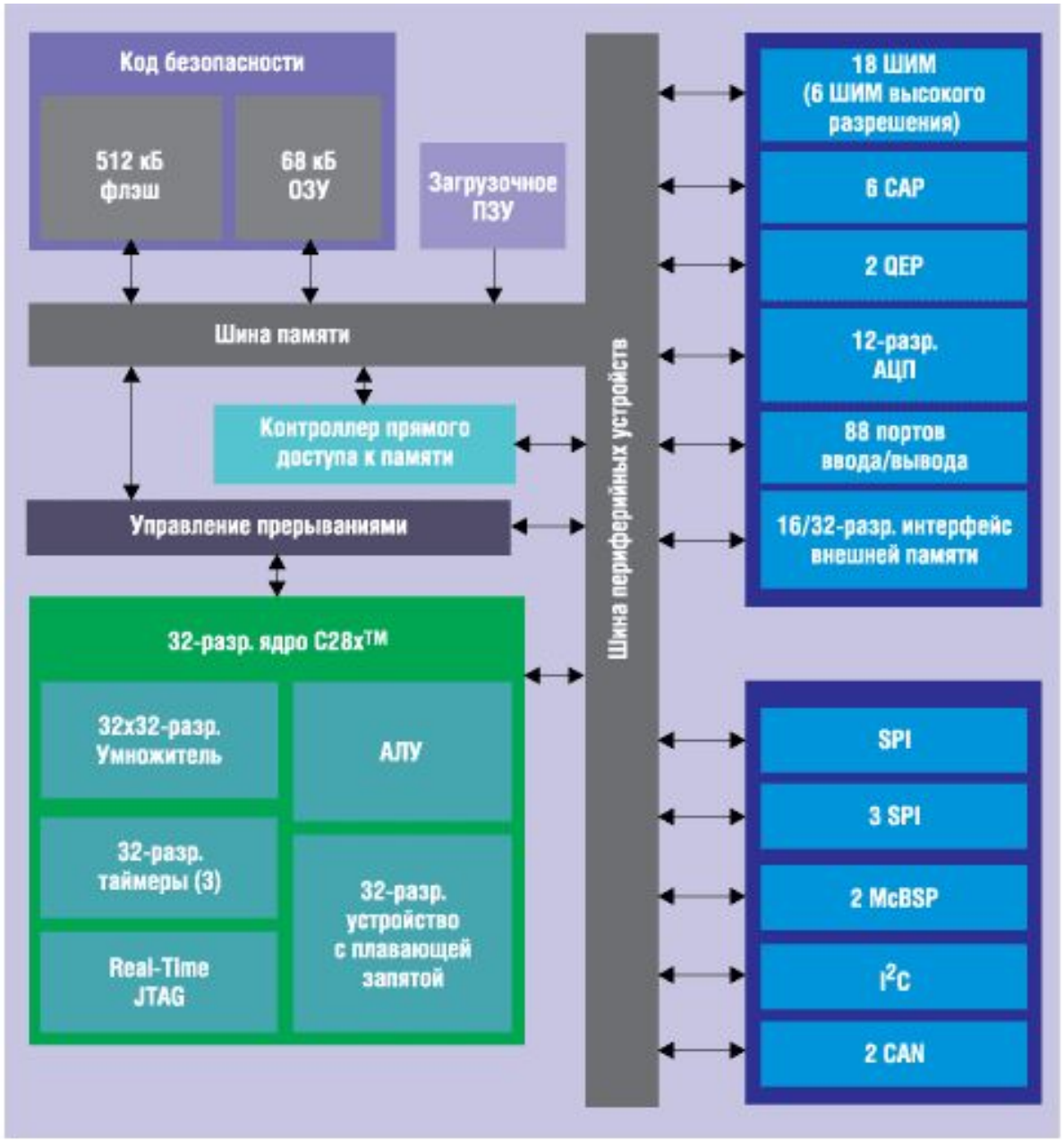
TMS320C2000™ DSC Family



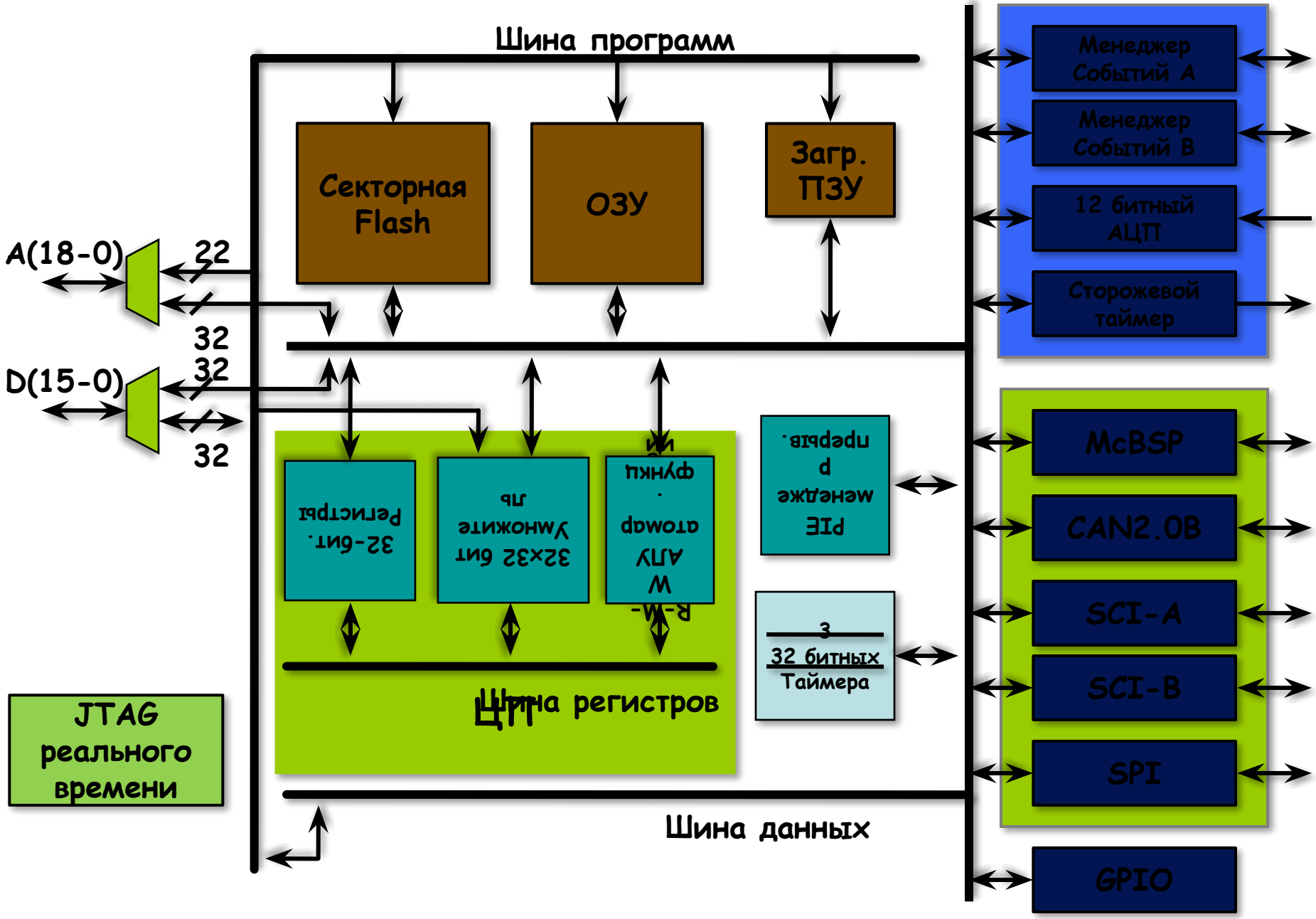
TMS320C2000 Digital Signal Controller Platform Roadmap

The C2000™ controller platform provides an optimized combination of DSP performance and MCU integration for digital control systems.


