

CAN в системах низкого энергопотребления

Иван АРБУЗОВ
frenele@rambler.ru

Статья знакомит с возможностями применения контроллера интерфейса CAN на базе микроконтроллеров K1986BE92Y и K1886BE5Y для систем малого энергопотребления. Приводится методика настройки CAN и результаты исследования на частотах тактирования микроконтроллеров меньше 8 МГц.

Введение

Сегодня при проектировании аппаратуры энергопотребление приобретает особую актуальность. Особенно остро стоит данный вопрос для инженеров-конструкторов, занятых созданием аппаратуры на отечественной элементной базе, — это системы автоматического противопожарного оповещения, автономные устройства, длительное время работающие от гальванического элемента питания, приборы учета электроэнергии, расхода воды, тепловой энергии, контроля заряда аккумуляторной батареи, а также электрооборудование автомобиля и т. д.

Во всех таких системах важно минимизировать потери электроэнергии на мониторинг параметров и управления, обслуживание основных задач, которые могут выполняться постоянно в течение всего времени эксплуатации, периодически или по запросу. При этом режим работы контроллера управления может быть задан в соответствии с имеющимися потребностями. Например, во время простоя входить в спящий режим или, наоборот, постоянно функционировать с минимальными потерями на энергопотребление. Это может быть связано

с упрощением программного обеспечения и схемотехнических решений, с поиском точки компромисса для удешевления и ускорения реализации проекта.

В подобных проектах могут применяться микроконтроллеры с контроллером интерфейса CAN при малых токах потребления, а для достижения этой цели необходимо снизить частоту до уровня, при котором будет удовлетворяться требование по энергопотреблению.

Микроконтроллеры с CAN-интерфейсом

Микроконтроллеры K1986BE92Y и K1886BE5Y отечественного производства от компании АО «ПКК Миландр» [1] оптимальны для решения задач энергоэффективности в системах, где необходимо применение CAN-интерфейса.

Для ознакомления с микроконтроллерами некоторые их параметры представлены в таблице 1.

Автором был проведен анализ возможности работы контроллера интерфейса CAN на низких частотах тактирования обоих микроконтроллеров. По результатам исследова-

ния получены зависимости динамического тока потребления микроконтроллеров от частоты следования импульсов тактовых сигналов (рис. 1). Измерения параметров осуществлялось с помощью цифрового мультиметра UNI-T UT70A и осциллографа KEYSIGNT DSOX2024A со встроенным низкочастотным генератором. Обмен по CAN-интерфейсу между ПЭВМ и отладочными платами для микроконтроллеров выполнялся через конвертор TITAN USB-CAN-SI-M.

На рис. 1 и в таблице 1 видно, что микроконтроллер K1886BE5Y в отличие от K1986BE92Y имеет преимущество по энергопотреблению, но проигрывает по количеству периферийных модулей и объему памяти. Представленные результаты зависимостей выходят за рамки характеристик микроконтроллеров, указанных в их спецификациях [2, 3]. Кривая для K1986BE92Y получена при следующих условиях: задействование внешнего генератора HSE на частоте 8 МГц и включенных периферийных блоках PORTA и CAN1. Кривая для K1886BE5Y получена при тактировании от внешнего генератора. Помимо этого, для чистоты эксперимента тактовая частота микроконтроллера опробована на керамических резонаторах

Таблица 1. Некоторые параметры микроконтроллеров

Параметр	K1986BE92Y	K1886BE5Y
Ядро процессора	ARM Cortex-M3	PIC17
Напряжение питания, В	3,3	5
Максимально тактовая частота, МГц	80	25
Динамический ток потребления на максимальной частоте тактирования, мА	120	50
Объем ЭСППЗУ, кбайт	128	8
Объем ОЗУ, байт	32 768	902
UART	2	1
LIN	0	1
CAN	2	1
SPI	2	0
PC	1	0
АЦП	2	1
ЦАП	2	0
Компаратор	1	0
Внешняя шина	1	0
Таймер	3	3

