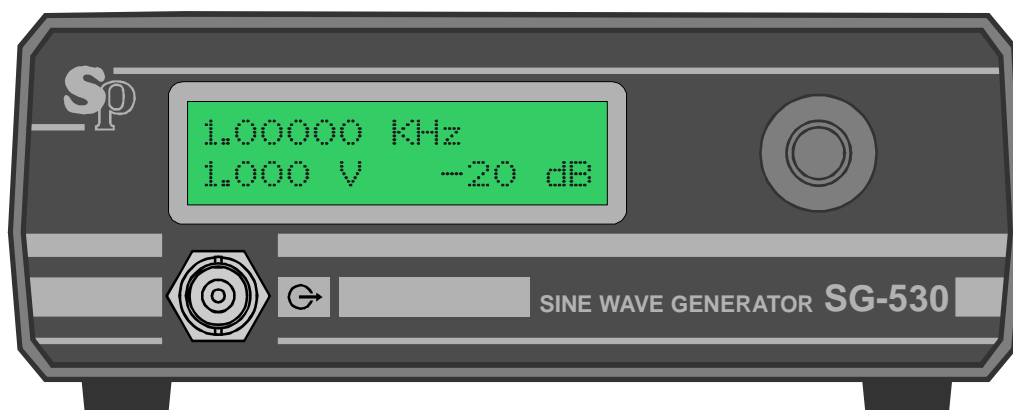


# SG-530

---

## Генератор синусоидального сигнала



## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА

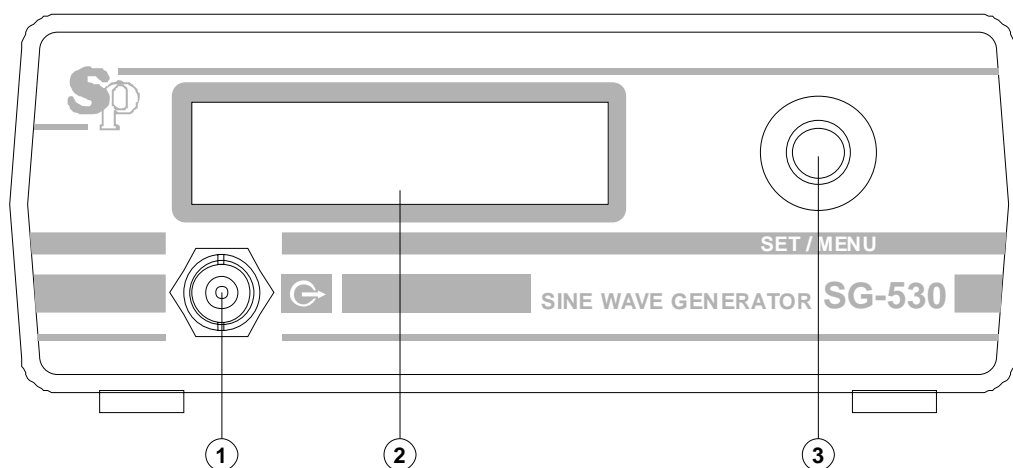
- диапазон генерируемых частот – 1...50000 Гц
- минимальный шаг установки частоты – 0.01 Гц
- амплитуда выходного сигнала – 0...10 В
- минимальный шаг установки амплитуды – 0.001 В
- ослабление аттенюатора – 0, -20, -40, -60 дБ
- минимальное сопротивление нагрузки – 600 Ом
- коэффициент гармоник на частоте 1 КГц, не более – 0.01 %
- 10 предустановок частоты
- режим выключения сигнала
- цифровая калибровка частоты
- цифровая калибровка амплитуды
- размеры – 160 x 60 x 140 мм
- вес – 0.5 кг

## ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА

Генератор построен на основе прямого цифрового синтезатора частоты (DDS, Direct Digital Synthesizer). Благодаря этому он имеет высокую стабильность выходной частоты, очень малый шаг перестройки и низкий коэффициент гармоник. Кроме того, генератор не имеет аномалий (переходных процессов) при перестройке частоты. Вместе с малыми габаритами и весом, все это выгодно отличает данный генератор от обычных аналоговых генераторов.

