

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 621.3.088.7

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО
ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ТОКОВ

© 2013 г. Н. А. Лукин, Л. С. Рубин

Поступила в редакцию 07.08.2012 г.
После доработки 06.12.2012 г.

DOI: 10.7868/S0032816213050200

В лаборатории функционально-ориентированных процессоров Института машиноведения УрО РАН был создан лабораторный комплекс, ядром которого является четырехканальный измеритель со структурной схемой, представленной на рис. 1. Он предназначен для прецизионного измерения в реальном времени токов малых величин в условиях действия электромагнитных полей [1]. Этот комплекс необходим для экспериментов с целью создания мобильных измерительных комплексов нового поколения, которые предполагается ис-

пользовать в системах реального времени различного назначения – неразрушающий контроль, навигационные системы, микроэлектроника и т.п. [2].

Каждый измерительный канал осуществляет преобразование “аналог–код” интегрирующего типа с двухтактным интегрированием. Принципиальной особенностью измерителя является использование нелинейной функциональной шкалы преобразования и компенсационного метода борьбы с внешними электромагнитными помеха-

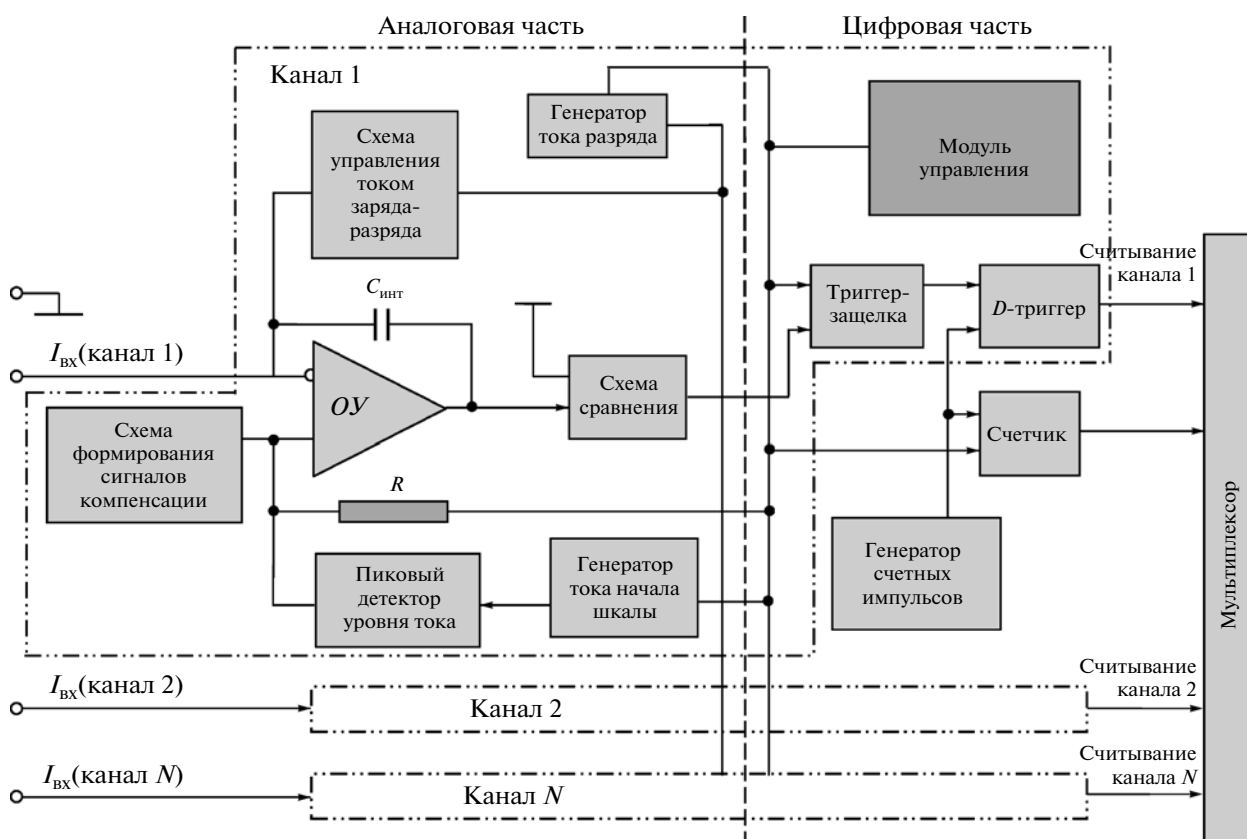


Рис. 1. Структурная схема измерителя.

