

В. П. РУБАН, П. В. ХОЛОД

Украина, г. Харьков, Институт радиофизики и электроники  
им. А. Я. Усикова  
E-mail: ruban@ire.kharkov.ua, kholod@ire.kharkov.ua

Дата поступления в редакцию  
22.04 2003 г.

Оппонент к. ф.-м. н. В. Б. ЕФИМОВ  
(ЦРЗЗ им. А. И. Калмыкова, г. Харьков)

## МАЛОГАБАРИТНЫЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ БЛОК С ПОНИЖЕННЫМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

*Рассматриваются схемотехнические и конструктивные пути уменьшения напряжения питания, понижения энергопотребления, уменьшения габаритов стробоскопического блока.*

Граничная частота современных импульсных георадаров выходит далеко за пределы 1 ГГц, а рефлектометры и осциллографы работают в полосе до 50 ГГц [1]. Высокая стабильность параметров приборов и чувствительность аппаратуры в такой широкой полосе частот обеспечивается использованием измерительных систем со стробоскопическим преобразованием сигнала. К числу их достоинств относятся также высокая точность передачи формы импульсов и простота сопряжения с цифровыми устройствами.

Но построение стробоскопических измерительных блоков, даже обладающих сравнительно небольшой полосой пропускания (порядка 1 ГГц), требует решения таких специфических задач как соблюдение жестких требований к параметрам синхронизирующих сигналов, а также подбор элементной базы высокочастотной части блока. В связи с этим основная часть блока — стробоскопический преобразователь «обрастает» большим количеством вспомогательных цепей стабилизации, синхронизации и т. д. В результате увеличиваются габариты блока, растет потребляемая мощность и стоимость.

Для портативной аппаратуры очень важны как размеры блоков, так и потребляемый ток. Целью данной работы было создать малогабаритный, низковольтный стробоскопический измерительный блок с высокой чувствительностью и широкой рабочей полосой частот.

### Понижение напряжения питания стробоскопического блока

Принципы стробоскопического преобразования изложены в [2], пример разработки стробоскопического преобразователя для портативных устройств можно найти в [3]. Конструктивно стробоскопический блок состоит из стробоскопического преобразователя и схемы автосдвига (рис. 1). Здесь генератор БПН — генератор быстрого пилообразного напряжения, МПН — сигнал от генератора медленного пилообразного напряжения. Обостритель и формирователь строб-импульсов входят в схему генератора строб-импульсов.

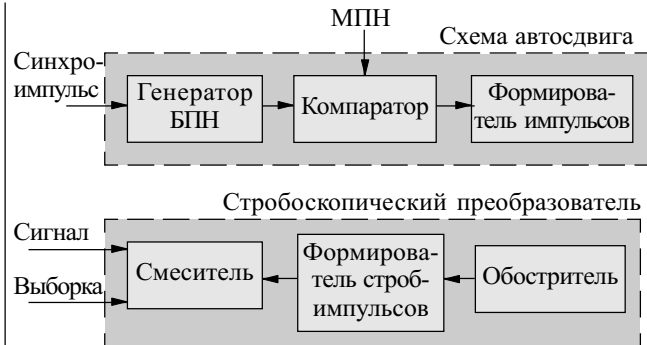


Рис. 1. Схема стробоскопического блока

Проанализируем возможность понижения напряжения питания стробоскопического блока. Основной помехой этому становится БПН. Рис. 2 поясняет принцип формирования временного окна (развертки) стробоскопического блока. По моменту времени, когда сравниваются уровни БПН и МПН, производится вы-

