

Широкополосный усилитель на ОУ с фильтром 0...45 МГц для цифрового синтезатора частоты

Валентин Сокол (Московская обл.)

В статье описана принципиальная схема и характеристики широкополосного фильтра и усилителя для обработки дифференциального сигнала с выходов микросхемы DDS типа AD9851.

Эта статья является продолжением темы, начатой в [1, 2], где был описан метод вычисления загрузочного кода для DDS (прямого цифрового синтеза), реализованный в ПЛИС и не требующий больших вычислительных ресурсов. Точность метода подтверждена экспериментально – получено отклонение не более 20 Гц на частоте 40 МГц. Измерение выполнялось после пересчёта поправочных констант и перепрограммирования ПЛИС под предварительно измеренную частоту кварцевого генератора.

Усилитель и фильтр разработаны для генератора на основе микросхемы AD9851, работающей на тактовой

частоте 120 МГц при напряжении питания 3,3 В. На рисунке 1 приведена осциллограмма сигнала 45 МГц на одном из парафазных выходов этой микросхемы; спектр сигнала показан на рисунке 2. Видно, что помимо основной частоты, в спектре присутствует первая разностная гармоника 75 МГц почти той же интенсивности, тактовый сигнал 120 МГц, суммарная гармоника 165 МГц и более высокочастотные комбинационные составляющие. Собственная третья гармоника ИС выражена довольно слабо. Анализируя рисунок 2, можно сделать следующие выводы. Первый: полоса подавления фильтра должна начи-

наться ниже частоты 75 МГц, с тем чтобы обеспечить достаточное ослабление первой разностной гармоники. Второй вывод – менее очевидный, но проверенный на практике, – на выходе ИС синтезатора частоты до фильтра не следует использовать активные элементы, поскольку в спектре выходного сигнала неизбежно появятся новые комбинационные частоты.

Электрическая схема фильтра и предварительного усилителя приведена на рисунке 3. Фильтрацию входного сигнала обеспечивают два пятизвенных фильтра Баттерворта, нагруженные на резисторы R3, R4 с сопротивлением, равным волновому. Достоинством дифференциальной схемы, несмотря на большее число компонентов, является хорошее подавление помех по шинам питания. В частности, именно в этом варианте удалось изба-

