

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 53.08:004

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВРЕМЯ–КОД С РАЗРЕШЕНИЕМ 2 нс

© 2018 г. В. В. Сидоркин

*Объединенный институт ядерных исследований
Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6
e-mail: sidorkin@jinr.ru*

Поступила в редакцию 19.06.2017 г.
После доработки 19.09.2017 г.

Описан одноканальный преобразователь время–код (п.в.к.), выполненный в стандарте КАМАК (1М), предназначенный для измерения временного интервала с временным разрешением 2 нс в диапазоне от 0 до ~ 131 мкс. Этот диапазон может быть расширен подключением дополнительного внешнего счетчика. Преобразователь относится к счетно-импульсному типу с калибруемой шкалой преобразования. В качестве источника счетных импульсов используется рециркуляционный генератор на основе микросхемы K500LM101. Число измеряемых интервалов времени – 1. Для увеличения числа регистрируемых интервалов времени по одному сигналу *Старт* предусмотрена возможность объединения нескольких п.в.к. в многостоповую измерительную систему. Дифференциальная нелинейность 1%, интегральная нелинейность в указанном диапазоне – 0.001%. Относительная нестабильность коэффициента преобразования в зависимости от изменения напряжения питания в пределах $-6 \text{ В} \pm 2.5\%$ равна 0.24%. Температурный дрейф коэффициента преобразования в диапазоне температур от 22.6 до 65.7°C составляет 0.07%/°C.

DOI: 10.7868/S003281621803028X

Преобразователь время–код ПВК-1.2.16 (п.в.к.) выполнен в стандарте КАМАК и занимает одну станцию. Он предназначен для измерения единичного интервала времени длительностью от 0 до ~ 131 мкс с временным разрешением порядка 2 нс. На рисунке представлена функциональная схема данного п.в.к. Он относится к счетно-импульсному типу с калибруемой шкалой преобразования [1–3]. Требование калибровки возникает из-за учета того обстоятельства, что используемый в качестве источника счетных импульсов рециркуляционный генератор на основе микросхемы K500LM101 серии ЭСЛ (D5.x на рисунке), осуществляет смену состояний с шагом, равным длительности внутренней задержки единичного логического элемента (порядка 2 нс), величина которой зависит от температуры и напряжения питания [4]. Калибровка позволяет определить величину этой задержки для текущих условий эксплуатации. Калибровочный импульс заданной длительности подается в модуль либо от внешнего источника через разъем LEMO на его лицевой панели (“Строб 1”), либо по команде F(25)A(0)S1 генерируется внутри модуля из импульсов встроенного кварцевого генератора.

