



АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

КиҮі--88-26

Препринт КИЯИ-88-26

В.Н.Урин

СТАБИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ  
ТОК-ЧАСТИЦА ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ  
ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

КИЕВ

УДК: 621.384.6.08

В.Н.Урин

СТАБИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОК-ЧАСТОТА ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ  
ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ.

Описан стабильный преобразователь ток-частота, предназначенный для мониторинга тока пучка заряженных частиц и построенный на базе однокристального 3 1/2 -разрядного АЦП ( К572ПВ2 ). Преобразователь обеспечивает измерение токов в диапазоне  $2 \times 10^{-6} \div 10^{-10}$  А и имеет долговременную и температурную стабильность на уровне 0,1%.

A stable current-to-frequency converter for beam current measuring, based on a single chip 3 1/2 digit A/D converter is described. It is suitable for current measuring in  $2 \times 10^{-6} \div 10^{-10}$  A range and has a longterm and thermal stability about 0,1% .

A stable current-to-frequency converter for beam current monitoring.

V.N. Urin

АКАДЕМИЯ НАУК УССР

В.Н.Урин

СТАБИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОК-ЧАСТОТА  
ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Киев, Институт ядерных исследований , 1988

Ключевые слова:

мониторирование пучка, токи пучка, цифровые преобразователи, устойчивость, измерение частоты;

kiev cyclotron, beam monitoring, beam currents, analog-to-digital converters, stability, frequency measurement.



Институт ядерных исследований АН УССР, 1988

При проведении экспериментов на ускорителях существует необходимость мониторингирования пучка заряженных частиц, величина которого в большинстве случаев лежит в пределах от сотен до единиц наноампер. Обычно для этой цели применяют цилиндр Фарадея, к которому подключен преобразователь ток-частота (ПТЧ) и пересчетный прибор, осуществляющий счет сигналов ПТЧ и индикацию заряда, накопленного за время экспозиции. При этом точность мониторингирования в основном определяется характеристиками ПТЧ: точностью и линейностью его коэффициента преобразования, а также долговременной и температурной стабильностью.

В настоящее время многими экспериментальными группами института используется простой и широкодиапазонный ПТЧ /1/, обеспечивающий точность измерения токов 1% вплоть до величин порядка 0,5 нА и достаточно высокую надежность работы. Однако этот преобразователь имеет определенные недостатки: требует тщательной индивидуальной подстройки для получения отсчетов непосредственно в единицах заряда и периодической калибровки с помощью эталонных источников тока, а его нестабильность находится на уровне 1% из-за дрейфа порогов компаратора, входящего в состав ПТЧ.

Техническое решение<sup>2</sup>, предложенное в работе /2/, в значительной мере лишено указанных недостатков. Суть его в том, что входной ток преобразуется на высокоточном стабильном резисторе в напряжение, которое измеряется однокристалльным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), имеющим высокое входное сопротивление и автокомпенсацию дрейфа нуля. В этом случае можно обеспечить точность и стабильность преобразования порядка 0,1%, а при соответ-

ствующем выборе значения тактовой частоты и величины резистора число отсчетов за секунду будет соответствовать заряду в нанокулонах.

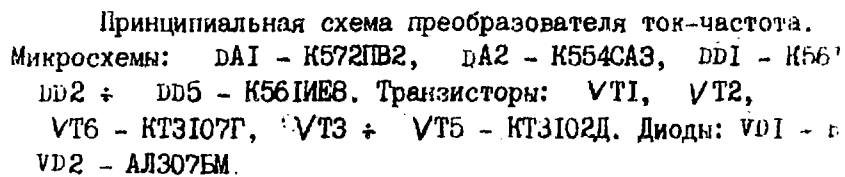
Описываемый ниже преобразователь представляет собой реализацию технического решения / 2 / на элементной базе, выпускаемой отечественной промышленностью.