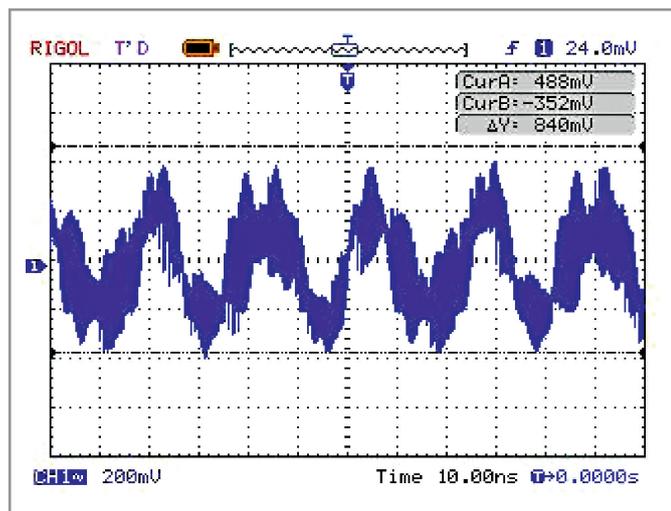


Рис. 1. Осциллограмма выходного сигнала микросхемы DDS на частоте 45 МГц

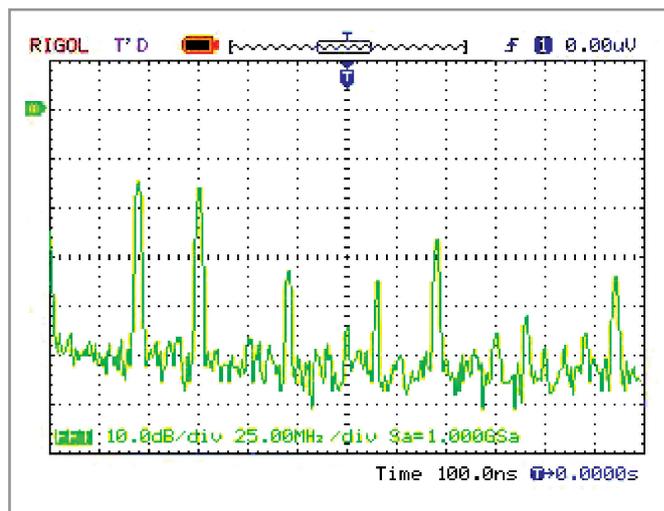


Рис. 2. Спектр выходного сигнала микросхемы DDS на частоте 45 МГц

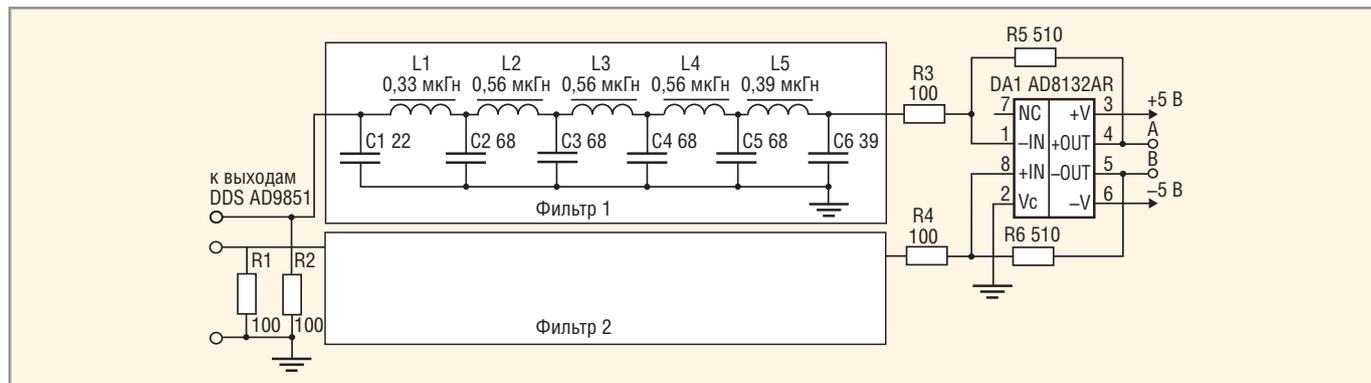


Рис. 3. Электрическая схема предварительного усилителя

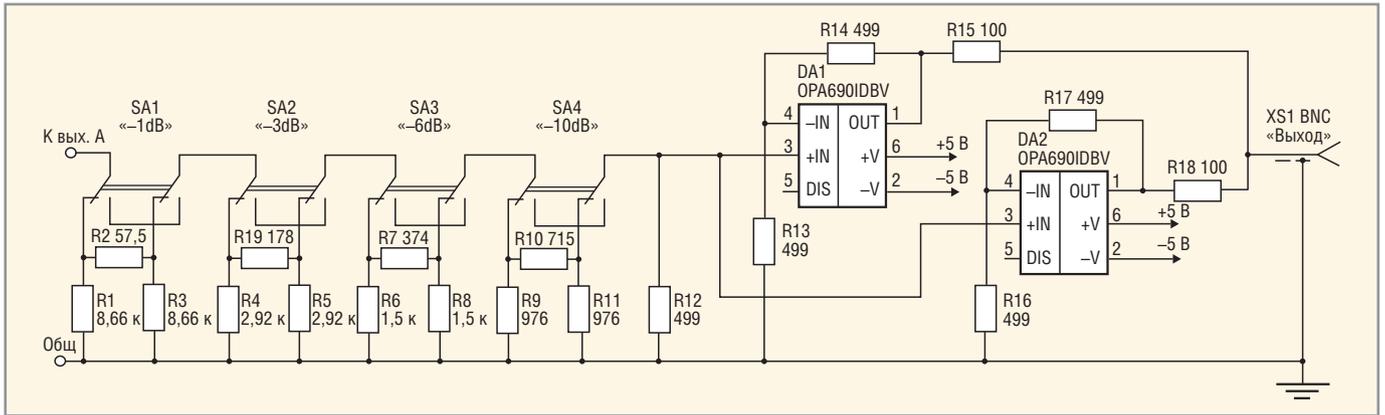


Рис. 4. Электрическая схема аттенюатора и выходного каскада

вильсь от влияния помехи, вызванной импульсным питанием светодиодных индикаторных матриц. Граничная частота фильтра (начало спада АЧХ) выбрана равной 46 МГц, тогда спектр выходного сигнала остаётся относительно чистым (в нём подавлены разностные гармоники сигнала и тактовой частоты DDS).

