

УДК 621.314.26: 621.317.4

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ГАРМОНИЧЕСКИХ И ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ С ФАЗОВЫМ СЧИТЫВАНИЕМ

Никонова Г.В.

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет», г. Омск, Россия (644050, г. Омск, пр. Мира, 11), e-mail: ngvlad@mail.ru

Описан способ построения устройств, формирующих в диапазоне частот импульсные и гармонические сигналы с регулируемыми параметрами. Применение при формировании выходного сигнала относительного метода установки амплитуды при снижении быстродействия позволяет избавиться от составляющих погрешности из-за неравномерности амплитудно-частотной характеристики, рассогласования в выходном узле. В этом случае выходной сигнал и его номинальный уровень должны измеряться в одной плоскости сечения выходного узла. Оценка амплитудно-частотной характеристики в современных мостовых смесителях показывает, что любой смеситель можно привести к эквивалентной однодиодной схеме. Проведена оценка влияния параметров элементов смесителя на точность стробоскопического устройства выборки хранения. Интегральная схема смесителя позволяет полностью зарядить накопительный конденсатор, так как постоянная времени заряда много меньше длительности импульсов выборки. Рассмотрено влияние условий работы и элементов смесителя на его параметры. Предложен формирователь гармонических и импульсных сигналов с применением стробоскопического устройства выборки хранения, реализующий способ фазового считывания.

Ключевые слова: стробоскопическое устройство выборки хранения, широкополосный сигнал, форма импульса, регулирование параметров, фазовое считывание, стробоскопическое преобразование.

GENERATOR OF HARMONIC AND PULSE SIGNALS WITH PHASE READOUT

Nikonova G.V.

Omsk State Technical University, Omsk, Russia (644119, Omsk, Prospekt Mira, 11), e-mail: ngvlad@mail.ru

A method for building devices that generate pulse and harmonic signals with controlled parameters within certain frequency span. Utilization of relative method of amplitude adjustment with lower performance in generation of output signal allows to discard error fractions from amplitude-frequency characteristic ripple and output unit mismatch. In this case output signal and its nominal level should be measured within one sectional plane of output unit. Amplitude-frequency error estimate in modern bridge mixers shows that any mixer can be reduced to equivalent one-diod circuit. The impact of the parameters of mixer components on stroboscopic sample-and-hold circuit sensibility is appraised. Mixer integrated circuit allows the reservoir capacitor to be fully charged because electric charge time constant is less than duration of select pulse. The impact of work conditions and mixer components on mixer parameters is appraised. Suggested generator of harmonic and pulse signals is based on stroboscopic sample-and-hold circuit and fulfils phase readout.

Keywords: stroboscopic sample-and-hold circuit, ultra wideband signal, waveform, parameters regulation, phase readout, stroboscopic transformation.

Введение

Формирователи сигналов различной формы с регулируемыми параметрами используются в разнообразных устройствах. В настоящее время они широко применяются в таких средствах, как генераторы-калибраторы амплитуды, генераторы временных интервалов и калибраторы фазы. Известные способы формирования сигналов импульсной формы используют различные способы и схемные решения. Наиболее часто для построения широкополосных высокоскоростных формирователей используются токовые переключатели, аналоговое мультиплексирование с отдельным регулированием временных параметров и электронные компоненты с накоплением заряда [2].

Цель исследования

Быстродействие формирователей недостаточно высоко из-за большого времени рассасывания у ключей на транзисторах, входящих в их состав. Синтез табличным методом, когда программно вычисляются реализации сигнала, записываются в память с последующим циклическим считыванием на цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП), не является быстродействующим, способным работать в ОВЧ–УВЧ диапазонах. Широкополосные устройства управления амплитудой сигналов [4], обладая полосой пропускания от 1 МГц до 7 ГГц, имеют малое максимальное входное напряжение (до 0,15 В). Регулировка амплитуды электронно-управляемым аттенюатором на *pin*-диодах ведёт к большой погрешности за счёт коэффициента стоячей волны напряжения, достигающего значения 2.

Оценка классического способа формирования импульса путём суммирования трёх линейно изменяющихся сигналов показывает, что при тактовой частоте 50 МГц и ограничении ширины спектра на уровне 1 % полоса пропускания трактов передачи сигналов и сумматора должна достигать 5 ГГц [4].

