**ИВАН КОРНИЛОВ, АЛЕКСАНДР САФРОНОВ**, АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон»

# УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДИАПАЗОНА 20–42 ГГЦ

В статье описаны результаты разработки сверхширокополосного умножителя частоты, применяемого для расширения полосы частот генераторов СВЧ-сигналов KEYSIGHT N5183B. Представлены краткое описание, принцип работы, перечень технических характеристик.

СВЧ-генераторы Ка-диапазона, применяемые для измерения электрических параметров изделий радиоэлектронной отрасли, отличаются достаточно высокой ценой. В ходе опытно-конструкторской работы (ОКР), проводимой на предприятии, возникла необходимость в формировании СВЧ-сигнала в полосе частот 20–42 ГГц. С этой целью было принято решение расширить полосу рабочих частот генератора сигналов KEYSIGHT N5183B с помощью сверхширокополосного умножителя частоты (УЧ).

В разработанном УЧ был реализован режим управления СВЧ-сигналами от персонального компьютера (ПК) по интерфейсу USB. Управление УЧ осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО), разработанного в «АО «НПЦ Алмаз-Фазотрон». Это ПО позволяет автоматизировать процесс установки выходных параметров (мощности, частоты) при использовании любого СВЧ-генератора с рабочей полосой частот 10–21 ГГц, поддерживающего протокол SCPI. В программе предусмотрен режим калибровки уровней выходных мощностей в заданном диапазоне частот. Имеется функция записи калибровочных коэффициентов во внутреннюю память. УЧ обладает следующими характеристиками:

- диапазон входных частот: 10–21 ГГц;
- диапазон выходных частот: 20–42 ГГц;
- выходная мощность: до 13 дБм;
- регулировка уровня выходной мощности на 30 дБ с шагом 0,5 дБ (осуществляется путем изменения уровня мощности задающего генератора);
- уровень дискретных составляющих в спектре выходного сигнала, не более: –75 дБ.

Умножитель частоты имеет один вход и три выхода (рис. 1). Частотный диапазон первого выхода; 20–26,5 ГГц; второго выхода: 26,5–32 ГГц; третьего выхода: 32–42 ГГц. Габаритные размеры: 95×90×44 мм.

Схема подключения УЧ совместно с генератором СВЧ в автоматическом режиме представлена на рис. 2.

Программа управления позволяет управлять: УЧ, генератором СВЧ-сигналов и ваттметром. В основном окне программы задается требуемые частота и уровень СВЧ-сигнала. Программа на основе калибровочных данных, хранимых в энергонезависимой памяти УЧ, переключает рабочие вы-