Дифференциальный драйвер DA1 AD8132AR, наряду с усилением, устраняет постоянное смещение с выходов синтезатора частоты. К сожалению, этот ОУ не предназначен для работы на нагрузку 50...500 Ом при размахе

выходного ВЧ-сигнала не менее 2,6 В. В нашей схеме вторая и третья гармоники практически незаметны до 10 МГц и возрастают до -42 и -40 дБ (здесь и далее с.к.з. напряжения) на частоте 15 МГц. Отметим, что выше 15 МГц ослабить рост третьей гармоники может только снижение нагрузки и уровня выходного напряжения. Впрочем, компания Analog Devices выпустила новый драйвер AD8138AR, от которого можно ожидать более высокой линейности.

Но вернёмся к фильтрам. Номинальные значения индуктивностей и ём-

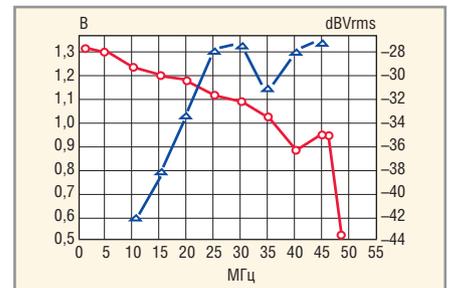


Рис. 5. АЧХ прибора и зависимость уровня третьей гармоники от частоты

костей фильтров выбраны из стандартного ряда с допусками 5% для конденсаторов и 5...10% для индуктив-

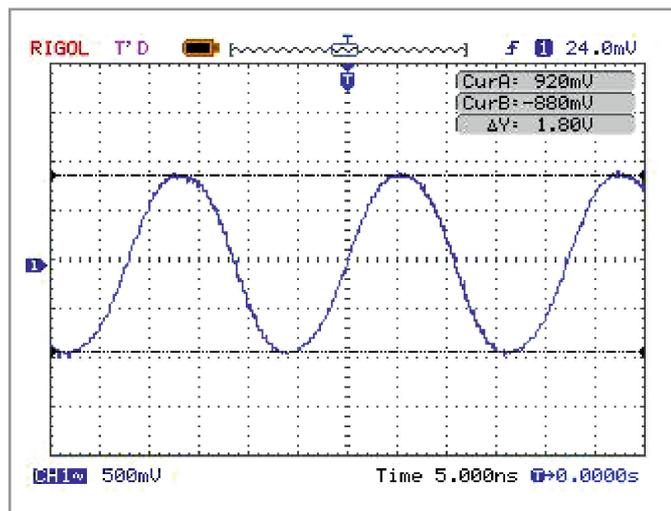


Рис. 6. Осциллограмма выходного сигнала на частоте 45 МГц

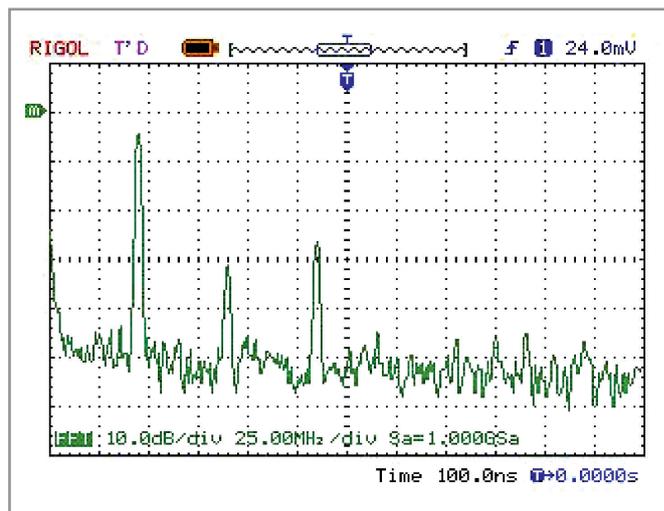


Рис. 7. Спектр выходного сигнала на частоте 45 МГц

ностей. Тем не менее, в нескольких образцах прибора АЧХ воспроизводилась достаточно точно. При моделировании в программе Pspice фильтр даёт подъём на верхних частотах (для частичной компенсации потерь) и ширину переходной зоны 13...14 МГц. Несмотря на значительную неравномерность расчётной АЧХ, выходная АЧХ прибора достаточно ровная, что обусловлено демпфированием фильтров выходным сопротивлением микросхемы. Моделирование с включением последовательного резистора 50 Ом на вход фильтра давало похожий результат.