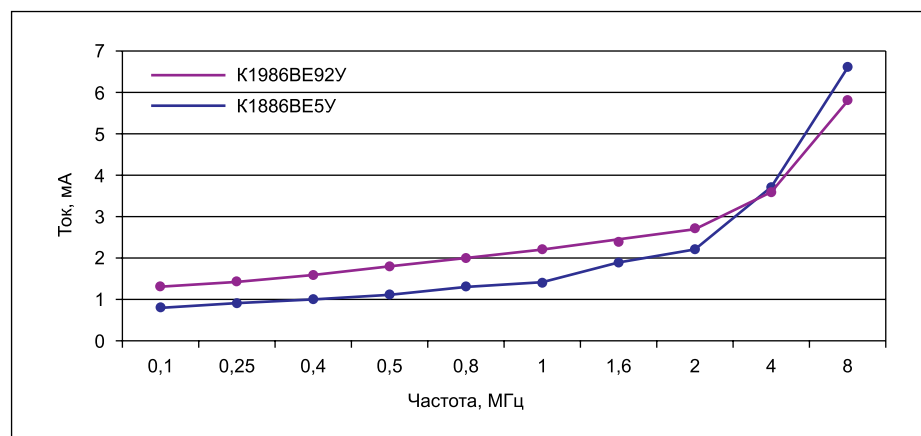


Рис. 1. Зависимость динамического тока потребления от частоты следования импульсов тактовых сигналов микроконтроллера при T = +22 °C