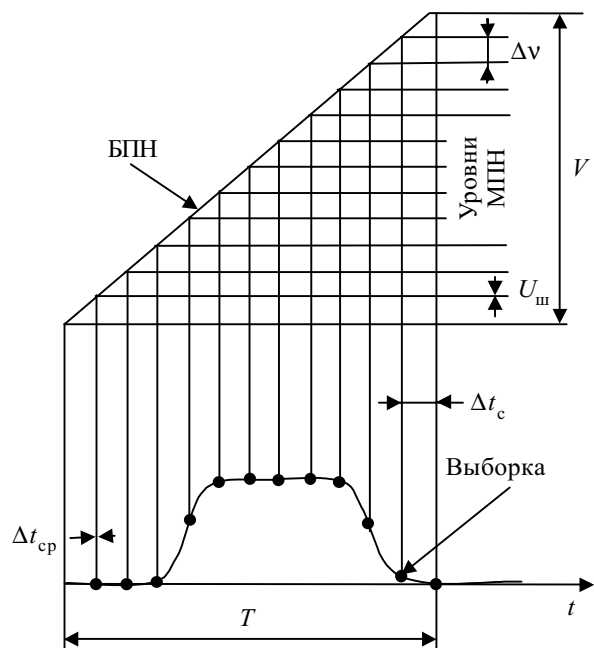


Рис. 2. К определению амплитуды БПН:  $\Delta t_{\text{сп}}$  — нестабильность времени сравнения;  $\Delta t_{\text{с}}$  — шаг считывания

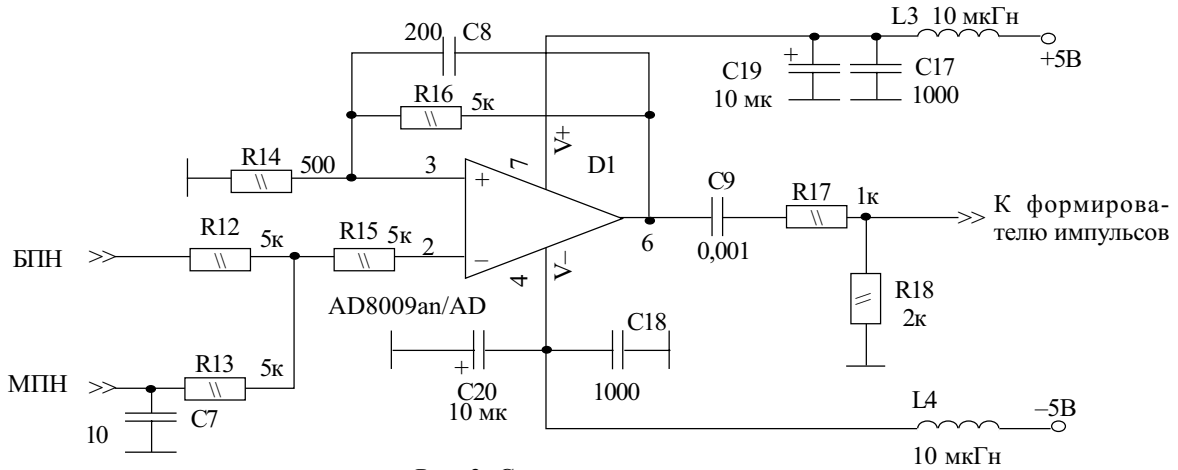


Рис. 3. Схема компаратора

борка из сигнала. Граничные моменты выборок определяют временное окно  $T$  (длительность развертки) [2, с. 110]:

$$T = V/S, \quad (1)$$

где  $V$  — амплитуда МПН;

$S = V_{\text{БПН}}/T_{\text{БПН}}$  — крутизна БПН;

$V_{\text{БПН}}$  — амплитуда БПН;

$T_{\text{БПН}}$  — время нарастания БПН.

В конечном счете

$$T = VT_{\text{БПН}}/V_{\text{БПН}}. \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что малые длительности развертки можно получить либо уменьшая  $V$ ,  $T_{\text{БПН}}$ , либо увеличивая  $V_{\text{БПН}}$ . Уменьшение  $V$  приводит к увеличению нестабильности момента сравнения, т. к.  $\Delta v$  — уровень МПН — становится сравнимым с шумовым напряжением сравнения  $U_{\text{ш}}$ . Уменьшение  $T_{\text{БПН}}$  ограничивает пределы просмотра временных задержек. Единственное, что представляется возможным, — это увеличить амплитуду БПН.

