

УДК 621.396.96

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТАБЛИЧНИХ ЦИФРОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ ЛЧМ СИГНАЛІВ

Хохлов Д.В., Никитюк О.О.

Науковий керівник – к.т.н., Романов Ю.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КРіСТЗІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-30, e-mail: danylo.khokhlov@nure.ua

тел. +38(067) 574-43-53, e-mail: oleksandr.nykytiuk@nure.ua

A feature of the considered synthesizers is the use of a multi-stage procedure for generating a chirp signal from several fragments. At the same time, at each stage of operation, acceptable conditions are provided for frequency selection of the required component of the spectrum of a discrete signal, and the frequency, phase and time parameters of which are strictly coordinated with each other. The resulting signal is ultra-wideband, and its frequency bandwidth is commensurate with the clock speed.

З точки зору формування частотних сіток і різних сигналів в діапазоні до одиниць ГГц найбільш поширеними на даний момент є цифрові синтезатори частот і сигналів (ЦСЧ і ЦСС), в яких реалізовані методи прямого цифрового синтезу (DDS), що володіють набагато кращими характеристиками і параметрами в порівнянні з аналоговими. Найбільш поширеними архітектурами цифрових синтезаторів ЛЧМ є: Memory-based Table DSS architecture (RAM or ROM) і Computational DSS - архітектура прямого цифрового синтезу.

В даний час компанія Analog Devices та інші виробляють набір інтегрованих синтезаторів з різними характеристиками і можливостями. Однак універсальність і універсальність таких обчислювальних ЦСС значно підвищує їх ціну (унікальність - до сотень доларів США) і енергоспоживання.

У той же час вимоги мінімізації витрат і енергоспоживання є основоположними для ряду виробів і пристроїв, що використовують один або кілька ЛЧМ сигналів. У цьому випадку дуже ефективні ЦСС табличного типу.

Табличні ЦСС працюють за допомогою попередньо обчислених наборів даних, записаних у ПЗУ або ОЗП. Як правило, необхідні дискретні сигнали ЛЧМ генеруються в системі математичного моделювання в часовій області, а потім перетворюються в набір цифрових зразків, що використовуються для заповнення блоків пам'яті. Процес формування сигналу ЛЧМ складається з послідовного вилучення цифрових семплів з елементів пам'яті з фіксованою стабільною тактовою частотою, їх цифро-аналогового перетворення і аналогової фільтрації однієї з складових спектра дискретного ЛЧМ сигналу.

Спектр дискретного ЛЧМ сигналу багаточастотний і являє собою нескінченну послідовність спектрів вихідного (аналогового) сигналу, зрушених один щодо одного на величину частоти дискретизації. Огинає спектральної щільності дискретного ЛЧМ сигналу повторює огинає спектральної щільності прямокутного дискретизуючого імпульсу. У нашому випадку перехід на вихідний, безперервний аналоговий сигнал ЛЧМ здійснюється смуговою фільтрацією необхідної складової спектра дискретного сигналу з виходу ЦАП. Реальний фільтр може в кращому випадку мати відносно плоску частотну характеристику до частоти не більше 90% частоти Найквіста, зниження кінцевої крутизни до частоти $F_t/2$ і кінцеве загасання для частот вище $F_t/2$.

Фільтри сімейства Гаусса мають малий нахил частотної характеристики, але групова затримка трохи залежить від частоти. Ці фільтри використовують, коли потрібно працювати з широкосмуговими сигналами. Фільтри сімейства Чебишевих більше підходять в якості вихідних ЦСС-фільтрів.

Структурна схема розглянутого табличного ЦСС представлена на рис.1 і відрізняється від традиційних варіантів подібних пристроїв наявністю керованого інвертора між ПЗУ і ЦАП, а також введенням додаткового цифро-аналогового каналу перетворення і фільтрацією вихідного ВЧ сигналу.

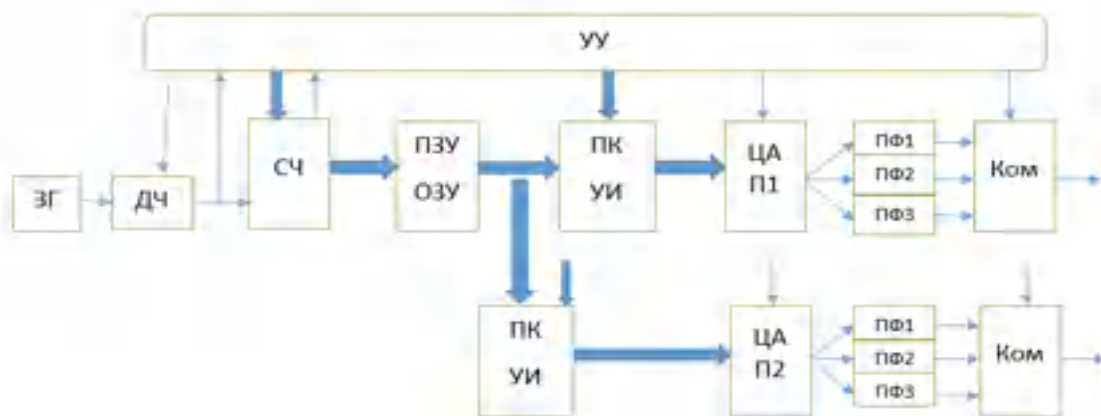


Рис. 1

Особливістю запропонованої багатовступінчастої процедури є формування вихідного сигналу ЛЧМ з декількох фрагментів, частотні, фазові і часові параметри яких строго узгоджені між собою. При цьому на кожному етапі експлуатації забезпечуються допустимі умови для частотного вибору необхідної складової спектра дискретного сигналу. Результуючий сигнал ЧМ є надширокосмуговим, а його смуга частот порівнянна з тактовою частотою ЦСС.