Vac
Rectified AC Voltage Feedback
BS1
BS3
BS2
Bridge
PFC Out
[Main]-J2
PFC-2PhIL
Vpfc Out feedback
PWM-4B
PWM-4A
Phase-Leg Current Sense
BS4
BS5
BS6
Inverter Bus Voltage Feedback
DC-Bus
15 V
PWM-1A
PWM-1B
PWM-2A
PWM-2B
PWM-3A
PWM-3B
1H
2H
3H
1L
2L
3L
IPM
Phase Current Feedback
Inverter Bus Current Feedback
Voltage Sensing
3 Phase Motor
spare
Inc. Encoder /Taco
QEP/ CAP
Aux Power Supply
15 V
5 V
C2000 MCU
CPU 32 Bit
CAN UART I2C
HOST
ADC 12 Bit
Vref
PWM-1
PWM-2
PWM-3
PWM-4
CAP-1
QEP

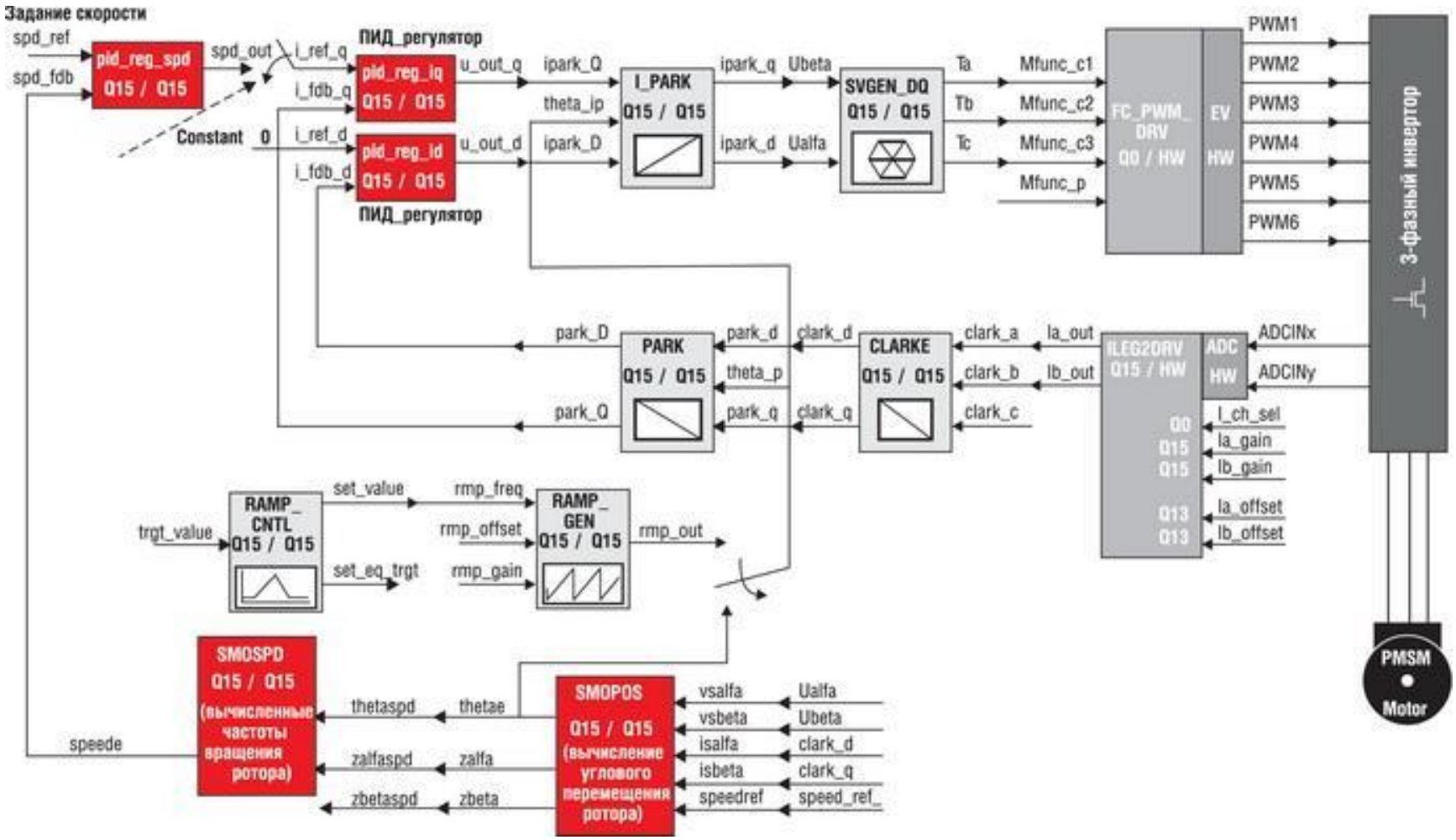

Код безопасности
512 кБ флэш
68 кБ ОЗУ
Загрузочное ПЗУ
Шина памяти
Контроллер прямого доступа к памяти
Управление прерываниями
32-разр. ядро C28x™
32x32-разр. Умножитель
АЛУ
32-разр. таймеры (3)
32-разр. устройство с плавающей запятой
Real-Time JTAG
Шина периферийных устройств
18 ШИМ (6 ШИМ высокого разрешения)
6 CAP
2 QEP
12-разр. АЦП
88 портов ввода/вывода
16/32-разр. интерфейс внешней памяти
SPI
3 SPI
2 McBSP
I²C
2 CAN