В современных стробоскопических осциллографax  $V_{\text{БПН}}$  достигает 30 В. В стробоскопических блоках георадаров  $V_{\text{БПН}} \approx 20$  В. Традиционная схема стробоскопического блока не дает возможности понизить напряжение питания до 5 В. Но если использовать двухполярное напряжение питания ( $\pm 5$  В) и при этом уменьшить нестабильность момента сравнения в компараторе, то можно сохранить пропор-

$$\text{цию } \frac{T}{T_{\text{БПН}}} = \frac{V_1}{V_{\text{БПН}1}} = \frac{V_2}{V_{\text{БПН}2}}.$$

Компаратор (рис. 3), использованный в схеме сравнения, собран на основе операционного усилителя AD8009. Преимущество этого компаратора в том, что AD8009 имеет низкоомный инвертирующий вход. Следовательно, в этой схеме шумовое напряжение  $U_{\text{ш}}$ , которое определяется только тепловыми шумами сопротивлений R12 — R16, может быть доведено до  $U_{\text{ш}} = 11$  мкВ. Благодаря этому данная схема компаратора позволяет получить нестабильность времени сравнения не более 3,6 пс при крутизне БПН  $S = 9$  В/мкс.

#### Уменьшение потребляемого тока

Обычно большая часть энергии расходуется на усиление импульса запуска генератора строб-импульсов.

Пиковая мощность в импульсе достигает 10 Вт. Поэтому схема формирователя, в которую входит импульсный усилитель, является основным потребителем тока (на усиление тратится до 0,1 А). Для уменьшения потребляемого тока предлагается уменьшить длительность импульсов. При этом большая мощность локализуется в коротком интервале времени, а средняя мощность уменьшается.

В разработанном стробоскопическом блоке схема формирователя на основе микросхемы 74НС123 формирует короткие симметричные импульсы длительностью 100 нс, амплитудой  $\pm 5$  В, что позволяет перейти в более экономичный режим и сократить потребление тока в импульсном режиме до 4,5 мА.

Для снижения энергопотребления в стробоскопическом преобразователе использована симметричная мостовая схема смесителя. Поскольку смеситель работает в режиме пикового детектора, 80% от потребляемого смесителем тока приходится на буферный выходной каскад на полевом транзисторе. К числу достоинств этой схемы относятся малые искажения сигнала в процессе преобразования, высокая чувствительность и стабильность.

В итоге потребляемый ток стробоскопического блока составил 62,3 мА. В таблице показано распределение потребляемого тока по составным частям блока.

Потребление тока	БПН	Компаратор	Формирователь	Обостритель	Смеситель
Потребляемый ток в ждущем режиме, мА	10	14	0,8	10	5
Добавка в импульсном режиме (частота 200 кГц), мА	2	4	4,5	10	2
Суммарное потребление	62,3 мА				

#### Линия формирователя строб-импульсов

Выборка из сигнала осуществляется по приходу на смеситель строб-импульса длительностью порядка 250 пс на уровне 0,5. Этот импульс формируется на короткозамкнутой щелевой линии (рис. 4) длиной 60 мм с размером щели 0,25 мм (волновое сопротивление 40 Ом) [4, 5]. Положение точки вывода строб-

