

МОДЕЛЬ SR830
Цифровой Синхронный
Детектор

Оглавление

Общая Информация	vi
Безопасность и Подготовка к Использованию	vi
SRS символы	vii
Спецификация	viii
Список команд	xi
Определения байтов состояния	xiii
Приступаем к работе	1
Ваши первые измерения	1
Основные возможности прибора	2
X, Y, R и Θ	5
Выходы, смещения, увеличения	8
Настройки: сохранение и восстановление	12
Цифровые выходы и входы	13
Основы SR830	15
Что такое синхронный детектор?	15
Зачем использовать синхронное детектирование?	15
Принцип синхронного детектирования	15
Детектирование с узкой полосой частот	16
Откуда берется опорный сигнал?	16
Для синхронного детектирования всегда необходим опорный сигнал.	16
Амплитуда и фаза	17
Что измеряет синхронный детектор?	18
Что измеряет SR830?	18
Среднеквадратичное или пиковое значение?	18
Градусы или радианы?	18
Принципиальная схема SR830	19
Опорный канал	20
Вход Опорного Сигнала	20

Внутренний Генератор	20
Опорные Сигналы и Фаза	20
Флуктуации Фазы	21
Детектирование на Высших Гармониках	21
Синхронные Детекторы	22
Цифровое или Аналоговое Синхронное Детектирование?	22
Постоянные времени и усиление	24
Постоянные Времени	24
Цифровые или Аналоговые Фильтры?	24
Синхронные Фильтры	25
Большие Постоянные Времени	25
Усиление Постоянного Выходного Сигнала	25
Разрешающая Способность	26
Выходы постоянных сигналов и масштабирование	27
Выходы X и Y на Задней Панели	27
Выходы „CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT”	27
Шкалы Выходов X, Y, R и θ	27
Сдвиг и Увеличение Сигналов X, Y и R	27
Дисплеи первого и второго каналов	28
Отношение сигналов на выходах CH1 и CH2	29
Динамический резерв	30
Что же такое динамический резерв?	30
Динамический резерв в SR830	31
Минимальный динамический резерв („Low Noise”)	31
Усилитель входного сигнала и фильтры	33
Входной шум	33
Вырезающие фильтры	34
Фильтр защиты от наложения спектров	34
Входное сопротивление	34
Способы подачи сигнала	35
Подключение одним кабелем (A)	35
Дифференциальное подключение (A-B)	35
Синфазные сигналы	35
Токовый вход (I)	36
Полный или переменный сигнал?	36
Внутренние источники случайного шума	37
Тепловой шум	37
Дробовой шум	37

Шум 1/f	37
Общая амплитуда шума	38
Внешние источника шума	39
Емкостная связь	39
Индуктивная связь	39
Резистивная связь или земляные петли	40
Микрофонный эффект	40
Термоэлектрические эффекты	41
Измерение шума	42
Как синхронный детектор измеряет шум	42
Расчет шума	42
Работа с Синхронным Детектором	43
ПЕРЕДНЯЯ ПАНЕЛЬ	43
Настройки по умолчанию	46
Вход сигнала и фильтры	47
Чувствительность, динамический резерв и постоянные времени	50
Дисплей и выход канала 1	56
Дисплей и выход канала 2	59
Дисплей опорного канала	62
Автоматические функции	66
Настройка	68
Интерфейс с компьютером	69
Предупреждения	71
ЗАДНЯЯ ПАНЕЛЬ	72
Программирование SR830	75
Введение	75
Интерфейс GPIB	75
Интерфейс RS232	75
Индикаторы состояния и очередь	75
Синтаксис команд	75
Готовность интерфейса	76
Команда GET (GROUP EXECUTE TRIGGER)	77
Подробный список команд	78
Команды управления опорным сигналом и фазой	79
Команды входа и фильтра	80
Команды усиления и постоянной времени	81

Команды дисплеев и выходов	82
Команды вспомогательных входов и выходов	83
Команды установки	84
Команды автоматической настройки	85
Команды записи данных	86
Хранение данных	86
Размещение данных в буфере	86
Частота дискретизации	86
Время накопления	86
Окончание записи	86
Запуск и остановка записи	87
Эффекты наложения	87
Команды передачи данных	89
Команды интерфейса	94
Команды уведомления о состоянии	95
Определение байтов состояния	97
Использование *STB? для считывания байта состояния Serial Poll	97
Использование последовательного опроса (serial poll)	97
Сервисные запросы (SRQ)	98
Пример программы 1	100
Использование Microsoft C (версия 5.1) с картой National Instruments GPIB на персональном компьютере IBM PC	100
Использование программ SR530 для SR830	105
Тестирование SR830	108
Самотестирование	110
Постоянный сдвиг	111
Ослабление синфазного сигнала	112
Точность амплитуды и АЧХ	113
Линейность усиления	115
Точность частоты	116
Точность Фазы	117
Точность Амплитуды и АЧХ Внутреннего Генератора	118
Цифровые Входы и Выходы	119
Входной Шум	121
Таблица для Результатов Тестирования	122

Описание Электронных Схем	126
ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА и ПИТАНИЯ	127
Микропроцессорная система	127
Интерфейс с передней панелью	127
Поворотная ручка	127
Динамик	127
Интерфейс GPIB	127
Интерфейс RS232	127
Расширяющий коннектор	128
Напряжения питания	128
ПЛАТА DSP ПРОЦЕССОРА	129
Обзор	129
Цифровой Сигнальный Процессор (DSP)	129
Тактовые сигналы	129
Генератор временного сигнала	129
Последовательные каналы	130
Выходы цифро-аналоговых преобразователей	130
Интерфейс с платой центрального процессора	130
Питание	130
ВХОДНАЯ АНАЛОГОВАЯ ПЛАТА	131
Обзор	131
Входной усилитель	131
Каскады усиления и вырезающие фильтры	131
Сглаживающий фильтр	131
Аналого-цифровой преобразователь	132
Входной/Выходной интерфейс	132
Питание	132

Безопасность и Подготовка к Использованию

ВНИМАНИЕ

В приборе есть напряжения, которые способны нанести вред здоровью и привести к смерти. Будьте предельно внимательны и осторожны при работе с прибором с открытым корпусом. Не снимайте защитные части корпуса, если прибор подключен к сети питания.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Данный прибор может быть поврежден, если переключатель напряжения сети установлен неверно или если используется неправильный предохранитель.

УСТАНОВКА НАПЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

Прибор SR830 может работать от переменного напряжения 100 В, 120 В, 220 В или 240 В с частотой 50 или 60 Гц. Перед тем, как подключить провод питания к прибору проверьте, что переключатель напряжения сети, расположенный на задней панели рядом с предохранителем, установлен так, что можно увидеть верное выбранное напряжение.

Для питания прибора от другого сетевого напряжения следует изменить положение переключателя и установить другой предохранитель. Для этого отсоедините шнур питания, откройте дверцу держателя предохранителя, поверните рычаг и извлеките предохранитель. Достаньте небольшую печатную плату и выберите требуемое напряжение питания, расположив печатную плату таким образом, чтобы значение требуемого напряжения было видно, когда печатная плата будет установлена обратно на свое место. Поверните рычаг и вставьте правильный предохранитель.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ

Перед тем, как подключать провод питания, проверьте правильный ли предохранитель установлен. Для напряжений 100/120 В используйте предохранитель на 1 Ампер, для 220/240 В – 0.5 Ампера.

КАБЕЛЬ ПИТАНИЯ


Для питания прибора SR830 используется кабель с тремя проводами: два для подвода напряжения питания и отдельный провод для заземления. Открытые металлические части прибора соединены с внешней землей для защиты от ударов током. Работайте только с правильно заземлен-

ным прибором.

ОБСЛУЖИВАНИЕ

Не пытайтесь обслуживать или настраивать этот прибор, если рядом нет человека, способного выполнить аварийное восстановление прибора.

Не заменяйте отдельные части прибора и не выполняйте никаких несанкционированных изменений в приборе. Для получения информации о том, как отдать прибор для авторизованного обслуживания и настройки, обратитесь к офици-

альным представителям компании 

Вместе с прибором поставляются:

- Кабель питания
- Руководство по эксплуатации

УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ДЛЯ РАБОТАЮЩЕГО ПРИБОРА

Температура: от +10 °С до +40 °С

(В параграфе «**Спецификация**» указаны значения для диапазона температур от +18 °С до +28 °С)

Отн. влажность воздуха: < 90%, без конденсации

ДЛЯ ВЫКЛЮЧЕННОГО ПРИБОРА

Температура: от –25 °С до +65 °С

Отн. влажность воздуха: < 95%, без конденсации

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ С ФОТОУМНОЖИТЕЛЯМИ И ДРУГИМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Некорректная работа с фотоумножителем может вывести из строя входные усилители прибора. Если кабель от фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) не нагружен, то за короткое время на нем может скопиться напряжение в несколько сотен вольт. Если такой кабель подсоединить ко входу SR830, то накопленное напряжение может повредить входные усилители. Чтобы этого избежать, всегда разряжайте кабель и подсоединяйте кабель от ФЭУ к прибору SR830 до того, как на ФЭУ будет подано высокое напряжение.

Символы, которые вы можете найти на приборах фирмы 

Символ	Описание
	Переменный ток
	Осторожно – опасность электрического удара
	Вывод корпуса
	Осторожно – смотри соответствующую документацию
	Вывод земли
	Аккумуляторная батарея
	Предохранитель
	Включить питание
	Выключить питание

Спецификация

КАНАЛ СИГНАЛА

Входы напряжений	Напряжение на одном входе (A) или разность напряжений на двух входах (A-B).
Вход тока	10^6 или 10^8 Вольт/Ампер.
Чувствительность всей шкалы	от 2 нВ до 1 В в последовательности 1-2-5-10 (без увеличения).
Входное сопротивление	Напряжение: $10\text{ M}\Omega + 25\text{ пФ}$, переменный (AC) или полный (DC) сигнал. Ток: $1\text{ к}\Omega$ на виртуальную землю.
Точность усиления	$\pm 1\%$ от 20°C до 30°C (вырезающие фильтры отключены), типичное значение $\pm 0.2\%$.
Входной шум	$6\text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ на частоте 1 кГц (типично).
Фильтры сигнала	Вырезающие фильтры на 60 (50) Гц и 120 (100) Гц ($Q=4$).
Коэффициент подавления синфазного сигнала (CMRR)	100 дБ для 10 кГц (постоянный сигнал), уменьшается на 6 дБ/октава для частот выше 10 кГц.
Динамический резерв	Более 100 дБ (без фильтров сигнала).
Высшие гармоники	-80 дБ.

ОПОРНЫЙ КАНАЛ

Диапазон частот	от 1 мГц до 102 кГц
Опорный сигнал	TTL (нарастающий или спадающий фронт) или синусоидальный сигнал. Для синусоиды входное сопротивление $1\text{ M}\Omega$, пропускается только переменный сигнал ($f > 1\text{ Гц}$), минимальный размах сигнала 400 мВ.
Разрешение фазы	0.01°
Абсолютная ошибка фазы	$< 1^\circ$
Относительная ошибка фазы	$< 0.01^\circ$
Ортогональность	$90^\circ \pm 0.001^\circ$
Шум фазы	Сигнал, синтезированный от внешнего: 0.005° для 1 кГц, 100 мс, 12 дБ/октава. Внутренний сигнал: формируется генератором, $< 0.0001^\circ$ для 1 кГц, $< 0.01^\circ/\text{C}$ для частот меньше 10 кГц, $< 0.1^\circ/\text{C}$ до 100 кГц.
Дрейф фазы	
Высшие гармоники	Детектирование на частоте $N \times f$, где $N < 19999$ и $N \times f < 102\text{ кГц}$.
Время захвата сигнала	(2 цикла + 5 мс) или 40 мс, которое из них больше.

УМНОЖИТЕЛЬ (ДЕМОДУЛЯТОР)

Стабильность нуля	Для цифровых сигналов дрейф нуля полностью отсутствует для всех динамических резервов.
Постоянные времени	Аналоговые выходы: $< 5 \times 10^{-6}/\text{C}$ для всех динамических резервов. от 10 мкс до 30 сек (опорная частота $> 200\text{ Гц}$). Подавление 6, 12, 18, 24 дБ/октава. до 30 000 сек (опорная частота $< 200\text{ Гц}$). Подавление 6, 12, 18, 24 дБ/октава. Синхронная фильтрация доступна для опорных частот, меньших 200 Гц.
Подавление высших гармоник	-80 дБ.

ВНУТРЕННИЙ ГЕНЕРАТОР

Частота	от 1 мГц до 102 кГц.
Точность частоты	$25 \times 10^{-6} + 30\text{ мкГц}$
Разрешение частоты	4 1/2 цифры или 0.1 мГц, которое из них больше.

Искажение	$f < 10$ кГц, ниже -80 дБ. $f > 10$ кГц, ниже -70 дБ. Амплитуда 1 В (rms).
Выходное сопротивление	50Ω
Амплитуда	от 4 мВ до 5 В (для высокоомной нагрузки) с разрешением 2 мВ. (от 2 мВ до 2.5 В для нагрузки 50Ω).
Точность амплитуды	1%
Стабильность амплитуды	$50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Выходы	Выход „SINE OUT” на передней панели. Выход „TTL OUT” на задней панели. При использовании внешнего опорного сигнала оба выхода связаны по фазе с этим сигналом.

ДИСПЛЕИ

Дисплей первого канала (CHANNEL ONE)	канала	светодиодный дисплей, содержащий 4 1/2 десятичных цифр и 40-сегментный линейный индикатор. Отображает X, R, X Noise (шум в канале X), сигнал на входе „AUX IN” 1 или 2. Дисплей также может отображать любую из этих величин, деленную на сигнал на входе „AUX IN” 1 или 2.
Дисплей второго канала (CHANNEL TWO)	канала	светодиодный дисплей, содержащий 4 1/2 десятичных цифр и 40-сегментный линейный индикатор. Отображает Y, θ , Y Noise (шум в канале Y), сигнал на входе „AUX IN” 3 или 4. Дисплей также может отображать любую из этих величин, деленную на сигнал на входе „AUX IN” 3 или 4.
Сдвиг (OFFSET)		Величины X, Y и R могут быть сдвинуты на величину вплоть до $\pm 105\%$ от всей шкалы.
Увеличение (Expand)		Величины X, Y и R могут быть умножены на 10 или на 100.
Дисплей опорного канала (REFERENCE)	канала	светодиодный дисплей, содержащий 4 1/2 десятичных цифр. Отображает и позволяет изменять частоту или фазу, амплитуду выхода „SINE OUT”, номер гармоники, сдвиг в процентах (для X, Y или R), или выходы „AUX OUT” 1–4.
Буфер данных		16 кБайт точек с дисплеев „CHANNEL ONE” и „CHANNEL TWO” могут быть сохранены во внутренней памяти. Скорость записи точек может быть от одной точки за 16 секунд (= 0.0625 Гц) до 512 Гц. Выборкой сохраненных данных можно управлять внешним сигналом. Буфер данных доступен только через компьютерный интерфейс.

ВХОДЫ И ВЫХОДЫ

Выход первого канала (CH1 OUTPUT)	Сигнал на выходе пропорционален X или значению, отображаемому на дисплее. Выходное напряжение: вся шкала ± 10 В. Максимальный выходной ток 10 мА.
Выход второго канала (CH2 OUTPUT)	Сигнал на выходе пропорционален Y или значению, отображаемому на дисплее. Выходное напряжение: вся шкала ± 10 В. Максимальный выходной ток 10 мА.
Выходы X и Y	На задней панели расположены выходы для синфазной (X) и квадратурной (Y) компонент сигнала. Выходное напряжение: вся шкала ± 10 В. Максимальный выходной ток 10 мА.
Выходы „AUX OUT”	4 BNC выхода с ЦАП. Вся шкала ± 10.5 В, разрешение 1 мВ. Максимальный выходной ток 10 мА.
Входы „AUX IN”	4 BNC входа на АЦП. Дифференциальные входы с сопротивлением 1 М Ω для сигнала на центральной жиле и на экранирующей оплетке. Вся шкала ± 10.5 В, разрешение 1 мВ.
Синхровход „TRIG IN”	Вход для TTL сигналов, управляющих выборкой сохраненных данных.
Выход „MONITOR OUTPUT”	Аналоговый выход с усилителей сигнала (до умножителя).

ОБЩЕЕ

Интерфейсы	GPIB (IEEE-488) и RS232. Всеми функциями прибора можно управлять через интерфейсы GPIB и RS232.
Питание предусилителя	На задней панели расположен разъем „PREAMP” для питания предусилителей SR550 и SR552.
Питание	40 Ватт от переменных 100/120/220/240 Вольт, 50/60 Герц.
Размеры	Ширина =43.2 см, высота =13.3 см, длина =49.5 см
Вес	13.6 кг.
Гарантия	Один год на прибор, на комплектующие и на износ материалов.

Список команд

ПЕРЕМЕННЫЕ	<i>i, j, k, l, m</i>	Целые числа
	<i>f</i>	Частота (действительное число)
	<i>x, y, z</i>	Действительные числа
	<i>s</i>	Строка
ОПОРНЫЙ СИГНАЛ и ФАЗА	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
PHAS (?) { <i>x</i> }	79	Уст. (запр.) фазовый сдвиг равным <i>x</i> градусов.
FMOD (?) { <i>i</i> }	79	Уст. (запр.) внешний (0) или внутренний (1) источник опорного сигнала.
FREQ (?) { <i>f</i> }	79	Уст. (запр.) частоту опорного сигнала равной <i>f</i> Гц. Устанавливает частоту только в режиме внутреннего опорного сигнала
RSLP (?) { <i>i</i> }	79	Уст. (запр.) используемый фронт внешнего опорного сигнала: синусоидальный (0), нарастающий TTL (1) или спадающий TTL (2).
HARM (?) { <i>i</i> }	79	Уст. (запр.) номер используемой гармоники равным $1 \leq i \leq 19999$ и $i \cdot f \leq 102$ кГц.
SLVL (?) { <i>x</i> }	79	Уст. (запр.) среднеквадратичное напряжение на выходе опорного сигнала "SINE OUT" равным <i>x</i> Вольт. $0.004 \leq x \leq 5.000$.
ВХОД и ФИЛЬТР	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
ISRC (?) { <i>i</i> }	80	Уст. (запр.) используемую конфигурацию входных каналов: А (0), А-В (1), I (1 МОм) (2) или I (100 МОм) (3).
IGND (?) { <i>i</i> }	80	Уст. (запр.) режим заземления экрана входного канала: плавающий (0) или заземленный (1).
ICPL (?) { <i>i</i> }	80	Уст. (запр.) режим связи по переменному (AC) (0) или постоянному (DC) (1) току для входного канала.
ILIN (?) { <i>i</i> }	80	Уст. (запр.) вырезающие фильтры в состоянии: выключены (0), на частоте электросети (1), на удвоенной частоте (2) или оба включены (3).
УСИЛЕНИЕ ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
SENS (?) { <i>i</i> }	81	Уст. (запр.) чувствительность от 2 нВ (0) до 1 В (26).
RMOD (?) { <i>i</i> }	81	Уст. (запр.) динамический резерв: большой резерв (High Reserve) (0), нормальный (Normal) (1) или малый шум (Low Noise) (2).
OFLT (?) { <i>i</i> }	81	Уст. (запр.) постоянную времени от 10 мкс (0) до 30 000 с (19).
OFSL (?) { <i>i</i> }	81	Уст. (запр.) скат (подавление) фильтра низких частот равным 6 (0), 12 (1), 18 (2) или 24 (3) дБ/окт.
SYNC (?) { <i>i</i> }	81	Уст. (запр.) синхронный фильтр в состояние выключен (0) или включен (1) (для $f < 200$ Гц).
ДИСПЛЕЙ и ВЫХОД	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
DDEF (?) { <i>i, j, k</i> }	82	Уст. (запр.) дисплей каналов 1 или 2 ($i = 1, 2$) отображать XY, R θ , XnYn, Aux 1,3 или Aux 2,4 ($j = 0..4$) и делить показания дисплея на 1, Aux 1,3 или Aux 2,4 ($k = 0, 1, 2$).
FPOP (?) { <i>i, j</i> }	82	Уст. (запр.) источниками для выходных каналов 1 ($i=1$) или 2 ($i=2$) величины X или Y ($j=1$) или дисплей ($j=0$).
OEXP (?) { <i>i, x, j</i> }	82	Уст. (запр.) сдвиг X,Y,R ($i=1,2,3$) равным <i>x</i> процентов ($-105.0 \leq x \leq 105.00$) и выходное увеличение 1, 10 или 100 ($j=0,1,2$).
AOFF <i>i</i>	82	Автоматически настраивает сдвиг X,Y,R ($i=1,2,3$).
ВСПОМ. ВХОДЫ/ВЫХОДЫ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
OAUX ? <i>i</i>	83	Запрашивает напряжение на вспом. входе (Aux Input) <i>i</i> (1,2,3,4).
AUXV (?) <i>i</i> { <i>x</i> }	83	Уст. (запр.) напряжение на вспом. выходе (Aux Output) <i>i</i> (1,2,3,4) равным <i>x</i> вольт. $-10.500 \leq x \leq 10.500$.
УСТАНОВКИ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
OUTX (?) { <i>i</i> }	105	Уст. (запр.) выходной интерфейс RS232 (0) или GPIB (1).
OVRM (?) { <i>i</i> }	84	Уст. (запр.) режим отключения передней панели: выкл. (0) или вкл. (1).
KCLK (?) { <i>i</i> }	84	Уст. (запр.) включения (1) или выключения (0) щелчка при нажатии кнопок.
ALRM (?) { <i>i</i> }	84	Уст. (запр.) включения (1) или выключения (0) предупреждающего звукового сигнала.
SSET <i>i</i>	84	Сохраняет текущие установки в буфере <i>i</i> ($1 \leq i \leq 9$).
RSET <i>i</i>	84	Восстанавливает текущие установки из буфера <i>i</i> ($1 \leq i \leq 9$).

ФУНКЦИИ АВТОНАСТРОЙКИ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
AGAN	85	Автонастройка усиления. То же, что нажатие кнопки AUTO → GAIN .
ARSV	85	Автонастройка резерва. То же, что нажатие кнопки AUTO → RESERVE .
APHS	85	Автонастройка фазы. То же, что нажатие кнопки AUTO → PHASE .
AOFF <i>i</i>	85	Автонастройка сдвига X, Y или R (1,2,3).
ЗАПИСЬ ДАННЫХ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
SRAT (?) { <i>i</i> }	88	Уст. (запр.) частоту дискретизации данных от 62,5 мГц (0) до 512 Гц (13) или внешнюю (14).
SEND (?) { <i>i</i> }	88	Уст. (запр.) режим записи данных: однократный (0) или циклический (1).
TRIG	88	Команда программного синхроимпульса. То же, что внешний синхроимпульс.
TSTR (?) { <i>i</i> }	88	Уст. (запр.), запускается ли запись синхроимпульсом: нет (0) или да (1).
STRT	88	Запускает или возобновляет запись данных.
PAUS	88	Приостанавливает запись данных. Не сбрасывает приостановленную или завершенную запись.
REST	88	Сбрасывает запись. Все записанные данные теряются.
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
OUTP? <i>i</i>	89	Запр. значение X (1), Y (2), R (3) или θ (4). Возвращает значение ASCII с плавающей запятой.
OUTR? <i>i</i>	89	Запр. значение дисплея <i>i</i> . Возвращает значение ASCII с плавающей запятой.
SNAP? <i>i, j, k, l, m, n</i>	89	Запр. одновременные значения от 2 до 6 величин.
OAUX? <i>i</i>	90	Запр. напряжение на вспом. входе (Aux Input) <i>i</i> (1,2,3,4). Возвращает значение ASCII с плавающей запятой.
SPTS?	90	Запр. количество значений, записанных в буфер дисплея.
TRCA? <i>i, j, k</i>	90	Считывает $k \geq 1$ значений, начиная с позиции $j \geq 0$ с буфера дисплея <i>i</i> (1,2) в формате ASCII с плавающей запятой.
TRCB? <i>i, j, k</i>	90	Считывает $k \geq 1$ значений, начиная с позиции $j \geq 0$ с буфера дисплея <i>i</i> (1,2) в двоичном формате IEEE с плавающей запятой.
TRCL? <i>i, j, k</i>	91	Считывает $k \geq 1$ значений, начиная с позиции $j \geq 0$ с буфера дисплея <i>i</i> (1,2) в ненормализованном формате с плавающей запятой.
FAST (?) { <i>i</i> }	92	Уст. (запр.), вкл. (1 или 2) или выкл. режим быстрой передачи данных. При вкл. каждая записанная пара X,Y будет передаваться в двоичном виде через GPIB.
STRD	93	Запускает запись после задержки 0,5 с. Используйте с режимом быстрой передачи данных.
ИНТЕРФЕЙС	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
*RST	94	Сбрасывает прибор в его конфигурацию по умолчанию.
*IDN?	94	Считывает строку идентификации устройства SR830.
LOCL (?) { <i>i</i> }	94	Уст. (запр.) режим ручного/удаленного управления: LOCAL (0), REMOTE (1) или LOCAL LOCKOUT (2).
OVRM (?) { <i>i</i> }	94	Уст. (запр.) режим отключения передней панели: выкл. (0) или вкл. (1).
TRIG	94	Команда программного синхроимпульса. То же, что внешний синхроимпульс.
СОСТОЯНИЕ	<u>стр.</u>	<u>описание</u>
*CLS	95	Сбрасывает все байты состояния.
*ESE (?) { <i>i</i> }{ <i>j</i> }	95	Уст. (запр.) десятичное значение <i>i</i> (0-255) маски байта состояния Standard Event. *ESE <i>i, j</i> уст. бит <i>i</i> (0-7) равным <i>j</i> (0 или 1). *ESE? запр. байт. *ESE? <i>i</i> запр. только бит <i>i</i> .
*ESR? { <i>i</i> }	95	Запр. байт состояния Standard Event. Если <i>i</i> задано, запр. только бит <i>i</i> .
*SRE (?) { <i>i</i> }{ <i>j</i> }	95	Уст. (запр.) десятичное значение <i>i</i> (0-255) маски байта состояния Serial Poll. *SRE <i>i, j</i> уст. бит <i>i</i> (0-7) равным <i>j</i> (0 или 1). *SRE? запр. байт. *SRE? <i>i</i> запр. только бит <i>i</i> .
*STB? { <i>i</i> }	95	Запр. байт состояния Serial Poll. Если <i>i</i> задано, запр. только бит <i>i</i> .
*PSC (?) { <i>i</i> }	95	Уст. (запр.) значение бита очистки состояния при включении питания: установлен (1) или сброшен (0).
*ERRE (?) { <i>i</i> }{ <i>j</i> }	95	Уст. (запр.) десятичное значение <i>i</i> (0-255) маски байта состояния Errог. *ERRE <i>i, j</i> уст. бит <i>i</i> (0-7) равным <i>j</i> (0 или 1). *ERRE? запр. байт. *ERRE? <i>i</i> запр. только бит <i>i</i> .
*ERRS? { <i>i</i> }	95	Запр. байт состояния Errог. Если <i>i</i> задано, запр. только бит <i>i</i> .
*LIAE (?) { <i>i</i> }{ <i>j</i> }	95	Уст. (запр.) десятичное значение <i>i</i> (0-255) маски байта состояния LIA. *LIAE <i>i, j</i> уст. бит <i>i</i> (0-7) равным <i>j</i> (0 или 1). *LIAE? запр. байт. *LIAE? <i>i</i> запр. только бит <i>i</i> .
*LIAS? { <i>i</i> }	96	Запр. байт состояния LIA. Если <i>i</i> задано, запр. только бит <i>i</i> .

Определения байтов состояния

Байт Состояния Serial Poll (97)

<u>бит</u>	<u>назв.</u>	<u>значение</u>
0	SCN	Данные не записываются
1	IFC	Не выполняется никакая команда
2	ERR	В байте Error установлен немаск. бит
3	LIA	В байте LIA установлен немаск. бит
4	MAV	Выходной буфер интерфейса не пустой
5	ESB	В байте Standard Event уст. немаск. бит
6	SRQ	Появился сервисный запрос (SRQ)
7	не исп.	

Байт Состояния Standard Event (98)

<u>бит</u>	<u>назв.</u>	<u>значение</u>
0	INP	Переполнение входной очереди
1	не исп.	
2	QRY	Переполнение выходной очереди
3	не исп.	
4	EXE	Ошибка выполнения команды
5	CMD	Получена недопустимая команда
6	URQ	Нажата кнопка или повернута ручка
7	PON	Уст. при включении питания

Байт Состояния LIA (99)

<u>бит</u>	<u>назв.</u>	<u>значение</u>
0	INPT/RSRV	Перегрузка входа или резерва
1	FILTR	Перегрузка фильтра низких частот
2	OUTPT	Перегрузка выхода
3	UNLK	Потеря опорного сигнала
4	RANGE	Частота пересекла 200 Гц
5	TC	Постоянная времени изменена
6	TRIG	Запуск записи по синхримпульсу
7	не исп.	

Байт Состояния Error (99)

<u>бит</u>	<u>назв.</u>	<u>значение</u>
0	не исп.	
1	Backup Err.	Сбой резервного питания
2	RAM Err.	Ошибка ОЗУ
3	не исп.	
4	ROM Err.	Ошибка ПЗУ
5	GPiB Err.	Двоичная передача по GPiB не удалась
6	DSP Err.	Ошибка DSP
7	Math Err.	Внутренняя математическая ошибка

Приступаем к работе

Ваши первые измерения

Примеры измерений, описанные в этом разделе, познакомят начинающего пользователя с цифровым синхронным детектором SR830. Не беспокойтесь, если Ваши измерения не будут в точности совпадать с примерами. Цель этих упражнений — научить пользоваться прибором.