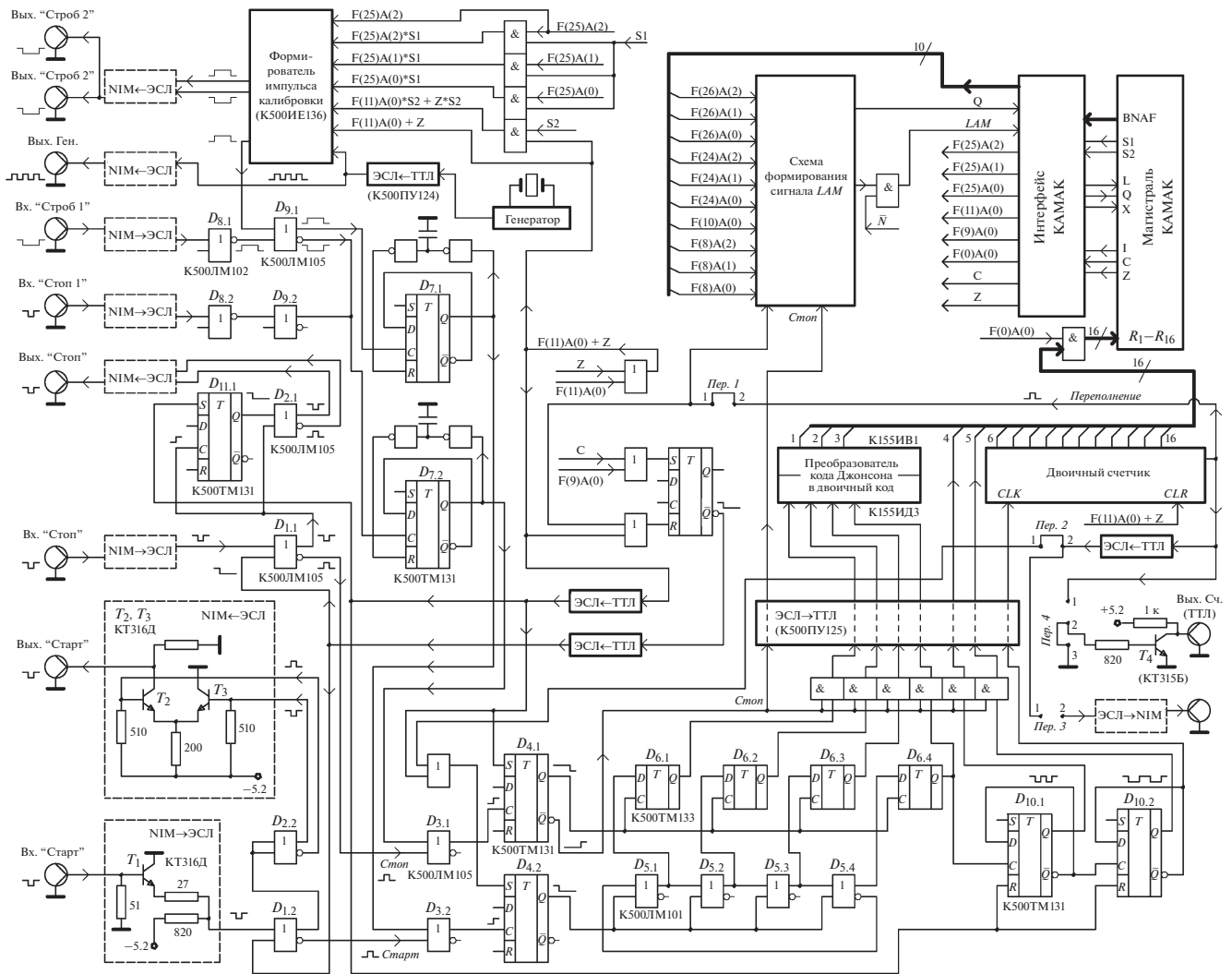
Применение микросхем ЭСЛ в качестве генератора счетных импульсов обусловлено не только их высоким быстродействием, но и тем, что по-

требляемая мощность у них практически не зависит от частоты переключений. Данное свойство является важным, так как схема преобразователя работает в апериодическом старт-стопном режиме.

В рассматриваемом п.в.к. осуществлена автоматическая синхронизация начала генерации измерительной серии импульсов (триггер $D_{4.2}$) с фронтом сигнала *Старт*.

На рисунке видно, что сигналы *Старт* и *Стоп*, а также сигналы калибровки парно проходят через одни и те же элементы схемы преобразователя. Кроме того, при проектировании платы длины проводников для этих сигналов были выравнены друг относительно друга. Все это в совокупности позволило свести относительную разницу во времени распространения указанных сигналов внутри блока до величины, не превышающей ширину одного канала.

По фронту сигнала *Старт* триггер $D_{4.2}$ подает разрешающий потенциал на вход управления рециркуляционного генератора ($D_{5.1}$ – $D_{5.4}$), после чего в нем начинается циклический процесс смены состояний с шагом порядка 2 нс и периодом повторения их комбинаций $T \approx 16 \text{ нс}$ ($f \approx 62 \text{ МГц}$). Каждый полный цикл смены состояний рециркуляционного генератора подсчитывается двоич-



Функциональная схема ПВК-1.2.16.

ным счетчиком, состоящим из двух частей. Первая часть (2 разряда) выполнена на микросхеме K500TM131 ($D_{10.1}$, $D_{10.2}$) и она необходима для уменьшения частоты переключений до величины, при которой могут работать счетчики серии ТТЛШ. Вторая часть счетчика (11 разрядов) собрана на трех микросхемах КР1533ИЕ7, на которую счетные импульсы поступают от его первой части через преобразователь уровня ЭСЛ в ТТЛ (микросхема K500ПУ125). В последнем из этих трех счетчиков КР1533ИЕ7 задействованы только первые три разряда – последний разряд используется для формирования сигнала переполнения. Таким образом, общая емкость двоичного счетчика для подсчета числа полных циклов рециркуляционного генератора равна 13 разрядам.