В области частот более 30 МГц точность установки амплитуды в широком динамическом диапазоне (ДД) значительно ухудшается: погрешность достигает 20–40 % в диапазоне частот 1–3 ГГц при амплитудах до 0,1 В [1].

То есть, формирование и регулирование амплитуды импульса возможно различными способами, но область их применения ограничивается максимальной частотой, требуемым малым временем установления амплитуды, малым дискретом и большим динамическим диапазоном (ДД) регулирования.

Методы исследования

Предлагается использовать устройства, базирующиеся на фазовых методах и преобразовании частоты. Такие формирователи могут служить управляемыми по точности узлами в составе соответствующих средств измерений. В указанном плане предложен формирователь гармонических и импульсных сигналов (рисунок 1), реализующий способ фазового считывания. Формирование импульсного сигнала с использованием гармонического в качестве опорного связано с применением стробоскопического устройства выборки хранения (СУВХ) на основе стробпреобразователя с обратной связью (СПОС), когда следящая обратная связь устраняет спад плоской вершины импульса во время хранения [3].

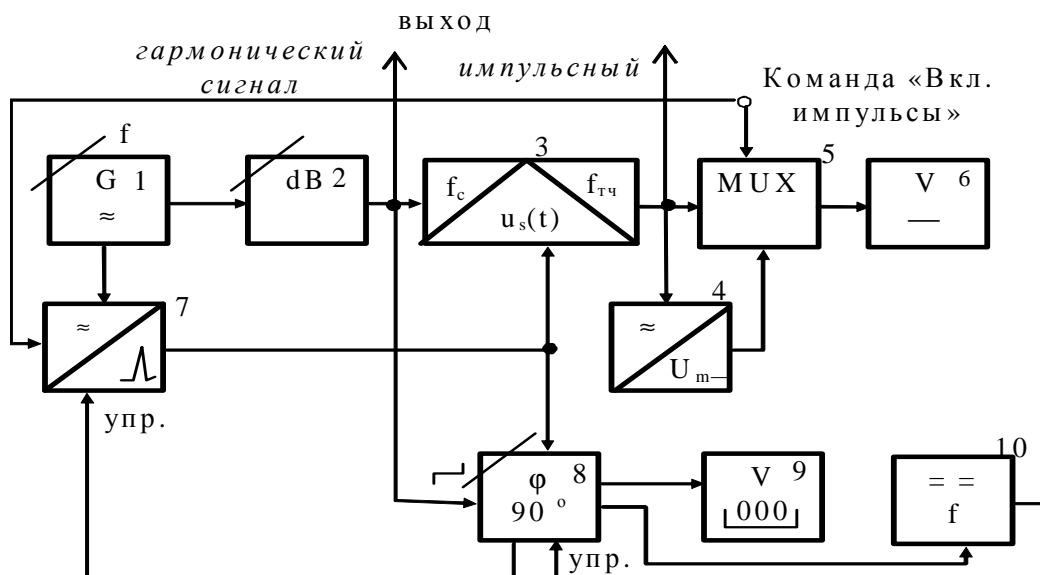


Рисунок 1. Формирователь гармонического и импульсного сигналов

Работа структуры происходит в два этапа. Сначала устанавливается номинальный уровень напряжения U_n выходного сигнала опорного генератора 1 с помощью аттенюатора 2 по вольтметру 6. При этом регулировкой системы автоподстройки фазы (АПФ) 8 устанавливается максимум напряжения. В этом случае в СПОС 3 происходит считывание амплитуды входного сигнала, а система АПФ 8 работает по углу 90° . Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) 10 обеспечивает работу в диапазоне частот.

Изменяя положение стробимпульса системой АПФ 8 относительно гармонического сигнала на выходе аттенюатора 2, на выходе устройства получим импульсный сигнал, амплитуда которого определяется как $U_n \sin \varphi$ (индицируется индикатором 9). Это обеспечивает высокое быстродействие и широкий частотный диапазон, получение импульсов обеих полярностей и регулировку длительности импульса с шагом, равным периоду гармонического сигнала. Применение относительного метода установки амплитуды, при снижении быстродействия, позволяет избавиться от составляющих погрешности из-за неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и рассогласования в выходном узле [8]. Выходной сигнал и его номинальный уровень измеряются в одной плоскости сечения на выходе.