Принципиальная схема разработанного ИТЧ приведена на рисунке. Основу схемы составляет БИС 3 1/2 разрядного АЦП К572ПВ2, работающего по принципу двойного интегрирования и имеющего ток утечки по входу порядка  $2 \text{ нА} / 3 /$ . Благодаря автоматической коррекции нуля в каждом цикле преобразования погрешность за счет напряжения смещения нуля и его температурного дрейфа не превышает  $10 \text{ мкВ}$ . Существенной особенностью данного АЦП является также наличие дифференциального входа и высокая степень подавления симфазных сигналов ( $100 \text{ дБ}$ ), что позволяет осуществлять измерения в условиях действия помех.

Принцип работы К572ПВ2 достаточно подробно описан в / 4 / . Цикл преобразования  $T_{\text{пр}}$  состоит из трех фаз: интегрирования сигнала (ИНТ), разряда интегрирующего конденсатора  $C_{\text{и}}$  (РИ) и автоматической коррекции нуля (АК), а его величина связана с тактовой частотой  $f_T$  соотношением  $T_{\text{пр}} = 16 \times 10^3 / f_T$ .

Цифровой счетчик, входящий в состав БИС, делит тактовую частоту на 4, задает длительность фазы ИНТ ( $10^3$  тактов счета или  $4 \times 10^3$  периодов тактовой частоты), подсчитывает длительность фазы РИ, которая пропорциональна входному напряжению и может изменяться от 0 до 1999 тактов счета, а также обеспечивает переключение в режим АК (от 1000 до 3000 тактов счета). В соответствии с рекомендацией / 2 / тактовая частота выбрана равной  $40 \text{ кГц}$ . При этом эффективно подавляются помехи с частотой 50 и  $400 \text{ Гц}$ , а цикл преобразования составляет  $400 \text{ мс}$ . Для повышения стабильности работы преобразователя использован внешний источник тактовой частоты, состоящий из кварцованного опорного генератора на  $200 \text{ кГц}$  (DD1.1, DD1.4) и делителя на 5 (DD2).

Внешнее опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$ , необходимое для работы К572ПВ2 и определяющее диапазон входного сигнала ( $U_{\text{вх. макс}} = \pm 1,999 U_{\text{оп}}$ ), вырабатывается опорным источником, имеющим нестабильность по питающему напряжению лучше  $10^{-4}$ , а по температуре - порядка  $10^{-5}$ . Источник построен на базе прецизионного стабилизатора типа КС191Ф, генераторов тока ( $VT_1$  и  $VT_3$ ) и регулируемого резистивного делителя. Точное значение  $U_{\text{оп}} = 100 \text{ мВ}$  получа-



ют с помощью многооборотного резистора  $R_{\Pi}$ .

Цифровая информация на выходе К572ИВ2 представлена в специальном параллельном коде для семисегментных индикаторов. Поэтому производится формирование последовательного кода методом заполнения импульсами тактовой частоты интервала времени, соответствующего фазе ИИ. Этот интервал присутствует на выв.5 БИС в виде отрицательного импульса переменной длительности с амплитудой 100 мВ. Регенеративный компаратор (DA2), порог которого установлен на уровне 50 мВ, формирует из этого импульса сигнал разрешения для схемы совпадений (DD1.3), пропускающей соответствующее количество импульсов тактовой частоты. Если величина резистора, преобразующего входной ток  $i$  (нА) в напряжение, равна  $R_{\text{ТН}}$  (в МОм), то за интервал ИИ схема совпадений пропустит  $40i R_{\text{ТН}}$  импульсов, а за секунду —  $100 i R_{\text{ТН}}$  импульсов.

Счетчики на DD3 и DD5 делят на 100, а счетчик с переменным коэффициентом деления (DD4) на  $R_{\text{ТН}}$ . При выборе  $R_{\text{ТН}}$  в диапазоне от 2 до 10 МОм соответствующий коэффициент деления счетчика получают, соединяя выход дешифратора с нужным номером со входом сброса.

Таким образом, число выходных импульсов ПТЧ за секунду будет равно  $i$  (нА).