C281x Блок схема

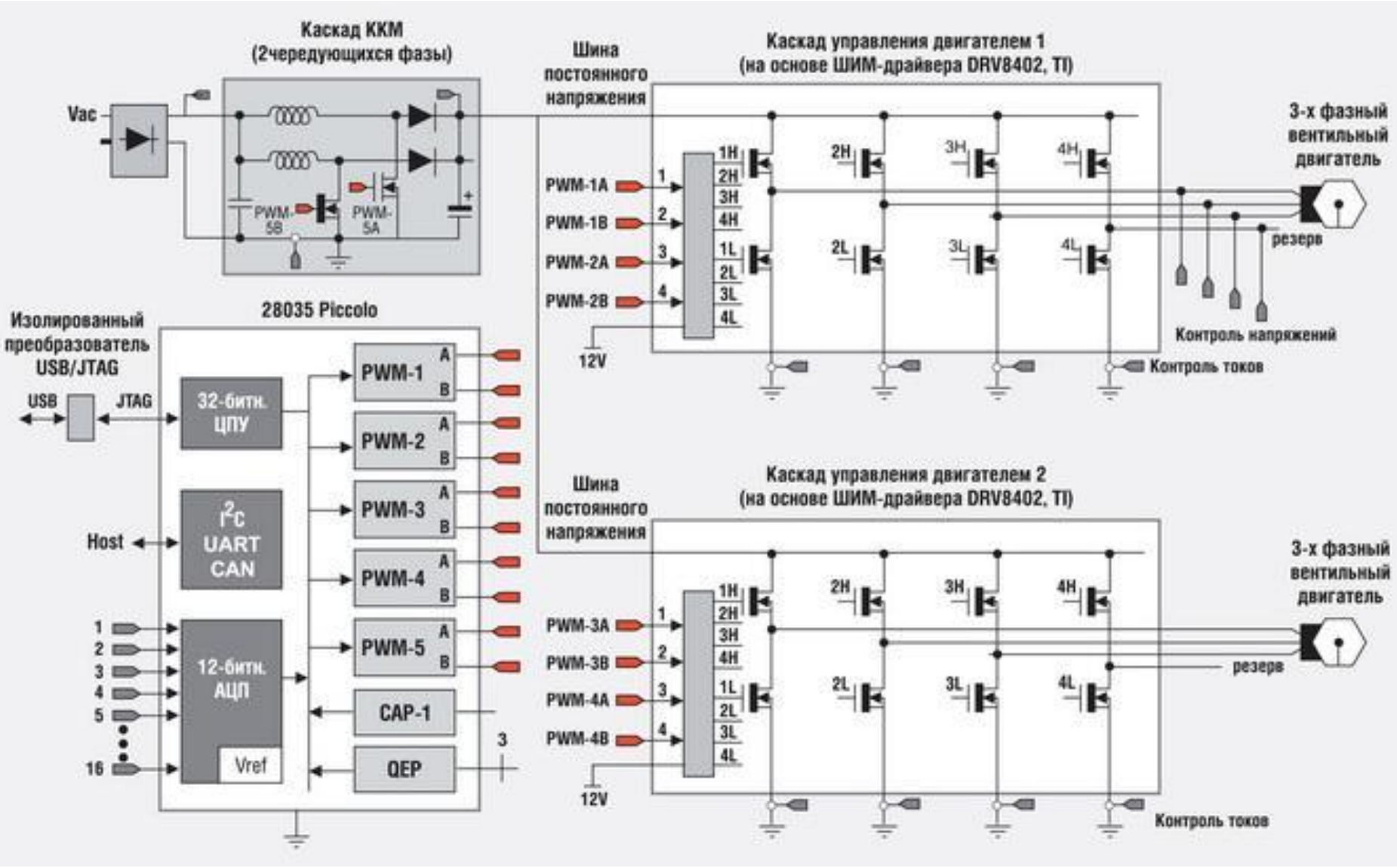


Digital Signal
Controller
3V3

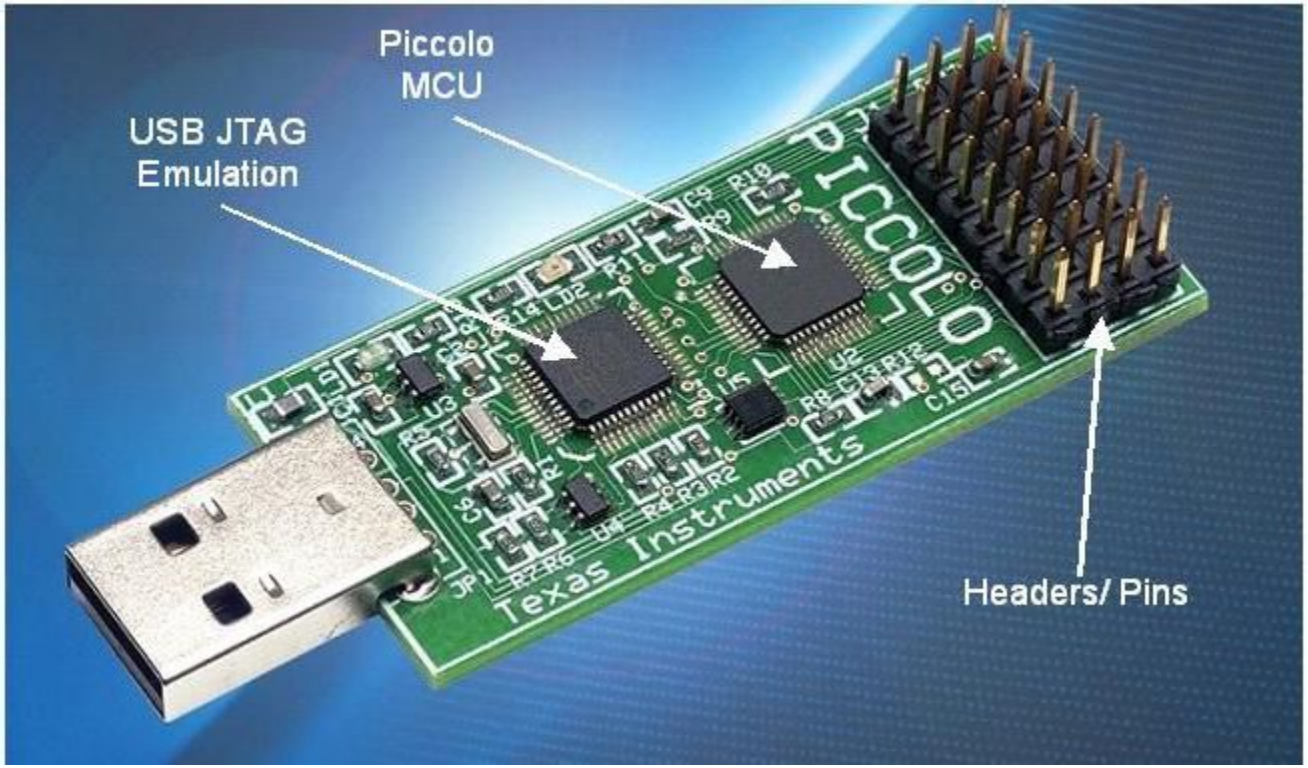
Обобщенная структура микроконтроллеров Piccolo