Но основной недостаток устройств с обработкой информации на постоянном токе – температурная нестабильность рабочей точки смесителя СУВХ [6]. Поэтому целесообразно использовать двухканальную структуру (рисунок 2). При идентичности каналов структура позволит минимизировать погрешность за счёт амплитудной и временной нестабильности стробимпульсов [5]. В формирователе производится стробирование в точках экстремумов, и в каждом канале стробируется экстремальное значение только одного знака, отличное от знака экстремума в другом канале. Запомненные значения сигналов подаются на каскад вычита-

ния, и вольтметр постоянного тока измеряет напряжение:

$$U_v = [(U_{mBВЫХ} - \Delta u) - (-U_{mBВЫХ} - \Delta u)] / (2) = U_{mBВЫХ}, \quad (1)$$

где $U_{mBВЫХ}$ – напряжение на выходе СУВХ, равное амплитудному значению сигнала на выходе формирователя; Δu – паразитное изменение выходного напряжения СУВХ.

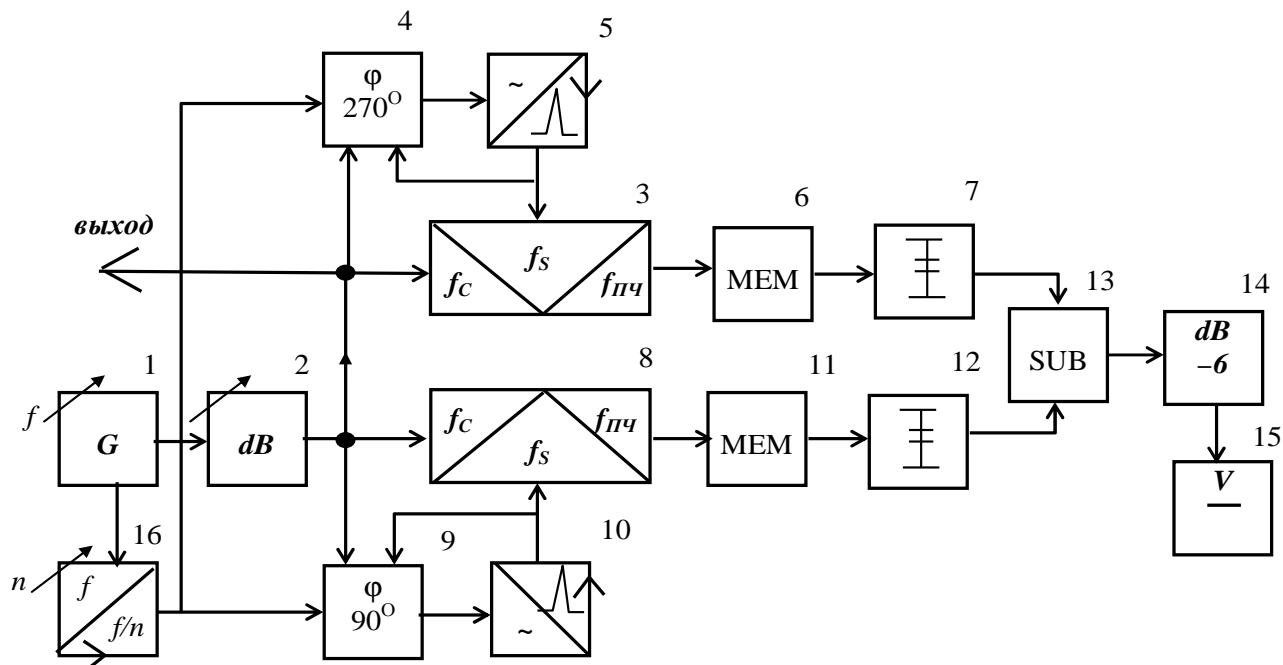


Рисунок 2. Широкополосный формирователь гармонического сигнала

В зависимости от необходимой точности установки амплитуды выходного сигнала, можно использовать конкретный вольтметр постоянного тока. Высокая точность систем АПФ 90° и 270° (узлы 9 и 4) и качественное формирование стробимпульсов (узлы 5 и 10) обусловлены работой на фиксированной частоте за счёт ДПКД 16 [9].