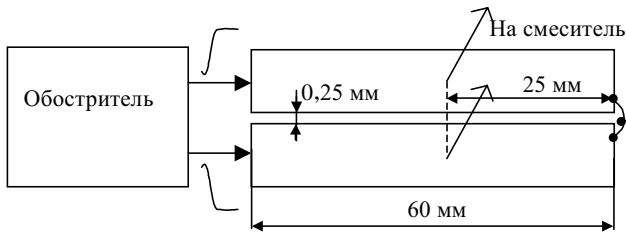


Рис. 4. Формирователь строб-импульсов на щелевой линии

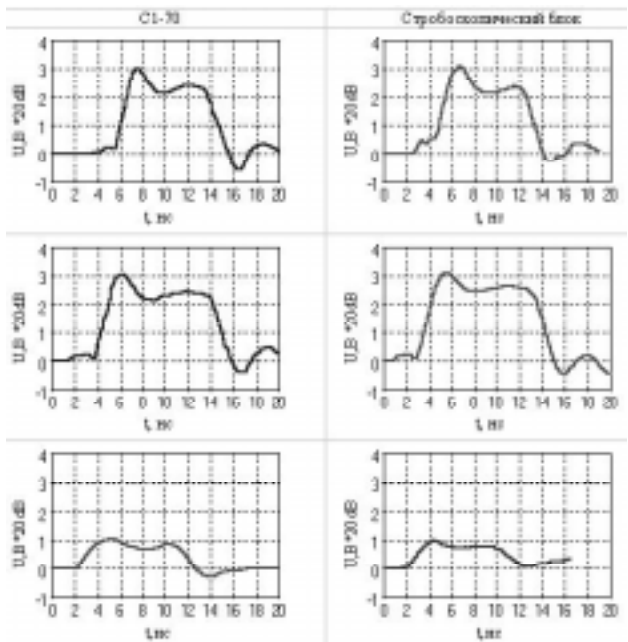


Рис. 5. Сравнение результатов преобразования сигнала осциллографом С1-70 и стробоскопическим блоком

звенем. Строб-преобразователь с таким формирователем можно выполнить полностью планарным способом и отказаться от применения навесных элементов — коаксиальных линий, отрезков волноводов.

Применение описанных выше подходов позволило создать стробоскопический блок со следующими характеристиками: напряжение питания  $\pm 5$  В, по-

требляемый ток 62,3 мА, чувствительность стробоскопического преобразователя при работе в режиме пикового детектора — не хуже 1 мВ, максимальная амплитуда принимаемого сигнала — не более 1 В, рабочая полоса частот — от 0 до 1 ГГц, размеры блока —  $30 \times 120 \times 10$  мм.

Сравнение преобразованных сигналов разработанного стробоскопического блока и стробоскопического осциллографа С1-70 с блоками Я40-1700, Я40-27000 показало подобие форм регистрируемых сигналов (рис. 5).

**Заключение**

Решить задачу понижения напряжения питания стробоскопического блока и при этом сохранить пределы просмотра временных задержек и не ухудшить нестабильность сравнения МПН и БПН можно путем перехода на двухполярное питание  $\pm 5$  В и построения компаратора на основе операционного усилителя с низкоомным инвертирующим входом.

Основным путем уменьшения потребляемого тока является переход к использованию коротких импульсов для запуска генератора строб-импульсов. При формировании импульсов с амплитудой  $\pm 5$  В, длительностью 100 нс и частотой следования 200 кГц потребляемый ток формирователя составил 4,5 мА. Кроме того, благодаря применению симметричной мостовой схемы смесителя потребляемый ток смесителя вместе с пиковым детектором удалось довести до 7 мА, а потребляемый ток всего стробоскопического измерительного блока уменьшить до 62,3 мА.

Конструктивное выполнение формирователя строб-импульсов на щелевой линии позволило использовать планарный монтаж и разместить все элементы схемы на плате размерами  $30 \times 120$  мм.

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Digital Sampling Oscilloscope.— Tektronix. Measurement Product Catalog.— 1997/1998.
2. Рябинин Ю. А. Стробоскопическое осциллографирование.— М.: Сов. радио, 1972.
3. Kholod P. V., Ruban V. P. The sampler of the videopulse georadar // Radio Physics and Radio Astronomy.— 2002.— Vol. 7, N 4.— P. 424—430.
4. Рябинин Ю. А., Горячев В. И. Схемы и конструкции входных устройств современных осциллографов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника.— 1974.— № 3.— С. 81—85.
5. Markelo J., Hall R. D. Broad-band thin-film signal sampler // IEEE Journal.— 1972.— Vol. SC-7, N 1.— P. 50—54.

**МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ**

**МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**



✓ Корпусной



✓ Микрополосковый