Начинающему пользователю настоятельно рекомендуется проделать несколько или все из этих упражнений, прежде чем приступать к настоящему эксперименту.

Описание эксперимента разделено на два столбца. В левом столбце находятся сами действия, а в правом — пояснения к ним.

Keys

Кнопки передней панели изображаются в рамке, например, Display, где „Display” — название кнопки.

Поворотная ручка

Поворотная ручка (далее — ручка) используется для изменения параметров, которые отображаются на дисплее „REFERENCE”.

Основные возможности прибора

В этом измерении используется внутренний генератор для исследования некоторых основных функций синхронного детектора. Вам понадобятся коаксиальные кабели.

В частности, Вы измерите амплитуду сигнала „SINE OUT” при различных частотах, чувствительностях, постоянных времени и сдвигах фазы.

1. Отключите все кабели от прибора. Включите прибор, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончатся загрузочные тесты.

Включение прибора при нажатой кнопке **SETUP** возвращает синхронный детектор к его стандартным настройкам по умолчанию. Полный список настроек можно посмотреть в параграфе «**Настройки по умолчанию**» главы «**Работа с Синхронным Детектором**».

На дисплеях „CHANNEL ONE” и „CHANNEL TWO” отображаются, соответственно, сигналы X и Y.

2. Соедините выход „SINE OUT” со входом A, используя BNC кабель.

По умолчанию синхронный детектор использует в качестве опорного сигнала сигнал внутреннего генератора на частоте 1.000 кГц. В таком случае горит индикатор „INTERNAL”. В этом режиме синхронный детектор генерирует синусоидальный сигнал („Sine Output”) на опорной частоте.

Входное сопротивление синхронного детектора 10 МΩ. Выходное сопротивление „SINE OUT” 50 Ω. Так как выходной сигнал „Sine Output” нагружен на большое сопротивление, выходное сопротивление не меняет амплитуду.

Амплитуда синусоидального сигнала 1.000 В (среднеквадратичное значение), чувствительность 1 В. Так как сдвиг фазы сигнала „Sine Output” очень близок к нулю, то дисплей первого канала (CHANNEL ONE) покажет величину X, близкую к 1.000 В, а дисплей второго канала (CHANNEL TWO) – величину Y, близкую к 0.000 В.

3. Нажмите кнопку **Phase** в секции AUTO на передней панели.

Эта кнопка автоматически подстраивает сдвиг фазы опорного сигнала так, чтобы устранить остаточную ошибку фазы. В результате значение Y должно стать равным нулю.

4. Нажмите кнопку **Phase**, расположенную под дисплеем.

Эта кнопка отобразит сдвиг фазы опорного сигнала на дисплее „REFERENCE”. Сдвиг фазы должен быть близок к нулю.

5. Нажмите **+90°**.

Эта кнопка добавляет 90° к фазе опорного сигнала. X становится равным нулю, а Y — минус амплитуде опорного сигнала (-1.000 В).

Измените фазу опорного сигнала поворотом ручки так, чтобы Y стал равен нулю, а X — амплитуде со знаком плюс опорного сигнала.

Ручка используется для изменения параметров, которые отображаются на дисплее „REFERENCE”, таких как фаза, амплитуда и частота. В итоге фаза должна быть близка к нулю.

- Нажмите в секции AUTO. Используйте функцию автоматической настройки фазы для того чтобы вернуть Y к нулевому значению, а X — к значению амплитуды.
6. Нажмите . На дисплее REFERENCE отобразится частота внутреннего генератора.
- Поворотом ручки установите значение частоты 10 кГц. Теперь поворот ручки меняет частоту. Измеренный сигнал может отличаться от 1 В на величину порядка 1 %, сдвиг фазы должен остаться близким к нулю (Y должен остаться близким к нулю).
- Поворотом ручки верните частоту к значению 1 кГц. Внутренний генератор построен на кристалле кварца с погрешностью выдаваемой частоты $25 \cdot 10^{-6}$. Частоту можно задать с помощью 4 1/2 цифр. Минимальное шаг ограничивается либо числом цифр, либо величиной 0.1 мГц (которая из них больше).
7. Нажмите . Теперь на дисплее „REFERENCE” отображается амплитуда выходного синусоидального сигнала.
- Поворотом ручки установите значение амплитуды 0.01 В. Так как амплитуда изменилась, измеренное значение X должно быть равно амплитуде сигнала „Sine Output”. Амплитуду „Sine Output” можно устанавливать от 4 мВ до 5 В (средне-квадратичное значение) при условии нагрузки на большое сопротивление (в случае нагрузки на сопротивления 50 Ω амплитуда уменьшится в два раза).
8. Нажмите в секции AUTO. Функция „AUTO Gain” подстроит чувствительность так, чтобы измеряемая амплитуда R занимала ощутимую часть всей шкалы. Смотрите на индикаторы чувствительности (в секции SENSITIVITY передней панели).
9. Нажмите в секции SENSITIVITY для выбора чувствительности 50 мВ на всю шкалу. Параметры, которые могут принимать много значений, такие как чувствительность и постоянная времени, изменяются с помощью кнопок и . Чувствительность и постоянная времени показываются с помощью индикаторов.
- Верните значение чувствительности 20 мВ.
10. Нажмите в секции TIME CONSTANT чтобы установить постоянную времени 300 мс. Величины X и Y стали зашумленными. Это произошло потому что составляющая на двойной частоте сигнала „Sine Output” (2 кГц) теперь не полностью ослабляется фильтрами низких частот.
- Нажмите в секции TIME CONSTANT чтобы установить постоянную времени 3 мс. Давайте оставим постоянную времени малой и изменим подавление фильтра.

11. Нажимайте , пока не загорится индикатор напротив значения 6 дБ.

Вы выбрали для подавления фильтра значение 6 дБ/окт (6 децибелл на октаву). Параметры, которые могут принимать небольшое количество значений, такие как подавление фильтра, изменяются одной кнопкой. Последовательными нажатиями мы перебираем все возможные значения по кругу. Нажимайте на соответствующую кнопку, пока не загорится индикатор нужного Вам значения.

Выходные сигналы X и Y несколько зашумлены при такой маленькой постоянной времени и однополюсной низкочастотной фильтрации.

Снова нажмите чтобы выбрать 12 дБ/окт.

Выходные сигналы менее зашумлены при двухполюсной фильтрации.

Дважды нажмите чтобы выбрать 24 дБ/окт.

При четырехполюсной фильтрации даже такая малая постоянная времени довольно хорошо ослабляет вторую гармонику (составляющую на двойной частоте) и делает показания стабильными.

Снова нажмите чтобы выбрать 6 дБ/окт.

Давайте оставим фильтрацию слабой, а сигналы зашумленными.

12. Нажмите .

Отображает внутреннюю опорную частоту на дисплее „REFERENCE”.

Поворотом ручки выставьте частоту 55.0 Гц.

При опорной частоте 55 Гц, ослаблении 6 дБ/окт и постоянной времени 3 мс выходной сигнал становится много меньше сигнала на двойной частоте 100 Гц.

13. Нажмите .


Включает синхронную фильтрацию всегда, когда детектируемая частота ниже 200 Гц.

Синхронная фильтрация эффективно подавляет составляющие выходного сигнала на частотах, кратных детектируемой. При низких частотах этот фильтр крайне эффективен для подавления составляющей на двойной частоте без использования очень больших постоянных времени.

Выходные сигналы теперь очень стабильные и незашумленные, несмотря на то, что постоянная времени очень мала. Время отклика синхронного фильтра равно периоду детектируемой частоты (18 мс в данном случае).

Этим завершается данное упражнение. Вы освоили работу с передней панелью и познакомились с основными параметрами синхронного детектирования. Теперь Вы можете выполнять несложные измерения.

X, Y, R и Θ

В этом измерении используются внутренний генератор и внешний источник сигнала для исследования некоторых режимов дисплея. Вам понадобятся генератор, способный выдавать синусоидальный сигнал с амплитудой 100 мВ (среднеквадратичное значение) на частоте 1.000 кГц (например, DS335 производства , BNC кабели и согласованное с выходом генератора сопротивление (обычно 50 Ω).

В частности, измеряя сигнал на частоте близкой, но не равной внутренней опорной, Вы будете видеть на дисплеях параметры выходного сигнала синхронного детектора. Такая схема эксперимента обеспечит изменение выходных сигналов, что гораздо более информативно, чем постоянные сигналы. Дисплей будет отображать X, Y, R и Θ .

1. Отключите все кабели от прибора. Включите питание, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончится выполнение тестов.

Включение питания при нажатой кнопке **SETUP** возвращает синхронный детектор к его стандартным настройкам по умолчанию. Полный список настроек можно посмотреть в параграфе «**Настройки по умолчанию**» главы «**Работа с Синхронным Детектором**».

На дисплеях „CHANNEL ONE” и „CHANNEL TWO” отображаются, соответственно, сигналы X и Y.

2. Включите генератор, установите частоту 1.000 кГц (как можно точнее), амплитуду 500 мВ (среднеквадратичное значение).

Входное сопротивление синхронного детектора 10 М Ω . Генератору может потребоваться согласованное сопротивление. Большинство генераторов имеют выходное сопротивление 50 Ω или 600 Ω . Если необходимо, используйте согласованное сопротивление. Вообще говоря, если его не использовать, выходная амплитуда сигнала не будет совпадать с выставленной на генераторе.

Подайте выходной синусоидальный сигнал с генератора на вход A с помощью BNC кабеля и согласованного сопротивления.

По умолчанию синхронный детектор использует в качестве опорного сигнала сигнал внутреннего генератора на частоте 1.000 кГц. В таком случае горит индикатор „INTERNAL”. В этом режиме внутренний генератор устанавливает частоту детектирования.

Внутренний генератор построен на кристалле кварца с погрешностью выдаваемой частоты $25 \cdot 10^{-6}$, так что опорная частота с хорошей точностью равна частоте генератора. На дисплеях должны быть сейчас величины X и Y, которые очень медленно меняются. Синхронный детектор и генератор не связаны по фазе, но они работают на одной частоте и поэтому фаза меняется медленно.

3. Нажмите **Freq**.

Отображает частоту внутреннего генератора на дисплее „REFERENCE”.

Поворотом ручки установите частоту 999.8 Гц.

Из-за отстройки опорной частоты от частоты входного сигнала на 0.2 Гц сигналы X и Y превратились в синусоидальные с частотой 0.2 Гц (разностная частота). Значения X и Y должны теперь осциллировать с частотой 0.2 Гц.

4. Нажмите в секции CHANNEL ONE чтобы выбрать R (амплитуда сигнала).

По умолчанию дисплей „CHANNEL ONE” показывает сигнал X. Это действие переключает дисплей в режим показа R. R не зависит от фазы и поэтому мы видим постоянную величину (близкую к 0.500 В).

5. Нажмите в секции CHANNEL TWO чтобы выбрать Θ (фаза сигнала).

По умолчанию дисплей „CHANNEL TWO” показывает сигнал Y. Это действие переключает дисплей в режим показа Θ . Фаза между опорным сигналом и сигналом генератора меняется на 360° примерно каждые 5 секунд (то есть с разностной частотой 0.2 Гц).

Линейный индикатор в этом случае масштабируется в пределах $\pm 180^\circ$. Он показывает линейное изменение фазы с частотой 0.2 Гц.

6. Нажмите .

Отображает частоту внутреннего генератора на дисплее „REFERENCE”.

Поворотом ручки медленно меняйте частоту опорного сигнала до тех пор, пока фаза не станет постоянной.

По мере того, как внутренняя опорная частота приближается к частоте сигнала, вращение фазы становится все медленнее и медленнее. Когда частоты В ТОЧНОСТИ равны, фаза постоянна.

7. С помощью BNC кабеля соедините выход „TTL SYNC” генератора со входом „REF IN” синхронного детектора.

Если использовать сигнал генератора в качестве внешнего опорного, то синхронный детектор подстраивает частоту своего внутреннего генератора к частоте генератора и фаза будет постоянной.

Нажмите чтобы погасить индикатор „INTERNAL”.

Выбираем режим внешнего опорного сигнала. Синхронный детектор подстроит частоту своего внутреннего генератора к частоте сигнала, подаваемого на вход „REF IN”.

Нажмите чтобы выбрать „POS EDGE” (восходящий фронт).

При TTL (то есть цифровом) опорном сигнале нужно указать, какой фронт мы хотим использовать — восходящий или нисходящий.

Теперь фаза постоянна. Она зависит от разности фаз между выходом генератора, с которого подается сигнал и цифровым синхро-выходом.

Внешняя опорная частота (измеренная синхронным детектором) отображается на дисплее „REFERENCE”. Индикатор „UNLOCK” не должен гореть, что говорит об успешно выполненной подстройке частоты к внешнему опорному сигналу.

Данные с дисплеев можно сохранять в буферы внутренних данных с программно задаваемой скоростью. Это позволяет сохранить 16 000 точек для обоих дисплеев.

Выходы, смещения, увеличения

В этом измерении используется внутренний генератор для исследования некоторых основных выходов синхронного детектора. Вам понадобятся BNC кабели и цифровой вольтметр.

В частности, Вы измерите амплитуду „Sine Output” и сформируете аналоговый выходной сигнал, пропорциональный измеренному. Также будет исследовано влияние смещения и увеличения на значения величин, отображаемых на дисплеях и на аналоговый выходной сигнал.

1. Отключите все кабели от прибора. Включите питание, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончится тестирование.

Включение питания при нажатой кнопке **SETUP** возвращает синхронный детектор к его стандартным настройкам по умолчанию. Полный список настроек можно посмотреть в параграфе «**Настройки по умолчанию**» главы «**Работа с Синхронным Детектором**».

На дисплеях „CHANNEL ONE” и „CHANNEL TWO” отображаются, соответственно, сигналы X и Y.

2. Соедините выход „SINE OUT” со входом A, используя BNC кабель.

По умолчанию синхронный детектор использует в качестве опорного сигнала сигнал внутреннего генератора на частоте 1.000 кГц. В таком случае горит индикатор „INTERNAL”. В этом режиме синхронный детектор генерирует синусоидальный сигнал („Sine Output”) на опорной частоте.

Входное сопротивление синхронного детектора 10 МΩ. Выходное сопротивление „SINE OUT” 50 Ω. Так как выходной сигнал „Sine Output” нагружен на большое сопротивление, выходное сопротивление не меняет амплитуду.

Амплитуда синусоидального сигнала 1.000 В (среднеквадратичное значение), чувствительность 1 В. Так как сдвиг фазы сигнала „Sine Output” очень близок к нулю, „CHANNEL ONE” (X) покажет величину, близкую к 1.000 В, а „CHANNEL TWO” (Y) — величину, близкую к 0.000 В.

3. Подайте сигнал с выхода „CH1 OUTPUT” передней панели синхронного детектора на цифровой вольтметр. Вольтметр должен быть в режиме измерения постоянного напряжения (DC Volts).

По умолчанию на выход „CH1 OUTPUT” подается сигнал X. Выходное напряжение дается простой формулой: $(X/\text{чувствительность} - \text{смещение}) \times \text{увеличение} \times 10 \text{ В}$. В нашем случае $X=1.000 \text{ В}$, чувствительность = 1 В, смещение = 0 %, увеличение = 1. Тогда на выходе получаем 10 В или 100 % от полной шкалы.

4. Нажмите **Ampl**.

Отображает амплитуду выходного синусоидального сигнала на дисплее „REFERENCE”.

Поворотом ручки установите значение амплитуды 0.5 В.

Теперь амплитуда 0.5 В. Дисплей „CHANNEL ONE” должен показывать $X=0.5 \text{ В}$, а цифровой вольтметр — напряжение на выходе „CH1 OUTPUT”, равное 5 В (половина от всей шкалы).

5. Нажмите **Auto** в секции OFFSET канала 1. X, Y и R можно смещать и увеличивать независимо. Если дисплей „CHANNEL ONE” показывает X, то кнопки **... OFFSET** и **Expand** под ним отвечают за смещение и увеличение X. Режим дисплея определяет, с какой из величин (X или R) мы работаем.

Функция „Auto OFFSET” автоматически подстраивает смещение X (Y или R) так, чтобы X (Y или R) стал равен нулю. В нашем случае X получил соответствующее смещение и стал равен нулю. Смещение должно быть около 50 %. Смещение полезно для проведения относительных измерений. В аналоговых синхронных детекторах смещения в основном использовались для устранения постоянной ошибки на выходе, возникающей при синхронном детектировании. Цифровой синхронный детектор SR830 не имеет постоянной ошибки на выходе, и для большей части измерений применение смещения не требуется.

Смещение влияет как на саму величину X, так и на аналоговый сигнал, пропорциональный X. Напряжение на выходе „CH1 OUTPUT” должно быть равно нулю в данном случае.

В нижней части дисплея „CHANNEL ONE” горит индикатор „Offset”, что говорит о том, что к величине, которая в данный момент отображается на дисплее, прибавлено смещение.

5. Нажмите **Modify** в секции OFFSET канала 1. Показывает смещение X на дисплее „REFERENCE”.

Поворотом ручки установите смещение X 40.0 %. Устанавливает смещение 40.0 % от всей шкалы. Это значение не меняется при изменении чувствительности. Отображаемая величина X теперь будет 0.100 В (0.5 В - 40 % от всей шкалы). Напряжение на выходе „CH1 OUTPUT” равно $(X/\text{чувствительность} - \text{смещение}) \times \text{увеличение} \times 10 \text{ В}$:

$$\text{CH1 Out} = (0.5/1.0 - 0.4) \times 1 \times 10 \text{ В} = 1 \text{ В}.$$

Нажмите **Expand** в секции CHANNEL ONE чтобы выбрать „x10”. При увеличении 10 дисплей имеет разрешение на одну цифру больше (100.00 мВ на всю шкалу).

В нижней части дисплея „CHANNEL ONE” горит индикатор „Expand”, что говорит о том, что величина, которая в данный момент отображается на дисплее, увеличивается в 10 или 100 раз.

Напряжение на выходе „CH1 OUTPUT” равно $(X/\text{чувствительность} - \text{смещение}) \times \text{увеличение} \times 10 \text{ В}$. В нашем случае выходное напряжение

$$\text{CH1 Out} = (0.5/1.0 - 0.4) \times 10 \times 10 \text{ В} = 10 \text{ В}.$$

Увеличение позволяет поднять усиление выходного сигнала до 100 раз. Выходное напряжение ограничено значением 10.9 В, так что если выходной сигнал попытается превысить это значение, загорится индикатор перегрузки („OVLD”) на дисплее „CHANNEL ONE”.

Меняя смещение и увеличение, можно задать усиление и смещение выходного напряжения для обеспечения разнообразных сигналов обратной связи.

Смещения добавляются и вычитаются из величин, отображаемых на дисплее, а увеличение повышает разрешение дисплея.

6. Подайте на вольтметр напряжение с выхода X задней панели.

Выходы X и Y задней панели всегда выдают напряжения, пропорциональные X и Y (с учетом смещения и увеличения). Выходное напряжение X должно быть 10 В, то есть в точности совпадать с напряжением на выходе „CH1 OUTPUT”.

7. Снова подайте на вольтметр напряжение с выхода „CH1 OUTPUT” передней панели.

Выходы передней панели могут выдавать различные величины, в зависимости от того, что мы выбрали, тогда как выходы задней панели всегда выдают X и Y.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:

Выходы, выдающие сигналы, пропорциональные X и Y (выходы задней панели; „CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT” в режимах X и Y, соответственно) имеют полосу пропускания 100 кГц. Сигналы на выходах „CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT” в режиме „DISPLAY” (даже если дисплей в это время показывает X и Y) обновляются с частотой 512 Гц, а выходы имеют полосу пропускания 200 Гц. Важно помнить это, если Вы используете очень малые постоянные времени.

Нажмите в секции CHANNEL ONE чтобы выбрать „DISPLAY”.

Сигнал на выходе „CH1 OUTPUT” может быть пропорционален X или величине, отображаемой на дисплее. Мы выбрали второй режим. На дисплее сейчас отображается X, поэтому на выходе „CH1 OUTPUT” сигнал остался равен 10 В (но полоса пропускания всего 200 Гц вместо 100 кГц).

4. Нажмите в секции CHANNEL ONE чтобы выбрать R.

Теперь на выходе „CH1 OUTPUT” сигнал R.

Смещение и увеличение X и Y являются выходными функциями, они НЕ влияют на вычисление R и Θ . Таким образом, на дисплее „CHANNEL ONE” (R) будет 0.5 В, на выходе „CH1 OUTPUT” будет 5 В (1/2 от всей шкалы).

Кнопки и в секции CHANNEL ONE теперь отвечают за смещение и увеличение R. Смещение и увеличение X по-прежнему 40 % и 10, что отражается в сигнале на выходе X задней панели.

Для более подробной информации о масштабировании выходных сигналов см. «Выходы постоянных сигналов и масштабирование» главы «Основы SR830».

Настройки: сохранение и восстановление

SR830 может хранить 9 полных наборов настроек в энергонезависимой памяти.

1. Включите синхронный детектор, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончится тестирование. Отключите все кабели от прибора.

Включение питания при нажатой кнопке **SETUP** возвращает синхронный детектор к его стандартным настройкам по умолчанию. Полный список настроек можно посмотреть в параграфе «**Настройки по умолчанию**» главы «**Работа с Синхронным Детектором**».

Изменим настройки прибора и сохраним полученную конфигурацию.

2. Нажмите **▽** в секции SENSITIVITY для выбора 100 мВ.

Установили чувствительность 100 мВ.

Нажмите **△** в секции TIME CONSTANT для выбора 1 с.

Установили постоянную времени 1 с.

3. Нажмите **Save**.

Дисплей „REFERENCE” показывает номер от 1 до 9.

Поворотом ручки выберите номер 3.

Поворот ручки выбирает номер конфигурации.

Снова нажмите **Save**.

Нажимаем **Save** еще раз для завершения сохранения. Нажатие любой другой кнопки отменит сохранение.

Текущие настройки сохранены под номером 3.

4. Выключите и включите синхронный детектор, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончится проверка питания.

Изменим настройки синхронного детектора обратно на стандартные. Теперь давайте вызовем конфигурацию настроек, которую мы сейчас сохранили.

Убедитесь, что чувствительность = 1 В, а постоянная времени = 100 мс (такие, как по умолчанию).

Нажмите **Recall**.

Дисплей „REFERENCE” показывает номер конфигурации.

Поворотом ручки выберите номер 3.

Поворот ручки выбирает номер конфигурации.

Снова нажмите **Recall**.

Нажимаем **Recall** еще раз для подтверждения восстановления. Нажатие любой другой кнопки отменит восстановление.

Чувствительность и постоянная времени должны быть такими, какими мы их выставили при сохранении.

Цифровые выходы и входы

В этом измерении иллюстрируется использование выходов „AUX OUT” и входов „AUX IN” на задней панели. Вам понадобятся BNC кабели и цифровой вольтметр.

В частности, Вы установите напряжения на выходах „AUX OUT” и измерите их вольтметром. Затем подадите их на входы „AUX IN” в качестве внешних постоянных напряжений, которые может измерять синхронный детектор.

1. Отключите все кабели от прибора. Включите питание, удерживая нажатой кнопку **Setup**. Подождите, пока закончится тестирование.

Включение питания при нажатой кнопке **SETUP** возвращает синхронный детектор к его стандартным настройкам по умолчанию. Полный список настроек можно посмотреть в параграфе «**Настройки по умолчанию**» главы «**Работа с Синхронным Детектором**».

2. Подайте напряжение с выхода „AUX OUT 1” задней панели на вольтметр. Вольтметр должен быть в режиме измерения постоянного напряжения (DC Volts).

4 выхода могут выдавать заданные напряжения в диапазоне от -10.5 В до +10.5 В. Они могут задаваться с передней панели или с компьютера с помощью соответствующего программного обеспечения.

3. Нажимайте **Aux Out**, пока на дисплее „REFERENCE” не появится уровень сигнала с выхода „AUX OUT 1” (загорится индикатор „AuxOut1”).

Дисплей „REFERENCE” показывает уровень напряжения на выходе „AUX OUT 1”.

Поворотом ручки установите уровень 10.00 В.

Значение выходного напряжения 10 В. Вольтметр должен показывать 10.0 В.

Поворотом ручки установите уровень -5.00 В.

Значение выходного напряжения -5 В. Вольтметр должен показывать -5.0 В.

Эти 4 выхода полезны для контроля других параметров эксперимента, таких как давление, температура, длина волны и т.д.

4. Нажмите **Display** в секции CHANNEL ONE, чтобы выбрать „AUX IN 1”.

Теперь на дисплее „CHANNEL ONE” будет отображаться сигнал со входа „AUX IN 1”.

Входы „AUX IN” могут измерять 4 аналоговых значения напряжения. Эти входы полезны для контроля и измерения других параметров эксперимента, таких как давление, температура и т.д.

Мы будем использовать выход „AUX OUT 1” в качестве источника сигнала, который мы будем измерять.

5. Отключите вольтметр от выхода „AUX OUT 1”. Подайте напряжение с этого выхода на вход „AUX IN 1” задней панели.

На дисплее „CHANNEL ONE” должно появиться значение -5 В (значение сигнала на входе „AUX IN 1”).

6. Нажмите Display в секции CHANNEL TWO чтобы выбрать „AUX IN 3”.

Теперь на дисплее „CHANNEL TWO” будет отображаться сигнал со входа „AUX IN 3”.

7. Подайте напряжение с выхода „AUX OUT 1” на вход „AUX IN 3” задней панели.

На дисплее „CHANNEL TWO” должно появиться значение -5 В (значение сигнала на входе „AUX IN 3”).

Дисплеи „CHANNEL ONE” и „CHANNEL TWO” могут показывать значения, нормированные на напряжения со входов „AUX IN”. Более подробно про масштабирование см. главу «[Основы SR830](#)».

Данные с дисплеев можно сохранять в буферы внутренних данных с программно задаваемой скоростью. Это позволяет сохранять значения сигналов не только с выходов синхронного детектора, X, Y, R и Θ , но и величины сигналов на входах „AUX IN”. Для более подробной информации см. главу «[Программирование SR830](#)».

ОСНОВЫ SR830

Что такое синхронный детектор?

Синхронные детекторы используются для выделения и измерения слабых переменных сигналов – вплоть до нескольких нановольт! С помощью синхронного детектирования можно измерить слабый сигнал на фоне шумов, превосходящих сигнал в тысячи раз.

Синхронный детектор выделяет из входного сигнала одну компоненту с заданной частотой и фазой. Шумы на частотах, отличающихся от заданной, не дают вклад в измеряемый сигнал.

Зачем использовать синхронное детектирование?

Рассмотрим следующий пример. Допустим, что измеряемый сигнал является синусоидальным с амплитудой 10 нВ и частотой 10 кГц. Поскольку сигнал слишком слабый, то его необходимо усилить. У хорошего низкошумящего усилителя шум на входе составляет около $5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Если полоса усиления составляет 100 кГц и усиление равно 1000, тогда выходной полезный сигнал будет равен 10 мкВ ($10 \text{ нВ} \times 1000$), а шум будет равен 1.6 мВ ($5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}} \times \sqrt{100 \text{ кГц}} \times 1000$). Поэтому, чтобы измерять слабый полезный сигнал, нужно сначала выделить интересующую частоту.

Если после усилителя мы поставим узкополосный фильтр с добротностью $Q=100$ (ОЧЕНЬ хороший фильтр) с центром на частоте 10 кГц, тогда фильтр пропустит все сигналы в полосе 100 Гц ($10 \text{ кГц}/Q$). Шум после фильтра будет равен 50 мкВ ($5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}} \times \sqrt{100 \text{ Гц}} \times 1000$), а полезный сигнал по-прежнему будет равен 10 мкВ. Выходной шум значительно превышает полезный сигнал, что не позволяет провести точное

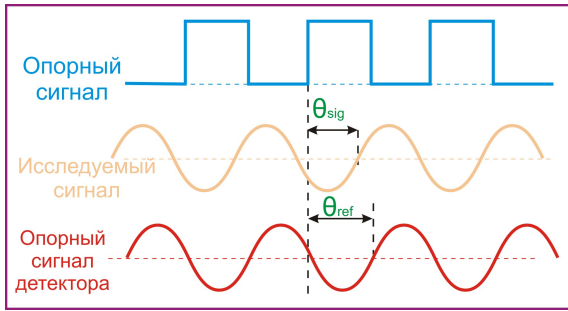
измерение. Дальнейшее усиление сигнала не решит проблему соотношения между сигналом и шумом.

Теперь попробуем поставить после усилителя синхронный детектор. Детектор может выделить сигнал на частоте 10 кГц с полосой вплоть до 0.01 Гц! В этом случае шум будет равен 0.5 мкВ ($5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}} \times \sqrt{0.01 \text{ Гц}} \times 1000$), а сигнал по-прежнему будет равен 10 мкВ. Отношение сигнал/шум теперь равно 20 и можно проводить точное измерение сигнала.