По фронту сигнала *Стон* выполняется запись текущего состояния рециркуляционного генератора в триггер на микросхеме K500TM133 ($D_{6.1}$ –

$D_{6.4}$ – так называемая “защелка”). Информация в этом триггере представлена в 4-разрядном коде Джонсона, который затем посредством микросхем K155ИД3 и K155ИВ1 преобразуется в трехразрядный двоичный код. Этот трехразрядный двоичный код образует младшие разряды единого 16-разрядного слова, старшие разряды которого представлены содержимым 13-разрядного счетчика, в котором зафиксировано число полных циклов работы рециркуляционного генератора.

Следует отметить, что во время измерения, до прихода сигнала *Смон*, на четырех выходах триггера $D_{6.1}$ – $D_{6.4}$ и двух выходах триггеров $D_{10.1}$, $D_{10.2}$ присутствуют сигналы частотой порядка 62 МГц ($D_{6.1}$ – $D_{6.4}$), 31 МГц ($D_{10.1}$) и 15 МГц ($D_{10.2}$). Для предотвращения наводок на шины питания при трансляции данных сигналов от уровня ЭСЛ к уровню ТТЛ предусмотрена их блокировка на время измерения ($D_{4.1}$ и схемы &). С приходом

сигнала *Стон*, состояния $D_{6.1}$ – $D_{6.4}$, $D_{10.1}$, $D_{10.2}$ фиксируются, после чего блокировка их выходов снимается.

Для увеличения диапазона измеряемых интервалов времени предусмотрена возможность подключения внешнего счетчика. Для этой цели импульсы переполнения через буферные схемы подаются на два выходных разъема, один из которых предназначен для вывода сигнала уровня ТТЛ, а другой – уровня ЭСЛ. Так как по сигналу переполнения блокируются входы для сигналов *Старт* и *Стон* и останавливается работа рециркуляционного генератора, то в случае использования внешнего счетчика следует убрать переключки *Пер. 1* и *Пер. 2*, а переключками *Пер. 3* или *Пер. 4* выбрать требуемый тип выходного сигнала.

В данном п.в.к. предусмотрена возможность их совместной работы, когда по одному общему сигналу *Старт* измеряется несколько временных интервалов, число которых равно количеству используемых блоков. В этом включении входной сигнал *Старт* первого блока транслируется на второй блок через выходной разъем “Вых. “Старт” (микросхемы $D_{1.2}$, $D_{2.2}$) и далее, по подобной схеме, он поступает на все последующие блоки, в которых последовательно, с нарастающей задержкой, запускаются их рециркуляционные генераторы.

По первому сигналу *Стон* в первом блоке фиксируется первый измеряемый интервал и дается разрешение (триггер $D_{11.1}$) на трансляцию всех последующих сигналов *Стон* через выходной разъем “Вых. “Стоп”, при этом используются те же микросхемы ($D_{1.1}$, $D_{2.1}$), через которые передавался на выход и сигнал *Старт*. То же самое для сигналов *Стон* происходит и в других блоках, включенных в измерительную цепочку. Таким образом, сигналы *Стон* передаются с той же нарастающей и выравненной от блока к блоку задержкой, что и сигнал *Старт*. Такое включение позволяет устранить влияние внутренних задержек в блоках на процесс измерения временных интервалов. Само собой разумеется, что длины кабелей (соответственно, их временные задержки), соединяющие соседние по измерительной цепочке модули, должны быть попарно выравнены. Физически модули измерительной цепочки могут находиться в произвольных местах крейта КАМАК или даже разнесены по нескольким крейтам, где есть свободные места.

Помимо входов “Старт” и “Стоп” для измерения интервалов времени можно использовать входы “Строб 1” и “Стоп 1”. Для этого на вход “Строб 1” надо подать сигнал известной длительности, действие которого аналогично действию сигнала *Старт*, после чего ожидается приход стопового сигнала через вход “Вх. “Стоп 1”. При этом фронт сигнала на входе “Стоп 1” должен

оказаться по времени внутри сигнала на входе “Строб 1”. Если этого не произойдет, то с приходом спада сигнала на вход “Строб 1” ($D_{7.2}$) будет измерена длительность данного сигнала, которая наперед известна, и это укажет на то, что в заданном интервале времени сигнала на входе “Стоп 1” не было. Другое значение длительности, меньшее длительности сигнала на входе “Строб 1”, будет означать, что сигнал на входе “Стоп 1” был и что полученный код соответствует измеряемому интервалу времени.