Составной повторитель ( $VT_4, VT_5$ ) обеспечивает работу на удаленную низкоомную нагрузку, а каскад на  $VT_6, VD_2$  — индикацию наличия выходного сигнала.

Преобразователь смонтирован на плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 100мм × 50мм и помещен в экранную коробку из латуни. Чтобы уменьшить токи утечки, монтаж входной цепи вплоть до выв.8 БИС осуществлен на стойках из фторопласта, остальные соединения выполнены с помощью печатного монтажа. Чтобы обеспечить возможность подавления синфазной помехи, входной разъем изолирован от корпуса.

Проверка работоспособности преобразователя осуществляется при соединении кабелем его входа с выходом контрольного генератора тока, входящего в состав ПТЧ и образованного опорным источником +9В и высокоомным резистором. Зажигание светодиодного индикатора свидетельствует при этом о формировании выходных сигналов.

Преобразователь не требует дополнительной калибровки, поскольку его коэффициент преобразования однозначно определяется выбором тактовой частоты и обеспечивает долговременную и тем-

пературную нестабильность на уровне 0,1% за 8 ч работы в интервале температур  $20 \pm 40^\circ \text{C}$ . Линейность преобразования в основном определяется АЦП, для которого погрешность не превышает от  $\pm 1$  до  $\pm 3$  ед. счета.

Следует отметить относительный недостаток данного ПТЧ, который связан с тем, что примененный АЦП имеет сравнительно малую разрядность и фиксированную погрешность выделения интервала РИ, равную 1 такту счета. Вследствие этого динамический диапазон по входу для получения точности лучше 1% составляет  $20 : 1$  при полном диапазоне  $2000 : 1$ . Так, при  $R_{\text{TH}} = 1 \text{ МОм}$  с указанной точностью можно измерять токи от 199,9 нА до 10,0 нА. Если этот интервал удовлетворяет требованиям эксперимента, то из схемы можно исключить счетчик с переменным коэффициентом деления.

Для смещения измерительного интервала в сторону малых токов следует увеличить  $R_{\text{TH}}$  и соответственно изменить коэффициент деления. При этом, однако, необходимо учитывать, что для больших  $R_{\text{TH}}$  возрастает влияние погрешностей, связанных с токами утечки и входным током БИС.

Все же эксплуатационное неудобство, связанное с необходимостью такой перестройки, не создает значительных трудностей при использовании данного преобразователя, в то время как его стабильность и помехоустойчивость обеспечивают высокую точность и надежность мониторинга.

Помимо основного назначения преобразователь используется для калибровки ПТЧ меньшей точности /1/, применяемых для измерения тока на диафрагмах, мишенях, датчиках положения пучка и т.д..

#### Список использованной литературы

1. Исаев А.Г., Урин В.Н., Халдин С.Ф. Простой преобразователь ток-частота. -Препринт 81.18. -Н.:ИЛИ АН УССР, 1981. -6с.
2. Bose S., Bhattacharya R. Beam Current Integrator Using a Single Chip A/D Converter. -Nucl.Instr.Meth., 1986, v. A251, 3, p.527-530.
3. Агрич Ю.В., Алдерс М.Р., Иванов В.Н., Куценко В.М., Мухин А.А., Смирнов Ю.Ф. Аналого-цифровой преобразователь КР572ПВ2. - Электронная промышленность, 1983, вып.4, с.52.
4. Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. -М.:Радио и связь, 1984, с.51.

Владимир Наумович Урин  
СТАБИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОК-ЧАСТОТА  
ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
(Препринт КИЯИ-88-26)

Редакторы: Л.П.Малашкина  
Н.А.Солдатенко

Подписано к печати 26.04.88 г.

ВФ 18790

Бумага офсетная

Усл. - печ.л. - 0,62

Изд. № КИЯИ-88-26

Печать офсетная

Уч. - изд.л. - 0,2

Тип. заказ 169

Формат бумаги 60х90/16

Тираж 200 экз.

Цена 2 коп.

---

СКИБ с ЭП Института ядерных исследований АН УССР  
252028, Киев-28, проспект Науки, 47