Принцип синхронного детектирования

Для синхронного детектирования требуется опорный сигнал. Обычно измеряемую систему возбуждают на определенной частоте (например от генератора) и детектор измеряет отклик системы на частоте опорного сигнала. На рисунке, приводимом ниже, опорным сигналом является прямоугольный сигнал на частоте ω_r . Таким сигналом может быть, например, синхронный выход генератора. Если для возбуждения исследуемой системы используется синусоидальный сигнал с генератора, то исследуемый отклик системы может быть таким, как показано на рисунке. Отклик зависит от времени как $V_{\text{sig}} \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \theta_{\text{sig}})$, где V_{sig} – амплитуда исследуемого сигнала.

SR830 создает собственный синусоидальный сигнал (нижний на рисунке). Опорный сигнал детектора зависит от времени как $V_L \cdot \sin(\omega_L \cdot t + \theta_{\text{ref}})$.



SR830 усиливает полезный сигнал, а затем умножает его на свой опорный сигнал. Таким образом на выходе формируется простое произведение двух синусоид,

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}} &= V_{\text{sig}} \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \theta_{\text{sig}}) \times \\
 &\quad \times V_{\text{детект}} \cdot \sin(\omega_L \cdot t + \theta_{\text{ref}}) = \\
 &= \frac{1}{2} V_{\text{sig}} \cdot V_L \cos((\omega_r - \omega_L) \cdot t + \theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}}) - \\
 &\quad - \frac{1}{2} V_{\text{sig}} \cdot V_L \cos((\omega_r + \omega_L) \cdot t + \theta_{\text{sig}} + \theta_{\text{ref}})
 \end{aligned}$$

То есть, после перемножения получаются два переменных сигнала: один на разностной частоте $\omega_r - \omega_L$, а другой на суммарной $\omega_r + \omega_L$.

Если теперь сигнал после перемножения пропустить через фильтр низких частот, то все переменные сигналы подавятся. А что же тогда останется? В общем случае ничего. Но если частота ω_r равна ω_L , то компонента на разностной частоте будет постоянным сигналом. В этом случае напряжение на выходе после фильтра будет равно:

$$V = \frac{1}{2} V_{\text{sig}} V_L \cos(\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$$

Таким образом, в итоге получается постоянный сигнал, пропорциональный амплитуде исследуемого сигнала, что очень удобно.

Детектирование с узкой полосой частот

Предположим теперь, что сигнал на входе состоит из полезного сигнала плюс шум. Перемножить плюс фильтр низких частот будут детектировать только те сигналы, частоты которых близки к частоте опорного сигнала. Шумы на частотах, сильно отстоящих от опорной частоты, подавляются фильтром (для них ни разностная $(\omega_{\text{шум}} - \omega_r)$, ни суммарная $(\omega_{\text{шум}} + \omega_r)$ частота

не близки к нулю). Шум на частотах, близких к частоте опорного сигнала, сформирует медленно меняющийся сигнал на выходе (модуль разности $|\omega_{\text{шум}} - \omega_r|$ мал). Подавление таких шумов зависит от ширины полосы фильтра низких частот. Более узкополосный фильтр подавит шумы на частотах, близких к опорной частоте, а более широкополосный фильтр пропустит их. Полоса пропускания фильтра задает полосу пропускания при детектировании сигнала. Только сигнал с частотой опорного сигнала сформирует настоящий постоянный сигнал, который пройдет через фильтр без возмущений. Именно этот сигнал мы и хотим измерять.

Откуда берется опорный сигнал?

Нам необходимо сделать частоту опорного сигнала детектора равной частоте исследуемого сигнала, т.е. $\omega_r = \omega_L$. Кроме требования равенства частот, необходимо также требование постоянства разности фаз, иначе будет меняться значение косинуса $\cos(\theta_{\text{sig}} + \theta_{\text{ref}})$ и напряжение на выходе V_{out} не будет постоянным. Другими словами, опорный сигнал детектора должен быть связан по фазе с внешним опорным сигналом.

Синхронные детекторы используют схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) для формирования внутреннего опорного сигнала. С помощью петли ФАПЧ сигнал внутреннего генератора связывается по фазе с внешним опорным сигналом (в нашем примере это прямоугольный сигнал). В результате формируется синусоидальный опорный сигнал на частоте ω_r с фиксированной фазой θ_{ref} относительно внешнего опорного сигнала. Поскольку петля ФАПЧ активно отслеживает опорный сигнал, то изменения частоты опорного сигнала не повлияют на измерения.

Для синхронного детектирования всегда необходим опорный сигнал.

В нашем примере опорный сигнал формируется генератором, возбуждающим систему. В этом случае говорят об использовании внешнего опорного сигнала. Однако во многих случаях вместо внешнего сигнала можно использовать сигнал с внутреннего генератора прибора SR830.

Внутренний генератор формирует синусоидальный сигнал с изменяемой амплитудой и синхронный TTL сигнал – эти сигналы всегда связаны по фазе.

Амплитуда и фаза

Помните, что сигнал после синхронного детектирования пропорционален $V_{\text{sig}} \cdot \cos \theta$, где $\theta = (\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$ – это разность фаз между сигналом и внутренним опорным сигналом. Изменяя θ_{ref} мы можем сделать фазу равной нулю. В этом случае измеряться будет V_{sig} ($\cos \theta = 1$). Также можно сделать разность фаз равной 90° , тогда на выходе не будет никакого сигнала.

Зависимость от фазы можно устранить, добавив еще один синхронный детектор. Если второй детектор умножит исследуемый сигнал на опорный сигнал, сдвинутый по фазе на 90° , т.е. $V_L \cdot \sin(\omega_L \cdot t + \theta_{\text{ref}} + 90^\circ)$, то на выходе после фильтра сигнал будет равен:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{2} V_{\text{sig}} V_L \sin(\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}}) \\ V_2 &\sim V_{\text{sig}} \sin \theta \end{aligned}$$

Теперь мы имеем два выхода, сигнал на одном из них пропорционален $\cos \theta$, а на другом $\sin \theta$.

Если мы обозначим первый выход X , а второй Y ,

$$X = V_{\text{sig}} \cos \theta \quad Y = V_{\text{sig}} \sin \theta$$

то эти две величины представят исследуемый сигнал как вектор по отношению к опорному сигналу. X называют синфазной компонентой, а Y – квадратурной компонентой. Эти названия используются потому, что когда $\theta = 0$, то X измеряет сигнал, а сигнал Y равен нулю.

Возможность вычисления амплитуды (R) исследуемого сигнала из значений X и Y избавляет от зависимости от фазы:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} = V_{\text{sig}}$$

Значение R пропорционально амплитуде исследуемого сигнала и не зависит от фазы между исслед. сигналом и опорным сигналом.

SR830 содержит два синхронных детектора, опорные сигналы на которых сдвинуты друг относительно друга на 90° , что позволяет непосредственно измерять X , Y и R . Кроме того, может быть вычислена фаза θ между исследуемым и опорным сигналами по формуле:

$$\theta = \arctan \left(\frac{Y}{X} \right)$$

Что измеряет синхронный детектор?

Итак, что же в действительности измеряет прибор SR830? Теорема Фурье утверждает, что любой сигнал можно представить в виде суммы (конечной или бесконечной) синусоидальных волн с разными амплитудами, частотами и фазами. Такое представление сигнала является частотным представлением. Большинство обычных осциллографов показывают сигнал во временном представлении. За исключением случая чистых синусоидальных волн временное представление дает мало информации о различных частотах, составляющих сигнал.

Что измеряет SR830?

SR830 умножает сигнал на чистую синусоиду на опорной частоте. Все компоненты входного сигнала умножаются на опорный сигнал одновременно. Говоря языком математики, синусоиды с различными частотами ортогональны, т.е. среднее от произведения двух синусоид равно нулю всегда, кроме случая, когда частоты обоих синусоид ТОЧНО равны друг другу. В SR830 в результате перемножения формируется постоянный сигнал, пропорциональный той компоненте сигнала, чья частота в точности равна частоте опорного сигнала. Фильтр низких частот, который стоит после перемножителя, обеспечивает усреднение, которое убирает все переменные сигналы, полученные после перемножения.

Поскольку SR830 умножает сигнал на чистую синусоиду, то он измеряет одну компоненту преобразования Фурье от входного сигнала с частотой, равной частоте опорного сигнала. Давайте рассмотрим следующий пример. Допустим, что входной сигнал является прямоугольным с частотой f . Прямоугольный сигнал в действительности состоит из множества синусоид с частотами, кратными f . Прямоугольный сигнал $S(t)$ с амплитудой 2 Вольта может быть представлен в виде:

$$S(t) = 1.273 \sin(\omega t) + 0.4244 \sin(3\omega t) + 0.2546 \sin(5\omega t) + \dots,$$

где $\omega = 2\pi f$. SR830, связанный по фазе с частотой f выделит только первое слагаемое. Измеряемый сигнал будет $1.273 \sin(\omega t)$, а не 2 Вольта, которые Вы можете наблюдать на осциллографе.

В общем случае, входной сигнал состоит из полезного сигнала плюс шум. Шум состоит из меняющихся сигналов на разных частотах. Идеальный синхронный детектор выделяет только шум на частоте опорного сигнала. Шум на других частотах подавляется фильтром низких частот. Такое сужение полосы частот и есть главное преимущество, достигаемое при синхронном детектировании. В результирующий сигнал дадут вклад только сигналы на опорной частоте.

Среднеквадратичное или пиковое значение?

Синхронные детекторы по общепринятому правилу показывают среднеквадратичное значение для входного сигнала. Когда SR830 показывает, что среднеквадратичное значение равно 1 Вольт (1 V rms), то это означает, что компонента входного сигнала на опорной частоте является синусоидой со среднеквадратичным значением 1 Вольт или с размахом (напряжение между максимумом и минимумом) равным 2.8 Вольт (2.8 V pk-pk).

В предыдущем примере с прямоугольным сигналом SR830 выделит первое слагаемое $1.273 \cdot \sin(\omega t)$. Прибор отобразит среднеквадратичное значение сигнала, равное 0.90 В ($\frac{1}{\sqrt{2}} \times 1.273 \approx 0.90$).

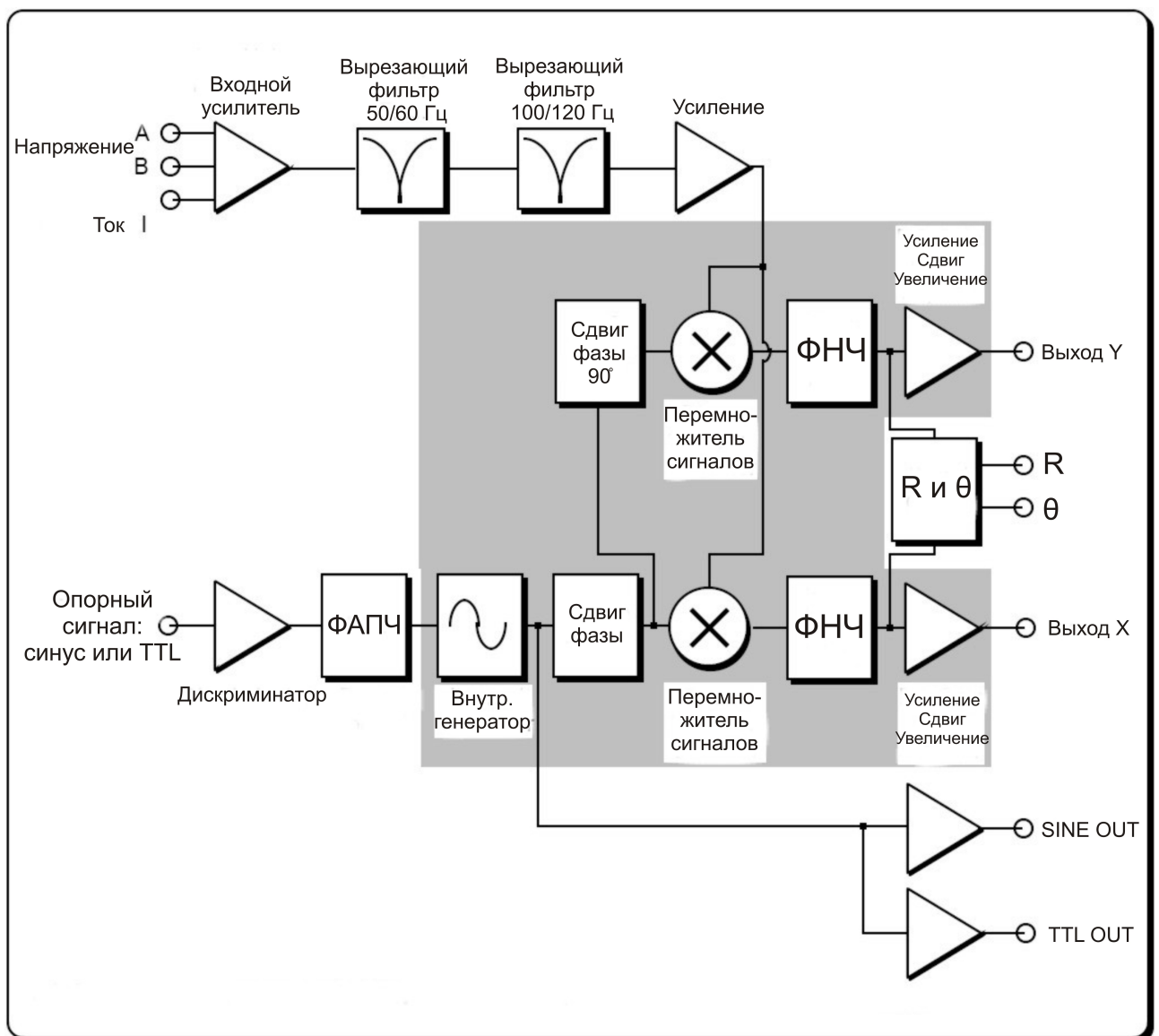
Градусы или радианы?

В этом руководстве частоты представляются как f (Гц) и как ω ($2\pi f$ радиан/сек). Это связано с тем, что частоты измеряются в герцах, а математическое описание более удобно в радианах. Для удобства измерения частоты в синхронном детекторе представляются в герцах. В уравнениях, объясняющих измерения, иногда для упрощения записи используются круговые частоты ω .

Фаза всегда представляется в градусах. Еще раз подчеркнем, что это вызвано соображениями удобства (которые для всех разные), а не строгими правилами. Уравнения, содержащие члены вида $\sin(\omega t + \theta)$, в которых фаза θ как-будто измеряется в радианах, записываются только для упрощения. Синхронные детекторы всегда имеют дело с фазой, выраженной в градусах.

Принципиальная схема SR830

На рисунке показана принципиальная схема цифрового синхронного детектора SR830. Преобразования на сером фоне выполняются цифровым сигнальным процессором. Мы обсудим особенности цифровой обработки сигналов по мере необходимости при описании отдельных блоков данной схемы.



Опорный канал

Для синхронного детектирования необходим генератор опорного сигнала на частоте, равной частоте исследуемого сигнала. В общем случае, это выполняется путем фазовой привязки внутреннего генератора к внешнему опорному сигналу. Этот опорный сигнал обычно берется от источника, который формирует возбуждающий систему сигнал.

Вход Опорного Сигнала

Вход опорного сигнала прибора SR830 может срабатывать от аналогового сигнала (такого как синусоида) или от цифрового TTL сигнала. В первом случае вход пропускает сигналы с частотой выше 1 Гц и входное сопротивление равно 1 МОм. Синусоидальный сигнал с амплитудой, большей 200 мВ, будет запускать дискриминатор. Дискриминатор срабатывает в момент пересечения сигналом нуля (при нарастании сигнала). Этот момент рассматривается как момент равенства нулю фазы опорного сигнала.

Цифровые TTL опорные сигналы могут иметь любую частоту, не превышающую 102 кГц. **Для частот, меньших 1 Гц, необходимо использовать TTL сигнал.** У многих генераторов есть синхронный TTL выход, который можно использовать как опорный сигнал. Это удобно, поскольку амплитуда синусоиды на выходе генератора может быть меньше, чем 200 мВ или у выходного сигнала может модулироваться амплитуда. Синхронный (SYNC) выход обеспечит надежный опорный сигнал, независимо от амплитуды синусоиды.

При использовании TTL сигнала, входной компаратор должен быть настроен на срабатывание по нарастающему фронту („POS EDGE“) или по спадающему фронту („NEG EDGE“). В каждом случае внутренний генератор будет связываться по фазе с выбранным фронтом.

Внутренний Генератор

Внутренний генератор в SR830 формирует синусоидальный сигнал и синхронный TTL сигнал вплоть до частоты 102 кГц. Генератор может быть связан по фазе с внешним сигналом.

Генератор цифровым образом формирует синусоидальный сигнал. Цифровой сигнальный процессор посылает вычисленные значения для синусоиды на 16-ти битный цифро-аналоговый преобразователь каждые 4 мкс (частота 256 кГц). После преобразователя расположен сглаживающий фильтр, который преобразует ступенчатый сигнал в гладкий синусоидальный сигнал. Синусоидальный сигнал подается на выход „SINE OUT“, расположенный на передней панели прибора. Амплитуда сигнала на этом выходе может быть установлена от 4 мВ до 5 В.

При использовании внешнего опорного сигнала, сигнал внутреннего генератора связывается по фазе с внешним сигналом. Момент пересечения нуля внутреннего сигнала связывается с пересечением нуля или с приходом нарастающего/спадающего фронта внешнего сигнала. В этом режиме, на выходе „SINE OUT“ формируется синусоидальный сигнал, связанный по фазе с внешним сигналом. Для низких частот (ниже 10 Гц), связывание по фазе выполняется цифровым образом с помощью цифрового сигнального процессора. Для более высоких частот используется дискретный фазовый компаратор.

Внутренний генератор можно использовать без внешнего сигнала. В режиме внутреннего опорного сигнала („Internal Reference“), сигнал на выходе „SINE OUT“ можно использовать для возбуждения системы. В этом режиме связывание по частоте не требуется, поскольку непосредственно сам опорный сигнал и выполняет возбуждение системы.

На выходе „TTL OUT“ на задней панели формируется синхронный TTL сигнал. Момент пересечения нуля сигнала внутреннего генератора используется для формирования TTL сигнала. На этом выходе формируется прямоугольный сигнал.

Опорные Сигналы и Фаза

Синусоида внутреннего генератора не подается непосредственно на умножитель. Процессор вычисляет вторичную синусоиду, сдвинутую по фазе на θ_{ref} относительно внутреннего генератора (и, следовательно, относительно внешнего сигнала), и этот сигнал является опорным для детектора в канале X. Эта синусоида зависит от вре-

мени как $\sin(\omega_r \cdot t + \theta_{\text{ref}})$. Фазу θ_{ref} можно менять с минимальным шагом 0.01° .

На умножитель в канале Y подается третья синусоида, формируемая процессором, которая сдвинута на 90° относительно второй синусоиды. Она зависит от времени как $\sin(\omega_r \cdot t + \theta_{\text{ref}} + 90^\circ)$.

Оба опорных сигнала вычисляются с точностью 20 бит и новая точка вычисляется каждые 4 мкс (256 кГц). Сдвиги фазы (θ_{ref} и 90°) вычисляются с точностью, лучшей чем 0.001° . Ни одна из этих синусоид не существует в аналоговом виде, поскольку умножители в действительности умножают инструкции внутри процессора.

Флуктуации Фазы

При использовании внешнего опорного сигнала цепь фазовой автоподстройки частоты добавляет небольшие флуктуации (отклонения) фазы. Внутренний генератор должен быть связан по фазе с внешним источником с нулевой разностью фаз. Флуктуация фазы означает, что в среднем фазовый сдвиг равен нулю, но текущее значение сдвига может составлять несколько миллионных долей градуса. Это проявляется в выходном сигнале как шум при измерении фазы или квадратур.

Шум фазы также может привести к шуму на выходах X и Y. Это связано с тем, что опорный сигнал с фазовым шумом эквивалентен сигналу с некоторой шириной спектра. То есть опорный

сигнал не является чистой синусоидой, а состоит из нескольких синусоид с немного отличающимися частотами. Эти добавочные синусоиды приводят к тому, что происходит детектирование не только на опорной частоте, но и на близких частотах. Поэтому шум на соседних частотах после синхронного детектирования проявится в выходном сигнале.

Фазовый шум прибора SR830 обычно очень мал и не вызывает никаких проблем. Для задач, в которых необходимо полное отсутствие флуктуаций фазы, следует использовать внутренний генератор. Поскольку в этом случае цепь фазовой автоподстройки не используется, то между сигналом генератора и опорным сигналом нет никакого шума фазы. (В действительности при этом остается фазовый шум, вызванный шумами кристалла генератора, но этот шум очень мал).

Детектирование на Высших Гармониках

SR830 способен вычислить два опорных сигнала для умножителей на частоте, кратной частоте сигнала внутреннего генератора. В этом случае прибор будет детектировать сигнал на частоте $N \times f_{\text{ref}}$. При этом частота сигнала на выходе „SINE OUT” не изменится. SR830 может вычислить любую гармонику вплоть до $N = 19999$, при условии, что произведение $N \times f_{\text{ref}}$ не превышает 102 кГц.

Синхронные Детекторы

SR830 умножает исследуемый сигнал на опорные сигналы цифровым способом. Усиленный сигнал оцифровывается с помощью 16-ти битного аналогово-цифрового преобразователя с максимальной частотой дискретизации 256 кГц. Перед преобразователем стоит фильтр низких частот с максимальной частотой 102 кГц, который предотвращает искажения, вызванные конечной частотой дискретизации. Усилитель и фильтр будут обсуждаться дальше.

Входной поток данных последовательно (по одной точке) умножается на вычисленные значения для опорных синусоид, упоминавшихся ранее. Каждые 4 мкс входной сигнал оцифровывается и умножается на две опорные синусоиды (сдвинутые на 90°).

Цифровое или Аналоговое Синхронное Детектирование?

Синхронные детекторы в SR830 работают как линейные умножители, то есть они вычисляют произведение сигнала и опорной синусоиды. Аналоговые детекторы имеют множество проблем. К основным следует отнести подавление гармоник, выходные сдвиги, ограниченный динамический диапазон и ошибка усиления.

Цифровые синхронные детекторы умножают оцифрованный сигнал на вычисленное значение синусоиды. Поскольку опорные синусоиды вычисляются с точностью 20 бит, то они содержат очень малую примесь других гармоник. Мощность других гармоник меньше мощности основной синусоиды на 120 децибел! А это означает, что исследуемый сигнал умножается на практически чистую синусоиду (в отличие от внешнего сигнала, который содержит много других гармоник), поэтому детектируется только сигнал на требуемой частоте. SR830 совершенно нечувствителен к дополнительным гармоникам внешнего опорного сигнала. В противоположность этому, в выходной сигнал синхронного детектора, умножающего на прямоугольный сигнал, дадут вклад все нечетные гармоники опорного сигнала (прямоугольный сигнал содержит много сильных нечетных гармоник).

Выходной сдвиг также является проблемой, поскольку сигнал на выходе является постоянным

и выходной сдвиг добавляет ошибку и может привести к дрейфу нулевого уровня. Проблемы, связанные с дополнительным напряжением исчезают при использовании цифрового перемножителя. При цифровом перемножении не возникает никаких ложных сдвигов выходного сигнала. Следует заметить, что действительное перемножение абсолютно свободно от ошибок.

Динамический резерв аналогового детектора ограничивается 60 дБ. Если в полезном сигнале присутствуют большие шумы, в 1000 раз или на 60 дБ больше, чем размах сигнала, то тогда аналоговый детектор измерит сигнал с ошибкой. Ошибка вызвана нелинейностью перемножения (ошибка на выходе зависит от амплитуды на входе). Эта ошибка может быть достаточно большой (10% от полной шкалы) и зависит от амплитуды, частоты и формы шума. Поскольку шум слабо варьируется в зависимости от этих параметров, то и ошибка детектирования тоже слабо от них зависит.

При цифровом синхронном детектировании динамический резерв зависит от качества аналого-цифрового преобразования. После того, как сигнал был оцифрован, никаких дальнейших ошибок не возникнет. Естественно, что точность произведения не зависит от значений множителей. Аналого-цифровой преобразователь, используемый в SR830 обладает хорошей линейностью, что означает, что наличие больших шумов не повлияет на корректную оцифровку слабого сигнала. Кроме того, динамический резерв SR830 может превышать 100 дБ, не вызывая каких-либо проблем. Более подробно динамический резерв будет обсуждаться далее.

Аналоговый линейный синхронный детектор умножает сигнал на аналоговую опорную синусоиду. Любая вариация амплитуды опорного сигнала приведет к вариации полного усиления. Генераторы аналоговых синусоид подвержены дрейфу амплитуды, особенно в зависимости от температуры. Цифровая синусоида обладает точной неизменной амплитудой. Это устраняет основной источник ошибки усиления, возникающей в аналоговых детекторах.

Характеристики прибора в основном определяются характеристиками каналов синхронного детектирования. Практически во всех отношениях цифровые синхронные детекторы превосходят аналоговые.

Мы обсудили, как цифровой сигнальный процессор в SR830 вычисляет два опорных сигнала и управляет обоими каналами синхронного детектирования. В следующем параграфе мы увидим, что тот же самый процессор выполняет функции фильтра низких частот и усилителя постоянно-го сигнала (эти функции необходимо применить к перемноженным сигналам). И в этих задачах цифровой подход устраняет множество проблем, которые возникают при применении аналоговых синхронных детекторов.

Постоянные времени и усиление

Как Вы помните, на выходе умножителя присутствует много сигналов. Частоты большинства этих сигналов равны разности или сумме частоты исследуемого и опорного сигнала. Постоянный сигнал сформирует только та компонента входного сигнала, чья частота точно равна частоте опорного сигнала.

Фильтр низких частот после умножителя подавит все переменные сигналы как на частоте $2F$ (сумма частот исследуемого и опорного сигналов), так и компоненты шума. Этот фильтр и делает синхронный детектор таким узкополосным.

Постоянные Времени

Для синхронных детекторов традиционно ширина полосы пропускания фильтра задается постоянной времени. Постоянная времени τ – это просто величина, обратная к ширине полосы фильтра: $\tau = 1/2\pi f$, где f – это частота сигнала, который подавляется фильтром на 3 дБ. Фильтры низких частот являются обычными RC фильтрами с подавлением сигнала 6 дБ/октава. Постоянная времени 1 секунда задает фильтр, который ослабляет на 3 дБ сигнал на частоте 0.16 Гц, а ослабление составляет 6 дБ на октаву для частот, выше 0.16 Гц. Обычно ставится два фильтра подряд для того, чтобы итоговый фильтр мог ослаблять либо на 6 дБ, либо на 12 дБ на октаву. Постоянная времени характеризует точку для каждого отдельного фильтра, в которой он ослабляет сигнал на 3 дБ (а не для суммарного фильтра).

Постоянная времени упоминается потому, что в идеальном случае выходной сигнал должен быть постоянным. А когда на входе присутствует шум, то он присутствует и на выходе. Увеличение постоянной времени делает сигнал на выходе более стабильным и проще выполнить точное его измерение. Однако, если сигнал на входе резко изменяется, то для установления сигнала на выходе пройдет время порядка нескольких τ . Это обусловлено тем, что одному RC фильтру требуется время около 5τ , чтобы напряжение на его выходе установилось. Постоянная времени определяет насколько быстро выход реагирует на изменения на входе и, следовательно, определяет степень сглаженности выходного сигнала.

Постоянная времени также определяет эквива-

лентную шумовую полосу для измерений шума. Эта полоса не равна полосе фильтра по уровню –3 дБ, а является эффективной шириной для гауссовского шума. Более подробно это будет обсуждаться позже.

Цифровые или Аналоговые Фильтры?

Цифровая фильтрация в SR830 превосходит аналоговые фильтры по многим характеристикам. Во-первых, аналоговые синхронные детекторы имеют не более двух последовательных фильтров, что обеспечивает ослабление около 12 дБ/октава. Это ограничение обычно обусловлено дефицитом места и стоимостью. Для каждого фильтра нужно устанавливать различные постоянные времени. Это требует набора электронных компонентов и реле, переключающих между ними – все это занимает много места на печатной плате и стоит довольно дорого.

Цифровой сигнальный процессор в SR830 выполняет все операции фильтрации. После каждого перемножителя можно „установить” вплоть до четырех фильтров с ослаблением 24 дБ/октава. Поскольку все фильтры цифровые, то SR830 не ограничен только двумя фильтрами.

На что влияет ослабляющая характеристика фильтра? Давайте рассмотрим пример, в котором опорный сигнал имеет частоту 1 кГц и сильный шум на частоте 1.05 кГц. На выходе умножителя шумовой сигнал будет на разностной частоте 50 Гц и на суммарной 2.05 кГц. Ясно, что фильтру труднее подавить сигнал 50 Гц. Если шум превосходит полезный сигнал на 80 дБ и мы хотим измерить полезный сигнал с точностью 1% (–40 дБ), то тогда компоненту 50 Гц необходимо подавить на 120 дБ. Чтобы сделать это, используя два последовательных фильтра, потребуются постоянная времени как минимум 3 секунды. Четыре последовательных фильтра обеспечат такое же суммарное ослабление при постоянной времени около 100 мс. Во втором случае выход будет реагировать в 30 раз быстрее на изменения на входе и эксперимент будет короче.

Синхронные Фильтры

Другим преимуществом цифровой фильтрации является возможность синхронной фильтрации. Даже если входной сигнал не содержит шума, то на выходе умножителя всегда есть компонента на суммарной частоте $2F$, чья амплитуда равна или превосходит постоянный сигнал (в зависимости от фазы). Для сигналов на низких частотах постоянная времени, которая необходима для подавления сигнала $2F$, может быть достаточно большой. Например, для частоты 1 Гц суммарная частота $2F$ будет равна 2 Гц и для ее подавления на 60 дБ двумя фильтрами необходима постоянная времени 3 секунды.