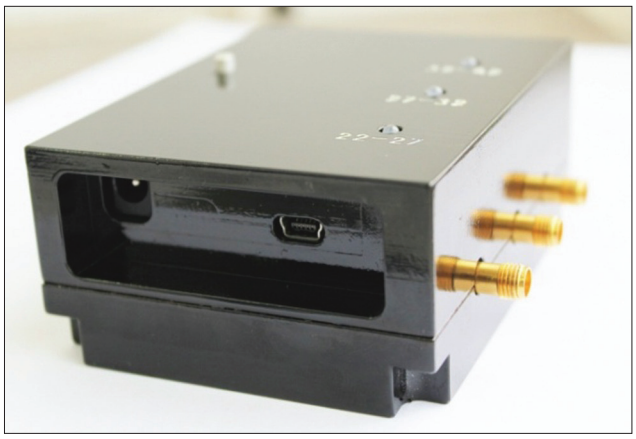

**Рис. 1.** Внешний вид умножителя частоты

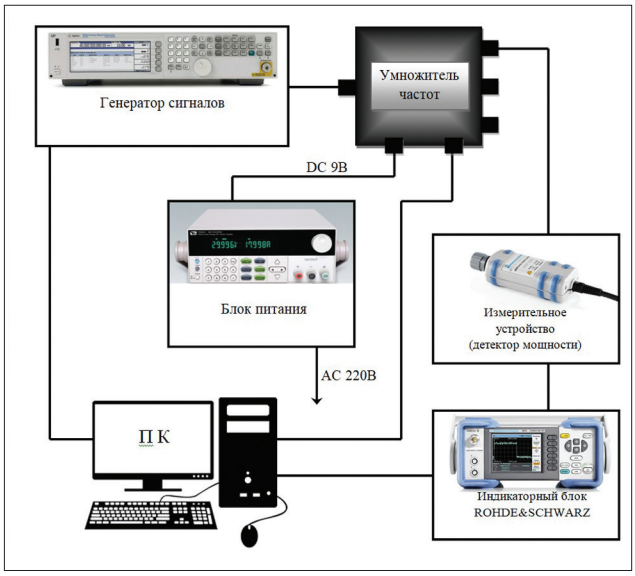


**Рис. 2.** Схема подключения УЧ в автоматическом режиме

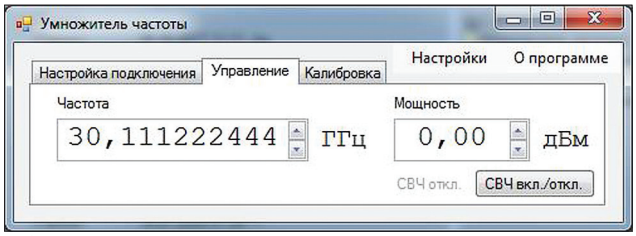


**Рис. 3.** Основное окно программы

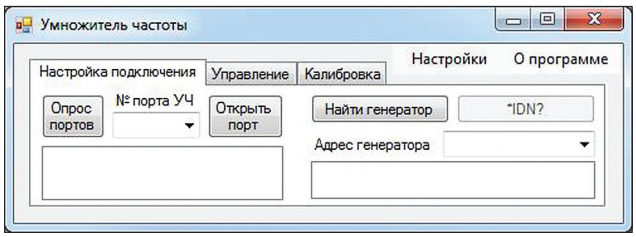


**Рис. 4.** Вкладка для настройки подключения умножителя частоты и генератора сигналов

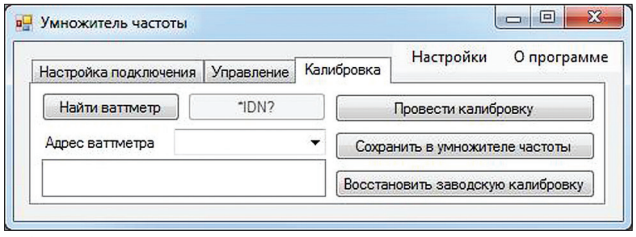


**Рис. 5.** Вкладка для калибровки умножителя частоты

ходы, устанавливает заданную частоту и уровень мощности СВЧ-сигнала на выходе генератора. Эти значения устанавливаются так, чтобы пользователь уже с выхода УЧ получил частоту и уровень мощности сигнала, указанную им в основном окне программы (рис. 3). Вкладка «Настройка подключения» (рис. 4) позволяет выбрать порт, к которому подключен УЧ, и осуществлять поиск генератора СВЧ-сигналов. Для подключения УЧ к персональному компьютеру используются драйверы преобразователя USB-UART CP210x Silicon Laboratories, а для подключения генератора и ваттметра – библиотеки VISA. Вкладка «Калибровка» (рис. 5) позволяет осуществлять калибровку УЧ в составе измерительной установки с учетом потерь, вносимых элементами СВЧ-тракта после УЧ.

Разработанный УЧ позволил решить задачи в ходе ОКР, обеспечив полосу частот шире, чем генератор сигналов зарубежного производителя, и более чистый спектр, полностью заместив собой дорогостоящий генератор.

Результаты измерений умножителя частоты представлены на графиках (рис. 6–8).