Сигнал с одного из выходов драйвера поступает на attenuator и выходной усилитель (см. рис. 4), способный работать на нагрузку 50 Ом. Сопротивление attenuatora, нагру-

жающего предварительный усилитель, равно 500 Ом. Последнюю ступень attenuatora необходимо компенсировать включением конденсатора ёмкостью 3,3 пФ параллельно резистору R10.

Выходной усилитель с коэффициентом передачи 2 В/В выполнен на двух ОУ Texas Instruments OPA690 в корпусах SOT23-6 по схеме с разделённой нагрузкой. Выходные токи ОУ складываются, уменьшая нагрузку на каждый прибор. Питание к драйверу и усилителям подводится через разделительные фильтры, состоящие из плёночной индуктивности 2,2 мкГн и блокировочного конденсатора 0,47 мкФ. Кроме того, между шинами +5 В и -5 В вблизи выводов ОУ установлены конденсаторы 10 мкФ. Выходная АЧХ прибора, снятая на нагрузке 50 Ом непосредственно на выходном разъёме, приведена на рисунке 5 слева.

Если на АЧХ (см. рис. 5) можно угадать остатки «горбов», то график третьей гармоники, показанный синей линией, является предметом дальнейшего изучения. При установке щупа осциллографа на входе усилителя можно увидеть, что уровень третьей гармоники имеет максимум -34 дБ на частоте 35 МГц и минимум -40 дБ на частотах 30 и 46 МГц. Выходной сигнал 45 МГц (см. рис. 6) снят на той же нагрузке, но подсоединённой через кабель длиной 1 м, его спектр показан на рисунке 7. Сравнивая со спектром, приведённым на рисунке 2, можно убедиться, что фильтр свою задачу выполнил, но искажения, внесённые усилителем на верхних частотах, желательно снизить до уровня -36...-38 дБ. Это задача решаемая, поскольку паразитные гармоники сосредоточены во

второй половине частотной области, достаточно далеко от основной частоты.

Некоторое представление о приборе в целом даёт рисунок 8. Плата фильтра и усилителя закреплена на металлическом основании и закрывается промежуточным экраном, на который устанавливается управляющая плата. Слева внизу просматривается посадочное место под разъём USB-A, на средние контакты которого через резисторы 100 Ом выведены парафазные нерегулируемые выходы синтезатора, изолированные двумя повторителями на OPA690 (на схеме не показаны).

Симметричные цепочки фильтров видны на рисунке 9, где управляющая плата отведена в сторону. Расстояние между катушками индуктивности должно быть не меньше двойной длины катушки. В противном случае фильтр будет пропускать на высокой частоте. Микросхема DDS в этом варианте прибора установлена на управляющей плате рядом с ПЛИС. В правой части платы расположен импульсный преобразователь источника питания.

Несмотря на некоторую незавершённость, прибор успешно эксплуатируется, и, надеюсь, эта статья поможет читателям при решении подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сокол В. Генератор синусоидального напряжения на микросхеме DDS. Современная электроника. 2010. № 3.
2. Сокол В. Коррекция загружаемого кода в генераторе синусоидального напряжения на микросхеме DDS-синтезатора. Современная электроника. 2010. № 7.

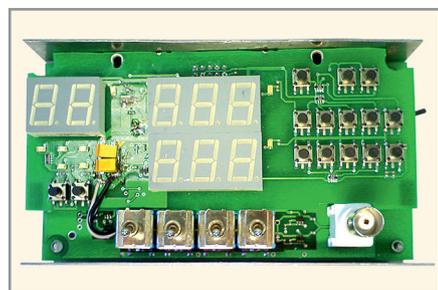


Рис. 8. Внешний вид прибора с установленной платой управления



Рис. 9. Внешний вид платы фильтра