Синхронный фильтр работает совершенно иначе. Выход перемножителя усредняется за полный период опорной частоты. В результате все компоненты на кратных частотах (включая и $2F$) полностью выбрасываются. Если сигнал чистый и не содержит шума, то никакой дополнительной фильтрации не требуется. Синхронная фильтрация очень удобна для сигналов на низких частотах. Представьте, какая постоянная времени потребовалась бы для частоты 0.001 Гц!

В SR830 синхронные фильтры можно использовать для частот ниже 200 Гц. Для более высоких частот такие фильтры не требуются (частоту $2F$ и так достаточно легко подавить). Для частот ниже 200 Гц синхронные фильтры устанавливаются после одного или двух обычных фильтров. Сигнал с выхода синхронного фильтра поступает еще на два обычных фильтра. Такая комбинация фильтров убирает все кратные частоты, а также обеспечивает подавление шумовых сигналов.

Большие Постоянные Времени

Постоянные времени больше 100 секунд трудно обеспечить для аналоговых фильтров. Это связано с тем, что в этом случае емкость конденсатора RC должна быть чрезвычайно большой (что означает большие размеры самого конденсатора!). Зачем может понадобиться использовать такие большие постоянные времени? Иногда у Вас просто нет выбора. Если частота опорного сигнала сильно ниже 1 Гц и на этих частотах присутствуют сильные шумы, то тогда выход перемножителя PSD содержит много низкочастотных компонент. Синхронный фильтр вырежет только частоты, кратные опорной, а для

подавления шума должны использоваться обычные фильтры.

Постоянные времени в приборе SR830 могут принимать значения до 30 000 секунд для опорной частоты менее 200 Гц. Конечно вы не обязаны всегда использовать большие постоянные времени, но они доступны на тот случай, если в них возникнет необходимость.

Усиление Постоянного Выходного Сигнала

Насколько большим может быть сигнал на выходе умножителя? Это зависит от динамического резерва. Если он равен 60 дБ, то шум может превышать сигнал в 1000 раз (60 дБ). Что касается умножителя, то шум не должен превышать допустимый входной диапазон. Для аналоговых синхронных детекторов входной диапазон для умножителя составляет 5 В. Если динамический резерв равен 60 дБ, значит полезный сигнал на входе умножителя будет не более 5 мВ. Умножитель обычно не усиливает сигнал, поэтому постоянный выходной сигнал будет составлять лишь несколько милливольт! Даже если умножитель не добавляет шум в выходной сигнал, усиление этих нескольких милливольт до 10 В добавит ошибку.

Усиление постоянного сигнала должно быть примерно таким же, как и динамический резерв (в данном примере 1000) чтобы выходной сигнал составлял 10 В. Небольшой сдвиг в 1 мВ приведет к сдвигу выходного напряжения на 1 В! Выходной сдвиг умножителя плюс входной сдвиг усилителя постоянного сигнала должен быть порядка 10 мкВ, чтобы не оказывать влияние на измерение. Если динамический резерв увеличен до 80 дБ, тогда этот сдвиг должен быть еще в 10 раз меньше. Это одна из основных причин, почему аналоговые синхронные детекторы имеют плохие характеристики для больших динамических резервов.

Цифровые детекторы не содержат усилителя постоянного сигнала. Выходное усиление – это еще одна функция, которую выполняет процессор. Мы уже знаем, что при цифровом умножении не происходит сдвига нуля. По аналогичной причине, цифровой усилитель не имеет выходного сдвига. Усиление заключается в простом умножении чисел на коэффициент. Это позволяет

прибору SR830 работать с динамическим резервом 100 дБ без выходных сдвигов и дрейфа нуля.

Разрешающая Способность

Как в аналоговом детекторе шум не может превышать входной диапазон умножителя, так и в цифровом детекторе шум не может превышать входной диапазон аналого-цифрового преобразователя. Для 16-ти битного преобразователя динамический резерв 60 дБ означает, что когда шум „занимает” весь 16-ти битный диапазон, то для сигнала используются только младшие 6 бит. Для резерва 80 дБ, сигнал будет использовать только 2.5 бита. А для динамического резерва 100 дБ для сигнала будет использоваться меньше одного бита! В этом случае умножение таких данных на большой коэффициент усиления не увеличит разрешение. Откуда же тогда возникает разрешающая способность выходного сигнала?

Ответ заключается в фильтрации. Фильтр низких частот эффективно собирает данные многих измерений вместе. Например, для постоян-

ной времени 1 секунда выходной сигнал является результатом усреднения данных за последние 4 – 5 секунд. Если оцифровка выполняется на частоте 256 кГц, то это означает, что каждая точка на выходе представляет собой среднее (точнее скользящее среднее) от нескольких миллионов значений (новая точка вычисляется каждые 4 мкс). Что происходит при усреднении нескольких миллионов значений? Среднее значение обладает примерно в 1000 раз большим разрешением, чем составляющие его отдельные точки. Это соответствует усилению на 10 бит по отношению к исходным данным. 1 бит входных данных преобразуется в 10 бит выходного значения.

Таким образом при работе с большим динамическим резервом (и большим усилением) следует использовать фильтрацию. Наименьшие постоянные времени не подходят при работе с большими динамическими резервами. Это ограничение не является слишком серьезным, поскольку если сильный шум требует использования большого динамического резерва, то все равно потребуются большие постоянные времени для фильтрации этого шума.

Выходы постоянных сигналов и масштабирование

У прибора SR830 есть выходы X и Y, расположенные на задней панели, и выходы первого и второго каналов („CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT”), расположенные на передней панели.

Выходы X и Y на Задней Панели

На выходы X и Y на задней панели подаются сигналы с двух умножителей, прошедшие через фильтры, сдвинутые и масштабированные. Эти выходы являются стандартными выходами для аналоговых синхронных детекторов. Полоса пропускания выходов X и Y равна 100 кГц.

Выходы „CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT”

На двух выходах на передней панели могут быть напряжения, пропорциональные показаниям соответствующих дисплеев, или пропорциональные значениям X и Y. Если выходы CH1 и CH2 отображают X и Y, то они дублируют выходы задней панели.

Если напряжения на выходах CH1 и CH2 пропорциональны показаниям дисплеев, то выходы обновляются с частотой 512 Гц. Дисплей первого канала может отображать X, R, шум в канале X (X Noise), напряжение на входах „AUX IN” 1 или 2, или любую из этих величин, деленную на напряжение на входе „AUX IN” 1 или 2. Дисплей второго канала может отображать Y, θ , шум в канале Y (Y Noise), напряжение на входах „AUX IN” 3 или 4, или любую из этих величин, деленную на напряжение на входе „AUX IN” 3 или 4. Если дисплей просто отображает X или Y, то в этом случае, соответствующее напряжение на выходах „CH1 OUTPUT” или „CH2 OUTPUT” будет обновляться лишь с частотой 512 Гц. В этом случае лучше установить непосредственное отображение величин X или Y на выходах передней панели, чем делать это с помощью показаний дисплея.

Шкалы Выходов X, Y, R и θ

Чувствительность (Sensitivity) синхронного детектора – это среднеквадратичное значение входного сигнала (на опорной частоте), который приведет к максимальному постоянному сигналу на выходе. Обычно, максимальный сигнал составляет 10 В на BNC выходах X, Y или R. Следовательно, полное усиление (от входа до выхода) равно 10 В/чувствительность. Это усиление формируется из усиления переменного сигнала перед умножителем и усиления постоянного сигнала после умножителя. Изменение динамического резерва для данной чувствительности изменяет распределение усиления, оставляя полное усиление неизменным.

Для SR830 10 В являются полной шкалой для любого выхода, пропорционального X, Y или R. Это полная шкала как для выходов X и Y на задней панели, так и для выходов CH1 и CH2, настроенных на X или Y. Когда напряжение на выходе CH1 или CH2 пропорционально показаниям дисплея, который отображает X, Y или R, то полная шкала в этом случае тоже составляет 10 В.

Синхронные детекторы настроены на измерение среднеквадратичного (RMS) значения переменного входного сигнала. Все значения чувствительности и значения X, Y и R являются среднеквадратичными.

Фаза лежит в диапазоне от -180° до $+180^\circ$ вне зависимости от чувствительности. Когда напряжение на выходе CH2 пропорционально θ , то масштаб равен $18^\circ/\text{Вольт}$, иначе $180^\circ = 10\text{ Вольт}$.

Сдвиг и Увеличение Сигналов X, Y и R

SR830 может устанавливать сдвиг для сигналов X, Y и R. Это удобно при измерении отклонений сигнала от некоторого номинального значения. Сдвиг может быть установлен так, чтобы выходной сигнал равнялся нулю. После этого изменения на выходе могут быть считаны непосредственно с дисплея или с выхода. Сдвиг указывается в процентах от полной шкалы и этот процент не меняется при изменении чувствительно-

сти. Могут быть установлены сдвиги вплоть до $\pm 105\%$.

Сигналы на выходах X, Y и R также можно увеличить (клавиша Expand). При этом напряжение на выходе (минус сдвиг) просто умножается на увеличение. Тогда, если изначально сигнал составлял только 10% от всей шкалы, то его можно увеличить так, что бы он составлял 10 В, вместо 1 В. Обычно это нужно для увеличения изменений сигнала относительно ненулевого значения. Например, пусть номинальное значение сигнала равно 0.9 мВ и мы хотим измерить слабые отклонения сигнала, равные 10 мкВ. Чувствительность прибора должна быть равна 1 мВ, чтобы корректно обработать номинальный сигнал. Если сдвиг установить равным 90% от полной шкалы, то тогда номинальное значение 0.9 мВ будет соответствовать нулю на выходе. Отклонения 10 мкВ входного сигнала приведут к постоянному сигналу, равному только 100 мВ. Если теперь увеличить выходное напряжение в 10 раз, то эти малые отклонения уже будут соответствовать сигналу 1 В.

SR830 может умножать выходной сигнал только на 10 или на 100, если увеличенное напряжение не превышает выходной диапазон. В приведенном выше примере отклонения 10 мкВ могут быть умножены на 100 (для чувствительности 1 мВ).

Напряжение на аналоговом выходе со сдвигом и увеличением равно:

$$V_{\text{out}} = (\text{Сигнал/чувствительность} - \text{сдвиг}) \times \text{Увеличение} \times 10 \text{ В},$$

где сдвиг указан в долях единицы ($50\% = 0.5$), Увеличение равно 1, 10 или 100, и выходное напряжение V_{out} не может превышать 10 В. В приведенном выше примере:

$$V_{\text{out}} = (0.91\text{мВ}/1\text{мВ} - 0.9) \times 10 \times 10 \text{ В} = 1 \text{ В}$$

для сигнала, который превышает номинальное значение 0.9 мВ на 10 мкВ. (Сдвиг = 0.9 и увеличение = 10).

Функции сдвига и увеличения для выходов X и Y – это выходные функции – они НЕ влияют на вычисление R или θ . У R есть свой собственный сдвиг и увеличение.

Дисплеи первого и второго каналов

Дисплей первого канала („CHANNEL ONE“) может отображать X, R, шум в канале X (X Noise), напряжение на входах „AUX IN“ 1 или 2, или любой из этих сигналов, деленный на сигнал на входе „AUX IN“ 1 или 2. Дисплей второго канала („CHANNEL TWO“) может отображать Y, θ , шум в канале Y (Y Noise), сигнал на входе „AUX IN“ 3 или 4, или любой из этих сигналов, деленный на сигнал на входе „AUX IN“ 3 или 4.

Выходные сдвиги ОТОБРАЖАЮТСЯ на дисплее. Например, если дисплей первого канала отображает X, то на его показания влияет значение сдвига для X. Когда сдвиг для X будет таким, что сдвинутое значение станет равно нулю, то и показания дисплея будут равны нулю. Если дисплей отображает величину, которая сдвинута на ненулевое значение, то об этом будет сигнализировать светодиод „Offset“, расположенный под дисплеем.

Выходное увеличение (Expand) НЕ влияет на значения X, Y или R, отображаемые на дисплее. Увеличение влияет на разрешение для значений X, Y или R, которое используется для вычисления отображаемого на дисплее значения. Например, когда дисплей канала 1 показывает X, отображаемое значение не увеличивается, если включено умножение на 10. Это связано с тем, что функция увеличения влияет на разрешение, с которым измеряется сигнал, а не на амплитуду сигнала. На дисплее будет отображаться значение с большим разрешением, но само значение будет по-прежнему равно X минус сдвиг. Если для отображаемого на дисплее значения выбрано увеличение, то об этом будет сигнализировать светодиодный индикатор „Expand“.

Отношение сигналов отображается в процентах. Отображаемая величина (Display) для отношения $X/(AUX IN 1)$ будет равна:

$$\text{Display} = \frac{(\text{сигнал/чувствительность} - \text{сдвиг})}{\text{Aux In 1 (в Вольтах)}} \times \text{увеличение} \times 100,$$

где сдвиг указывается в долях единицы ($50\% \rightarrow 0.5$), увеличение равно 1, 10 или 100, и значение Display не может быть больше 100%. Например, пусть чувствительность равна 1 В и дисплей отображает значение $X/(AUX IN 1)$. Если $X = 500 \text{ мВ}$ и напряжение на входе AUX IN

$1 = 2.34 \text{ В}$, тогда отображаемое на дисплее значение будет равно $(0.5/1.0) \times 100/2.34 = 21.37\%$. Эта величина зависит от чувствительности, сдвига и увеличения.

Для фазы θ полная шкала всегда равна 180° .

Если дисплей отображает отношение, то об этом всегда сигнализирует соответствующий светодиодный индикатор „Ratio”.

Отношение сигналов на выходах CH1 и CH2

Что происходит, когда напряжения на выходах „CH1 OUTPUT” и CH2 OUTPUT” пропорциональны отношению сигналов? Выходное напряжение будет пропорционально отношению в процентах, и 100% будет соответствовать напряжению 10 В.

В приведенном выше примере величина на дисплее равна 21.37%, а напряжение на выходе „CH1 OUTPUT” будет равно 2.137 В.

Динамический резерв

Ранее мы уже упоминали о динамическом резерве. Настало время подробно объяснить это понятие.

Что же такое динамический резерв?

Допустим, что сигнал на входе синхронного детектора состоит из сигнала на опорной частоте (f_{ref}) на всю шкалу плюс шум на некоторой другой частоте. Стандартное определение динамического резерва – это отношение наибольшего допустимого шумового сигнала к полезному сигналу, занимающему всю шкалу, выраженное в децибелах. Например, если сигнал на всю шкалу составляет 1 мкВ, то тогда динамический резерв 60 дБ означает, что шум 1 мВ (на 60 децибел больше, чем вся шкала) является допустимым и не приведет к зашкаливанию.

Проблема связана со словом «допустимый». Шум, соответствующий динамическому резерву, не должен приводить к зашкаливанию нигде в приборе – ни на входном усилителе, ни на перемножителе, ни на фильтре низких частот, ни на усилителе постоянного сигнала. Это достигается перераспределением усиления. Чтобы достичь большого динамического резерва, усиление входного усилителя устанавливается очень малым, так чтобы шум не вызвал перегрузку. Это означает, что сигнал на перемножителе также будет очень маленьким. Затем фильтр низких частот удалит большие шумовые компоненты, что позволит выполнить значительное усиление постоянного сигнала, чтобы достигнуть полной шкалы 10 В. Нет никакой проблемы в том, чтобы установить малое усиление для входного усилителя. Однако, как мы обсуждали ранее, у аналоговых синхронных детекторов возникают проблемы при большом динамическом диапазоне, связанные с нелинейностью перемножителя и сдвигами после перемножителя и усилителя постоянного сигнала. В аналоговых синхронных детекторах большие шумовые сигналы практически всегда возмущают измеряемый сигнал.

Наиболее часто встречаемая проблема – это ошибка в постоянном сигнале, вызванная шумом. Эта ошибка может проявиться как сдвиг или как ошибка коэффициента усиления. Поскольку оба эффекта зависят от амплитуды и

частоты шума, их нельзя полностью компенсировать – эти эффекты накладывают конечное ограничение на точность измерения. Поскольку эти ошибки носят постоянный характер по своей природе, то увеличение постоянной времени в этом случае не поможет. Для большинства синхронных детекторов допустимый шум определяется как шум, который влияет на выходной сигнал менее, чем на несколько процентов от всей шкалы. Это более строгое условие, чем условие отсутствия перегрузок.

Другой эффект, вызываемый сильным входным шумом – это появление шумового сигнала на выходе и дрейф нуля. Это связано с тем, что усилитель постоянного сигнала работает с большим коэффициентом усиления, поэтому низкочастотные шумы и сдвиги будут усилены и внесут вклад в выходной сигнал. Шум доставляет меньше проблем, чем дрейф нуля, поскольку увеличение постоянной времени уменьшает шум. Дрейф нуля для аналоговых синхронных детекторов обычно составляет $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ для динамического резерва 60 дБ. Это означает, что при изменении температуры на 10°C ноль смещается на 1% от всей шкалы. Обычно такой сдвиг рассматривается как максимально допустимый предел.

Наконец, динамический резерв зависит от частоты шума. Шум на частоте, равной опорной, не будет подавлен. Поэтому динамический резерв на опорной частоте f_{ref} равен 0 дБ. По мере того, как частота шума удаляется от опорной частоты, динамический резерв увеличивается. Почему? Потому что фильтр низких частот после перемножителя ослабляет шумовой сигнал. Помните, что шум на выходе перемножителя будет на частоте $|f_{noise} - f_{ref}|$. Скорость увеличения динамического резерва зависит от постоянной времени и от спада АЧХ характеристики фильтра. Поэтому фильтры с подавлением 24 дБ/октава лучше, чем фильтры 6 или 12 дБ/октава. Когда частота шума достаточно далека от опорной частоты, то динамический резерв ограничивается распределением усиления и перегрузками на каждом из усиливающих элементов. Этот динамический резерв и указывается в спецификации.

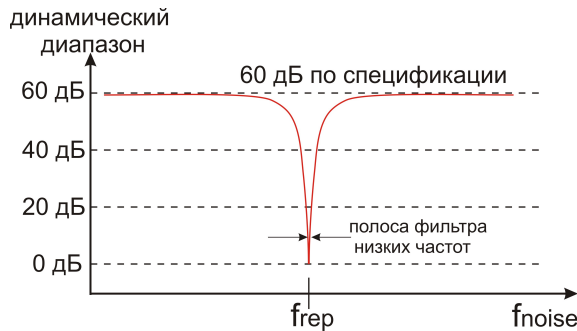


Рисунок демонстрирует зависимость динамического диапазона от частоты шума (f_{noise}). В некоторых приборах могут ослабляться сигналы, чьи частоты сильно выходят за рабочий диапазон синхронного детектора ($f_{\text{noise}} \gg 100$ кГц). Для этих частот динамический резерв может быть сделан заметно бóльшим. Но, хотя большое значение динамического диапазона красиво смотрится в спецификации, удаление частот, далеких от опорной, не является задачей синхронного детектора. Синхронное детектирование используют тогда, когда присутствует шум на частотах, близких к опорной. Поэтому значение динамического резерва внутри рабочего диапазона частот является более важным.

Динамический резерв в SR830

SR830 выполняет перемножение сигналов цифровым способом, поэтому выходной сигнал свободен от постоянных сдвигов, вызванных сильными шумами. Динамический резерв может быть увеличен до 100 дБ без увеличения ошибки измерения. Большое усиление постоянного сигнала не приводит к дрейфу нуля на выходе.

Более того, единственным недостатком при работе с большими динамическими резервами (> 60 дБ) является значительный шум на выходе аналого-цифрового преобразователя. Этот шум значителен только если динамический резерв больше 60 дБ. И выбран режим динамического резерва „High Reserve” или „Normal”. Однако, в режиме „Low Noise” динамический резерв может быть достаточно большим, как мы вскоре увидим.

Чтобы измерить собственные шумы SR830 для динамического резерва 100 дБ, необходимо заземлить входной сигнал. Давайте выполним простой эксперимент. Пусть опорная частота детектора равна 1 кГц и на вход поступает сигнал на частоте 9.5 кГц. Что тогда будет на выходе синхронного детектора? Если сигнал увеличить до

предела динамического резерва (на 100 дБ больше, чем вся шкала), то на выходе будет сигнал на частоте 1 кГц. В спектре любого генератора всегда присутствуют шумы на всех частотах. Поэтому, даже если прилагаемый сигнал на частоте 9.5 кГц, то все равно будут присутствовать шумы на всех частотах, включая опорную частоту 1 кГц. Этот шум будет задетектирован и даст вклад в выходной сигнал. Обычно этот шум больше, чем собственный выходной шум SR830. Более того, практически у всех источников сигнала есть шумы, которые превзойдут выходной шум синхронного детектора.

Если шум не достигает максимума динамического резерва, то тогда собственный выходной шум прибора SR830 становится детектируемым на сверхвысоких динамических резервах. В этом случае простое уменьшение динамического резерва и усиления постоянного сигнала уменьшит и выходной шум. Не следует работать с динамическим резервом, который больше необходимого. То есть не используйте режим „High Reserve”, когда нет практически никакого шума.

Зависимость динамического резерва от частоты неразрывно связана со схемой синхронного детектирования. SR830 может увеличить динамический резерв для шума на частотах, близких к опорной, увеличивая число фильтров. Указанный в спецификации динамический резерв относится к шумам, частоты которых лежат внутри рабочего диапазона, т.е. меньше 100 кГц. Динамический резерв для более высоких частот в действительности больше, но он не имеет такого важного значения.

Минимальный динамический резерв („Low Noise”)

Прибор SR830 может всегда использовать минимальный динамический резерв. Для этого следует установить режим „Low Noise”. Минимальный резерв изменяется при изменении чувствительности (усиления) прибора. Для больших усилений (чувствительность 50 мкВ и меньше), минимальный резерв увеличивается от 37 дБ с той же скоростью, с какой увеличивается чувствительность. Например, минимальный динамический резерв для чувствительности 5 мкВ составляет 57 дБ. Во многих синхронных детекторах резерв может быть меньше. Почему нельзя использовать SR830 с меньшим значением резерва

на такой чувствительности?

Чтобы ответить на этот вопрос необходимо сначала понять – зачем Вам нужен меньший динамический резерв? Для аналоговых синхронных детекторов меньший резерв означает меньшую ошибку и дрейф сигнала на выходе. В приборе SR830 большой динамический резерв не увеличивает ошибку или дрейф. Хотя большой резерв может увеличить шумы на выходе. Однако, если усиление аналогового сигнала перед аналого-цифровым преобразователем достаточно велико, то шум $5\text{нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ будет усилен до уровня, превосходящего собственные шумы АЦП. Поэтому, детектируемый шум будет определяться шумом во входном сигнале, а не шумом АЦП. Увеличе-

ние аналогового усиления (уменьшение резерва) не уменьшит выходной шум. Поэтому нет необходимости уменьшать динамический диапазон. Для чувствительности 5мкВ аналоговое усиление достаточно велико, чтобы учитывать влияние шумов АЦП. Для чувствительности меньше 5мкВ не требуется большее усиление, поскольку будет увеличено отношение сигнал/шум (основной вклад дадут шумы входного усилителя). В SR830 усиление не увеличивается для чувствительностей, меньших 5мкВ , вместо этого увеличивается минимальный резерв. Конечно, входное усиление может быть уменьшено, что увеличит резерв, но в этом случае шумы АЦП могут быть задетектированы в отсутствие входного сигнала.

Усилитель входного сигнала и фильтры

Синхронный детектор может измерять сигналы порядка нескольких нановольт. Низкошумящий усилитель используется для усиления сигнала до уровня, оптимального при оцифровке сигнала с помощью АЦП (не увеличивая отношение сигнал/шум). Коэффициент аналогового усиления в синхронном детекторе может изменяться примерно от 7 до 1000. Как было сказано выше, более высокие коэффициенты усиления не улучшают отношение сигнал/шум и потому не являются необходимыми.

Суммарное усиление (переменного и постоянного сигнала) определяется чувствительностью. Распределение усиления (между переменным и постоянным) определяется динамическим резервом.

Входной шум

Шум на входе усилителя сигнала составляет примерно $5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Что же означает эта характеристика шума? Проведем мысленный эксперимент. Если шум на входе усилителя составляет $5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ и коэффициент усиления 1000, тогда на выходе усилителя мы получим шум $5 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Предположим, что на выходе усилителя стоит фильтр низких частот – одиночный RC фильтр (подавление 6 дБ/октаву), постоянная времени составляет 100 мс. Какой тогда будет шум на выходе фильтра?

Шум на входе усилителя и тепловой шум резисторов гауссовы по своей природе. Таким образом, величина шума пропорциональна квадратному корню из ширины полосы, на которой измеряется шум. Одноступенчатый RC фильтр обладает эквивалентной шириной полосы шума (Δf_{ENBW} - equivalent noise bandwidth) $1/4T$, где T - постоянная времени. Это значит, что гауссов шум на входе фильтра снижается с эффективной шириной полосы, равной Δf_{ENBW} . В данном примере на вход фильтра подается шум $5 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Эквивалентная полоса шума будет равна $\Delta f_{\text{ENBW}} = 1/(4 \times 100 \text{ мс}) = 2.5 \text{ Гц}$. Тогда напряжение шума на выходе фильтра будет $5 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}} \times \sqrt{2.5 \text{ Гц}} = 7.9 \text{ мкВ}$. Для гауссова шума, размах шумового сигнала в 5 раз больше среднеквадратичного значения. Значит, на выходе фильтра размах шумового сигнала будет примерно 40 мкВ.

Ситуация с шумом в случае синхронного детектирования аналогична. Если чувствительность меньше 5 мкВ, то величина шума на выходе будет определяться шумом на входе (в случае минимального разрешения). Величина шума на выходе задается Δf_{ENBW} низкочастотного фильтра. Более подробно о эквивалентной полосе шума будет рассказано ниже. Полоса Δf_{ENBW} зависит от постоянной времени и от подавления шума фильтром. Например, предположим, что чувствительность синхронного детектора равна 5 мкВ, постоянная времени фильтра равна 100 мс, подавление – 6 дБ /октава. Тогда $\Delta f_{\text{ENBW}} = 2.5 \text{ Гц}$. Таким образом, синхронный детектор будет измерять шум на входе с Δf_{ENBW} , равной 2.5 Гц. Это означает, что амплитуда шумового сигнала на входе будет равна 7.9 нВ. Тогда шум на выходе составит около 0.16% полного размаха (7.9 нВ/5 мкВ). Значит, размах амплитуды колебаний шума будет составлять примерно 0.8% от всей шкалы.

При этом предполагается, что на вход поступает сигнал от источника с низким выходным сопротивлением. Помните, что тепловой шум резистора равен $0.13 \times \sqrt{R} \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Даже у резистора 50Ω шум составляет $1 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. У источника сигнала с выходным сопротивлением $2 \text{ к}\Omega$ тепловой шум больше, чем собственный входной шум SR830. Чтобы определить общий шум нескольких источников, нужно взять квадратный корень из суммы квадратов отдельных шумов. Если, например, подключить источник с выходным сопротивлением $2 \text{ к}\Omega$, тепловой шум которого составляет $5.8 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, к SR830, то общий шум на входе будет $[5.2^2 + 5.8^2]^{1/2}$, или $7.7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$.

Более подробно о источниках шума будет рассказано ниже.

При низком коэффициенте усиления (чувствительность выше 50 мкВ), усиление при большом динамическом резерве не достаточно для того, чтобы усилить входной шум до уровня, большего чем шум АЦП. В этих случаях шум на выходе определяется шумом АЦП. Однако, при такой чувствительности усиление постоянного сигнала мало, и шумом на выходе можно пренебречь.

Вырезающие фильтры

В цепи усилителя SR830 расположены два вырезающих (узкополосных режекторных) фильтра. Они настроены на частоту сети питания и ее вторую гармонику. Эти фильтры используются для подавления вредных сигналов, обусловленных влиянием сети питания. Удаление больших шумовых сигналов перед последней стадией усиления позволяет уменьшить необходимый динамический резерв. То есть, в том случае, когда фильтры уменьшают необходимый резерв до 60 дБ или до минимального значения (которое из них больше), можно добиться некоторого улучшения. Если необходимый резерв без этих фильтров ниже 60 дБ, или если минимальный резерв достаточно большой, то использование фильтров улучшит измерение незначительно.

Использование любого из этих фильтров ограничивает проведение измерений вблизи частоты, которую он вырезает. Такие фильтры можно подстраивать в небольшом диапазоне, обычно около 10 Гц. Таким образом, если вы проводите измерения на частоте 70 Гц, не используйте узкополосный фильтр на 60 Гц! Сигнал будет искажен, и измерение окажется неверным. При измерении фазовых сдвигов эти фильтры могут исказить результат для частоты сигнала, отличающейся вплоть до двух раз от вырезаемой частоты.

Фильтр защиты от наложения спектров

После прохождения всех вышеописанных фильтров и усилителя сигнал идет на фильтр низких частот, предотвращающий наложение сигналов. Этот фильтр необходим для правильной оцифровки сигнала. Согласно теореме Котель-

никова сигналы должны дискретизироваться на частоте, которая больше максимальной частоты сигнала как минимум в 2 раза. В нашем случае максимальная частота сигнала составляет 100 кГц, а частота дискретизации 256 кГц, что допустимо. Однако никакой сигнал с частотой выше 128 кГц не должен попасть на АЦП. Иначе условия теоремы Котельникова не будут выполнены и нельзя будет провести однозначное соответствие между исходным аналоговым и оцифрованным сигналами. Высокочастотные сигналы появятся как низкочастотные в цифровом потоке данных. Например, сигнал на частоте 175 кГц проявится на частоте ниже 100 кГц, и будет задетектирован цифровым множителем, что нежелательно.