DDS реализован программно на микроконтроллере ATmega8 фирмы "Atmel". Быстродействие этого контроллера является достаточным, чтобы при тактовой частоте 16 МГц реализовать 34-разрядный накопитель фазы, работающий на частоте 216 кГц. Такой накопитель фазы обеспечивает шаг перестройки частоты примерно 0.00001 Гц. Реально используется шаг сетки 0.01 Гц, что более чем достаточно для практических целей. В памяти микроконтроллера содержится таблица 1/4 периода функции  $\sin$ , адресуемая накопителем фазы. Для полного использования разрешающей способности ЦАП на промежутках между табличными отсчетами производится линейная интерполяция функции  $\sin$ . Формирование синусоидального напряжения производится с помощью 16-разрядного ЦАП с шиной I<sup>2</sup>S TDA1543 фирмы "Philips". Сформированный аналоговый сигнал подвергается низкочастотной фильтрации с помощью фильтра Баттерворта 4-го порядка. Отфильтрованный сигнал поступает на электронный аттенюатор, выполненный на умножающем ЦАП типа AD5452 фирмы "Analog Devices". Затем сигнал поступает на выходной каскад, обеспечивающий работу на нагрузку 600 Ом. На выходе генератора установлен аттенюатор. Аттенюатор построен на герконовых реле и управляется микроконтроллером.

Основные органы управления генератора расположены на передней панели (рис. 1). Там же расположен выходной разъем типа BNC. На задней панели генератора расположены выключатель питания, сетевой шнур и клемма заземления.



**Рис. 1. Передняя панель генератора:**

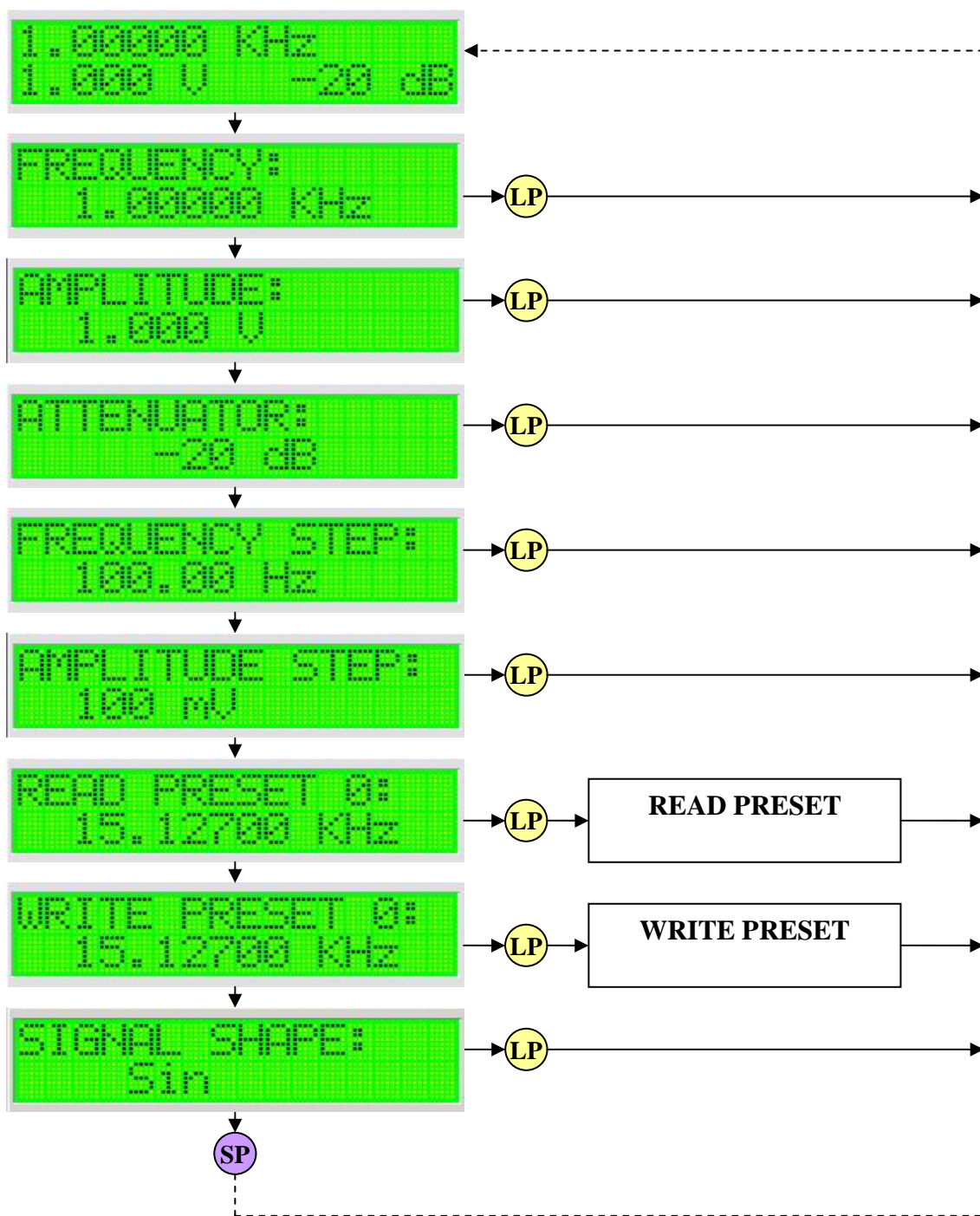
*1 – выходной разъем; 2 – ЖКИ; 3 – энкодер.*

## УПРАВЛЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОМ

Управление генератором осуществляется с помощью нескольких меню, которые выводятся на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ). Некоторые меню содержат цифровые значения параметров, другие меню позволяют выбрать нужный режим работы. Система меню организована в виде кольцевой структуры. Короткое нажатие кнопки энкодера (SP – Short Press) позволяет «по кругу» переходить между меню, длинное нажатие (LP – Long Press) в любом из пунктов меню приводит к переходу на на главное меню. Любое действие по переходу между пунктами меню сопровождается звуковым сигналом.

С помощью системы меню можно задать частоту выходного сигнала генератора, амплитуду выходного сигнала, значение ослабления аттенюатора, считать или записать предустановку частоты, а также выключить или включить выходной сигнал. Увеличение или уменьшение значения выбранного параметра производится поворотом энкодера по (вправо) или против (влево) направления часовой стрелки соответственно.

Система меню генератора показана на рис. 2.

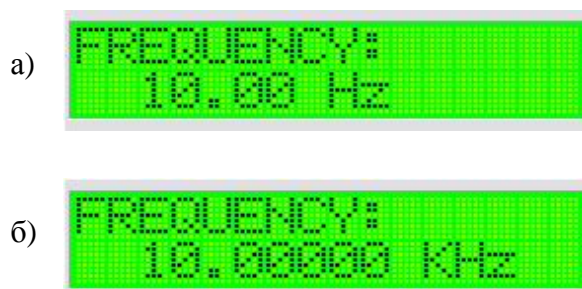


**Рис. 2. Система меню генератора.**

В исходном состоянии генератора на индикатор выводится главное меню, в котором отображается текущее значение частоты, амплитуды и состояние аттенюатора. При повороте энкодера или нажатии кнопки энкодера происходит переход в меню установки частоты (рис. 3).

Значение частоты выводится с запятой, которая отделяет десятые доли герца, если значение меньше 1 КГц, или десятые доли килогерца, если значение

больше 1 КГц. На рис. 3а показан пример индикации частоты, равной 10 Гц, а на рис. 3б – частоты 10 КГц.



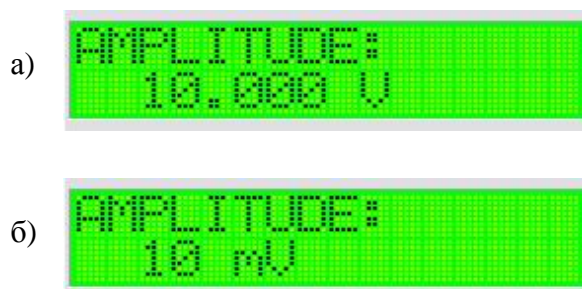
**Рис. 3. Пример индикации частоты выходного сигнала:**

*10 Гц (а) и 10 КГц (б).*

Одиночный поворот энкодера вправо или влево приводит к изменению частоты на один шаг.

Если на протяжении примерно 4,5 секунд регулировка частоты не производится, происходит автоматический переход на главное меню. Это справедливо для всех меню, за исключением меню калибровки частоты и амплитуды.

Нажатие кнопки энкодера в меню установки частоты приводит к переходу в меню установки амплитуды (рис. 4). Значение амплитуды выводится в вольтах с запятой, которая отделяет десятые доли вольта, если значение больше 1 В, или без запятой в милливольтках, если значение меньше 1 В. На рис. 4а показан пример индикации амплитуды, равной 10 В, а на рис. 4б – амплитуды 10 мВ.