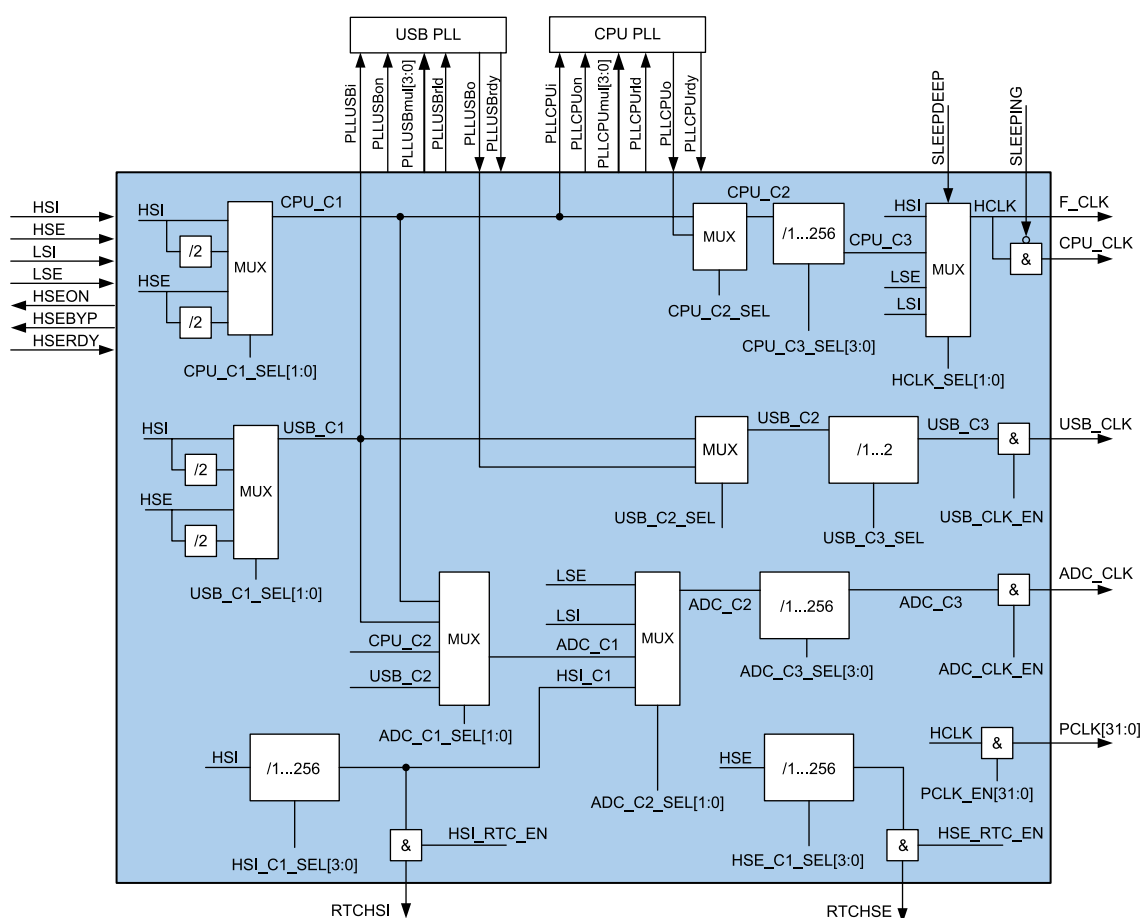


Рис. 2. Структурная блок-схема формирования тактовой частоты

0,4 и 1 МГц и кварцевом резонаторе 2 МГц. Ток потребления в сравнении с зависимостью на рис. 1 вырос приблизительно на 0,15; 0,25 и 0,15 мА соответственно. Также исследована работа микроконтроллера от встроенного RC-генератора на тех же частотах. Контроль тактовой частоты осуществлялся на выводе OSC2 микроконтроллера с учетом деления F/4. Применены частотно задающие элементы:

- керамический выводной импортный конденсатор Murata RDE5C1H101J 100 пФ NPO, 5%, 0805;
- подстроечный резистор 3296W-1-203LF 20 кОм, 10%.

При настройке тактовой частоты 0,4 МГц и скорости обмена по CAN-интерфейсу 20 кбит/с, сопротивление подстроечного резистора оказалось меньше 2,2 кОм рекомендуемого из спецификации ТСКЯ.431295.005 СП: «для сопротивления резистора меньше 2,2 кОм частота тактового генератора может быть нестабильна или генерация может прекратиться». По этой причине емкость конденсатора была увеличена вдвое. При этих условиях получены следующие результаты эксперимента: устойчивая работоспособность обмена в диапа-

зоне частот тактирования 388–419 кГц при сопротивлении резистора 17 570–16 250 Ом соответственно. При остальных частотах достаточно емкости конденсатора 100 пФ. При тактовой частоте 1 МГц и скорости обмена по CAN-интерфейсу 50 кбит/с получены следующие результаты: устойчивая работоспособность обмена в диапазоне частот тактирования 961–1050 кГц и сопротивлении резистора 12 400–11 310 Ом соответственно. При тактовой частоте 2 МГц и скорости обмена по CAN-интерфейсу 100 кбит/с: 1924–2106 кГц и 5420–5980 Ом соответственно. Возможно применение резисторов с сопротивлением из стандартного ряда. Обмен по CAN-интерфейсу устойчивый. Абсолютное отклонение от тактовой частоты 0,4 МГц и скорости обмена по CAN-интерфейсу 20 кбит/с составило ± 15 кГц. А при 1 МГц, 50 кбит/с и 2 МГц, 100 кбит/с составило ± 44 кГц и ± 91 кГц соответственно. Из этого следует, что отклонение от заданной частоты может составлять около 4%. Джиттер частоты тактирования микроконтроллера на частотах 0,4, 1 и 2 МГц показал ± 200 , ± 300 и ± 400 Гц соответственно.

Для анализа повторяемости схемы электрической принципиальной на микро-

контроллере K1886BE5Y, тактируемом от RS-генератора, было проведено исследование выборки из нескольких микросхем разной даты изготовления. Частоты тактирования: 0,4; 1 и 2 МГц. На частоте 0,4 МГц отклонение составило ± 3473 Гц, на 1 МГц – ± 7860 Гц и на 2 МГц – ± 10888 Гц. Полученные значения находятся в пределах абсолютного отклонения от тактовой частоты. Исходя из этого, можно полагать, что при одних и тех же номиналах конденсатора и резистора наблюдается повторяемость схемы.