Чтобы избежать подобных наложений, аналоговый сигнал фильтруется так, чтобы убрать любые сигналы с частотой больше 154 кГц (так как при частоте дискретизации 256 кГц, сигналы с частотой выше 154 кГц проявятся ниже 102 кГц). Этот фильтр полностью пропускает все сигналы от постоянного до 102 кГц, не искажая измерения в рабочем диапазоне синхронного детектора. Подавление в фильтре нарастает, начиная от 102 кГц, и по достижении частоты в 154 кГц составляет более 100 дБ. Вариации амплитуды и фазовые сдвиги, вызванные этим фильтром, откалиброваны производителем и не влияют на измерения. Таким образом, наличие этого фильтра не заметно для пользователя.

Входное сопротивление

Входное сопротивление SR830 составляет 10 МΩ. Если этого недостаточно, то нужно использовать отдельный предусилитель SR550. Входное сопротивление SR550 составляет 100 МΩ а полоса пропускания – от 1 Гц до 100 кГц.

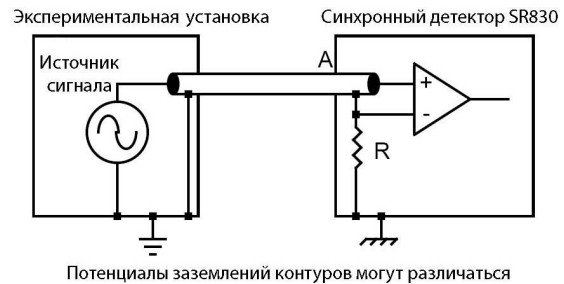
Способы подачи сигнала

Чтобы добиться наилучшей точности для конкретного измерения, необходимо минимизировать влияние различных источников шума, которые могут находиться в лаборатории. Влияние внутренних шумов (тепловой, шум $1/f$ и входной шум) должно быть учтено в эксперименте или в самом приборе. Эти источники шума присутствуют всегда, не зависимо от того, как сигнал подается на прибор. Однако, правильная подача сигнала на вход может минимизировать вклад источников шума в лаборатории (таких как двигатели, генераторы сигналов и т. п.), а также влияние разности потенциалов между землей датчика и землей синхронного детектора.

Существует два способа подключения сигнала к синхронному детектору – с помощью одного кабеля и дифференциальное подключение. Подключение одним кабелем более удобно, а дифференциальное подключение лучше устраняет паразитные наводки.

Подключение одним кабелем (А)

Если сигнал подается с помощью одного кабеля, то этот кабель подсоединяется ко входу А. Синхронный детектор воспринимает сигнал как напряжение между центральной жилой и экранирующей оплеткой коаксиального кабеля. Земля входа А соединяется с землей прибора SR830 через сопротивление. Его величина выбирается пользователем. В режиме „Float” (Плавающая земля) это сопротивление равно $10\text{ к}\Omega$, а в режиме „Ground” (Заземление) $10\ \Omega$. Это позволяет избежать проблем с земляными петлями между экспериментальной частью и синхронным детектором. Прибор SR830 может позволить земле входа А стать «квазиплавающей» для учета земли сигнала. Тем не менее, если в оплетке возникнут паразитные шумы, то они проявятся и в синхронном детекторе. Это плохо, поскольку SR830 не может их фильтровать.

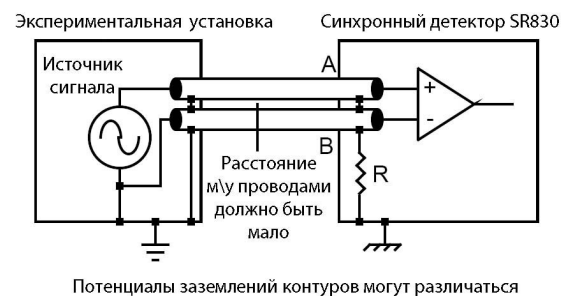


Синфазный шум, идущий одновременно и по центральной жиле и по оплетке, подавляется входным усилителем на 100 дБ , а шум, идущий только по оплетке, никак не подавляется.

Дифференциальное подключение (А-В)

Второе доступное подключение – дифференциальное подключение. Синхронный детектор измеряет разницу потенциалов между центральными жилами входов А и В. Таким образом, оба идущих сигнала экранированы от паразитных наводок. Шум на оплетках не влияет на сигнал, так как потенциалы оплеток при таком подключении не учитываются.

При использовании двух кабелей важно, чтобы оба они шли от экспериментальной установки до синхронного детектора одним путем. Особенно важно, чтобы между проводами не образовывались больших петель. Большие петли восприимчивы к магнитным наводкам.



Синфазные сигналы

Синфазные сигналы - это те сигналы, которые проявляются одинаково на центральной жиле и оплетке (А) или на двух центральных жилах А и В (А-В). При любой схеме подключения важно

минимизировать как синфазный шум, так и синфазный сигнал. Обратите внимание на то, что источник сигнала расположен рядом с заземлением на обоих вышеуказанных рисунках. Если источник сигнала будет обладать ненулевым потенциалом, то сигнал, появляющийся на обоих входах (А и В) не будет полностью подавлен. Коэффициент ослабления синфазного сигнала (CMRR, common mode rejection ratio) определяет степень ослабления. Для малых частот подавление 100 дБ означает, что синфазный сигнал будет ослаблен по амплитуде в 10^5 раз. То есть, если CMRR равен 100 дБ, то синфазный сигнал в 100 мВ будет преобразован в дифференциальный сигнал в 1 мкВ. Такая ситуация особенно неблагоприятна, если частота синфазного сигнала совпадает с опорной частотой (это часто происходит из-за земляных петель). CMRR уменьшается примерно на 6 дБ/октаву (20 дБ/декаду), начиная примерно с 1 кГц.

Токовый вход (I)

Токовый вход в SR830 также обеспечивается BNC коннектором А. Его входное сопротивление составляет 1 кΩ, а коэффициент усиления по току 10^6 или 10^8 вольт/ампер. С его помощью можно измерять токи в диапазоне от 2 фА до 1 мкА.

Наиболее важным фактором при выборе величины измерения – тока или напряжения, является сопротивление источника сигнала.

Для источников с большим сопротивлением – большим, чем 1 МΩ (коэффициент усиления 10^6) или 100 МΩ (коэффициент усиления 10^8), и для малых токов используйте токовый вход. Его относительно маленькое входное сопротивление значительно уменьшает ошибки амплитуды и фазы, вызванные постоянной времени, образуемой емкостью кабеля и сопротивлением источника. Емкость кабеля все же должна быть малой, чтобы минимизировать усиление высокочастотного шума в предусилителе тока.

Для источников со средним и малым сопротивлением или в случае больших токов, лучше использовать вход по напряжению. Для шунтирования сигнала по току и создания сигнала напряжения можно использовать резистор с неболь-

шим сопротивлением. Тогда синхронный детектор будет измерять напряжение на шунтирующем резисторе. Выбирать его сопротивление следует так, чтобы напряжение оставалось малым (и не влияло на источник тока). В то же время резистор должен обеспечивать уровень сигнала, достаточный для синхронного детектора.

Какой коэффициент усиления тока лучше использовать? Коэффициент усиления определяет входной шум по току и полосу пропускания измерения. Сигналы вне полосы усиления ослабляются на 6 дБ/октаву. Ниже представлена зависимость уровня шума и полосы пропускания от коэффициента усиления.

К-т усиления	Шум	Диапазон
10^6	130 фА/ $\sqrt{\Gamma\text{ц}}$	70 кГц
10^8	13 фА/ $\sqrt{\Gamma\text{ц}}$	700 Гц

Полный или переменный сигнал?

Вход может пропускать полный сигнал (DC) или только переменную его составляющую (AC). Фильтр верхних частот пропускает переменные сигналы с частотой выше 160 мГц (0.16 Гц) и отсекает сигналы на меньших частотах. При частотах выше 160 мГц следует по возможности использовать переменный сигнал. При более низких частотах необходимо использовать полный сигнал.

Если полный сигнал не убрать фильтром, то он умножится на опорный сигнал и в итоге создаст на выходе сигнал на опорной частоте. Обычно такого сигнала на выходе умножителя нет и его следует подавлять при помощи фильтра низких частот. Если постоянная составляющая сигнала велика, то ее вклад в выходной сигнал будет значительным, и для его устранения понадобится большая постоянная времени. Использование только переменного сигнала устраняет постоянную составляющую сигнала, не влияя на сам сигнал, если его частота выше 160 мГц.

Если сигналом является ток, то на предусилитель поступает полный сигнал. Можно устранить постоянную составляющую токового сигнала, включив фильтр высоких частот после предусилителя.

Внутренние источники случайного шума

Случайный шум может проникнуть в эксперимент по множеству путей. При оптимальной конструкции установки такие шумы подавляются, что улучшает точность и стабильность измерения. Во всех электронных сигналах присутствует множество шумов.

Тепловой шум

На выводах каждого резистора создается шум из-за температурных флуктуаций плотности электронов внутри самого резистора. В итоге мы получим шум в нашем контуре:

$$V_{\text{шум}}(rms) = (4k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f)^{1/2},$$

где k - постоянная Больцмана (1.38×10^{-23} Дж/°К), T - температура в градусах Кельвина (обычно 300°К), R - сопротивление в Омах, а Δf - ширина полосы измерения в герцах.

Так как усилитель входного сигнала в SR830 имеет полосу пропускания примерно 300 кГц, то эффективное значение шума на входе усилителя составит $V_{\text{шум}}(rms) = 70\sqrt{R}$ нВ среднеквадратично, что соответствует размаху $350\sqrt{R}$ нВ. Это широкополосный шум, поэтому он может повлиять на динамический резерв, если сопротивление источника сигнала достаточно большое.

Амплитуда шума, попадающего в синхронный детектор, определяется шириной полосы измерения. Помните, что SR830 не сужает полосу до умножителей. В синхронном детекторе ширина полосы измерения задается эквивалентной полосой шума Δf_{ENBW} фильтра нижних частот (через постоянную времени). В этом случае тепловой шум сопротивления источника сигнала, попадающий на вход детектора, обычно представляет собой:

$$V_{\text{шум}}(rms) = 0.13\sqrt{R}\sqrt{\Delta f_{\text{ENBW}}} \text{ нВ}$$

Δf_{ENBW} определяется постоянной времени и подавлением, как показано ниже в таблице. Время ожидания – время, необходимое для достижения 99% окончательного значения. T - постоянная времени.

Подавление	Δf_{ENBW}	Время ожидания
6 дБ/октаву	1/(4T)	5T
12 дБ/октаву	1/(8T)	7T
18 дБ/октаву	1/(32T)	9T
24 дБ/октаву	1/(64T)	10T

Амплитуда широкополосного шума, который будет усилен, определяется полосой пропускания усилителя сигнала. Это влияет на динамический резерв. Постоянная времени определяет вклад шумового сигнала. Тепловой шум более подробно описан в параграфе «Усилитель входного сигнала и фильтры» .

Дробовой шум

Электрический ток также обладает естественным шумом из-за того, что проводящие ток электроны обладают конечным зарядом. В движении электронов всегда наблюдается некая неоднородность, благодаря которой и генерируется шум. Такой шум называется дробовым. Он может проявляться в виде флуктуаций напряжения при прохождении тока через резистор, или в виде флуктуаций в измерении тока. Дробовой шум задается следующим выражением:

$$I_{\text{шум}}(rms) = (2qI\Delta f)^{1/2},$$

где q - заряд электрона (1.6×10^{-19} Кулон), I - среднеквадратичное значение переменного тока, или постоянный ток, и Δf – ширина полосы пропускания.

Когда синхронный детектор измеряет переменный ток, то полоса пропускания обычно настолько мала, что дробовым шумом можно пренебречь.

Шум 1/f

Если рассмотреть несколько резисторов с сопротивлением 10Ω, то у для всех тепловой шум будет одинаков, вне зависимости от материала, из которого они сделаны. Однако, в дополнение к тепловому шуму есть ещё один шум, возникающий в результате изменения сопротивления резистора в зависимости от протекающего тока. Для углеродистых резисторов флуктуация обычно составляет 0.1 мВ - 3 мВ (среднеквадратично) на каждый вольт прикладываемого напряжения. У ленточных и проволочных резисторов шум примерно в 10 раз меньше. Спектр такого шума имеет вид 1/f. Поэтому, как несложно понять, такой шум усложняет измерения на малых частотах.

Источниками шума $1/f$ также являются электронные лампы и полупроводники.

Общая амплитуда шума

Все вышеуказанные источники шума независимы. Поэтому общая амплитуда шума рассчитывается как корень из суммы квадратов отдельных шумов.

Внешние источники шума

В дополнение к вышеописанным внутренним источникам шума в лаборатории может находиться множество внешних источников шума.

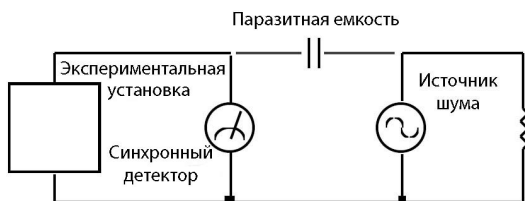
Большинство из них асинхронны, т.е. они никак не связаны с опорной частотой или её гармониками. В качестве примера можно привести осветительные приборы, двигатели, охлаждающие устройства, радиопередатчики, компьютерные экраны и т.п. Такие источники шума негативно влияют на процесс измерения, т.к. из-за них увеличиваются необходимый динамический резерв и постоянная времени.

Однако некоторые источники связаны с несущей частотой. Если шум от них попадет в сигнал, то в измерении неизбежно возникнут ошибки. Типичные источники синхронных помех – земляные петли между экспериментальной частью, датчиком и синхронным детектором, а также электронные наводки от генератора опорного сигнала или экспериментальной установки.

Влияние большинства из этих шумов можно минимизировать при корректном выполнении измерений и правильной конструкции экспериментальной установки. Вообще существует несколько возможностей для шума проникнуть в сигнал.

Емкостная связь

Напряжение переменного тока от близлежащей части установки может повлиять на показания детектора через паразитную емкость. Хотя она может быть небольшой, но шум от нее все же может оказаться сильнее, чем слабый полезный сигнал. Это влияние особенно вредно, если шум синхронный (на опорной частоте).



Уровень шума, наведенного паразитной емкостью можно оценить следующим образом:

$$I = C_{\text{паразитная}} \frac{dV}{dt} = \omega C_{\text{паразитная}} V_{\text{шум}}$$

где ω - частота шума, умноженная на 2π , $V_{\text{шум}}$ - амплитуда шума, а $C_{\text{паразитная}}$ - паразитная емкость.

Приведем пример: если источником шума является цепь питания, то $f=60\text{Гц}$, а $V_{\text{шум}}=120\text{В}$. Тогда паразитную емкость можно оценить при помощи эквивалентного плоского конденсатора. Если площадь его пластин составляет 1см^2 , а расстояние между ними 10см , то $C_{\text{паразитная}}$ составляет 0.009пФ . Тогда ток шума будет 400пА (при 60Гц). Такой казался бы небольшой шум будет в тысячи раз больше чем сигнал. Если источник шума будет высокочастотным, то наведенный шум будет ещё больше.

В случае если источник шума будет работать на опорной частоте, то ситуация становится еще хуже. Синхронный детектор отсекает шумы на посторонних частотах, но наведенный на опорной частоте шум сразу попадет в сигнал.

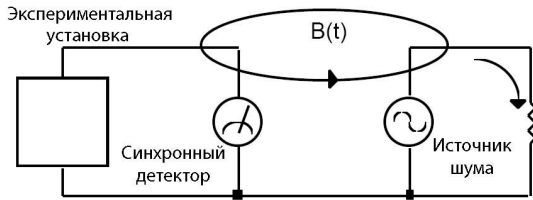
Ниже перечислены методы борьбы с емкостной связью:

- 1) Устранение или выключение источника шума.
- 2) Уменьшение паразитной емкости. Не располагайте установку поблизости от источника шума. Также следите за тем, чтобы кабели, по которым идет сигнал, не проходили близко к источнику шума.
- 3) Оптимизация установки под измерение напряжения с малым сопротивлением (чтобы шумы тока создавали малое напряжение).
- 4) Помещение экспериментальной установки и детектора в металлический кожух (экранирование их от паразитных емкостей).

Индуктивная связь

Переменный ток, проходящий рядом с экспериментальной установкой, может оказывать влияние на измерение посредством магнитного поля. Изменение тока влечет за собой изменение магнитного поля, которое в свою очередь наводит ЭДС на контур, соединяющий синхронный детектор и экспериментальную часть. Ситуация

напоминает трансформатор, в котором роль вторичной обмотки играет рабочий контур.

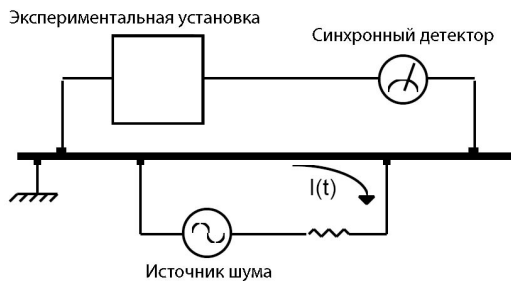


Ниже перечислены методы борьбы с индуктивной связью:

- 1) Устранение или выключение источника шума.
- 2) Уменьшение площади контура, в котором возникают наводки. Для этого можно использовать витые пары, коаксиальные кабели, или можно даже свить два отдельных коаксиальных кабеля.
- 3) Экранирование установки, для того чтобы магнитное поле не влияло на процесс измерения.
- 4) Оптимизация установки под измерение тока – использование источников с высоким сопротивлением.

Резистивная связь или земляные петли

Токи, идущие по заземлению, также могут наводить шум. Если они будут идти на опорной частоте, то наведенные шумов будут еще сильнее.



На приведенном рисунке синхронный детектор измеряет сигнал относительно земли, которая далека от остальной части эксперимента. Из-за ненулевого сопротивления между землей детектора и землей детектора напряжение, наведенное

шумом тока, будет влиять на показания прибора. Иначе говоря, синхронный детектор и экспериментальная установка заземлены по отдельности, и между заземлениями возникает разность потенциалов.

Ниже перечислены методы борьбы с земляными петлями:

- 1) Заземление всех приборов в одной точке.
- 2) Использование толстого заземляющего кабеля – уменьшение сопротивления соединения с землей.
- 3) Отключение источников с большим током от шины, используемой для малых сигналов.

Микрофонный эффект

Не у всех источников шума электрическая природа. Механический шум может превратиться в электрический посредством микрофонного эффекта. Изменение физических параметров установки или кабеля (например из-за вибраций) может привести к возникновению электрического шума во всем диапазоне частот синхронного детектора.

Рассмотрим, например, коаксиальный кабель, соединяющий датчик с синхронным детектором. Его емкость зависит от геометрических параметров. Механические вибрации кабеля выражаются в изменении его емкости, обычно на частоте вибрации. Так как $Q = C \cdot V$, то, взяв производную, получим:

$$C \frac{dV}{dt} + V \frac{dC}{dt} = \frac{dQ}{dt} = i$$

Таким образом, механические вибрации кабеля, ведущие к изменению его емкости ($\frac{dC}{dt}$), в конечном итоге приводят к возникновению паразитного тока в кабеле. Он, в свою очередь, влияет на детектор и, следовательно, на сигнал.

Методы борьбы с микрофонным эффектом:

- 1) Устранить механические вибрации.
- 2) Закрепить кабели, по которым идет сигнал.
- 3) Использовать специальный кабель, снижающий влияние микрофонного эффекта.

Термоэлектрические эффекты

ЭДС, возникающая в местах контакта двух различных металлов, может создавать медленно меняющиеся потенциалы в пределах десятков микровольт. Частота такого источника шума обычно очень мала, т.к. температура детектора и экспериментальной установки меняется медленно. Этот эффект может быть довольно большим в условиях множества выходов детектора. Он может сильно повлиять на измерения, особенно в миллигерцовом диапазоне.

Методы борьбы с термоэлектрическими эффектами:

- 1) Поддерживать температуру установки постоянной при проведении измерений.
- 2) Компенсировать эффект, установив, например, второй контакт с другой полярностью. Создаваемая им ЭДС будет нейтрализовать влияние первого контакта. Температура контактов при этом должна быть одинаковой.

Измерение шума

Синхронные детекторы можно использовать для измерения шума. Обычно это нужно для того, чтобы узнать характеристики компонентов и детекторов.

SR830 измеряет шум входного сигнала на опорной частоте. У множества источников шума есть частотная характеристика, которую можно измерить синхронным детектором.

Как синхронный детектор измеряет шум

Напомним, что синхронный детектор измеряет сигналы, частота которых близка к опорной. Возникает вопрос, насколько близка? Входные сигналы, попадающие в диапазон измерения, задаваемый постоянной времени фильтра низких частот с небольшим спадом на краях, мы увидим на выходе на частоте $f = f_{\text{сигнала}} - f_{\text{опорная}}$.

Для гауссова шума Δf_{ENBW} фильтра низких частот является по сути полосой пропускания идеального прямоугольного фильтра. Таким образом, Δf_{ENBW} определяется постоянной времени и подавлением. Ниже указана зависимость, где время ожидания - время, необходимое для достижения 99% окончательного значения, T - постоянная времени.

Подавление	Δf_{ENBW}	Время ожидания
6 дБ/октаву	1/(4T)	5T
12 дБ/октаву	1/(8T)	7T
18 дБ/октаву	3/(32T)	9T
24 дБ/октаву	5/(64T)	10T

Расчет шума

Шум рассчитывается как среднеквадратичное отклонение (корень из усредненной суммы квадратов) показания X, Y или R.

Однако по такой методике мы не можем получить мгновенное значение шума. Для таких измерений SR830 подсчитывает шум на X или Y напрямую.

Чтобы наглядно увидеть уровень шума X, просто выберите кнопку Display на передней панели

для первого канала (CHANNEL ONE) отображение шума (X noise). Уровень шума X рассчитывается по следующему алгоритму. Сначала вычисляется мгновенное среднее X. Это - среднее значение X за некий промежуток времени. Чтобы найти отклонение X, мгновенное среднее X вычитается из текущего значения. В конце вычисляется мгновенное среднее абсолютного отклонения. Получившийся результат называется среднее абсолютное отклонение (MAD, mean absolute deviation). Это не то же самое, что и среднеквадратичное значение (RMS). Однако если природа шума гауссова, то оба отклонения отличаются лишь постоянным множителем.

Для оценки среднеквадратичного шума X и Y SR830 использует методику вычисления MAD. Ее преимущества – это простота счета и высокая скорость.

Подсчет шума X и Y происходит на частоте 512 Гц. Каждый такт вычисляются среднее и скользящее среднее отклонения. Время усреднения зависит от постоянной времени. Оно выбирается SR830 и находится в пределах от 10 до 80 постоянных времени. Короткое время усреднения дает очень плохую оценку шума (среднее меняется быстро и отклонения не усредняются должным образом). Долгое время усреднения дает хорошую оценку, но требует большего времени установления.

Чтобы поменять время усреднения, измените постоянную времени. Помните, что короткому времени усреднения соответствует меньшая постоянная времени (более широкие полосы шума) и неточная оценка шума.

Шум X и Y показывается в единицах Вольт/ $\sqrt{\text{Гц}}$. В него уже включено Δf_{ENBW} постоянной времени. Поэтому отображаемое среднее значение шума не должно зависеть от постоянной времени.

SR830 постоянно вычисляет шум, вне зависимости от того, выводится он на дисплей или нет. Поэтому как только вы переключитесь в режим измерения шума, синхронный детектор выдаст текущее значение без задержки. Оценке шума нужно давать установиться только при смене чувствительности.

Работа с Синхронным Детектором

ПЕРЕДНЯЯ ПАНЕЛЬ



Питание

Выключатель питания расположен на задней панели. Для того, чтобы включить синхронный детектор SR830, переведите выключатель в верхнее положение. При включении на дисплеях CHANNEL ONE и CHANNEL TWO появится серийный номер, состоящий из 5 цифр, а на дисплее REFERENCE – версия прошивки.

Далее начинают проводиться следующие тесты:

- | | |
|------|--|
| DATA | Тестирование записи и чтения из оперативной памяти микропроцессора. |
| BATT | Тестирование энергонезависимой памяти. В ней хранятся настройки прибора. При выключении SR830 они сохраняются. |

	PROG	Проверка ПЗУ микропроцессора.
	DSP	Проверка цифрового сигнального процессора.
	rCAL	Если проверка резервной памяти прошла успешно, то SR830 возвращается к настройкам, установленным перед выключением. Если же возникает ошибка в памяти, то прибор загружает настройки по умолчанию.
Восстановление		Чтобы восстановить настройки по умолчанию, удерживайте кнопку Setup при включении прибора. Стандартные настройки описаны в следующем параграфе.
Кнопки		На SR830 кнопки распределены и названы в соответствии с функциями. В данной инструкции они обозначаются следующим образом: кнопка . Полное описание функций всех кнопок будет дано ниже .
Ручка		Ручка используется для того, чтобы задавать настройки на дисплее REFERENCE. С помощью нее можно регулировать следующие параметры: внутренняя опорная частота, опорный сдвиг фазы, амплитуда канала SINE OUT, множитель гармоник, сдвиги, амплитуды выходных сигналов, и параметры настроек.
Блокировка		Если SR830 подключен к компьютеру и переведен в режим дистанционного управления (при этом горит светодиод REMOTE), то все кнопки и ручки будут отключены. Если вы попытаетесь изменить с их помощью настройки прибора, то на дисплее появится сообщение 'LOCL LOut'. Это значит, что управление „захвачено” компьютерным интерфейсом.
Вход опорного сигнала		Входной опорный сигнал может представлять собой синусоиду или TTL сигнал (последовательность прямоугольных импульсов). Входное сопротивление составляет 1 MΩ по переменному току (>1 Гц) для синусоиды. Для малых частот (<1 Гц), в качестве опорного необходимо использовать TTL сигнал. Его следует использовать по возможности во всех случаях, так как он обеспечивает наилучшие условия работы прибора.
Выход SINE OUT		Сопротивление выхода SINE OUT составляет 50 Ω. Амплитуда сигнала меняется в пределах от 4 мВ до 5 В. SINE OUT оптимизирован под высокую нагрузку. Если его подключить к низкой, например, 50 Ω то амплитуда будет ниже, чем запрограммировано. Например, при нагрузке на 50 Ω она снизится вдвое.
		Этот выход активен даже если используется внешний опорный сигнал. В этом случае синусоида привязана к нему по фазе, а её амплитуду можно задать вручную.
		TTL выход расположен на задней панели. К нему удобно подключать разнообразное оборудование, работающее на опорной частоте. Выходной сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов на опорной частоте.

Выходы CH1 и CH2	Выходы CH1 и CH2 могут выдавать напряжение от -10 В до +10 В, пропорциональное значениям X, Y, или показаниям дисплеев CHANNEL ONE и CHANNEL TWO. ± 10 В - это вся шкала. Данные выходы могут выдавать ток не более 10 мА.
Входы А и В	Источник можно подключить к генератору двумя способами – только через вход А, или дифференциально (используя входы А и В). Эти входы обладают следующими характеристиками: 10 М Ω , 25 пФ. Их оплетки разделены с корпусом сопротивлением 10 Ω , а центральные провода – сопротивлением 1 к Ω . Максимальное напряжение, которое можно подавать на эти входы – 50 В. На оплетках же не должно быть больше 1 В. Сопротивление между входом по току и виртуально заземленной точкой составляет 1 к Ω .
Щелчок при нажатии кнопок	Для того чтобы включить или выключить звуковой сигнал – щелчок при нажатии кнопок, нажмите одновременно кнопки Phase и Harm# .
Тестирование дисплеев	Для того, чтобы проверить состояние дисплеев, нажмите одновременно кнопки Phase и Freq . После этого все светодиоды на всех дисплеях должны загореться. При дальнейшем нажатии кнопки Phase половина светодиодов должна погаснуть. Используйте ручку, чтобы двигать получившуюся картинку по дисплею. Чтобы включить дополнительные светодиоды, нажмите Freq . Убедитесь, что все светодиоды работают. Чтобы выйти из режима тестирования дисплеев, нажмите любую другую кнопку.
Работа при выключенных дисплеях	Если вы хотите работать с выключенными дисплеями, нажмите одновременно Phase и Freq . Затем нажмите и удерживайте Phase , пока все светодиоды не выключатся. В таком режиме SR830 все еще функционирует, его выходы работают, и он отвечает на команды, поступающие через интерфейс. Чтобы изменить настройки устройства, нажмите любую кнопку кроме Phase или Freq и измените желаемый параметр. После этого опять нажмите одновременно Phase и Freq , а затем нажмите и удерживайте Phase , пока все светодиоды не выключатся.
Тестирование клавиш	Чтобы проверить работоспособность клавишной панели, нажмите одновременно Phase и Ampl . Тогда на дисплеях появится надпись PAd codE, и включатся несколько светодиодов. Они показывают, какие кнопки ещё не были нажаты. Нажмите по одной на все кнопки на передней панели. При нажатии каждой кнопки расположенный рядом светодиод будет выключаться, а на дисплее Reference будет появляться её код. Как только вы нажмете на все кнопки, прибор вернется к обычному режиму работы. Чтобы вернуться к обычному режиму работы, не нажимая все кнопки, просто поверните ручку.