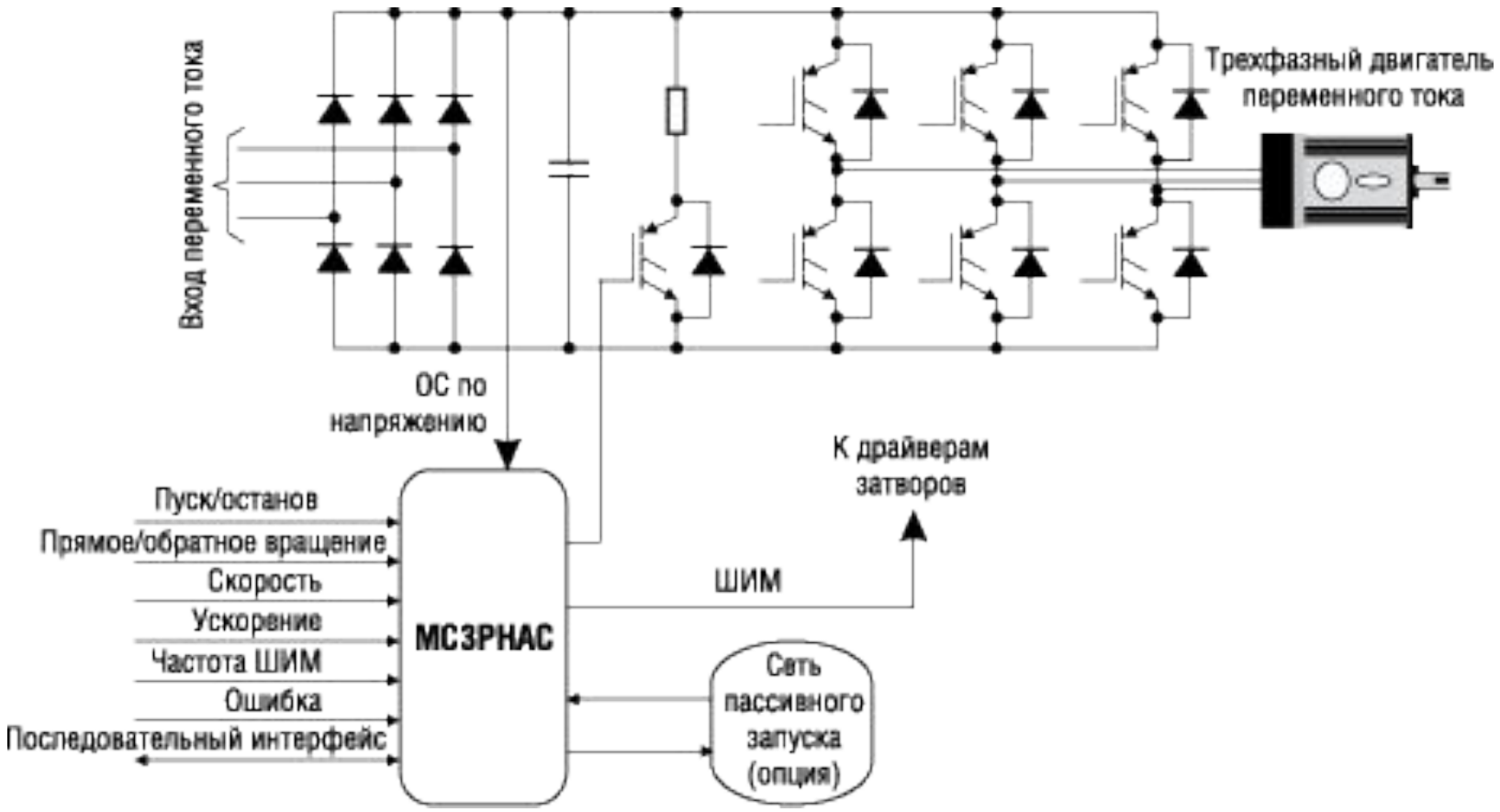
Структурная схема системы векторного управления вентильным двигателем с косвенной оценкой положения и частоты вращения ротора



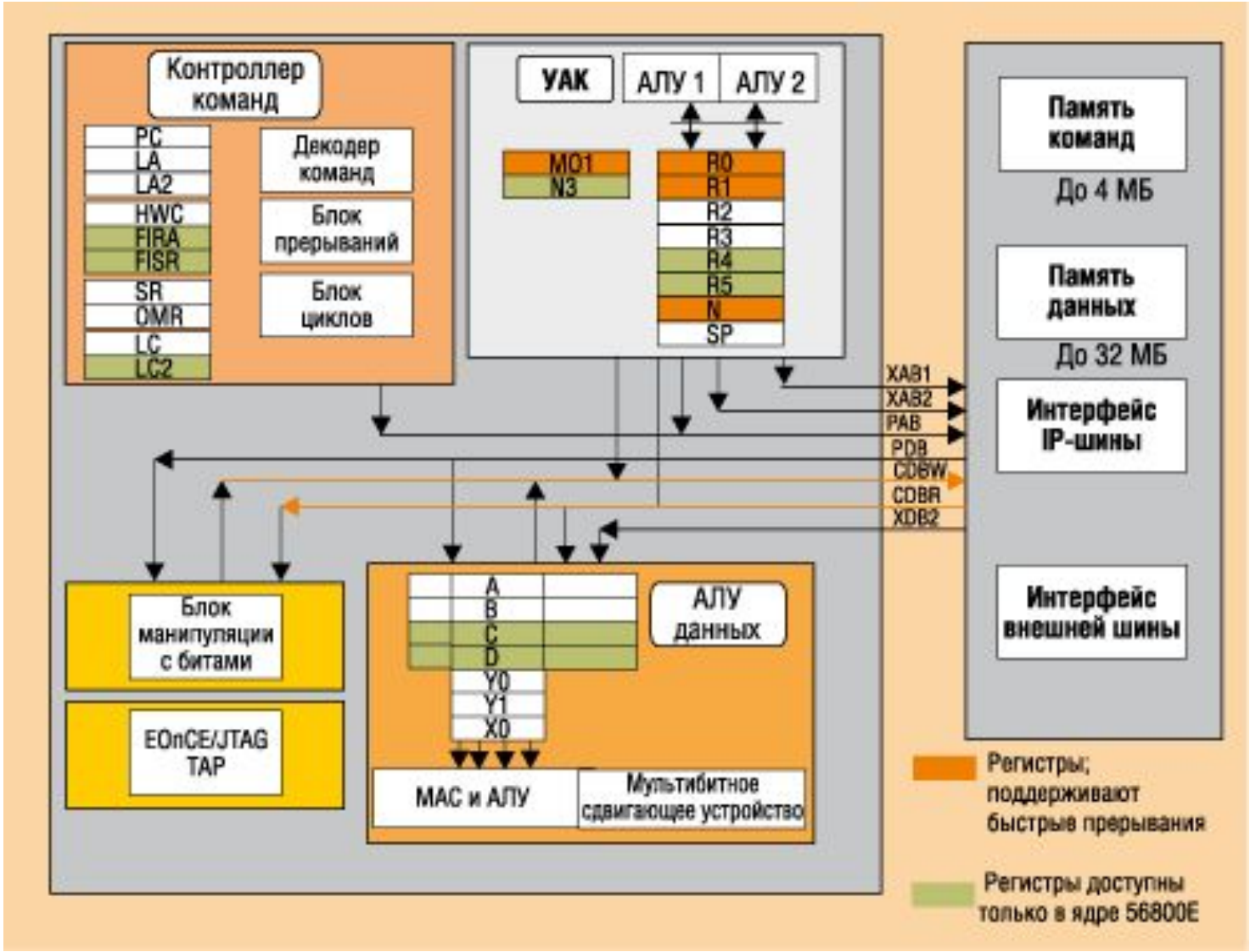
Система управления двумя вентильными двигателями и каскадом ККМ на основе МК Piccolo