Настройка CAN-модулей

Инициализация микроконтроллера K1986BE92Y начинается с включения внешнего генератора HSE (рис. 2). Значение частоты кварцевого резонатора выбирают из диапазона 2–16 МГц в соответствии со спецификацией ТСКЯ.431296.001 СП [3]. Сигнал тактирования с внешнего генератора HSE подается на цепь CPU_C1 установкой битов выбора источника CPU_C1_SEL[1:0], равной 2 в регистре MDR_RST_CLK->CPU_CLOCK. Далее, с помощью мультиплексора MUX тактовый сигнал подаем на цепь CPU_C2, очистив бит CPU_C2_SEL в том же

Таблица 2. Параметры для CAN-микроконтроллера K1986BE92Y

Регистры					Скорость передачи, бит/с	Частота тактирования HCLK, МГц
MDR_CANx ->BITTMNG				MDR_RST_CLK ->CPU_CLOCK		
SEG1	SEG2	PSEG	BRP	CPU_C3_SEL		
2	2	0	0	0	1 000 000	8
2	2	0	1	0	500 000	8
2	2	0	3	0	250 000	8
2	2	0	7	0	125 000	8
2	2	0	9	0	100 000	8
2	2	0	19	0	50 000	8
2	2	0	32	0	30 000	8
2	2	0	39	0	25 000	8
2	2	0	99	0	10 000	8
2	2	0	3	8	125 000	4
2	2	0	4	8	100 000	4
2	2	0	9	8	50 000	4
2	2	0	16	8	30 000	4
2	2	0	19	8	25 000	4
2	2	0	24	8	20 000	4
2	2	0	49	8	10 000	4
2	2	0	24	9	10 000	2
3	3	0	9	10	10 000	1
3	3	0	0	11	50 000	0,5
3	3	0	1	11	25 000	0,5
3	3	0	4	11	10 000	0,5
3	3	0	0	12	25 000	0,25

регистре управления тактовой частотой процессорного ядра. В использовании PLL нет необходимости, оставляем выключенным. После начинается этап настройки необходимой скорости обмена по CAN. Учитывая требуемое энергопотребление микроконтроллера, исходя из зависимости динамического тока потребления от частоты ядра (рис. 1) и с помощью таблицы 2, выбираем нужную скорость. Таблица 2 заполнена эмпирическим путем при условии тактовой частоты внешнего генератора HSE, равной 8 МГц. Взятые коэффициенты из таблицы необходимо записать в соответствующие битовые поля регистров управления MDR_CANx->BITTMNG и MDR_RST_CLK->CPU_CLOCK. Битовое поле CANx_BRG[7:0] в регистре управления тактовой частотой CAN-интерфейса MDR_RST_CLK->CAN_CLOCK оставляем без изменений равным нулю. Вследствие чего частота CANx_CLK равна HCLK. Из этого следует, что на вход микроконтроллера можно подавать произвольную тактовую частоту. Важно, чтобы HCLK была равна значениям из столбца «Частота тактирования HCLK, МГц» таблицы 2.

Коэффициенты таблицы 2 получены также по результатам исследования эмпирическим путем с помощью методики, описанной в спецификации ТСКЯ.431296.001 СП микроконтроллера K1986BE92Y [3].

Время битового интервала определяется по формуле:

$$TBIT(\text{мкс}) = 1\,000\,000 / \text{Скорость передачи.} \quad (1)$$

Время TQ фиксировано и определяется периодом генератора и программируемым

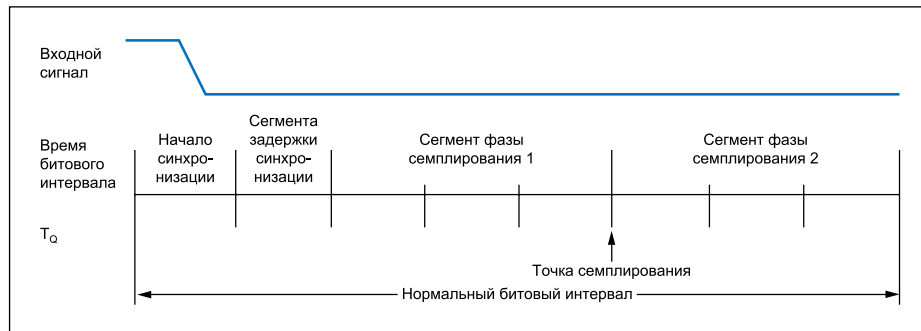


Рис. 3. Время битового интервала Nominal Bit Time

пределителем BRP со значением 1–65 536, вычисляется по формуле:

$$TQ(\text{мкс}) = (BRP+1)/F_{osc} \times 1\,000\,000. \quad (2)$$

Блок DPLL разбивает битовый интервал на интервалы Time Quanta (TQ) (рис. 3). Битовый интервал состоит из четырех частей:

1. Synchronization Segment (Sync_Seg).
2. Propagation Time Segment (Prop_Seg).
3. Phase Buffer Segment 1 (Phase_Seg1).
4. Phase Buffer Segment 2 (Phase_Seg2).

Время битового интервала Nominal Bit Time (NBT) вычисляется по формуле:

$$NBT(\text{мкс}) = TQ \times (\text{Sync_Seg} + \text{Prop_Seg} + \text{Phase_Seg1} + \text{Phase_Seg2}), \quad (3)$$

где

- Sync_Seg = TQ ,
- Prop_Seg = $TQ(PSEG+1)$,
- Phase_Seg1 = $TQ(SEG1+1)$,
- Phase_Seg2 = $TQ(SEG2+1)$.

Вычислим коэффициенты для настройки требуемой скорости обмена по CAN-интерфейсу. Пусть тактовая частота F_{osc} равна 1 МГц, а требуемая скорость обмена по CAN-интерфейсу 10 000 бит/с. Вычислим время битового интервала по формуле (1):

$$TBIT(\text{мкс}) = 1\,000\,000 / 10\,000 = 100(\text{мкс}).$$

Далее вычислим TQ по формуле (2) для начала $BRP = 9$:

$$TQ(\text{мкс}) = (9+1) / 1\,000\,000 \times 1\,000\,000 = 10(\text{мкс}).$$

После вычисляем NBT по формуле (3), принимаем, что $PSEG = 0$, $SEG1 = 3$, $SEG2 = 3$, тогда получаем:

$$NBT(\text{мкс}) = 10 \times (10 + 10 + 40 + 40) = 1000(\text{мкс}).$$

Теперь необходимо выполнить одно условие, предлагаемое автором. Получить следующее равенство:

$$TBIT = NBT / TQ = 1000 / 10 = 100(\text{мкс}).$$

Из этого следует, что требование по скорости обмена будет выполняться. Если результат получается неравнозначный, необходимо либо задать другую скорость обмена, сменив частоту тактирования, либо методом подбора коэффициентов BRP , $PSEG$, $SEG1$ и $SEG2$ добиться равенства значений между временем битового интервала $TBIT$ и частного NBT/TQ .

Инициализация микроконтроллера K1886BE5Y начинается сразу с настройки параметров CAN-модуля. Из таблицы 2, учитывая требуемое энергопотребление микроконтроллера (рис. 1), а также скорость обмена, берем соответствующие коэффициенты. Далее их необходимо записать в соответствующие битовые поля регистров управления CAN_BRG1, CAN_BRG2 и CAN_BRG3. Коэффициенты таблицы 3 получены также