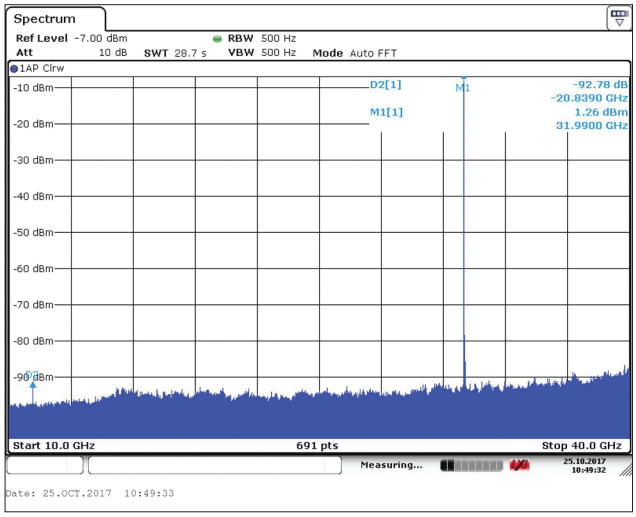


**Рис. 6.** Измеренный спектр выходного сигнала умножителя частоты

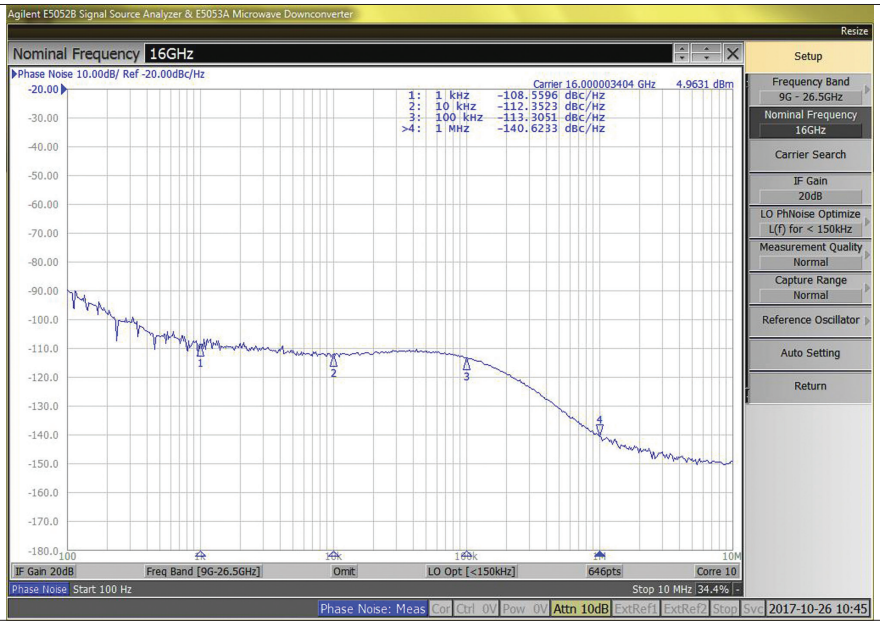


**Рис. 7.** Фазовый шум генератора на частоте 16 ГГц

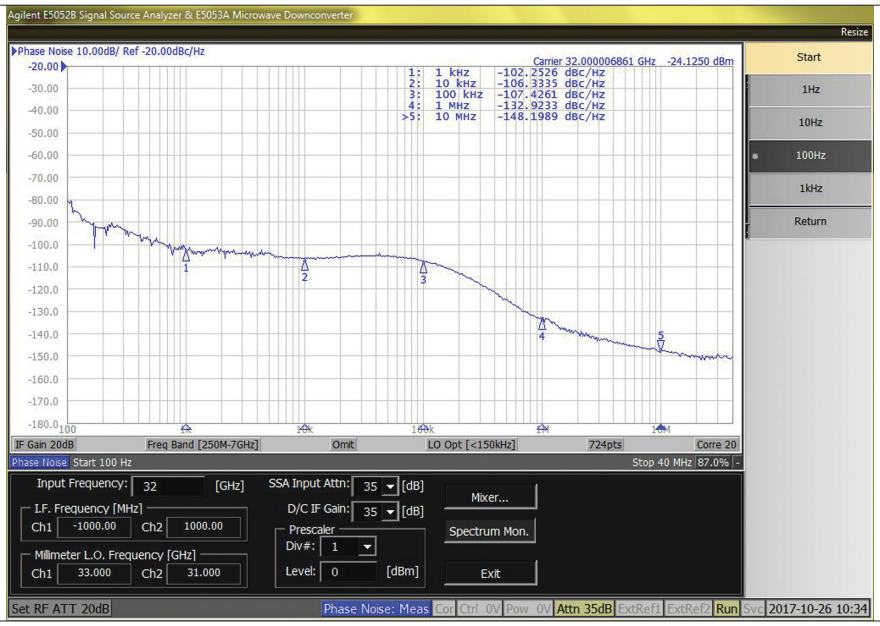


**Рис. 8.** Фазовый шум УЧ на частоте 32 ГГц