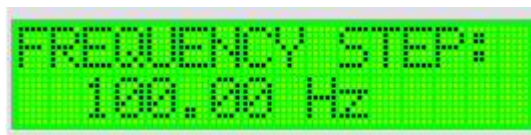


**Рис. 4. Пример индикации амплитуды выходного сигнала:**

*10 В (а) и 10 мВ (б).*

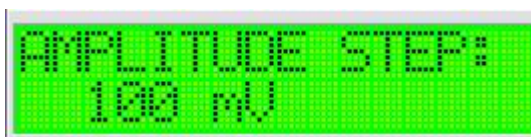
Нажатие кнопки энкодера в меню установки амплитуды приводит к переходу в меню установки ослабления аттенюатора. Возможные значения ослабления аттенюатора 0, -20, -40, -60 дБ.

Нажатие кнопки энкодера в меню установки ослабления аттенюатора приводит к переходу в меню установки шага изменения частоты (рис. 5). Шаг изменения значения частоты может иметь значение 0.01 Гц...10 КГц.



**Рис. 5. Меню установки шага частоты.**

Нажатие кнопки энкодера в меню установки шага изменения частоты приводит к переходу в меню установки шага изменения значения амплитуды (рис. 6). Шаг изменения значения амплитуды может иметь значение 1 мВ...1 В.



**Рис. 6. Меню установки шага амплитуды.**

Значение шага можно изменять с помощью энкодера, поворачивая его ручку вправо или влево, по закону 1-2-5-10-20-50-... и так далее.

Значение частоты и амплитуды при редактировании выравнивается на значение установленного шага. Например, если величина шага частоты равна 1.00 Гц, текущая частота составляет 120.34 Гц и делается несколько шагов вверх, то получится следующая последовательность: 120.34 Гц, 121.00 Гц, 122.00 Гц и т.д. При перестройке вниз получится: 120.34 Гц, 120.00 Гц, 119.00 Гц и т.д. Поэтому если требуется установить какое-то нецелое значение частоты, нужно начинать с большого шага и заканчивать минимальным. Изменение значения амплитуды ведется аналогичным образом.

## **ЧТЕНИЕ ПРЕДУСТАНОВОК ЧАСТОТЫ**

Меню READ PRESET позволяет считать одну из десяти предустановок выходной частоты. При входе в это меню в верхней строке индикатора отображается надпись READ PRESET, а после нее – номер предустановки. Номер может лежать в пределах от 0 до 9. В нижней строке индикатора отображается значение частоты, сохраненное в данной предустановке. Номер предустановки можно изменять поворотом ручки энкодера вправо или влево. Чтобы ввести выбранную предустановку, нужно совершить длинное нажатие

кнопки энкодера (около 2,5 с). При этом генератор перестроится на частоту предустановки.

## СОХРАНЕНИЕ ПРЕДУСТАНОВОК ЧАСТОТЫ

Меню SAVE PRESET позволяет запомнить до десяти значений выходной частоты генератора в виде предустановок. При входе в это меню в верхней строке индикатора отображается надпись SAVE PRESET, а после нее – номер предустановки. Номер может лежать в пределах от 0 до 9. В нижней строке индикатора отображается текущее значение частоты. Номер предустановки можно изменять поворотом ручки энкодера вправо или влево. Чтобы запомнить текущую частоту в выбранной предустановке, нужно совершить длинное нажатие кнопки энкодера (около 2,5 с). При этом значение частоты сохраняется в EEPROM, а меню переходит к главному экрану.

## ВЫКЛЮЧЕНИЕ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

Для выключения выходного сигнала генератора служит меню формы выходного сигнала SIGNAL SHAPE. При входе в это меню в верхней строке индикатора отображается надпись SIGNAL SHAPE, а в нижней – вид выходного сигнала. Вид сигнала может быть Sin – сигнал включен и OFF – сигнал выключен (рис. 7). Выключение и включение сигнала происходит с минимальным скачком фазы. Выключение происходит при изменении знака выходного напряжения с минуса на плюс, т.е. при переходе сигнала через ноль. Все время, пока выходной сигнал генератора выключен, на выходе поддерживается нулевое напряжение. При включении выходного сигнала его формирование начинается с нулевого значения фазы, т.е. с начала положительной полуволны.