Настройки по умолчанию

Если при включении прибора держать нажатой клавишу **Setup**, то текущие настройки SR830 сбросятся, и он вернется к установленным по умолчанию. Их также можно установить, пошлав по интерфейсу команду *RST. В этом случае параметры связи и регистры состояния устройства сохранят свое текущее значение.

ОПОРНЫЙ СИГНАЛ/ФАЗА

Фаза	0.000°
Источник опорного сигнала	Внутренний
Гармоника	1
Амплитуда	1.000 В
Внутренняя частота	1.000 кГц
Тип опорного сигнала	Синусоида

ВХОД/ФИЛЬТРЫ

Источник	A
Заземление входа	плавающее („Float“)
Связь	АС (перем. ток)
Вырезающие фильтры	Нет

УСИЛЕНИЕ/ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ

Чувствительность	1 В
Резерв	Низкий („Low Noise“)
Постоянная времени	100 мс
Подавление фильтра	12 дБ/октава
Синхронные фильтры	выкл.

НАСТРОЙКИ ДИСПЛЕЕВ

„CHANNEL ONE“	X
„CHANNEL TWO“	Y
Отношение	Нет
„REFERENCE“	частота

ВЫХОДЫ/СДВИГИ

Выход CH1	X
Выход CH2	Y
Все сдвиги	0.00%
Все увеличения	1

ВЫХОДЫ AUX OUT

Напряжение на всех выходах	0.000 В
----------------------------	---------

НАСТРОЙКА

Интерфейс	GPIB
Адрес GPIB	8
Скорость передачи RS232	9600
Четность	нет
Щелчок при нажатии	Вкл.
Сигналы	Вкл.
Блокировка клавиатуры	Нет

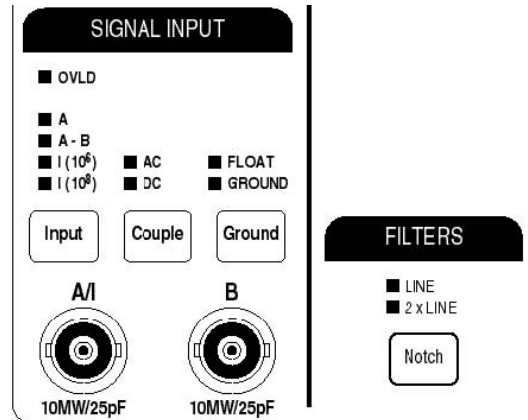
ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

Частота считывания	1 Гц
Режим сканирования	Циклич.
Синхросигнал	Выкл.

РЕГИСТРЫ МАСОК

БАЙТОВ СОСТОЯНИЯ	Очищены
------------------	---------

Вход сигнала и фильтры



Input

При помощи кнопки можно выбрать режим работы входа, расположенного на передней панели. На входной усилитель может быть подано напряжение с одного входа (A), дифференциальное напряжение с двух входов (A-B) или ток (I).

Характеристики входа по напряжению следующие: $10\text{ M}\Omega$, 25 пФ . Сопротивление между корпусом и оплеткой составляет $10\ \Omega$, в режиме Ground, а в режиме Float – $10\text{ к}\Omega$. Максимальное напряжение, которое можно подавать на входы – 50 В . На оплетках же не должно быть больше 1 В .

Вход по току идет через коннектор A/I. Сопротивление между ним и виртуальной землей составляет $1\text{ к}\Omega$. Максимально допустимый ток составляет 10 мкА (коэффициент усиления 10^6), или 100 нА (коэффициент усиления 10^8). При превышении этих значений начинается перегрузка. Вообще к этому входу нельзя прикладывать ток более 1 мА .

Шум по току и ширина полосы пропускания определяются коэффициентом усиления. Поэтому перед проведением измерений убедитесь, что частота сигнала попадает в полосу пропускания. Зависимость шума и полосы пропускания от коэффициента усиления приведена ниже:

Коэффициент усиления	Уровень шума	Полоса пропускания
10^6	$130\text{ фА}/\sqrt{\Gamma\text{ц}}$	70 кГц
10^8	$13\text{ фА}/\sqrt{\Gamma\text{ц}}$	700 кГц

Сопротивление источника тока должно составлять как минимум $1\text{ M}\Omega$ при коэффициенте усиления 10^6 , и как минимум $100\text{ M}\Omega$ при коэффициенте усиления 10^8 .

Изменение коэффициента усиления не меняет чувствительность прибора. Для чувствительности более 10 нА требуется коэффициент усиления 10^6 . При чувствительности между 20 нА и 1 мА коэффициент усиления автоматически устанавливается на значение 10^6 . При чувствительности ниже 20 нА ее изменение никак не повлияет на коэффициент усиления.

Если вы увидите на дисплее сообщение IGAn chG, то это значит, что коэффициент усиления был установлен на значение 10^6 в результате изменения чувствительности.

Перегрузка Входа

Светодиод OVLD сигнализирует о перегрузке входа. Это происходит при подаче на вход по напряжению сигнала более 1.4 В в размахе. Перегрузка также происходит при подаче на вход по току постоянного тока более 10 мкА или переменного более 1.4 мкА (коэффициент усиления 10^6), или при подаче постоянного тока более 100 нА или переменного более 14 нА (коэффициент усиления 10^8). В этом случае следует уменьшить уровень входного сигнала.

Couple

С помощью этой кнопки можно выбрать связь входа – по переменному или по постоянному току. При этом на входе по току сначала идет преобразование тока в напряжение. Сам по себе же он всегда связан по постоянному току (а сопротивление между ним и виртуально землей составляет 1 к Ω).

Фильтр верхних частот пропускает сигналы с частотой выше 160 мГц, и подавляет сигналы с меньшими частотами. При частотах выше 160 мГц следует использовать связь по переменному току. При меньших же частотах нужна связь по постоянному току. При использовании связи по переменному току на таких частотах возникнут ошибки в коэффициенте усиления и фазе.

Помните, что при использовании в качестве опорного сигнала синусоиды, вход REF IN связан по переменному току. Это также ведет к ошибкам фазы на низких частотах.

Ground

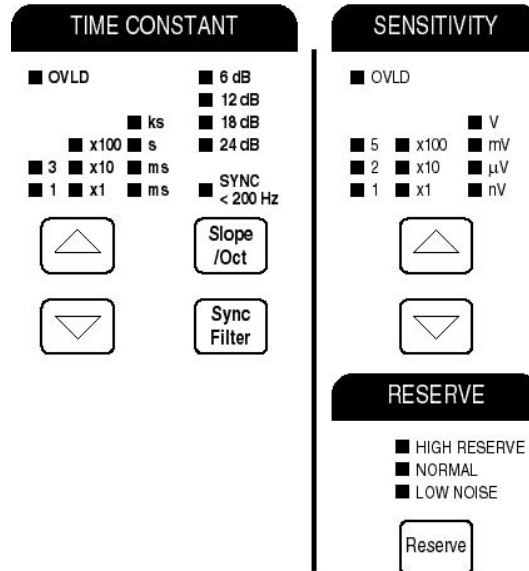
С помощью этой кнопки можно выбрать конфигурацию заземления оплетки кабелей. Оплетки входов А и В не подключены напрямую к заземлению корпуса синхронного детектора. В режиме Float оплетки подключены к заземлению корпуса через сопротивление 10 к Ω . В режиме Ground оплетки подключены к заземлению корпуса через сопротивление 10 Ω . Обычно оплетки должны быть заземлены, если источник сигнала не заземлен, и с плавающим потенциалом (к Float), если источник сигнала заземлен. **В любом случае напряжение на оплетках не должно превышать 1 В.**

Notch

При помощи этой кнопки можно выбрать: вырезающий фильтр, фильтр на удвоенной частоте, оба фильтра вместе или без фильтров. Вырезающие фильтры настроены на частоту сети (50 Гц и 60 Гц) и ее вторую гармонику (100 Гц и 120 Гц).

Подавление в этих фильтрах составляет как минимум 30 дБ. Область их подстройки составляет около 10 Гц. Если частота опорного сигнала – 70 Гц, то не включайте вырезающий фильтр на 60 Гц! Иначе опорный сигнал будет подавлен, а фаза сдвинется. Более подробно о том, как правильно использовать вырезающие фильтры, написано в главе «**Основы SR830**».

Чувствительность, динамический резерв и постоянные времени



SENSITIVITY

При помощи данных кнопок можно установить чувствительность. Ее величина определяется 1–2–5 × 1–10–100 и соответствующей единицей измерения.

Чувствительность может меняться от 2 нВ до 1 В (среднеквадратично), или от 2 фА до 1 мкА (среднеквадратично). Увеличение на выходах X, Y или R не влияет на чувствительность, так как увеличение изменяет только выходную шкалу и разрешение дисплея.

Изменение чувствительности может повлечь за собой изменение динамического резерва. Более подробно об этом описано ниже.

Если вы нажмете кнопку в секции AUTO, то чувствительность автоматически подстроится под текущую амплитуду сигнала. Подстройка может занять значительное время, если выставлена большая постоянная времени. Если постоянная времени больше 1 секунды, то автоматическая подстройка не будет работать.

OVLD

Если в секции SENSITIVITY горит светодиод OVLD, то это означает, что усилитель сигнала перегружен. В этом случае следует изменить чувствительность или увеличить динамический резерв.

Reserve

При помощи данной кнопки можно выбрать предпочитаемый резерв – при низком уровне шума Low Noise, при нормальном Normal, если же требуется большой резерв, то High Reserve. Текущий резерв (в дБ) зависит от чувствительности. В режиме High Reserve SR830 автоматически выбирает максимально возможный для данной чувствительности резерв. В режиме Low Noise автоматически выбирается минимально возможный. Если же установлен режим Normal, то выбирается некое среднее значение. Изменение чувствительности может поменять текущее значение резерва, но не его режим.

Значения резерва (в дБ) для каждой чувствительности указаны ниже:

Чувствительность	Low Noise	Normal	High Reserve
1 В	0	0	0
500 мВ	6	6	6
200 мВ	4	14	14
100 мВ	0	10	20
50 мВ	6	16	26
20 мВ	4	24	34
10 мВ	0	20	40
5 мВ	6	26	46
2 мВ	4	34	54
1 мВ	10	40	60
500 мкВ	16	46	66
200 мкВ	24	54	74
100 мкВ	30	60	80
50 мкВ	36	66	86
20 мкВ	44	74	94
10 мкВ	50	80	100
5 мкВ	56	86	106
2 мкВ	64	94	114
1 мкВ	70	100	120
500 нВ	76	106	126
200 нВ	84	114	134
100 нВ	90	120	140
50 нВ	96	126	146
20 нВ	104	134	154
10 нВ	110	140	160
5 нВ	116	146	166
2 нВ	124	154	174

Не используйте очень большой динамический резерв – более 120 дБ, если это не необходимо. В этом случае высока вероятность того, что уровень фонового шума затенит полезный сигнал, и задетектировать его будет очень сложно, если не невозможно. Более подробно эти процессы описаны в главе «**Основы SR830**».

Автоматическая подстройка динамического резерва

При нажатии кнопки Reserve в поле AUTO происходит изменение режима резерва на минимально необходимый. Автоматическая подстройка не будет работать, если есть источники низкочастотного шума, которые могут привести к перегрузке.

TIME CONSTANT △/▽

При помощи данных кнопок можно установить постоянную времени. Ее значение может находиться в пределах от 10 мс до 30 с (частота детектирования > 200 Гц), или 30 000 с (частота детектирования < 200 Гц). Частота детектирования - это опорная частота, умноженная на номер гармоники. Значение постоянной времени определяется 1-2-5 × 1-10-100 и соответствующими единицами.

Если частота детектирования выше 200 Гц, то максимальное значение постоянной времени 30 с, а если ниже 200 Гц, то 30 000 с. Переключение текущего значения постоянной времени происходит по достижении частоты 203.12 Гц при ее увеличении, и по достижении 199.21 Гц при уменьшении. Постоянную времени нельзя настроить выше максимально возможной для данной частоты детектирования. Пусть, например, частота детектирования ниже 200 Гц, а постоянная времени - 100 с. Если увеличить частоту детектирования, так что она станет больше 200 Гц, то постоянная времени обязательно станет равной 30 с. Если после этого уменьшить частоту детектирования, так что она опять станет ниже 200 Гц, то постоянная времени НЕ примет вновь значение 100 с.

Минимальное возможное значение постоянной времени - 10 мкс. Текущее минимально возможное значение зависит от подавления и коэффициента усиления фильтра нижних частот (динамический резерв и увеличение). Минимальное возможное значение постоянной времени недопустимо, если сумма динамического резерва и увеличения велика, а подавление мало, то есть синхронный детектор находится в ненормальном режиме работы. Ниже указана зависимость минимально возможной постоянной времени от подавления фильтра и коэффициента усиления.

6 дБ/октава	Коэф. усиления (дБ)	Мин. постоянная времени
	< 45	10 мкс
	< 55	30 мкс
	< 65	100 мкс
	< 75	300 мкс
	< 85	1 мс
	< 95	3 мс
	< 105	10 мс
	< 115	30 мс
	< 125	100 мс
	< 135	300 мс
	< 145	1 с
	< 155	3 с
	< 165	10 с
	< 175	30 с

12 дБ/октава	Коэф. усиления (дБ)	Мин. постоянная времени
	<55	10 мкс
	<75	30 мкс
	<95	100 мкс
	<115	300 мкс
	<135	1 мс
	<155	3 мс
<175	10 мс	
18 дБ/октава	Коэф. усиления (дБ)	Мин. постоянная времени
	<62	10 мкс
	<92	30 мкс
	<122	100 мкс
	<152	300 мкс
	<182	1 мс
24 дБ/октава	Коэф. усиления (дБ)	Мин. постоянная времени
	<72	10 мкс
	<112	30 мкс
	<152	100 мкс
	<182	300 мкс

Возникает вопрос, как же использовать эти таблицы? Сначала выберите ту, которая соответствует текущему подавлению фильтра. Рассчитайте усиление как сумму резерва и увеличения (выраженные в децибелах). Найдите наименьший коэффициент усиления, больший рассчитанного значения. Соответствующее ему значение постоянной времени и будет искомым. Например, если подавление 12 дБ/октава, резерв 64 дБ, усиление 10 (20 дБ), тогда коэффициент усиления равен 84 дБ, и минимально возможное значение постоянной времени равно 100 мс.

Постоянная времени – параметр, обладающий малым приоритетом. Если изменить чувствительность, динамический резерв, подавление фильтра, или усиление, то изменится постоянная времени. Помните, что изменение чувствительности может повлечь за собой изменение резерва, и, как следствие, изменение постоянной времени.

Если на дисплее появится сообщение $t_c \text{ chnG}$, то это значит, что постоянная времени поменялась вследствие увеличения частоты детектирования (так, что она стала выше 200 Гц), изменения чувствительности, динамического резерва, подавления или увеличения.

Постоянная времени также определяет эффективную ширину полосы Δf_{ENBW} фильтра нижних частот. Δf_{ENBW} является шириной полосы измерения для шума в X и Y, и, таким образом, зависит от постоянной времени и подавления фильтра. Более подробно это описано в главе «**Основы SR830**».

Перегрузка Фильтров

Если в поле TIME CONSTANT горит светодиод OVLD, то это означает, что фильтры низких частот перегружены. В этом случае следует увеличить постоянную времени или подавление фильтра, или увеличить динамический резерв.

Аналоговые выходы при малых постоянных времени

При использовании малых постоянных времени – меньше 10 мс, следует использовать выходы X и Y на задней панели, или настроить выходы CH1 и CH2 на сигналы X и Y. Полоса пропускания X и Y - 100 кГц, так что при малых постоянных времени лучше использовать их. Если выходы CH1 и CH2 отображают показания дисплеев (даже если на дисплеях X и Y), то частота обновления составит лишь 512 Гц, и при высокочастотных выходных сигналах они работают неточно.

Slope/Oct

При помощи данной кнопки можно установить подавление фильтра низких частот (число полюсов). Каждый полюс вносит подавление 6 дБ/октава. При использовании высокого подавления, необходимая постоянная времени может уменьшиться, что позволит провести измерения быстрее. Подавление фильтра влияет на величину минимально возможной постоянной времени (см. выше). Его изменение может повлечь за собой изменение постоянной времени, если текущее значение постоянной времени меньше, чем минимально возможное для нового значения подавления.

Sync Filter

Нажатием данной кнопки можно включить или выключить синхронную фильтрацию на частотах ниже 200 Гц. В первом случае синхронный фильтр будет включаться всякий раз, когда частота детектирования опустится ниже 199.21 Гц, и выключаться, когда частота детектирования поднимется выше 203.12 Гц. Частота детектирования - это опорная частота, умноженная на номер гармоники. Индикатор SYNC <200 Hz будет загораться всякий раз при включении синхронной фильтрации.

Когда синхронный фильтр включен, за перемножителем следуют 2 фильтра нижних частот, затем синхронный фильтр, а затем еще 2 фильтра нижних частот. Параметры фильтров нижних частот задаются постоянной времени и подавлением. Если нужно менее 4 фильтров (<24 дБ/октава), то неиспользуемые фильтры выставляются на минимально возможную постоянную времени. Постоянная времени изменяется у фильтров, расположенных ближе всего к перемножителям. Например, если постоянная времени 100 мс, подавление 12 дБ/октава, и синхронная фильтрация включена, то за перемножителями следуют 2 фильтра нижних частот с постоянной времени 100 мс, затем синхронный фильтр, а затем 2 фильтра нижних частот с минимально возможной постоянной времени.

Синхронная фильтрация помогает избежать в выходном сигнале различных гармоник опорной частоты, чаще всего второй. Такая фильтрация очень эффективна при малых опорных частотах, т.к. при этом для подавления второй гармоники потребовались бы очень большие постоянные времени. Синхронный фильтр не подавляет широкополосный шум (только на гармониках опорной частоты). Фильтр нижних частот подавляет шумы и помехи. Фильтрация и постоянные времени более подробно описаны в главе «**Основы SR830**».

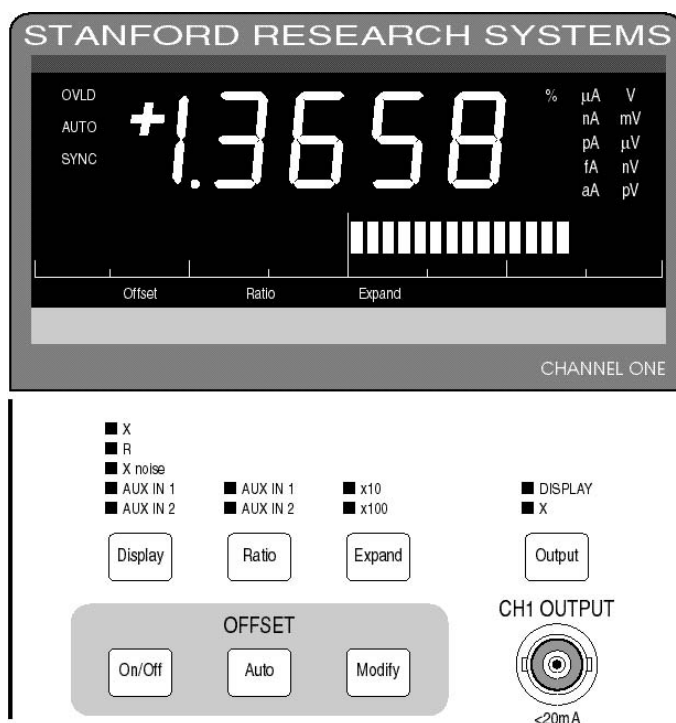
Замечание:

Синхронный фильтр усредняет сигналы за определенный период. Каждый такой период разделен на 128 равных промежутков времени. В каждый из них считается и выдается среднее значение сигнала за предыдущие 128. Таким образом, скорость вывода составляет $128 \times f$. Затем, получившийся сигнал следует на 2 фильтра нижних частот.

Время установления для синхронного фильтра – один период частоты детектирования. Если изменить амплитуду, частоту, фазу, постоянную времени, или подавление, то выход будет устанавливаться один период колебаний. Такие переходные процессы возникают вследствие того, что синхронный фильтр может давать стабильный выход только если на его входе постоянный периодический сигнал. Переходные характеристики также зависят от постоянной времени остальных фильтров. Очень малые постоянные времени (\ll периода) мало влияют на них. Большие ($<$ периода) постоянные времени могут увеличить амплитуду переходных процессов. Намного большие (\geq периода) постоянные времени могут значительно увеличить время установления – намного больше, чем период.

Кроме того, использование синхронных фильтров приводит к уменьшению разрешения амплитуды.

Дисплей и выход канала 1



Display

С помощью данной кнопки можно установить отображаемую на дисплее CHANNEL ONE величину: X, R, шум X – X Noise, AUX IN 1, или AUX IN 2. Рядом с цифрами находится размерность сигнала. Линейный индикатор соответствует всей шкале для X, R, X Noise, или $\pm 10\text{V}$ для входов AUX IN 1 и AUX IN 2. Все отношения показываются в %, а для линейного индикатора – от -100% до $+100\%$. Более подробно масштабирование описано в главе «[Основы SR830](#)».

Перегрузка (OVLD)

Надпись OVLD загорается, если выход CH1 OUTPUT перегружен (более чем в 1.09 раз больше предельного показания шкалы). Такая ситуация может произойти при слишком малой чувствительности, или если выходной сигнал усилен настолько, что напряжение превышает 10 В.

AUTO

Данная надпись загорается, если в текущий момент выполняется автоматическая функция.

SYNC

Если включен синхронный фильтр, и в то же время частота детектирования ниже 200 Гц, то загорается надпись SYNC. Если же частота детектирования выше 200 Гц, то синхронный фильтр, и, соответственно, индикатор SYNC будут выключены.

Ratio

При помощи данной кнопки можно выбрать отношение, отображаемое на дисплее канала 1 – X, R, шум X – X noise, AUX IN 1, или AUX IN 2, деленное на AUX IN 1 или AUX IN 2. Выбор знаменателя отображается светодиодом, горящим рядом с AUX IN 1, или AUX IN 2 соответственно. Если на дисплее отображается отношение, то при этом должен гореть индикатор Ratio. Если нажать на кнопку **Ratio** несколько раз, так, чтобы светодиоды AUX IN 1, AUX IN 2, и индикатор Ratio погасли, то прибор переключится из режима измерения отношения в обычный режим.

Output

При помощи данной кнопки можно выбрать источник сигнала для выхода CH1 OUTPUT. Аналоговый сигнал на этом выходе может соответствовать либо показаниям дисплея, либо сигналу X. Полоса пропускания для выходного сигнала, пропорционального X, составляет 100 кГц (при этом сигнал обновляется с частотой 256 кГц). Этот сигнал соответствует сигналу X на выходе традиционного синхронного детектора. Сигнал, пропорциональный показаниям дисплея (даже если на нем и показывается просто X), обладает частотой пропускания 200 Гц (и обновляется с частотой 512 Гц).

Помните, что частота пропускания выходного сигнала, пропорционального X, составляет 100 кГц. Сигнал, пропорциональный показаниям дисплея, следует использовать только при достаточно больших постоянных времени – чтобы на выходе не возникало паразитных высоких частот.

OFFSET, **Expand**

Смещение и увеличение для X и R можно настроить по отдельности. Выберите при помощи кнопки **Display** нужную Вам величину, чтобы настроить ее смещение и увеличение.

Аналоговый выход сигналов X и R определяется выражением

$$\text{выход} = (\text{сигнал/чувствительность} -) \times \text{увеличение} \times 10 \text{ В}$$

Полный размах сигнала на выходе обычно составляет 10 В. Смещение вычитает из него определенную долю. Увеличение умножает оставшуюся величину на множитель 1, 10, или 100.

Смещение X или Y на выходе отражается на показаниях дисплея. В то же время смещение X или R не влияет на вычисления R или θ . Увеличение на выходе не увеличивает отображаемые значения X или Y, оно увеличивает разрешение.

Если на дисплее показана величина со смещением или отличным от 1 увеличением, то при этом под дисплеем загораются соответствующие индикаторы, Offset или Expand.

Более подробно данные процессы описаны в главе «**ОСНОВЫ SR830**».

OFFSET On/Off

Нажатием данной кнопки можно включить или выключить смещение X или R, не настраивая конкретное его значение. Когда смещение включено, под дисплеем горит индикатор Offset.

 Modify

При нажатии данной кнопки на дисплее Reference появляется текущее значение смещения для X или R (как было выбрано кнопкой Display). Изменять его можно при помощи ручки. Текущее значение смещения, отображаемое на дисплее Reference, будет влиять на показания дисплея CHANNEL ONE в реальном времени. Смещение изменяется в пределах от -105.00% до 105.00% амплитуды сигнала. Чувствительность не влияет на смещение, т.к. оно является функцией выхода прибора. Чтобы вернуть дисплей Reference в нормальный режим работы, нажмите под ним кнопку (Phase, Freq, Ampl, Harm#) или кнопку Aux Out в секции Setup).

 Auto

Нажатие данной кнопки в секции OFFSET устанавливает смещение X или R так, чтобы на выходе данный сигнал смещался к нулю.

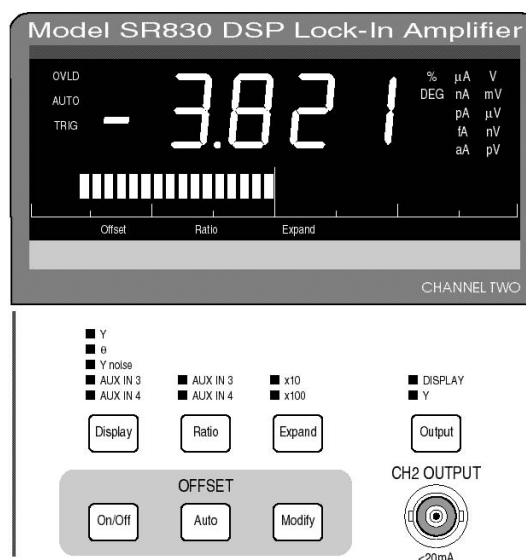
 Expand

При помощи данной кнопки можно выставить увеличение X или R. Чтобы выбрать, X или R, нажмите Display. Коэффициент увеличения может быть равен 1 (увеличения нет), 10 или 100. Если коэффициент увеличения равен 10 или 100, то под дисплеем загорится индикатор Expand. Сигнал на выходе не должен выходить за допустимый предел. Например, если сигнал составляет 10% от всей шкалы, то максимальное значение коэффициента увеличения (без учета смещения), не приводящее к перегрузке, равно 10. Если установить большее значение, то выход будет перегружен.

Ограничения, возникающие при малых постоянных времени

Малые постоянные времени приводят к ограничению полного значения коэффициента усиления (сумма резерва и увеличения). Если постоянная времени мала, подавление фильтра мало, а динамический резерв велик, то большое значение коэффициента увеличения может привести к изменению постоянной времени (см. таблицу постоянных времени). Более подробно данные процессы описаны в параграфе «**Команды усиления и постоянной времени**» главы «**Программирование SR830**».

Дисплей и выход канала 2



Display

С помощью данной кнопки можно установить отображаемую на дисплее CHANNEL TWO величину: X , θ , шум $Y - Y$ Noise, AUX IN 3, или AUX IN 4. Рядом с цифрами находится размерность сигнала. Линейный индикатор соответствует всей шкале для Y , Y Noise, $\pm 180^\circ \theta$, или ± 10 В AUX IN 3 и AUX IN 4. Все отношения показываются в %, а для линейного индикатора – от -100% до $+100\%$. Более подробно масштабирование описано в главе «**Основы SR830**».

Перегрузка OVLD

Надпись OVLD загорается, если выход CH2 OUTPUT перегружен (более чем в 1.09 раз больше предельного показания шкалы). Такая ситуация может произойти при слишком малой чувствительности, или если выходной сигнал усилен настолько, что напряжение превышает 10 В.

AUTO

Данная надпись загорается, если в текущий момент выполняется автоматическая функция.

TRIG

Данный индикатор загорается при получении стартового импульса и, соответственно, начале внутренней записи данных.

Ratio

При помощи данной кнопки можно выбрать отношение, отображаемое на дисплее канала 2 – Y , θ , шум $Y - Y$ noise, AUX IN 3, или AUX IN 4, деленное на AUX IN 3 или AUX IN 4. Выбор знаменателя отображается светодиодом, горящим рядом с AUX IN 3, или AUX IN 4 соответственно. Если на дисплее отображается отношение, то при этом должен гореть индикатор Ratio. Если нажать на кнопку **Ratio** несколько раз, так, чтобы светодиоды AUX IN 3, AUX IN 4, и индикатор Ratio погасли, то прибор переключится из режима измерения отношения в обычный режим.

Output

При помощи данной кнопки можно выбрать источник сигнала для выхода CH2 OUTPUT. Аналоговый сигнал на этом выходе может соответствовать либо показаниям дисплея, либо Y. Полоса пропускания для выходного сигнала, пропорционального Y, составляет 100 кГц (при этом сигнал обновляется с частотой 256 кГц). Такой сигнал сигналу Y в традиционном синхронном детекторе. Сигнал, пропорциональный показаниям дисплея (даже если на нем отображается Y), обладает частотой пропускания 200 Гц (и обновляется с частотой 512 Гц).