На лицевую панель выведены сигналы от встроенного кварцевого генератора ($f = 20$ МГц) и два идентичных сигнала калибровочных импульсов (на выходах “Строб 2”), генерируемых блоком по команде F(25)A(1)S(1). Длительность сигналов на выходах “Строб 2” может задаваться как аппаратно, так и программно. Аппаратно код длительности калибровочных импульсов задается с помощью переключки на входах двоичного счетчика K500IE136. Данный код загружается в счетчик по командам ZS(2) и F(11)A(0)S(2).

Программно код устанавливается через подсчет тем же счетчиком K500IE136 числа отправленных блоку команд F(25)A(2)S(1) – не более 15 команд, так как счетчик 4-разрядный. Минимальная длительность сигналов на выходах “Строб 2” равна периоду генератора.

Сигнал *LAM* выставляется блоком в случае прихода сигнала *Стон* или при переполнении счетчика. Если для расширения измеряемого интервала времени используется внешний счетчик, то в этом случае убирается переключка *Пер. 1*, и *LAM* от переполнения внутреннего счетчика п.в.к. не выставляется.

Интегральная нелинейность данного п.в.к. в указанном диапазоне равна 0.001%, дифференциальная нелинейность – 1%.

Температурный дрейф коэффициента преобразования в диапазоне температур от 22.6 до 65.7°C составляет 0.07%/°C.

В пределах требований, указываемых стандартом КАМАК для источника питания –6 В ($-6 \text{ В} \pm 2.5\%$), изменение коэффициента преобразования составляет 0.24%. Значения указанных выше величин зависят от конкретного экземпляра примененной микросхемы K500LM101 (или ее аналога).

Необходимо заметить, что указанные характеристики не относятся к интервалу времени от момента подачи напряжения питания на п.в.к. и до момента перехода его в стабильный температурный режим. Учитывая то, что долговременная стабильность рециркуляционного генератора в сравнении с кварцевым генератором невелика, для получения наиболее точных результатов рекомендуется непосредственно после каждого измерения проводить калибровку п.в.к.

Схему счетно-импульсной части данного п.в.к. можно рассматривать как обычный много-разрядный счетчик, с эквивалентной частотой счета порядка 500 МГц, а сам п.в.к. – как время-цифровой преобразователь прямого преобразования с ждущим генератором опорной частоты 500 МГц. Для его изготовления использованы элементы, находящиеся в широком доступе (в том числе и полностью российского происхождения), а после их монтажа схема п.в.к. не требует настройки.

Команды блока:

F(0)A(0) – чтение кода времени с линий R1-R16;

F(8)A(0) – проверка наличия общего запроса *LAM*, $Q = L$;

F(8)A(1) – проверка наличия запроса *LAM* – требования от сигнала *Стоп*, $Q = L$;

F(8)A(2) – проверка наличия запроса *LAM* – требования от сигнала *Переполнение*, $Q = L$;

F(9)A(0) – снятие блокировки со входов “Старт” и “Стоп”;

F(10)A(0) – сброс всех запросов *LAM*;

F(11)A(0) – общий сброс п.в.к.;

F(24)A(0) – блокировка общего *LAM*-требования;

F(24)A(1) – установка маски на запрос по сигналу *Стоп*;

F(24)A(2) – установка маски на запрос по сигналу *Переполнение*;

F(25)A(0) – калибровка п.в.к. внутренним сигналом заданной длительности;

F(25)A(1) – генерация выходного импульса заданной длительности *Строб 2*;

F(25)A(2) – увеличение значения счетчика, определяющего длительности импульса калибровки, на единицу (максимум 15 команд);

F(26)A(0) – разрешение общего *LAM*-требования;

F(26)A(1) – снятие маски с *LAM*-требования от запроса, выставляемого по сигналу *Стоп*;

F(26)A(2) – снятие маски с *LAM*-требования от запроса, выставляемого по сигналу *Переполнение*;

S – снятие блокировки с входов “Старт” и “Стоп”;

Z – общий сброс п.в.к.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелешко Е.А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1987. С. 132–141.
2. Абрамов Г.Н., Абрамов Ю.Г. // Автоматизация процессов управления. 2012. № 2. С. 66.
3. Вихарев Л. // Компоненты и технологии. 2003. № 27. С. 78.
4. <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/TND309-D.PDF>