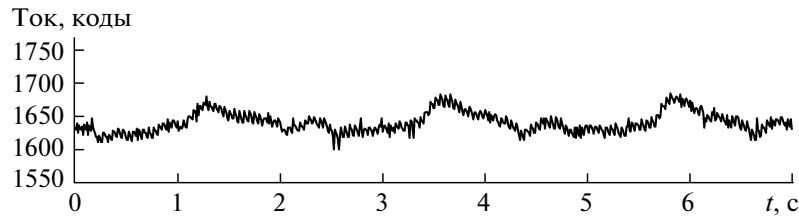


Рис. 2. Результаты измерения входного тока $I_{вх} = 1$ нА: количество измерений 700, время измерений 7 с, среднее значение 1639.63, среднеквадратическое отклонение 5.62, относительная погрешность 0.95%.

ми, имеющими аддитивный характер. Процесс измерения содержит два этапа: преобразование входного сигнала в заряд, накопленный на конденсаторе, и нелинейное преобразование накопленного заряда в цифровой код. Структурная схема измерителя состоит из гальванически развязанных аналоговой и цифровой частей.

Входной сигнал (ток $I_{вх}$) интегрируется операционным усилителем (ОУ) — интегратором, управление током заряда-разряда емкости интегратора $C_{инт}$ осуществляется схемой, переключаемой модулем управления. Время заряда постоянно, что обеспечивает линейную зависимость накопленного на конденсаторе заряда от величины входного сигнала. По окончании времени заряда начинается формирование тока разряда, монотонно меняющегося в течение времени разряда. От момента начала разряда измерительной емкости производится инкрементация содержимого цифрового счетчика импульсами высокой частоты. Напряжение на емкости интегратора сравнивается с нулевым пороговым уровнем с помощью схемы сравнения, при этом момент сравнения нелинейно зависит от уровня напряжения, до которого зарядилась емкость. Величина интервала времени разряда интегрирующей емкости определяется содержимым счетчика. В конце цикла измерения емкость интегратора перезарядается принудительно до исходного состояния.

При нелинейной шкале измерения от выбора нижней границы цифровой шкалы зависит как величина динамического диапазона измерения, так и относительная погрешность измерения наименьших значений измеряемой величины. Для регулирования нижней границы цифровой шкалы в схему введены элементы формирования тока начала шкалы, который обеспечивает получение начального кода при нулевом входном токе.

Схема формирования сигналов компенсации реагирует на аддитивные помехи, имеющие электромагнитную природу, таким образом, чтобы эффективно использовать свойство подавления

синфазных помех операционным усилителем-интегратором.

В четырехканальном варианте измерителя модуль управления, генератор счетных импульсов, счетчик и мультиплексор являются общими для всех каналов. При этом в состав мультиплексора входит один общий регистр на четыре канала измерителя. Такая структура позволяет в одном цикле проводить измерения любого числа независимых каналов.

Аппаратные решения лабораторного комплекса в части измерителя основаны на применении отечественной элементной базы, при этом получены следующие характеристики: динамический диапазон 60 дБ, нижняя граница динамического диапазона 1 нА при относительной погрешности не более 1%, длительность одного цикла преобразования 10 мс. Пример измерения входного тока 1 нА при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$, относительной влажности 70% и при наличии электромагнитных помех приведен на рис. 2.

Помехи возникают в связи с работой промышленного оборудования с мощностью потребления от электрической сети порядка 30 кВт, находящегося в смежных помещениях. Напряжение помех за интервал времени каждого измерения не превышало 20 мВ, что создает ток помехи порядка единиц микроампер.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 11-01-12126).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жесткова Ю.В. Дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2005.
2. Rako P. Measuring nanoamperes // EDN. April 26, 2007.

Адрес для справок: Россия, 620049, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34, Институт машиноведения УрО РАН. Тел (343)3753580.

E-mail: rubin281@yandex.ru