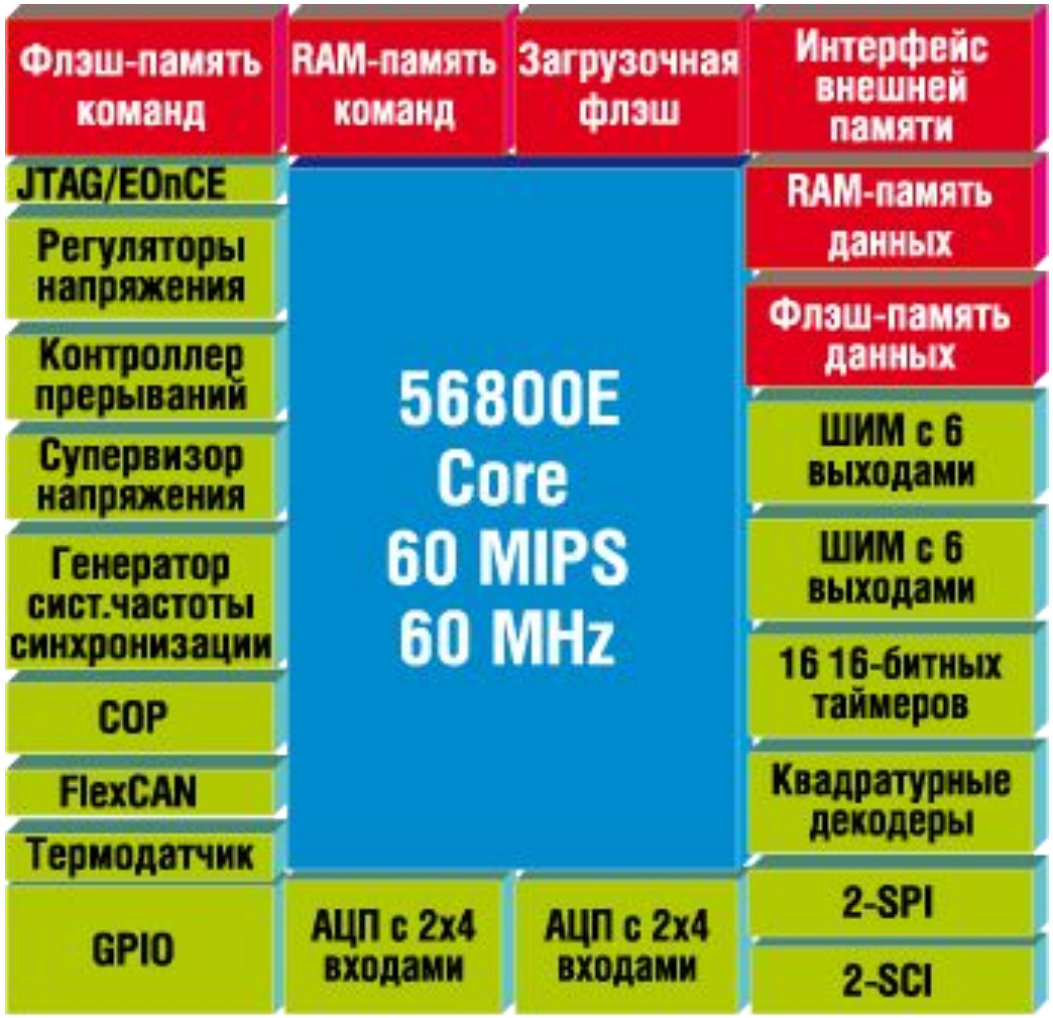
На рисунке выше: ControlSTICK Piccolo TMX20F28027 Деталь№: TMDX28027USB $39