Таблица 3. Параметры для CAN-микроконтроллера K1886BE5Y

Регистры				Скорость передачи, бит/с	Частота тактирования, МГц
CAN_BRG1	CAN_BRG2		CAN_BRG3		
BRP	SEG1	PSEG	SEG2		
0	0	0	0	250 000	4
0	1	0	0	200 000	4
0	0	0	1	200 000	4
1	1	0	0	100 000	4
1	0	0	1	100 000	4
3	1	0	0	50 000	4
3	0	0	1	50 000	4
7	1	0	0	25 000	4
7	0	0	1	25 000	4
0	0	0	0	125 000	2
0	1	0	0	100 000	2
0	0	0	1	100 000	2
0	3	0	3	50 000	2
1	3	0	3	25 000	2
1	3	0	3	25 000	2
1	1	0	0	40 000	1,6
1	0	0	1	40 000	1,6
0	0	0	1	50 000	1
0	1	0	0	50 000	1
0	3	0	3	25 000	1
1	0	0	1	20 000	0,8
1	1	0	0	20 000	0,8
0	3	0	3	20 000	0,8
0	1	0	0	30 000	0,6
0	0	0	1	30 000	0,6
0	0	0	1	25 000	0,5
0	1	0	0	25 000	0,5
0	1	0	0	20 000	0,4
0	0	0	1	20 000	0,4
0	3	0	3	10 000	0,4

по результатам исследования эмпирическим путем с помощью методики, описанной в спецификации ТСКЯ.431295.005 СП микроконтроллера K1886BE5Y.

Время битового интервала определяется по формуле (1). Время TQ фиксировано и определяется периодом генератора и программируемым прескалером BRP со значением 1–64 в дополнение к $\frac{1}{4}F_{osc}$, определяется по формуле:

$$TQ (\text{мкс}) = (4 \times (BRP + 1) / F_{osc}) \times 1\,000\,000. \quad (4)$$

Блок DPLL разбивает битовый интервал на интервалы TQ (рис. 3). Битовый интервал состоит так же, как и в 1986BE92Y, из четырех частей. Время битового интервала Nominal Bit Time вычисляется по формуле (3).

Вычисление коэффициентов для настройки требуемой скорости обмена по CAN-интерфейсу осуществляется по тому же алгоритму, что и для 1986BE92Y, за исключением того, что вместо формулы (2) используется формула (4). На скорости обмена 10 кбит/с на отладочной плате для микроконтроллера K1886BE5Y наблюдались сбои на при-

еме. Связано это с импортной микросхемой АТА6660 в момент передачи АСК подтверждения. Поэтому в таблице 3 перечислены скорости, которые гарантированно проверены автором статьи.

При обмене сообщений по CAN-интерфейсу, по цепи питания микроконтроллера K1986BE92Y наблюдаются скачки тока до нескольких миллиампер. На K1886BE5Y такой эффект отсутствует, вне зависимости от нагрузки обмена на интерфейсе CAN.

Заключение

Микроконтроллеры K1886BE5Y и K1986BE92Y могут быть успешно применены в системах малого энергопотребления, где требуется CAN-интерфейс. Полученные автором результаты исследования имеют неограниченную пользу для инженеров-конструкторов в приборостроении. На фоне всех полученных данных выделяется микроконтроллер K1886BE5Y, что позволяет оценить перспективу его применения, несмотря на достаточно новое по современным критериям ядро PIC17. Минимальный ток потребления при

тактовой частоте 0,4 МГц и скорости обмена по CAN-интерфейсу 20 кбит/с от резонатора или от встроенного генератора RS составляет 1,2 мА, а от внешнего генератора всего 1 мА. Особый интерес вызван возможностью работы микроконтроллера от встроенного RS-генератора, это позволяет минимизировать габариты разрабатываемого устройства за счет расположения частотозадающих элементов на обратной стороне платы печатного монтажа. Примеры исходных кодов для микроконтроллеров можно скачать по ссылке [4]. ■

Литература

1. www.milandr.ru
2. Микроконтроллер K1886BE5Y. www.ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protsessory/8_razryadnye_mikrokontrollery/1886ve5bu/#docs_tab
3. Микроконтроллер K1986BE92Y1. www.ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protsessory/32_razryadnye_mikrokontrollery/risc/1986ve92u/#docs_tab
4. Форум компании АО «ПКК Миландр». <https://forum.milandr.ru/viewtopic.php?f=3&t=4236>