Алгоритм роботи приладу і його елементів пояснюється наведеними нижче спектрограмами на рис2 і таблицею 1 станів.

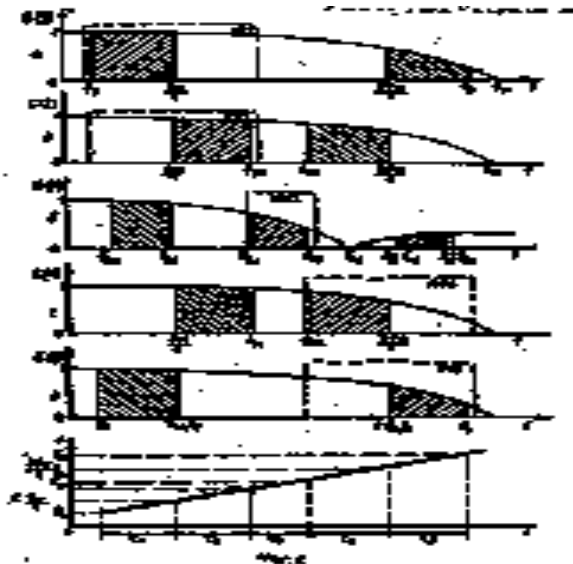


Рис. 2

Багатоступінчаста процедура формування вихідного сигналу передбачає багаторазове використання фіксованого масиву дискретних дискретив (даних в ПЗУ), тому синтез типових сигналів ЛЧМ зі значенням бази сигналу до декількох тисяч одиниць можливий на основі використання тільки однієї або декількох сучасних мікросхем - RAM, ROM, DAC, FPGA. Наприклад, компанія Atmel виробляє широкий асортимент однопрограмованих мікросхем PROM, що робить її одним з лідерів в цьому сегменті ринку енергонезалежної пам'яті.

Сімейство OTP PROM AT27 варіюється від 256 Кілобіт до 8 Мегабіт, шириною 8 і 16 біт і часом дискретизації від 10 нс до 150 нс.

Таблиця 1

Заміна адреси	Реж. лічильника	Реж. ПК	Такт частота	фільтр	Вих частота
0.....N	суммір	трансл	$FT1=F0/2$	ПФ1	$Fн..... FT1/4$
N.....0	віднімання	ч/п інверс	$FT1=F0/2$	ПФ1	$FT1/4.... Fв1$
N..... N+M	суммір	трансл	$FT2=F0/3$	ПФ2	$Fв1.....Fв3$
0.....N	суммір	ч/п інверс	$FT1=F0/2$	ПФ3	$Fв3.....3FT1/4$
N.....0	віднімання	трансл	$FT1=F0/2$	ПФ3	$3FT1/4... Fв$

Зменшення обсягу використовуваного ПЗУ (ОЗУ) разом з впровадженням другого каналу ЦАП значно розширює функціонал ЦСС табличного типу:

- одночасний синтез когерентних ЛЧМ сигналів в одній смузі частот, але з різними знаками частотної модуляції
- реалізовано одночасний синтез когерентних частотно-зміщених сигналів або двох строго квадратурних складових ЛЧМ сигналу, що забезпечує ефективну передачу сигналу в НВЧ діапазон методами збалансованої модуляції (рис. 3)

Вимоги до продуктивності редукуючих смугових фільтрів можуть бути значно знижені при використанні компенсаторних методів зниження рівня найбільш потужних паразитних компонентів спектра. Можливий варіант цього методу пояснюється схемою на рис.4 і передбачає окреме відділення паразитної складової у відповідному фільтрі і після інверсії (зміна фази на 180 градусів і амплітудно-частотну корекцію в атенюаторі) додавання сигналу, що формується ЛЧМ в основний канал

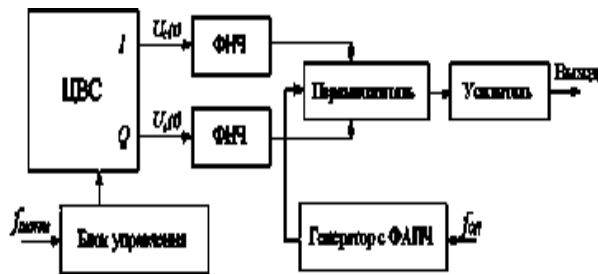


Рис.3.



Рис.4

Застосування багатоступінчастої процедури формування сигналів в табличній ЦСС дозволяє розширити смугу пропускання вихідних сигналів до 70%-80% тактової частоти, без збільшення обсягу використовуваної пам'яті, що спрощує роботу пристрою, знижує його енергоспоживання і вартість, підвищує надійність. Поточний стан елементної бази дозволяє одночасно формувати на базі однієї мікросхеми оперативної пам'яті або ПЗУ набір когерентних ЛЧМ -сигналів з різними параметрами і значенням бази сигналів більше тисячі одиниць. У табличному ЦСС з багатоступінчастою процедурою можна ще більше знизити рівень спотворень на основі методів компенсації.

Список використаних джерел:

1. Зачиняев Ю.В. Анализ и классификация формирователей линейно-частотно-модулированных радиосигналов с точки зрения уменьшения длительности формируемых сигналов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. ;
2. Mathematical model of a two-fragment signal with a non-linear frequency modulation in the current period of time /[O. O. Kostyria, A. A. Hryzo, O. M. Dodukh et al.] // Vis-nyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparatoobudovannia. 2023. Vol. 92. P. 60–67