Результаты исследования

Проведём оценку влияния параметров элементов смесителя на точность СУВХ. Интегральная схема смесителя позволяет полностью зарядить накопительный конденсатор C_H , так как постоянная времени заряда много меньше длительности импульсов выборки. Рассмотрим влияние условий работы и элементов смесителя на его параметры. Будем использовать следующее выражение для полосы пропускания [7]:

$$f = f_H \frac{1 + (1 + C / C_H) \sqrt{2} (\tau_c / \tau_H)}{1 + \sqrt{3} (\tau_c / \tau_H)}, \quad (2)$$

где C – барьерная ёмкость диода мостового ключа; τ – длительность стробимпульса по уровню открывания ключа; $f_H = 1/2\pi\tau_H$ – полоса пропускания при идеальном стробимпульсе.

Исследование проводилось с интегральной схемой 04ПП002 [7]. Эго результаты показали, что полоса пропускания обратно пропорциональна τ_n и равна 3 ГГц при $C_H = 0,5 \text{ пФ}$, зависит от выходного сопротивления тракта R_B и сопротивления базы диода R_D в мостовом ключе. Значение C ограничивает точность СУВХ за счёт перераспределения заряда конденсатора C_H : увеличение C на 10 % ведёт к аналогичному увеличению погрешности фиксации.

Моделирование в MATCAD показало, что увеличение C от 0,075 пФ до 0,75 пФ уменьшает полосу пропускания на 3 %. Данные соответствуют длительности стробимпульса $\tau_c = 10 \text{ пс}$ по уровню открывания мостового ключа (рисунок 1а).

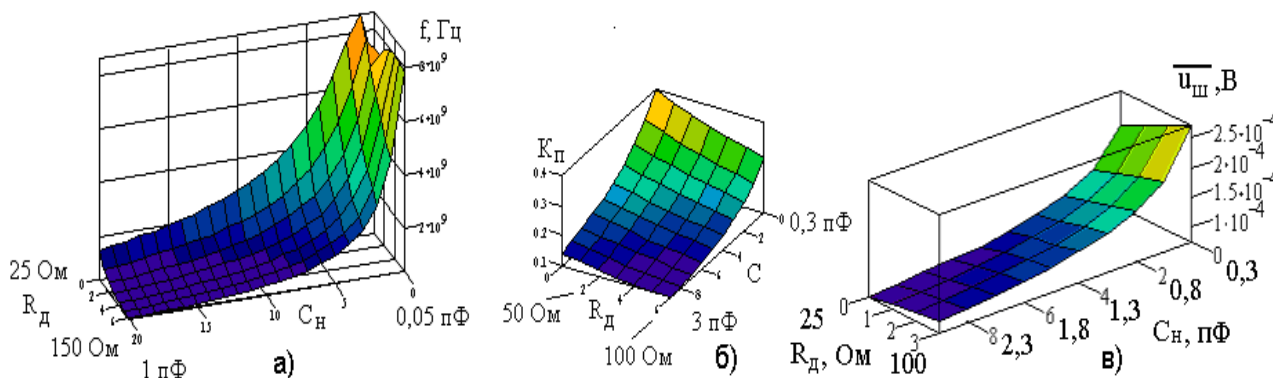


Рисунок 1. Результаты моделирования характеристик СУВХ

Величина коэффициента передачи УВХ K_n и погрешность в частотном диапазоне зависят от значения C , входной ёмкости буферного каскада и разрядного ключа. Диапазон возможных значений K_n лежит в интервале 0,4–0,95 (рисунок 1б). В основу расчётов положено выражение:

$$K_n = \frac{R_P}{2R_B + R_D + R_P} \cdot \frac{C_H}{C_H + 2C_D + 2C}, \quad (3)$$

где R_P – сопротивление источников сигналов; C_D – ёмкость разрядной схемы.