Система управления асинхронным электродвигателем на базе MC3PHAC

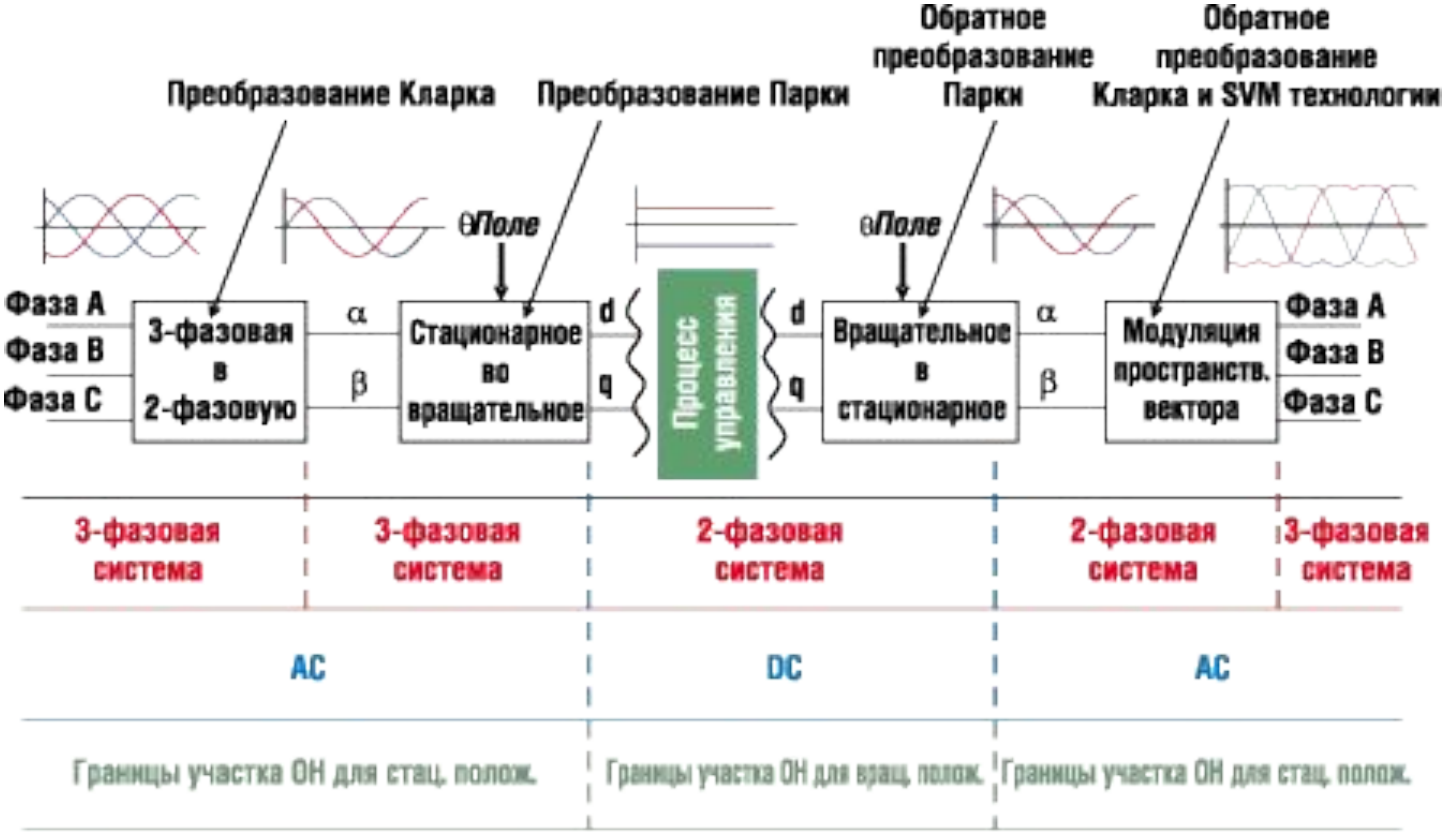


Ядро 56800E цифровых сигнальных контроллеров 56F8xxx

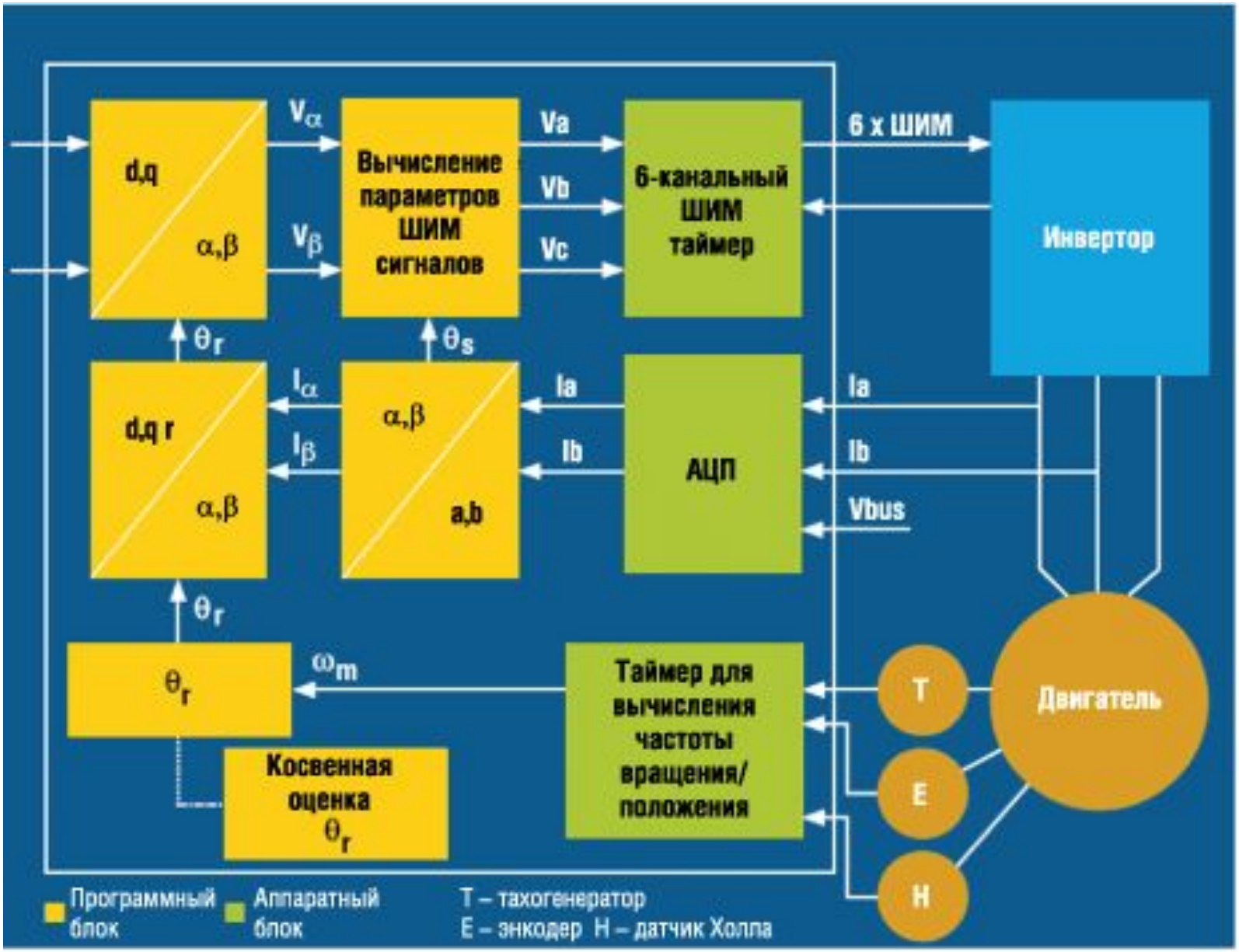


Ядро и периферийные устройства серии 56F83xx

Состав библиотеки Motor Control Library for 56F800E

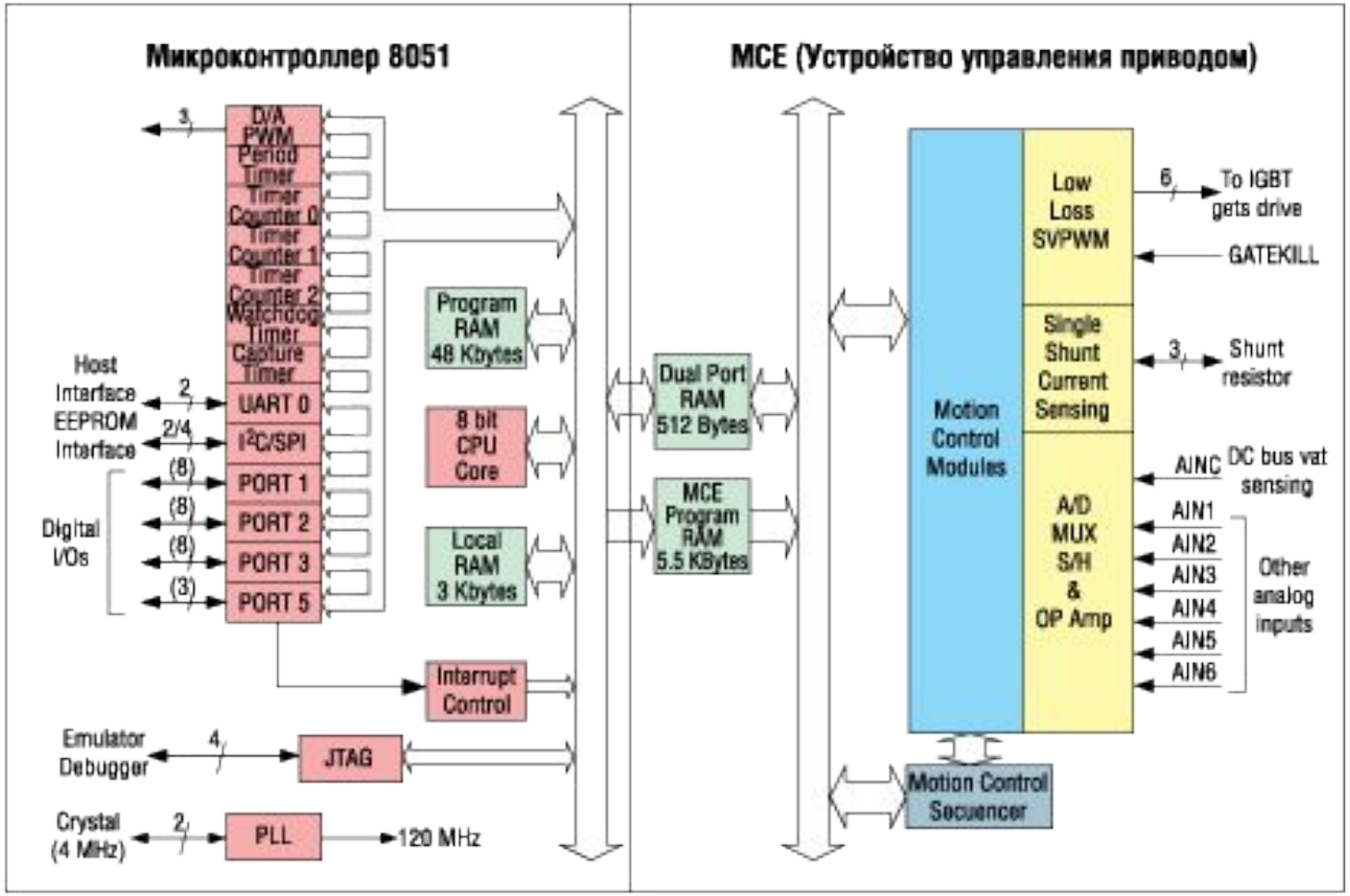


Примеры работы функций преобразования

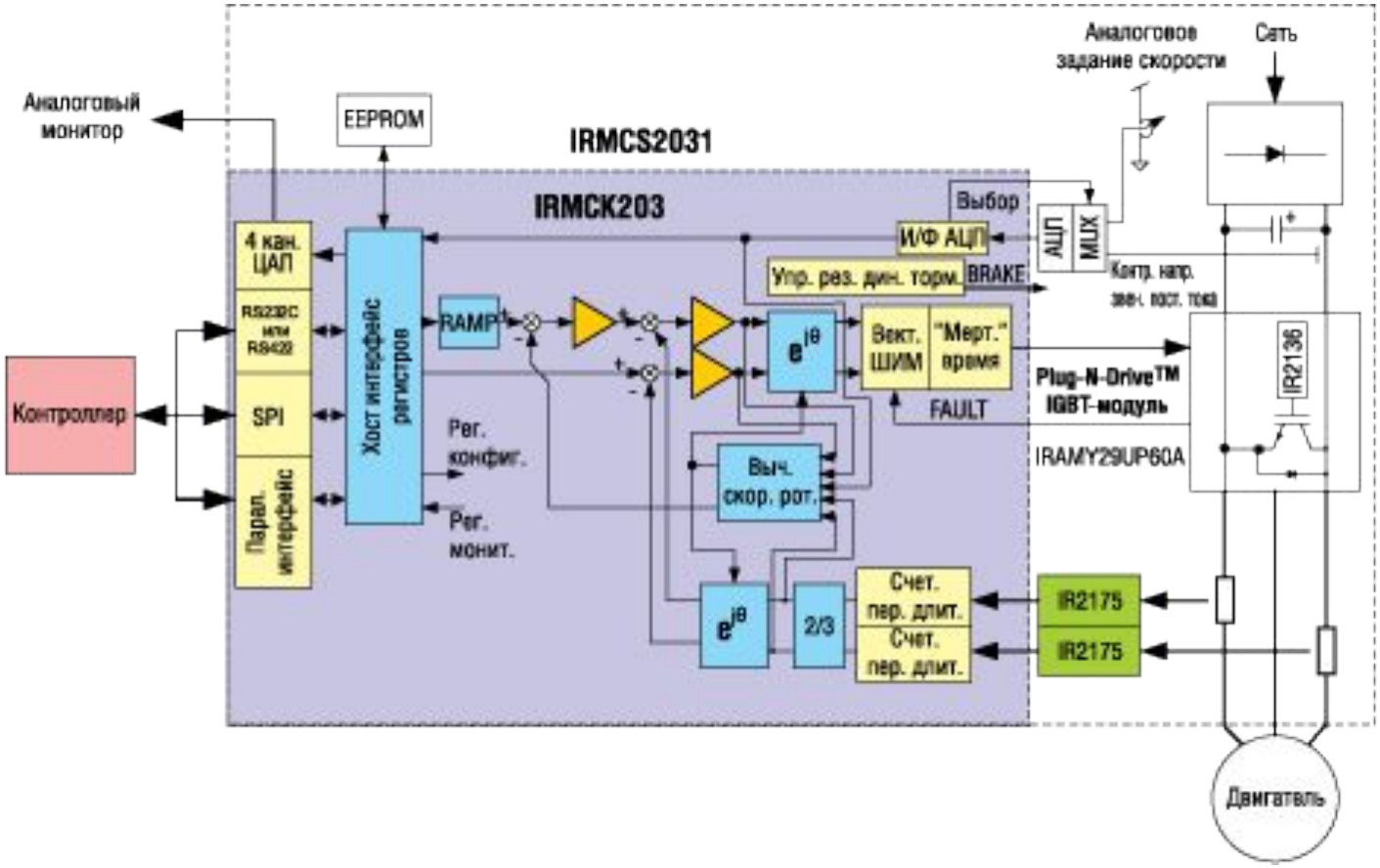


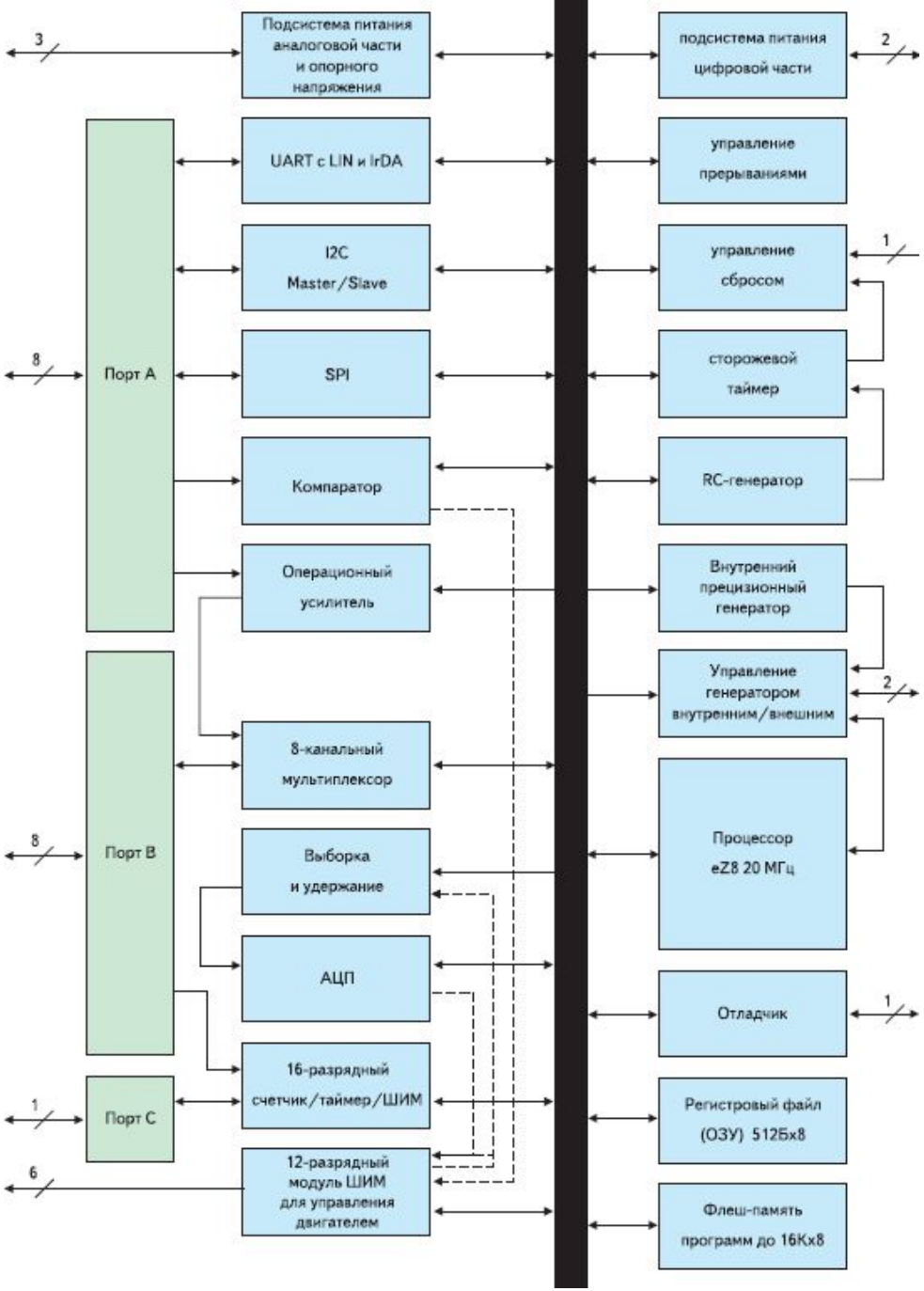
Функциональная схема устройства векторного управления электродвигателем на основе МК STM32

компания International Rectifier



Внутренняя структура контроллера серии IRMCK/ IRMCF 341


Аналоговый монитор
EEPROM
IRMCS2031
IRMCK203
Аналоговое задание скорости
Сеть
Выбор
АЦП
MUX
И/Ф АЦП
Упр. рез. дин. торм.
BRAKE
Контр. напр. зен. пост. тока
4 кан. ЦАП
RS232C или RS422
SPI
Парал. интерфейс
Контроллер
Хост интерфейс регистров
RAMP
Вект. ШИМ
"Мерт." время
FAULT
Plug-N-Drive™ IGBT-модуль
IRAMY29UP60A
IR2136
Рег. конфиг.
Рег. монит.
Выч. скор. рот.
2/3
Счет. пер. длит.
Счет. пер. длит.
IR2175
IR2175
Двигатель


3
Подсистема питания аналоговой части и опорного напряжения
подсистема питания цифровой части
2
Порт A
8
UART с LIN и IrDA
управление прерываниями