Помните, что полоса пропускания выходного сигнала, пропорционального Y, составляет 100 кГц. Сигнал, пропорциональный показаниям дисплея, следует использовать только при достаточно больших постоянных времени – чтобы на выходе не возникало паразитных высоких частот.

OFFSET, Expand

Для Y можно настроить смещение и увеличение. Для этого сначала выберите при помощи кнопки Display параметр Y.

Аналоговый выход сигнала Y определяется выражением

$$\text{выход} = (\text{сигнал/чувствительность} -) \times \text{увеличение} \times 10 \text{ В}$$

Полный размах сигнала на выходе обычно составляет 10 В. Смещение вычитает из него определенную долю. Усиление увеличивает оставшуюся величину в 1, 10, или 100 раз.

Смещение Y на выходе отражается на показаниях дисплея. В то же время смещение X или Y не влияет на вычисления R или θ . Увеличение же на выходе не увеличивает показания дисплея, а увеличивает лишь разрешение.

Если на дисплее показана величина со смещением или отличным от 1 увеличением, то при этом под дисплеем загораются соответствующие индикаторы, Offset или Expand.

Более подробно данные процессы описаны в главе «**Основы SR830**».

On/Off

Нажатием данной кнопки можно включить или выключить смещение Y, не настраивая конкретное его значение. Когда смещение включено, под дисплеем горит индикатор Offset.

Modify

При нажатии данной кнопки на дисплее Reference появляется текущее значение смещения для Y. Изменять его можно при помощи ручки. Текущее значение смещения, отображаемое на дисплее Reference, будет влиять на показания дисплея CHANNEL TWO в реальном времени. Смещение изменяется в пределах от -105.00% до 105.00% амплитуды сигнала. Чувствительность не влияет на смещение, т.к. оно является выходной функцией прибора. Чтобы вернуть дисплей Reference в нормальный режим работы, нажмите кнопку под ним (Phase, Freq, Ampl, Harm#), или кнопку Aux Out в поле Setup).

Auto

Нажатие данной кнопки в поле OFFSET устанавливает смещение Y так, чтобы на выходе данный сигнал смещался к нулю.

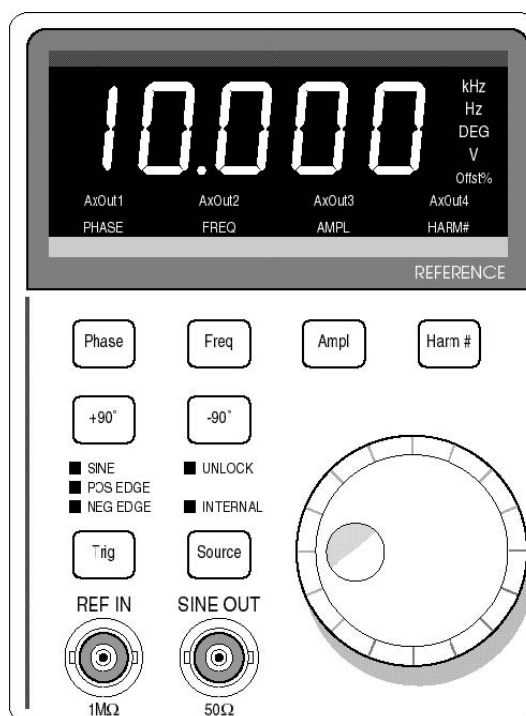
Expand

При помощи данной кнопки можно выставить усиление Y. Коэффициент усиления может быть равен 1 (усиления нет), 10, или 100. Если коэффициент усиления равен 10 или 100, то под дисплеем загорится индикатор Expand. Сигнал на выходе не должен выходить за допустимый предел. Например, если сигнал составляет 10% от всей шкалы, то максимальное значение коэффициента усиления (без учета смещения), не приводящее к перегрузке, равно 10. Если установить большее значение, то выход будет перегружен.

Ограничения, возникающие при малых постоянных времени

Малые постоянные времени приводят к ограничению полного значения коэффициента усиления (сумма резерва и увеличения). Если постоянная времени мала, подавление фильтра мало, а динамический резерв велик, то большое значение коэффициента увеличения может привести к изменению постоянной времени (см. таблицу постоянных времени). Более подробно данные процессы описаны в параграфе «**Команды усиления и постоянной времени**» главы «**Программирование SR830**».

Дисплей опорного канала



Phase

При нажатии данной кнопки на дисплей Reference выводится значение сдвига фазы опорного сигнала. Изменить его можно при помощи ручки в пределах от -180° до $+180^\circ$ с разрешением 0.01° .

Если же используется внешний источник опорного сигнала, то отображаемое на экране значение - это разница между его фазой, и фазой опорной синусоиды, с которой на фазовом детекторе уже сравнивается фаза сигнала. Оно также совпадает с разницей фаз между сигналом на SINE OUT и опорной синусоидой на умножителе (вне зависимости от того, какой используется источник опорного сигнала – внутренний или внешний). Изменение этого фазового сдвига влияет только на внутренние опорные синусоиды. Таким образом, его влияние может чувствоваться только на выходах X, Y, и θ . Выход R не зависит от фазы.

Автоматическое выставление сдвига фазы

При нажатии кнопки **PHASE** в поле AUTO сдвиг фазы опорного сигнала выставляется так, чтобы текущее значение фазы измеряемого сигнала составляло 0° . Это происходит путем вычитания текущего значения θ из сдвига фазы опорного сигнала. Новое значение сигналов устанавливается на выходах по прохождении нескольких постоянных времени. Если сигнал постоянно меняется, или в нем присутствуют шумы, то автоматическое выставление фазы может быть неточным, и текущее значение составит не 0° . Если же фаза θ нестабильна, то автоматическое выставление фазы прервется.

и

При помощи данных кнопок можно добавить или вычесть из текущего значения сдвига фазы опорного сигнала 90° . Для этого не обязательно выводить текущее значение на дисплей.

Обнуление сдвига фазы

Одновременное нажатие на кнопки и выставляет текущее значение сдвига фазы опорного сигнала на 0° .

При нажатии данной кнопки на дисплей REFERENCE выводится значение опорной частоты.

Если используется внешний источник опорного сигнала, то выводится полученное значение его частоты. В этом случае кручение ручки ни на что не влияет. Если количество гармоник больше 1, и частота опорного сигнала выходит за предел $102 \text{ кГц}/N$, где N – количество гармоник, то количество гармоник выставляется на значение 1. Если используется внешний источник опорного сигнала, то опорная частота синхронного детектора всегда будет соответствовать ему.

Если же используется внутренний источник опорного сигнала, то на дисплей выводится значение его частоты. Ее можно выставлять ручкой. Разрешение частоты составляет 0.1 мГц или $1/2$ цифры. Частоту можно задавать в пределах от 0.001 Гц до 102.00 кГц . **Если номер гармоники больше 1, то значение верхнего предела понижается. В этом случае оно составляет $102 \text{ кГц}/N$, где N – номер гармоники.**

При нажатии данной кнопки на дисплей REFERENCE выводится значение амплитуды сигнала на выходе SINE OUT. Его можно выставлять ручкой в пределах от 4 мВ до 5 В с разрешением 2 мВ . Сопротивление выхода SINE OUT составляет 50Ω . Если к нему подключить 50 Ом , то амплитуда сигнала будет составлять половину от установленной величины.

Внутренний опорный сигнал формируется прибором SR830. При использовании внешнего источника опорного сигнала на выход SINE OUT подается сигнал, привязанный по фазе к внешнему.

Выход TTL OUT, расположенный на задней панели, выдает прямоугольный TTL сигнал на опорной частоте. Он соответствует моментам пересечения нуля опорным синусоидальным сигналом. Такой сигнал может использоваться в качестве запускающего или синхронизирующего при использовании внутреннего источника опорного сигнала. При использовании внешнего источника опорного сигнала TTL сигнал также генерируется, причем он привязан по фазе с внешним сигналом.

Harm#

Синхронный детектор SR830 может обнаруживать сигналы на гармониках опорной частоты. Предположим, например, что SR830 умножает входной сигнал на гармонику опорного сигнала. Тогда будут обнаружены только совпадающие с гармоникой по частоте сигналы. При этом сигналы на основной гармонике опорной частоты незаметны, и подавляются, как если бы они были шумом.

Если SR830 работает на отличной от 1 гармонике опорной частоты, то внизу дисплея REFERENCE должен гореть индикатор HARM.

Всегда проверяйте, на какой гармонике работает прибор, прежде чем начинать измерения.

Если SR830 работает на гармонике N, то максимальное значение внутренней опорной частоты составляет 102 кГц/N.

Если же при использовании внешнего источника опорного сигнала, опорная частота превысила 102 кГц/N, то значение N устанавливается равным 1. Синхронный детектор SR830 всегда будет отслеживать внешний опорный сигнал

При нажатии кнопки **Harm #** на дисплее REFERENCE появится текущее значение гармоники опорной частоты. Его можно корректировать при помощи ручки вплоть до значения 19999 (если при этом частота не превосходит 102 кГц). При попытке увеличить частоту гармоники выше предела, составляющего 102 кГц, на дисплее появится надпись **hAr ovEr**

Source

При помощи данной кнопки можно выбрать источник опорного сигнала. В нормальном режиме источник внешний (при этом соответствующий индикатор не горит). Если же используется внутренний источник, то загорается индикатор Internal.

При использовании внешнего источника SR830 связывается с ним по фазе. Подавать в качестве опорных можно сигналы с частотами от 0.001 Гц до 102.0 кГц. Чтобы вывести текущую частоту на дисплей, нажмите кнопку **Freq**.

Если горит индикатор Internal, то это значит, что используется внутренний генератор опорной частоты. Вход REF IN в этом случае игнорируется. При этом можно использовать сигналы SINE OUT или TTL OUT для проведения измерения. Чтобы вывести на дисплей и корректировать текущее значение частоты опорного сигнала, нажмите кнопку **Freq**.

Trig

При помощи данной кнопки можно выбрать режим работы входного компаратора – срабатывание по нарастающему фронту POS EDGE или по спадающему фронту NEG EDGE. Чтобы прибор работал надежно, напряжение вверху прямоугольного импульса должно быть не менее 3.5 В, а внизу – не более 0.5 В. Входной сигнал попадает на дискриминатор, и далее идет на TTL вход. По возможности лучше использовать именно прямоугольный сигнал, т.к. он подвержен шумам меньше, чем синусоидальный.

При малых частотах (<1 Гц) должен использоваться ТОЛЬКО прямоугольный сигнал.

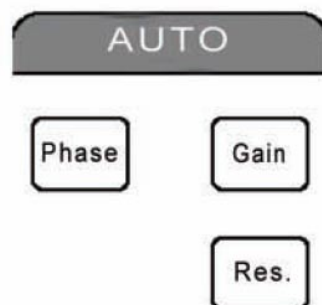
В режиме работы с синусоидальным сигналом SINE, SR830 привязывается к пересечениям нуля сигнала на входе REF IN. Сигнал должен представлять собой ровную синусоиду с амплитудой не менее 200 мВ. В данном режиме вход REF IN работает по переменному току (выше 1 Гц), и входное сопротивление составляет 1 МΩ.

Режим SINE нельзя использовать на частотах ниже 1 Гц. При малых частотах следует использовать прямоугольные сигналы.

UNLOCK

Данный индикатор загорается, если SR830 не может связаться по фазе с внешним источником опорного сигнала.

Автоматические функции



Reserve

Нажатие кнопки в поле AUTO приводит к инициализации автоматической функции, что может занять некоторое время. Во время ее исполнения на дисплеях CHANNEL ONE и CHANNEL TWO загораются индикаторы AUTO. Как только ее работа закончится, прозвучит многотональный сигнал, и индикаторы погаснут.

При нажатии данной кнопки устанавливается минимально необходимое значение динамического резерва. Для этого он сначала уменьшается до тех пор, пока не произойдет перегрузка усилителя. Затем резерв увеличивается так, чтобы снять перегрузку.

Автоматическое выставление динамического резерва будет работать только если источник шума, дающий перегрузку, имеет частоту, большую нескольких герц. Низкочастотные источники шума могут давать перегрузку так редко, что функция AUTO не заметит их.

Функция AUTO не влияет на характеристики вырезающего фильтра.

Gain

При нажатии данной кнопки чувствительность устанавливается так, чтобы величина сигнала на выходе была соразмерна всей шкале. Чтобы определить, приводит ли конкретное значение чувствительности к перегрузке, или нет, требуется время, значительно большее постоянной времени. Поэтому при больших постоянных времени данная функция будет выполняться долго.

Данная функция не запустится, если постоянная времени больше 1 секунды, т.к. в этом случае ее выполнение заняло бы слишком много времени, что неудобно.

Если постоянная времени слишком большая, то на дисплее появится сообщение $t_c \text{ ovEr}$.

Phase

При нажатии данной кнопки сдвиг фазы опорной частоты выставляется так, чтобы фаза измеряемого сигнала составляла 0° . Для этого из запрограммированного значения сдвига фазы вычитается измеренное θ . Новое значение сигналов устанавливается на выходах по прохождении нескольких постоянных времени. Не нажимайте кнопку **Phase** снова, пока сигналы на выходах не установились. Если сигнал постоянно меняется, или в нем присутствуют шумы, то автоматическое выставление фазы может быть неточным, и текущее значение составит не 0° .

Если же фаза θ нестабильна, то автоматическое выставление фазы прервется.

Если фаза θ не стабильно, то на дисплее появится сообщение PhAS bAd

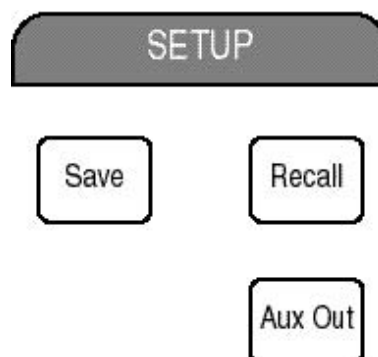
Как правильно использовать автоматические функции

Действительно надежного способа автоматической настройки синхронного детектора под любые типы входных сигналов не существует. Однако в большинстве случаев можно следовать следующим шагам:

1. Нажмите **Gain** в поле AUTO, чтобы установить чувствительность.
2. Нажмите **Reserve** в поле AUTO.
3. Установите требуемое значение постоянной времени и подавления в фильтре, так, чтобы не было перегрузки.
4. Если требуется, нажмите **Phase** в поле AUTO.
5. Повторите данные шаги, если требуется.

При очень малых частотах, автоматические функции могут работать не корректно. Это происходит потому, что низкочастотные сигналы редко перегружают прибор, и постоянные времени при этом очень большие.

Настройка



Save

В энергонезависимой памяти синхронного детектора можно сохранить девять конфигураций. Чтобы сохранить конкретную конфигурацию, нажмите кнопку **Save**. На дисплее CHANNEL TWO появится номер ячейки памяти. При помощи ручки выберите нужную. Нажмите **Save** снова, чтобы сохранить конфигурацию в данной ячейке, или любую другую кнопку, чтобы прервать сохранение.

Если конфигурация успешно сохранится, то на дисплее появится сообщение SAvE n donE. Если же сохранение было прервано, то появится сообщение SAvE not donE.

Recall

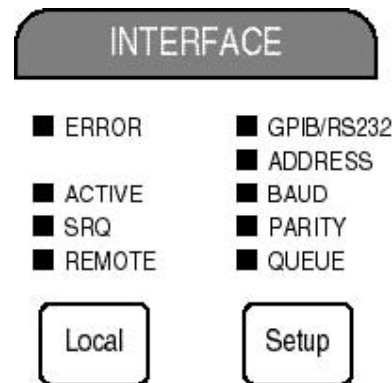
В энергонезависимой памяти синхронного детектора можно сохранить девять конфигураций. Чтобы загрузить сохраненную конфигурацию, нажмите **Recall**. На дисплее появится номер ячейки памяти. При помощи ручки выберите нужную. Нажмите **Recall** снова, чтобы загрузить конфигурацию, или любую другую кнопку, чтобы прервать загрузку. При загрузке новой конфигурации все данные, сохраненные в буфере, теряются.

Если загрузка прошла успешно, то на дисплее появится сообщение rcal n donE. Если процесс загрузки был прерван, то появится сообщение rcal not donE. Если произошла ошибка, то появится сообщение rcal dAtA Err. Обычно такое сообщение появляется, потому что в данную ячейку ничего не было сохранено.

Aux Out

Выходы AUX OUT можно настраивать с передней панели. Нажмите **Aux Out** несколько раз, пока на дисплее REFERENCE не появится требуемый номер выхода. Номер отображается на индикаторе AxOut внизу дисплея. Амплитуду сигнала можно менять в пределах от -10.5 В до $+10.5\text{ В}$ при помощи ручки. Нажмите **Phase**, **Freq.**, **Ampl.**, или **Param#**, чтобы вернуть дисплей в обычный режим работы.

Интерфейс с компьютером



Setup

При нажатии данной кнопки попеременно загораются индикаторы GPIB/RS232, ADDRESS, BAUD, PARITY, и QUEUE. Каждый раз конкретный параметр выводится на дисплей REFERENCE, и его значение можно менять при помощи ручки. Нажмите **Phase**, **Freq.**, **Ampl**, **Harm#**, или **Aux Out**, чтобы вернуть дисплей в обычный режим работы.

GPIB/RS232 Синхронный детектор SR830 может отправлять данные по одному интерфейсу. Команды можно получать через оба, но ответы передавать только по через один заранее выбранный интерфейс. Прежде чем посылать команды на SR830 с компьютера, убедитесь, что выбранный интерфейс настроен верно. Первая команда любой программы должна выполнять настройку интерфейса.

Параметр GPIB/RS232 определяет интерфейс на выходе. При помощи ручки можно выбрать GPIB, или RS232.

ADDRESS Адрес GPIB определяется данным параметром. Его можно выбирать в пределах от 0 до 30 при помощи ручки.

BAUD Скорость передачи RS232 определяется данным параметром. Его можно выбирать в пределах от 300 до 19200 при помощи ручки.

PARITY Данный параметр определяет четность RS232. Ручкой можно выставить чет. (Even), нечет. (Odd), или без контроля четности (None).

QUEUE Для удобства поиска программных ошибок на экран можно вывести последние 256 полученных синхронным детектором символов. Параметр QUEUE выводит на дисплей 6 символов (по 2 на каждом) в шестнадцатеричной системе (см. ниже). Для того, чтобы сдвинуться назад, прокрутите ручку влево, чтобы сдвинуться в сторону недавно полученных цифр, прокрутите вправо. Точка (.) означает конец списка. Все символы переводятся в верхний регистр, пробелы убираются, а вместо разделителей ставятся переводы на новую строку (0A).

Чтобы выйти из данного режима и вернуться к GPIB/RS232, нажмите **Setup**. Чтобы вернуться в обычный режим, нажмите **Phase**, **Freq.**, **Ampl.**, **Harm#**, или **Aux Out**.

Hex	ASCII	Hex	ASCII
2A	*	34	4
2B	+	35	5
2C	,	36	6
2D	-	37	7
2E	.	38	8
30	0	39	9
31	1	3B	;
32	2	3F	?
33	3		

Hex	ASCII	Hex	ASCII
0A	перевод строки	4E	N
41	A	4F	O
42	B	50	P
43	C	51	Q
44	D	52	R
45	E	53	S
46	F	54	T
47	G	55	U
48	H	56	V
49	I	57	W
4A	J	58	X
4B	K	59	Y
4C	L	5A	Z
4D	M		

Local

Если компьютер переводит SR830 в режим удаленной работы REMOTE, то ввод с кнопок или ручки невозможен. При этом над кнопкой **Local** загорается индикатор REMOTE. Чтобы вернуться в режим работы с передней панелью, нажмите **Local**.

REMOTE

Данный индикатор загорается, когда компьютер переводит SR830 в режим удаленной работы. Ввод с кнопок или ручки при этом невозможен.

SRQ

Данный индикатор загорается, если прибор формирует сервисный запрос (только для GPIB). Индикатор гаснет после того, как сбросится байт состояния „Serial Poll”.

ACTIVE

Этот индикатор загорается каждый раз, когда по компьютерному интерфейсу передается какой-либо сигнал.

ERROR

Загорается каждый раз, когда возникла интерфейсная ошибка, например, при получении неверной команды или аргумента.

Предупреждения

Синхронный детектор SR830 может показывать различные сообщения в тех случаях, когда режим работы не очевиден. Сообщение сопровождается характерным двухтональным звуком.

Сообщение	Перевод	Значение
LOCL LOut	Блокировка панели	Если синхронный детектор был переведен в режим удаленной работы компьютерным интерфейсом (горит индикатор REMOTE), то кнопки и ручка отключены. При попытке поменять настройки прибора с передней панели появится данное сообщение.
IGAn chG	Смена усиления	Если вы увидите на дисплее данное сообщение, то это значит, что коэффициент усиления для тока был установлен на значение 1 МΩ в результате изменения чувствительности. Для чувствительности от 20 нА до 1 мА требуется коэффициент усиления 1 МΩ.
tc chnG	Смена ПВ	Означает, что постоянная времени была изменена из-за изменения чувствительности, динамического резерва, подавления фильтра, или коэффициента усиления. Если частота детектирования была ниже 200 Гц, а затем стала выше 200 Гц, то постоянная времени также будет изменена.
hAr ovEr	Высокая гармоника	Данное сообщение появляется при попытке увеличить гармонику опорной частоты так, что частота детектирования будет больше 102 кГц.
tc ovEr	Большая ПВ	Данное сообщение означает, что постоянная времени настолько велика (>1 с), что автоматическая установка чувствительности невозможна.
PhAS bAd	Фаза нестабильна	Означает, что фаза слишком нестабильна, и автоматическая установка сдвига фазы опорного сигнала невозможна.
rcal dAtA Err	Ошибка считывания	Данное сообщение означает, что загружаемый из памяти параметр некорректен. Обычно появляется, потому что в данную ячейку памяти ничего не было сохранено.
undr	Ошибка привязки	Означает, что прибор не может надежно привязаться к опорной частоте, т.к. она слишком низкая.

ЗАДНЯЯ ПАНЕЛЬ



Входной модуль питания	В данном модуле установлен предохранитель, предусмотрен выбор сетевого напряжения, и имеется фильтр для подавления высокочастотного шума. Рекомендации по предохранителю и питанию даны в параграфе « Безопасность и Подготовка к Использованию ».
порт IEEE-488	24-контактный порт IEEE-488 позволяет управлять SR830 с компьютера через шину IEEE-488 (GPIB). Адрес выставляется с помощью кнопки Setup .
порт RS232	Порт RS232 работает в режиме DCE (передача по контакту 3, прием по 2). Скорость передачи и четность выставляются кнопкой Setup . Чтобы соединить SR830 и компьютер (обычно DTE), используйте стандартный кабель для последовательного порта.
Входы AUX IN 1-4	Вспомогательные входы, которые могут быть оцифрованы SR830. Диапазон – от -10.5 В до $+10.5\text{ В}$, разрешение 16 бит ($1/3\text{ мВ}$). Сопротивление $1\text{ М}\Omega$. Сигналы с этих входов можно вывести на дисплеи CHANNEL ONE и CHANNEL TWO (а также сохранить). Более того, на дисплеи можно выводить (а также сохранять в памяти) отношения, например X/Aux1.
Выходы AUX OUT 1-4	Вспомогательные выходы. Диапазон от -10.5 В до $+10.5\text{ В}$, разрешение 1 мВ . Сопротивление $<1\text{ }\Omega$, ток не более 10 мА . Данными выходами можно управлять с передней панели, или через компьютерный интерфейс.
Выходы X и Y	Ширина полосы пропускания этих выходов составляет 100 кГц . Если на SR830 подать входной сигнал с максимальной (для данной чувствительности) амплитудой, то на выходах X и Y будет $\pm 10\text{ В}$. Сопротивление $<1\text{ }\Omega$, ток ограничен величиной 10 мА .

На эти выходы влияют смещения и увеличения. Итоговые значения следующие:

Выход $X = (X/\text{чувствительность} - \text{смещение}) \times \text{увеличение} \times 10\text{В}$,

Выход $Y = (Y/\text{чувствительность} - \text{смещение}) \times \text{увеличение} \times 10\text{В}$,

где смещение – в долях единицы, увеличение принимает значение 1, 10 или 100. Смещение и увеличение задаются на передней панели.

MONITOR OUT

На данный выход идет буферизованный сигнал с усилителей и фильтров. По сути, это сигнал до АЦП и множителя. Сопротивление на выходе $< 1 \Omega$, ток ограничен величиной 10 мА. Усиление между входом сигнала и выходом MONITOR OUT это общее усиление минус динамический резерв минус 3 дБ. Общее усиление – 10 В, деленное на чувствительность. Динамический резерв подробно описан в описании кнопки `Reserve`. Например, пусть чувствительность равна 10 мВ, тогда общее усиление составит 60 дБ. Если динамический резерв равен 20 дБ, то усиление между входом сигнала и выходом MONITOR OUT составит $60 - 20 - 3 = 37$ дБ (или 71). Если на вход подать 10 мВ (среднеквадратично), то на выходе MONITOR OUT будет 0.7 В (среднеквадратично) (амплитуда 1 В). Точность составляет 1.5 дБ (20%).

С помощью данного выхода удобно определять причину перегрузок и отслеживать эффекты до фильтров. Т.к. аналоговое усиление не превышает 2000, то очень маленькие сигналы нельзя усилить так, чтобы их было видно на выходе MONITOR OUT.

TRIG IN

Данный вход можно использовать для запуска передачи данных, и/или собственно для их передачи. Если выбран старт по сигналу, то по приходу нарастающего фронта начнется сохранение данных. Если частота дискретизации совпадает с частотой передачи, то данные будут записываться каждый импульс. (Первый импульс инициирует запись и в ответ получает данные, в ответ на последующие идут остальные данные). Если частота дискретизации совпадает с частотой передачи, то данные будут записываться по приходу каждого нарастающего фронта. Максимальная частота дискретизации 512 Гц. Сохранение данных возможно только через компьютерный интерфейс.

TTL OUT

Через данный выход можно вывести прямоугольный сигнал от внутреннего генератора. Сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, фронты которых соответствуют пересечениям синусоидой нуля. Данный выход удобно использовать, когда амплитуда на выходе SINE OUT мала, и требуется синхронный сигнал. Сигнал на данном выходе есть всегда, даже когда используется внешний опорный сигнал.

PREAMP

Через данный 9 контактный разъем идут питание и управляющие сигналы к внешним предусилителям, таким как SR550 и SR552. Предназначение отдельных контактов дается ниже:

Контакт	Напряжение
1	+20 В
2	+5 В
6	-20 В
7	земля сигнала
8	земля

Использование предусилителей

При использовании предусилителей SR550 или SR552, подсоедините провод питания (с D – образным разъемом) предусилителя к разъему PREAMP на задней панели SR830. Чтобы соединить выход А предусилителя с входом А/І, используйте коаксиальные кабели. Выход В предусилителя (заземление предусилителя) можно соединить с входом В SR830. В этом случае следует использовать дифференциальный режим (А–В). Убедитесь, что кабели А и В свиты так, чтобы они не улавливали случайные наводки.

Предусилители SR550 и SR552 работают по переменному току от 1 Гц до 100 кГц. Установите SR830 на связь по переменному току (AC). Сопротивление входа SR550 составляет 100 МΩ, а SR552 – 100 кΩ.

Синхронный детектор не корректирует коэффициент усиления предусилителей, он устанавливает их в режим максимального усиления. Величины, полученные SR830 с помощью предусилителя, следует делить на коэффициент усиления предусилителя. Коэффициент усиления SR550 равен 10, а SR552 – 100.

Программирование SR830

Введение

Цифровым синхронным детектором SR830 можно удаленно управлять через интерфейсы RS232 и GPIB (IEEE-488). Для управления прибором SR830 может быть использован компьютер, поддерживающий один из этих интерфейсов. Оба интерфейса всегда могут принимать команды, **однако ответы SR830 отправляет только через один интерфейс. Выберите выходной интерфейс кнопкой `Setup` или используйте команду OUTH в начале каждой программы.**

Интерфейс GPIB

SR830 поддерживает стандарт IEEE-488.1 (1978). Также прибор поддерживает все необходимые команды стандарта IEEE-488.2 (1987). Перед установлением связи с SR830 через интерфейс GPIB, необходимо задать GPIB адрес прибора. Адрес устанавливается кнопкой `Setup` и может принимать значение от 1 до 30.

Интерфейс RS232

SR830 является DCE-устройством (передача данных через пин 3, получение через пин 2) и поддерживает установление соединения CTS/DTR. Выходной сигнал CTS (пин 5) указывает на готовность прибора, а входной сигнал DTR (пин 20) позволяет управлять передачей данных с прибора. Пины CTS и DTR можно не использовать, тогда данные будут передаваться по простому трехпроводному интерфейсу (пины 2, 3 и 7). Также для прибора SR830 необходимо установить скорость интерфейса и контроль четности.

Это можно сделать кнопкой `Setup`. Длина слова для RS232 всегда равна 8 бит.

Индикаторы состояния и очередь

Для облегчения программирования SR830 имеет 4 индикатора состояния интерфейса. Светодиод ACTIVE загорается всегда, когда по интерфейсу был получен или передан символ. Светодиод ERROR загорается всегда, когда произошла ошибка (например, была вызвана несуществующая команда или значение аргумента лежит вне допустимого диапазона). Светодиод REMOTE горит всегда, когда SR830 в состоянии удаленного управления (при этом клавиши передней панели заблокированы). Светодиод SRQ загорается каждый раз, когда SR830 формирует сервисный запрос. Светодиод SRQ будет гореть до тех пор, пока не завершится последовательный опрос состояния прибора.