Шум СУВХ («белый шум») определяется сопротивлением базы диода и выходного сопротивления тракта по выражению, зависящему от спектральной плотности фликкер-шума транзистора, верхней и нижней частот АЧХ усилителя запомненных сигналов. Среднее значение квадрата действующего напряжения шума, приведённого к входу СУВХ, определится:

$$\bar{U}_{ш}^2 = \frac{kT}{C_H \left(\frac{R_P}{2R_B + R_D + R_P} \right)^2} + \frac{A}{\left[\left(\frac{R_P}{2R_B + R_D + R_P} \right) \left(\frac{C_H}{C_H + 2C_D + 2C} \right) \right]^2 \ln \frac{f_{ВЕР}}{f_{НИЖ}}} \quad (4)$$

где A – параметр, определяющий спектральную плотность фликкер-шума транзистора ($A \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ В}^2$); $f_{ВЕР}$, $f_{НИЖ}$ – верхняя и нижняя частоты усилителя запомненных сигналов. Данные моделирования приведены на рисунке 1в.

Заключение

Предложен формирователь гармонических и импульсных сигналов с применением стробоскопического устройства выборки хранения (СУВХ), реализующий способ фазового считывания. Оценки характеристик СУВХ являются результатом проявления многих факторов, математические модели которых можно определить, а также установить коэффициенты влияния на суммарную погрешность. Проведена оценка влияния параметров элементов смесителя на точность СУВХ. Рассмотрено влияние условий работы и элементов смесителя на его параметры. При нахождении зависимости коэффициента передачи от частоты сделано допущение, что в диапазоне частот искажение стробимпульсов не происходит. Выявлены погрешности за счёт нелинейности амплитудной характеристики и за счёт неидеальности стробосигналов и определено, что они являются широкополосной помехой. Исследовано, что использование двухканальной структуры формирователя, при идентичности каналов, позволяет минимизировать погрешность за счёт амплитудной и временной нестабильности стробимпульсов.

Список литературы

1. Ильюшенко В.Н., Авдоченко Б.И., Обихватов В.Д., Покровский М.Ю., Стукач О.В., Титов А.А. Пикосекундные и широкополосные устройства усиления, генерирования и управления амплитудой сигналов // Труды МНТК «Спутниковые системы связи и навигации». – Красноярск, 1997. – Т. 3. – С. 330–332.
2. Кольцов Ю.В., Писарев В.В. Формирование стробирующих пикосекундных импульсов с большой активной амплитудой // Техника средств связи. Сер. РИТ. – 1985. – № 6. – С. 55–60.
3. Майстренко В.А., Никонов А.В., Крутов С.Н. Амплитудно-частотная погрешность стробопреобразователя с обратной связью // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. – 1986. – № 1. – С. 80–82.
4. Никонов А.В., Никонова Г.В. Формирование сверхширокополосных сигналов с управляемой формой // Научное приборостроение. – СПб, 2013. – Т. 23, № 3. – С.105–113.
5. Никонова Г.В. Стробоскопический преобразователь // А.с. 1721522 А1 SU. МКИ G 01 R 13/22, 25/04, 23.03.92.
6. Никонова Г.В. Подстраиваемый генератор синтезатора частоты УВЧ диапазона АСК // Справочно-информац. фонд Отделения НИИТЭХИМ. г. Черкассы. С. 57-58. № 190-хп 92. Реферат в Библиограф. указ. ВИНТИ "Депонированные научные работы". – 1992. – № 9. – С. 55-56.
7. Суэтинов В.И., Тимошенко В.П., Гайдис Р.А. Интегральная схема стробсмесителя на арсениде галлия // Техн. ср-в связи. Сер. РИТ. – 1987. – Вып. 4. – С. 80–87.

8. Nikonov A.V., Nikonova G.V. A frequency converter with controllable characteristics // Measurement Techniques. – 2008. – Т. 51, № 1. – С.74–81.

9. Nikonov A.V., Nikonova G.V. Frequency synthesizer for automated control systems of the ultra-high frequency range // Приборы и техника эксперимента. – 1993. – № 1. – С. 159–163.

Рецензенты:

Кузнецов А.А., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» ФГБОУ ВПО Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск.

Бирюков С.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Физика» ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия» (СибАДИ), г. Омск.