I2C Master/Slave
управление сбросом
1
SPI
сторожевой таймер
Компаратор
RC-генератор
Операционный усилитель
Внутренний прецизионный генератор
Управление генератором внутренним/внешним
2
Порт B
8
8-канальный мультиплексор
Выборка и удержание
Процессор eZ8 20 МГц
АЦП
Отладчик
1
Порт C
1
16-разрядный счетчик/таймер/ШИМ
Регистровый файл (ОЗУ) 512Бx8
6
12-разрядный модуль ШИМ для управления двигателем
Флеш-память программ до 16Кx8

Применение микроконтроллеров и DSP-процессоров ведущих производителей для управления устройствами силовой электроники

Компания	Технические решения и электронные компоненты				
	Техническое решение	Тип средства разработки	Микроконтроллеры	DSP-процессоры	Источник информации
Freescale Semiconductor	Управление однофазным электродвигателем переменного тока	Базовый проект	M68HC08		[9]
	Управление вентильно-реактивным 3-фазным электродвигателем с датчиками Холла			DSP56F805	[10]
	Управление шахтерской лампой		MC9S08QG4		[11]
	Программное обеспечение для проектирования микроконтроллерных систем управления на основе нечеткой логики	Программное средство	M68HC12		[12]
Microchip Technology	Управление бесколлекторным электродвигателем постоянного тока (с датчиком или без датчика)	Плата разработки	PIC18F2331 PIC18F2431	dsPIC30F2010 dsPIC30F3010	[13]
	Управление импульсным источником питания			dsPIC30F2020	[14]
	Управление электродвигателем поднимания оконного стекла в автомобиле с функцией антисдавливания и управлением от однопроводной коммуникационной сети	Базовый проект	PIC16F688		[15]
Silicon Laboratories	Управление шаговым электродвигателем		C8051F300		[16]
	Управление бесколлекторным электродвигателем постоянного тока		C8051F310		[17]
	Примеры программ для управления различными типами электродвигателей	Программный пакет	C8051F3xx		[18]
STMicroelectronics	Управление электродвигателем переменного тока или лампой накаливания	Базовый проект	ST7ULTRALITE		[20]
	Управление различными типами электродвигателей переменного тока	Оценочный комплект	ST7FMC2S4T6		[21]
	Понижающий преобразователь переменного тока для мощных нагрузок	Базовый проект	ST7LITES5		[22]
Texas Instruments	Импульсный источник питания	Технический отчет		TMS320F280x	[23]
	Программное обеспечение для разработки систем управления всеми типами электродвигателей	Программный пакет		TMS320C2000	[24]
	Прорамное обеспечение для разработки всех типов силовых преобразователей и систем коррекции коэффициента мощности			TMS320C2000	[24]