**Рис. 7. Меню формы выходного сигнала:**  
*синусоида (а) и сигнал выключен (б).*

## НАЧАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА

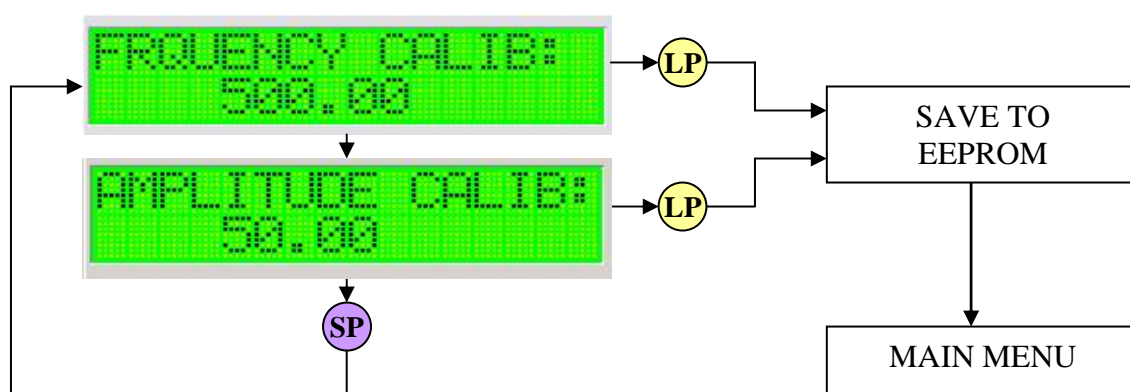
Для того, чтобы при каждом включении питания генератора выходная частота принимала определенное значение, нужно сохранить это значение частоты в предустановке с номером 0. При этом в памяти сохраняются также и текущие значения всех остальных параметров генератора, которые будут устанавливаться автоматически при его последующих включениях. Предустановка 0 также используется для задания частоты и амплитуды, на которых будет производиться калибровка (см. ниже).

## ЦИФРОВАЯ КАЛИБРОВКА

Поскольку DDS имеет очень малый шаг перестройки частоты (около 0.00001 Гц), а реально используется шаг сетки 0.01 Гц, оказалось возможным осуществить цифровую калибровку частоты. Для калибровки нужно иметь эталонный частотомер или эталонный генератор. В первом случае добиваются нужных показаний частотомера, во втором – равенства частот.

Для осуществления калибровки сначала нужно задать частоту и амплитуду, на которых она будет проводиться. Для этого нужно установить желаемую частоту и амплитуду на выходе генератора и сохранить их как предустановку с номером 0. Затем нужно войти в меню калибровки. Для этого необходимо выключить питание генератора, а затем включить его снова, удерживая нажатой кнопку энкодера. При таком включении генератор войдет в специальное меню калибровки. Структура этого меню показана на рис. 8. Калибровочный коэффициент частоты может принимать значения от 0.10 до 999.90, амплитуды – от 0.10 до 99.90. Номинальное значение коэффициента частоты равно 500.00, амплитуды – 50.00. Изменение значения калибровочного коэффициента частоты на 1.00 соответствует изменению выходной частоты генератора примерно на 2 ppm (две миллионные части). Соответственно, с помощью процедуры калибровки можно изменить выходную частоту генератора не более, чем на  $\pm 1000$  ppm. Изменение значения калибровочного коэффициента амплитуды на 1.00 соответствует изменению амплитуды выходного сигнала примерно на 1000 ppm. Находясь в меню калибровки, значения калибровочных коэффициентов можно изменять с помощью ручки энкодера, поворачивая ее влево или вправо. Шаг изменения коэффициентов равен 0.10, так как устанавливать выходную частоту до сотых долей ppm не имеет смысла. В процессе калибровки необходимо контролировать выходную частоту и амплитуду генератора, которые меняются при изменении калибровочных коэффициентов.





**Рис. 8. Меню калибровки.**

Когда с помощью изменения значений калибровочных коэффициентов требуемые выходная частота и амплитуда достигнуты, необходимо сохранить новые калибровочные коэффициенты. Для сохранения коэффициентов нужно совершить длинное нажатие кнопки энкодера (около 2,5 с). При этом новые коэффициенты запишутся в EEPROM, а генератор перейдет на главное меню. Для того, чтобы отменить калибровку, нужно просто выключить питание генератора. При последующем его включении восстановятся прежние значения калибровочных коэффициентов, а генератор перейдет на главное меню.

Если проводить калибровку генератора на частоте 15625.00 Гц, то в качестве эталонной частоты можно использовать строчную частоту телевизионного сигнала, принимаемого с эфира. Точность и стабильность этой частоты вполне достаточна для калибровки. Сравнение частот можно осуществить с помощью осциллографа по фигурам Лиссажу.