Чтобы помочь программистам обнаружить ошибки, SR830 может отобразить полученные им символы на дисплее. Используйте кнопку `Setup` для отображения очереди (QUEUE) полученных символов. SR830 может отобразить на дисплее последние 256 полученных ASCII символов в шестнадцатичном виде. Более подробное описание смотрите в главе «Работа с Синхронным Детектором».

Синтаксис команд

Для общения с SR830 используются ASCII символы. Команды могут быть введены в ВЕРХНЕМ или нижнем регистре и могут содержать любое количество пробелов. Команда для SR830

состоит из четырехсимвольного имени, аргументов (если необходимо) и символа конца команды. Символом конца команды может быть для RS232 возврат каретки <cr> или перевод строки <lf>, для GPIB перевод строки <lf> или EOI. Процесс обработки команды не начнется до тех пор, пока не будет получен символ конца команды. Все команды для RS232 и GPIB одинаковы. Команды, чьи имена начинаются со знака звездочки (*) – это стандартные команды, определяемые протоколом IEEE-488.2 (1987). Эти команды выполняют те же функции для интерфейса RS232. У команд может быть один или несколько аргументов. Аргументы отделяются запятой (,).

Можно послать несколько команд одной строкой, разделив их точкой с запятой (;). Разница между отправлением нескольких команд отдельно и вместе одной строкой заключается в том, что при отправлении одной строкой все команды обрабатываются подряд, и между обработкой разных команд прибор не выполняет никаких других действий. Это позволяет достичь синхронизации с помощью соответствующих команд.

Между отправлением команд нет необходимости делать паузы. SR830 имеет входной буфер на 256 символов и обрабатывает команды в порядке их поступления. Если буфер наполнится до предела, то тогда SR830 разорвет GPIB соединение и попытается разорвать соединение RS232. Также SR830 имеет аналогичный 256-ти символьный выходной буфер, в котором хранятся выходные данные до тех пор, пока компьютер не будет готов их принять. Если хотя бы один из буферов переполнится, то они оба будут очищены и прибор сообщит об ошибке.

Текущее значение аргумента может быть получено, если отправить соответствующий запрос прибору SR830. Запрос будет выполнен, если к имени команды добавить знак вопроса (?) и опустить аргумент(ы), значения которых требуется узнать. Прибор возвращает значения в формате ASCII строки, которая заканчивается символом возврата каретки <cr> для RS232 и символов перевода строки <lf> для GPIB. Если в одной командной строке было отправлено несколько запросов (разумеется разделенных точкой с запятой), то ответы будут возвращаться индивидуально, каждый со своим символом конца строки.

Примеры записи команд:

- FMOD 1 <lf>** выбирает внутренний источник опорного сигнала
- FREQ 10E3 <lf>** устанавливает частоту внутреннего опорного сигнала равной 10 000 Гц (10 кГц)
- *IDN? <lf>** запрос идентификационных данных прибора
- STRT <lf>** запуск
- OUTP? 1 <lf>** запрос значения X.

Готовность интерфейса

Бит „Interface Ready” (1-ый бит) байта состояния „Serial Poll” сигнализирует о готовности прибора SR830 к приему и исполнению команд. Когда на прибор поступает команда, то этот бит сбрасывается, указывая, что операция выполняется. Пока выполняется одна операция, никакие другие команды не будут обработаны. Команды, полученные в течение этого времени будут сохранены в буфере и обработаны позднее. Только последовательный опрос GPIB будет генерировать ответ во время выполнения команды. Когда обработка команды завершается, то бит „Interface Ready” вновь устанавливается и новые команды могут быть обработаны. Поскольку большинство команд выполняется очень быстро, то управляющему компьютеру не нужно все время проверять бит „Interface Ready”. Команды могут быть посланы вместе – одна за другой, тогда они будут обработаны без пауз.

Когда используется GPIB интерфейс, последовательный опрос может быть использован для проверки бита „Interface Ready” байта состояния „Serial Poll”, пока обрабатывается команда. После того, как будет установлен бит „Interface Ready”, сигнализирующий о завершении команды, можно проверить биты „ERR” или „ESB”, чтобы убедиться в успешном завершении команды.

Если используется интерфейс RS232 или если последовательный опрос невозможен, тогда можно использовать команды *STB?, *ESR?, ERRS? и LIAS? для получения значений байтов состояний. Поскольку SR830 обрабатывает команды по очереди, то запрос состояния нельзя выполнить, если не завершена предыдущая команда. Таким образом, ответ на запрос состояния автоматически сигнализирует о завершении предыдущей команды. Полученный ответ можно затем проверить на наличие/отсутствие различных ошибок.

Команда GET (GROUP EXECUTE TRIGGER)

ствию синхроимпульсов. GET работает, только если выборка или сканирование запускаются синхроимпульсами.

Команда GET интерфейса GPIB аналогична команде TRIG. Действие GET аналогично дей-

Подробный список команд

Имя каждой команды состоит из 4-х символов. Оставшиеся символы являются аргументами команды. Если аргументов несколько, то они должны разделяться запятой. Аргументы, стоящие в фигурных скобках { }, являются необязательными (а аргументы без фигурных скобок – обязательные). Команды, которые могут выполнить запрос отмечены знаком вопроса в круглых скобках (?). Команды, умеющие выполнять ТОЛЬКО запросы отмечены вопросительным знаком без скобок ?. Команды, не способные выполнять запрос, не отмечаются знаком вопроса. Скобки (,), {, } не являются частью команды.

Разные переменные используются для обозначения разных величин:

<i>i, j, k, l, m</i>	целые числа
<i>x, y, z</i>	действительные числа
<i>f</i>	частота
<i>s</i>	строка

Значения всех числовых переменных могут быть указаны в целочисленном формате, в записи с плавающей точкой и в экспоненциальной записи (то есть число пять можно записать как 5, 5.0 или .5E1). Строки отправляются в виде последовательности ASCII символов.

Помните!

Все ответы отправляются по выбранному интерфейсу!

Используйте команду OUTH в начале каждой программы для выбора нужного интерфейса.

Команды управления опорным сигналом и фазой

PHAS (?) { x }	Команда PHAS устанавливает или запрашивает фазовый сдвиг для опорного сигнала. Аргумент x и есть фаза (действительное число градусов). Команда PHAS x установит фазовый сдвиг равным x градусам. Значение x будет округлено до 0.01° . Фаза может быть задана в диапазоне $-360.00 \leq x \leq 729.99$ и будет спроектирована на диапазон $\pm 180^\circ$. Например, команда „PHAS 541.0” установит фазовый сдвиг равным -179.00° ($541 - 360 = 181 = -179$). Команда PHAS? запросит значение фазового сдвига.
FMOD (?) { i }	Команда FMOD устанавливает или запрашивает источник опорного сигнала. Аргумент i выбирает внутренний ($i = 1$) или внешний ($i = 0$) источник.
FREQ (?) { f }	Команда FREQ задает или запрашивает частоту опорного сигнала. Команда FREQ? вернет значение частоты опорного сигнала (во внутреннем или внешнем режиме). Команда FREQ f установит частоту внутреннего генератора. Эта команда допустима, только если используется внутренний источник опорного сигнала. Аргумент f является частотой (действительное число в герцах). Значение f будет округлено до 5-ти значащих цифр или до 0.0001 Гц. Значение аргумента может лежать в диапазоне $0.001 \leq f \leq 102000$. Если номер гармоники больше 1, тогда частота ограничена условием $n \times f \leq 102$ кГц, где n – номер гармоники.
RSLP (?) { i }	Команда RSLP задает момент срабатывания компаратора при использовании внешнего источника опорного сигнала. Если $i = 0$, то компаратор сработает в момент пересечения нуля синусоидальным сигналом; $i = 1$ означает срабатывание по нарастающему фронту, а $i = 2$ по спадающему фронту логического TTL сигнала. Для частот меньше 1 Гц необходимо использовать TTL сигнал.
HARM (?) { i }	Команда HARM устанавливает или запрашивает номер используемой гармоники. Аргумент может принимать целочисленные значения в диапазоне от 1 до 19999. Команда HARM i означает, что прибор будет детектировать сигнал на i -ой гармонике опорного сигнала. Значение аргумента i ограничивается соотношением $i \times f \leq 102$ кГц. Если значение аргумента превосходит допустимое, тогда значение номера гармоники n будет максимальным, не превышающим соотношение $n \times f \leq 102$ кГц.
SLVL (?) { x }	Команда SLVL устанавливает или запрашивает амплитуду с выхода опорного сигнала „SINE OUT”. Аргумент x задает напряжение (действительное число в Вольтах). Значение x будет округлено до 0.002 В. Аргумент x может принимать значение в диапазоне $0.004 \leq x \leq 5.000$.

Команды входа и фильтра

ISRC (?) {i}

Команда **ISRC** устанавливает или запрашивает, какие входные каналы являются источником входного сигнала для прибора. Аргумент *i* выбирает каналы А (*i*=0), А-В (*i*=1), I (1 МОм) (*i*=2) или I (100 МОм) (*i*=3).

Изменение усиления тока не изменяет чувствительность прибора. Чувствительности выше 10 нА требуют усиления тока в 1 МОм. Чувствительности между 20 нА и 1 мкА автоматически устанавливают усиление тока в 1 МОм. При чувствительностях ниже 20 нА изменение чувствительности не меняет усиление тока.

IGND (?) {i}

Команда **IGDN** выбирает или запрашивает режим заземления экрана входного штекера. Аргумент *i* выбирает режим Плавающий (Float) (*i*=0) или Заземлен (Ground) (*i*=1).

ICPL (?) {i}

Команда **ICPL** устанавливает или запрашивает режим подачи на входные каскады полного или переменного сигнала. Аргумент *i* выбирает режим переменного (AC) (*i*=0) или полного (DC) (*i*=1) сигнала.

ILIN (?) {i}

Команда **ILIN** устанавливает или запрашивает состояние входного узкополосного вырезающего (режекторного) фильтра. Аргумент *i* выбирает отсутствие фильтрации (*i*=0), фильтр на частоте электросети питания (Line) (*i*=1), фильтр на удвоенной частоте (2xLine) (*i*=2) или оба фильтра (*i*=3).

Команды усиления и постоянной времени

SENS (?) {i}

Команда **SENS** устанавливает или запрашивает чувствительность. Аргумент *i* выбирает чувствительность в соответствии с таблицей:

<i>i</i>	чувствительность	<i>i</i>	чувствительность
0	2 нВ/фА	13	50 мкВ/пА
1	5 нВ/фА	14	100 мкВ/пА
2	10 нВ/фА	15	200 мкВ/пА
3	20 нВ/фА	16	500 мкВ/пА
4	50 нВ/фА	17	1 мВ/нА
5	100 нВ/фА	18	2 мВ/нА
6	200 нВ/фА	19	5 мВ/нА
7	500 нВ/фА	20	10 мВ/нА
8	1 мкВ/пА	21	20 мВ/нА
9	2 мкВ/пА	22	50 мВ/нА
10	5 мкВ/пА	23	100 мВ/нА
11	10 мкВ/пА	24	200 мВ/нА
12	20 мкВ/пА	25	500 мВ/нА
		26	1 В/мА

RMOD (?) {i}

Команда **RMOD** устанавливает или запрашивает режим резерва. Аргумент *i* выбирает большой резерв (High Reserve) (*i*=0), нормальный (Normal) (*i*=1) или малый шум (Low Noise) (*i*=2). Фактические значения резерва для каждой чувствительности см. в описании кнопки Reserve.

OFLT (?) {i}

Команда **SENS** устанавливает или запрашивает постоянную времени. Аргумент *i* выбирает постоянную времени в соответствии с таблицей:

<i>i</i>	постоянная времени	<i>i</i>	постоянная времени
0	10 мкс	10	1 с
1	30 мкс	11	3 с
2	100 мкс	12	10 с
3	300 мкс	13	30 с
4	1 мс	14	100 с
5	3 мс	15	300 с
6	10 мс	16	1 кс
7	30 мс	17	3 кс
8	100 мс	18	10 кс
9	300 мс	19	30 кс

Постоянные времени большие 30 с НЕ могут быть установлены, если номер гармоники × опорная частота (частота синхронного детектирования) превосходит 200 Гц. Выбор постоянных времени, меньших минимальной постоянной времени (для данных ската фильтра и динамического резерва), установит минимальную допустимую постоянную времени. См. раздел «Усиление и постоянная времени» в главе «Работа с Синхронным Детектором».

OFSL (?) {i}

Команда **OFSL** устанавливает или запрашивает подавление фильтра низких частот. Аргумент *i* выбирает 6 дБ/окт. (*i*=0), 12 дБ/окт. (*i*=1), 18 дБ/окт. (*i*=2) или 24 дБ/окт. (*i*=3).

SYNC (?) {i}

Команда **SYNC** устанавливает или запрашивает состояние синхронного фильтра. Аргумент *i* выбирает Выключен (*i*=0) или синхронная фильтрация ниже 200 Гц (синхронная фильтрация включена только если частота синхронного детектирования (номер гармоники × опорная частота) меньше 200 Гц.

Команды дисплеев и выходов

DDEF (?) $i \{, j, k\}$

Команда **DDEF** устанавливает или запрашивает настройки дисплеев выходных каналов 1 и 2 (CH1 и CH2). Аргумент i выбирает первый ($i=1$) или второй ($i=2$) канал и является обязательным. Команда **DDEF** i, j, k устанавливает вывод на дисплей i согласно аргументу j и отображение отношения (ratio) согласно аргументу k в соответствии с таблицей:

<u>Канал 1 ($i=1$)</u>		<u>Канал 2 ($i=2$)</u>	
j	показывать (display)	j	показывать (display)
0	X	0	Y
1	R	1	θ
2	X noise	2	Y noise
3	Aux In 1	3	Aux In 3
4	Aux In 2	4	Aux In 4

<u>k отношение (ratio)</u>		<u>k отношение (ratio)</u>	
k	отношение (ratio)	k	отношение (ratio)
0	отключено	0	отключено
1	делить на Aux In 1	1	делить на Aux In 3
2	делить на Aux In 2	2	делить на Aux In 4

Команда **DDEF?** i запрашивает аргументы display и ratio дисплея i . Возвращаемая строка содержит значения j и k , разделенные запятой. Например, если команда **DDEF?** **1** возвращает «1,0», то дисплей канала 1 показывает величину R, а отображение отношения не используется.

FPOP (?) $i \{, j\}$

Команда **FPOP** устанавливает или запрашивает источники сигнала для выходных каналов 1 и 2 (CH1 и CH2) на передней панели. Аргумент i выбирает первый ($i=1$) или второй ($i=2$) канал и является обязательным. Команда **FPOP** i, j устанавливает для выхода i выходное значение j как указано ниже:

<u>Канал 1 ($i=1$)</u>		<u>Канал 2 ($i=2$)</u>	
j	значение на выходе	j	значение на выходе
0	CH 1 Display	0	CH 2 Display
1	X	1	Y

OEXP (?) $i \{, x, j\}$

Команда **OEXP** устанавливает или запрашивает выходные сдвиги и усиления. Аргумент i выбирает X ($i=1$), Y ($i=2$) или R ($i=3$) и является обязательным. Аргумент x задает сдвиг в процентах ($-105.0 \leq x \leq 105.00$). Аргумент j выбирает отсутствие выходного увеличения ($j=0$), увеличение в 10 раз ($j=1$) или в 100 раз ($j=2$). Команда **OEXP** i, x, j установит сдвиг и увеличение для величины i . Этой команде необходимы ОБА аргумента x и j . Команда **OEXP?** i запрашивает сдвиг и усиление для величины i . Возвращаемая строка содержит значения сдвига и усиления, разделенные запятой. Например, если команда **OEXP?** **2** возвращает «50.00,1», то сдвиг Y равен 50%, а усиление Y равно 10.

Установка сдвига равного нулю отключает сдвиг. Запрос значения сдвига, когда сдвиг отключен, возвращает 0%.

AOFF i

Команда **AOFF** i сдвигает X ($i=1$), Y ($i=2$) или R ($i=3$) в ноль. Аргумент i является обязательным. Эта команда эквивалентна нажатию кнопки в секции AUTO.

Команды вспомогательных входов и выходов

OAUX? *i*

Команда **OAUX?** *i* запрашивает значения напряжения на вспомогательном входе (Aux Input). Аргумент *i* выбирает вспомогательный вход (1, 2, 3 или 4) и является обязательным. Напряжения на входах возвращаются как строки ASCII со значением в вольтах. Разрешение составляет 1/3 мВ. Эта команда может только запрашивать значения.

AUXV(?) *i* {, *x*}

Команда **AUXV** устанавливает или запрашивает значение напряжения на вспомогательном выходе (Aux Output). Аргумент *i* выбирает вспомогательный выход (1, 2, 3 или 4) и является обязательным. Аргумент *x* задает выходное напряжение (действительное число вольт) и ограничен в пределах $-10.500 \leq x \leq 10.500$. Выходное напряжение будет установлено равным ближайшему целому числу мВ.

Команды установки

OUTX (?) { <i>i</i> }	Команда OUTX устанавливает или запрашивает выбранный интерфейс удаленного управления прибором: RS232 (<i>i</i> =0) или GPIB (<i>i</i> =1). Команда OUTX <i>i</i> должна быть отправлена до отправки любых запрашивающих команд, для того чтобы направить ответы прибора на используемый интерфейс.
OVRM <i>i</i>	В общем, любая команда интерфейса GPIB переведет SR830 в состояние удаленного управления (REMOTE) с деактивированной передней панелью. Чтобы предотвратить это используйте команду OVRM 1 , которая включит ручное управление при удаленном управлении через GPIB (Override Remote). В этом режиме передняя панель не заблокирована, когда прибор находится в состоянии REMOTE. Команда OVRM 0 возвращает прибор в обычный режим с удаленным управлением.
KCLK (?) { <i>i</i> }	Команда KCLK устанавливает или запрашивает, включен (<i>i</i> =1) или выключен (<i>i</i> =0) щелчок при нажатии кнопок.
ALRM (?) { <i>i</i> }	Команда ALRM устанавливает или запрашивает, включен (<i>i</i> =1) или выключен (<i>i</i> =0) предупреждающий звуковой сигнал.
SSET <i>i</i>	Команда SSET <i>i</i> сохраняет установки синхронного детектора в буфере установок <i>i</i> ($1 \leq i \leq 9$). Буферы установок сохраняются при выключенном питании.
RSET <i>i</i>	Команда RSET <i>i</i> восстанавливает установки синхронного детектора из буфера установок <i>i</i> ($1 \leq i \leq 9$). Аргументы интерфейса не изменяются, когда используется команда RSET . Если в буфере <i>i</i> ранее не были сохранены установки, возникнет ошибка.

Команды автоматической настройки

- AGAN** Команда **AGAN** выполняет автоматическую настройку усиления (Auto Gain). Эта команда эквивалентна нажатию кнопки AUTO→Gain. Автоматическая настройка усиления может занять некоторое время, если постоянная времени велика. **AGAN** не делает ничего, если постоянная времени больше, чем 1 секунда. Проверьте бит готовности в байте состояния Serial Poll (бит 1), чтобы определить, когда настройка будет завершена.
- ARSV** Команда **ARSV** выполняет автоматическую настройку резерва (Auto Reserve). Эта команда эквивалентна нажатию кнопки AUTO→Reserve. Автоматическая настройка резерва может занять некоторое время. Проверьте бит готовности в байте состояния Serial Poll (бит 1), чтобы определить, когда настройка будет завершена.
- APHS** Команда **APHS** выполняет автоматическую настройку фазы (Auto Phase). Эта команда эквивалентна нажатию кнопки AUTO→Phase. Потребуется несколько постоянных времени, чтобы сигналы на выходах установились на новых значениях. Не посылайте команду **APHS** снова, не подождя соответствующее количество времени. Если фаза нестабильна, то **APHS** ничего не делает. Запросите новое значение сдвига фазы, чтобы определить, что **APHS** его изменила.
- AOFF *i*** Команда **AOFF *i*** автоматически сдвигает X ($i=1$), Y ($i=2$) или R ($i=3$) в ноль. Эта команда эквивалентна нажатию кнопки AUTO→Offset.

Команды записи данных

Хранение данных

SR830 может хранить до 16383 точек для каждого из дисплеев каналов 1 и 2 во внутреннем буфере данных. Буфер данных не сохраняется при выключенном питании. Буфер данных доступен только через компьютерный интерфейс.

Настройте дисплеи для отображения желаемых величин (с подходящими аргументами отношения, сдвига и усиления). В буфер данных записываются величины, которые отображаются. Только величины, которые отображаются на дисплеях каналов 1 и 2 могут быть записаны. Значение частоты, например, не может быть записано в буфер.

Размещение данных в буфере

На данные, хранящиеся в буфере, можно ссылаться по их расположению в буфере. Самое старое записанное значение находится на позиции 0, следующее на позиции 1 и т.д. В буфере с N позициями они нумеруются от 0 до N-1.

Частота дискретизации

Частота дискретизации может изменяться от 512 Гц до 62,5 мГц (1 точка каждые 16 с). Частота дискретизации устанавливает, насколько часто данные добавляются в буфер. Показания обоих дисплеев записываются с одной и той же частотой и в одни и те же моменты времени.

Помимо внутренних частот дискретизации может быть использована внешняя с TTL входа внешней синхронизации. В этом случае измеряемое значение записывается через 2 мс после нарастающего фронта синхроимпульса на входе TRIG IN на задней панели. Синхроимпульсы, приходящие чаще 512 Гц, игнорируются.

Время накопления

Буфер содержит 16383 значения, записанных с частотой дискретизации. Полное время накопления данных в буфере равно 16383 разделить на частоту дискретизации.

Окончание записи

Когда буфер становится полностью заполненным, запись данных может быть остановлена или продолжена.

Первый режим называется однократным (данные записываются на одну длину буфера). После заполнения буфера запись данных прекращается и звучит предупреждающий звуковой сигнал.

Второй режим называется циклическим. В этом случае запись данных продолжается после заполнения буфера. Буфер данных запишет 16383 значения и начнет записывать снова с начала. Самые последние 18383 значения будут содержаться в буфере. Как только буфер закольцован, самое старое значение (в любое время) находится на позиции 0, а самое последнее – на позиции 16382.

По умолчанию используется циклический режим.

Запуск и остановка записи

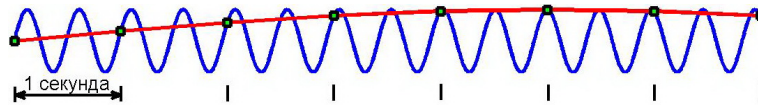
Команды **STRT**, **PAUS** и **REST** используются для управления записью данных. Собственно, команда **STRT** запускает запись данных после сброса или паузы. Команда **PAUS** приостанавливает запись данных, но не сбрасывает буфер.

Кроме того, для запуска записи данных может быть использован вход внешней синхронизации на задней панели. Чтобы выбрать этот режим, используйте команду **TSTR**. В этом случае нарастающий фронт синхроимпульса TTL будет действовать точно также как команда **STRT**. Частота дискретизации может быть внутренняя или внешняя. В первом случае синхроимпульс запускает запись, и данные записываются с запрограммированной частотой дискретизации (до 512 Гц). В последнем случае первый синхроимпульс запустит запись и данные будут записываться при каждом последующем синхроимпульсе.

Эффекты наложения

При использовании дискретного потока данных можно дискретизировать высокочастотный сигнал так, что он окажется намного ниже по частоте. Это называется наложением из-за недостаточной частоты дискретизации (aliasing).

Например, предположим, что синхронный детектор регистрирует сигнал с частотой около 1 Гц с относительно малой постоянной времени. Выходной сигнал X будет иметь постоянную составляющую и составляющую на частоте 2 Гц ($2 \times f$). Если частота дискретизации равна 2 Гц, то дискретизация может происходить так, как проиллюстрировано ниже.



Элементы выборки представляют собой синусоиду с частотой намного меньше 2 Гц, которой в действительности нет в выходном сигнале! В этом случае использование намного большей частоты дискретизации решит проблему.

Наложение возникает всякий раз, когда дискретизируемый сигнал содержит компоненты на частотах больше $1/2$ частоты дискретизации. Эффект наиболее заметен при попытке дискретизировать сигнал с частотой кратной частоте дискретизации (как в примере выше). Проблема наложения выше будет такой же для частоты на выходе 1 кГц (500-кратная частота дискретизации) как и для частоты на выходе 2 Гц.

Вообще, следует использовать максимально возможную частоту дискретизации при заданном желаемом времени накопления. Постоянная времени синхронного детектора и скат фильтра должны быть выбраны так, чтобы максимально возможно ослабить сигналы на частотах, больших $1/2$ частоты дискретизации.

SRAT (?) {i}

Команда **SRAT** устанавливает или запрашивает частоту дискретизации. Аргумент *i* выбирает частоту дискретизации согласно таблице:

<i>i</i>	значение	<i>i</i>	значение
0	62,5 мГц	7	8 Гц
1	125 мГц	8	16 Гц
2	250 мГц	9	32 Гц
3	500 мГц	10	64 Гц
4	1 Гц	11	128 Гц
5	2 Гц	12	256 Гц
6	4 Гц	13	512 Гц
		14	внешняя

SEND (?) {i}

Команда **SEND** устанавливает или запрашивает режим окончания записи. Аргумент *i* выбирает однократный (*i*=0) или циклический (*i*=1) режим. Если используется циклический режим, обязательно приостанавливайте запись данных перед их считыванием, чтобы избежать путаницы с определением того, какое значение является самым последним.

TRIG

Команда **TRIG** является командой программного синхроимпульса. Она имеет такой же эффект, как и синхроимпульс на входе внешней синхронизации (TRIG IN) на задней панели.

TSTR (?) {i}

Команда **TSTR** устанавливает или запрашивает режим запуска по синхроимпульсу. Аргумент *i*=1 включает запуск записи синхроимпульсом, а *i*=0 отключает его.

STRT

Команда **STRT** запускает или возобновляет запись данных. **STRT** игнорируется, если запись уже выполняется.

PAUS

Команда **PAUS** приостанавливает запись данных. Если запись уже приостановлена или сброшена, то эта команда игнорируется.

REST

Команда **REST** сбрасывает буфер данных. Команда **REST** может быть отправлена в любое время – любая выполняющаяся запись, приостановленная или нет, будет сброшена. **Эта команда удалит все данные из буфера.**

Команды передачи данных

OUTP ? *i* Команда **OUTP? *i*** считывает значение **X, Y, R** или θ . Аргумент *i* выбирает X (*i*=1), Y (*i*=2), R (*i*=3) или θ (*i*=4). Значения возвращаются как числа ASCII с плавающей точкой в вольтах или градусах. Например, ответ может быть «-1.01026». Эта команда может только запрашивать значения.

OUTR ? *i* Команда **OUTR? *i*** считывает значение с дисплея канала **1** или **2**. Аргумент *i* выбирает дисплей (*i*=1 или 2). Значения возвращаются как числа ASCII с плавающей точкой в вольтах или градусах. Например, ответ может быть «-1.01026». Эта команда может только запрашивать значения.

SNAP ? *i, j, k, l, m, n* Команда **SNAP?** считывает одновременно значения 2, 3, 4, 5 или 6 аргументов. Например, **SNAP?** позволяет запросить значения X и Y (или R и θ), которые они принимают в один момент времени. Это важно, когда постоянная времени очень мала. Использование команд **OUTP?** или **OUTR?** приведет к временным задержкам между считыванием X и Y (или R и θ), которые могут быть больше постоянной времени. Команда **SNAP?** требует как минимум 2 и как максимум 6 аргументов. Аргументы *i, j, k, l, m, n* выбирают величины из списка:

<i>i, j, k, l, m, n</i>	величина
1	X
2	Y
3	R
4	θ
5	вспомогательный вход 1 (Aux In 1)
6	вспомогательный вход 2 (Aux In 2)
7	вспомогательный вход 3 (Aux In 3)
8	вспомогательный вход 4 (Aux In 4)
9	опорная частота (Freq)
10	дисплей канала 1
11	дисплей канала 2

Запрошенные значения возвращаются в одной строке, разделенные запятыми и в том порядке, в каком они были запрошены. Например, **SNAP?1,2,9,5** вернет значения X, Y, Freq и Aux In 1. Эти значения будут возвращены в одной строке, например «0.951359,0.0253297,1000.00,1.234».

Первое число это значение X, второе – Y, третье – Freq, четвертое – Aux In 1.

Значения X и Y считываются одновременно. Значения R и θ также считываются одновременно. Таким образом, чтение X,Y ИЛИ R, θ дает моментальный снимок выходного сигнала. Если считываются все четыре величины X, Y, R и θ , то значения X,Y записываются с интервалом приблизительно 10 мс от записи R, θ . Поэтому в одном запросе **SNAP?** значения X и Y могут не давать точные значения R и θ .

Значения напряжения на вспомогательных входах могут иметь неопределенность по времени считывания до 32 мкс. Частота вычисляется только каждый второй период или каждые 40 мс, смотря по тому, что больше.

Команда **SNAP?** может только запрашивать значения. Команда **SNAP?** используется для считывания различных аргументов одновременно, не для быстрой передачи данных.

OAUX ? i

Команда **OAUX?** считывает значения напряжения на вспомогательном входе (**Aux In**). Аргумент i выбирает вспомогательный вход (1, 2, 3 или 4) и является обязательным. Значения напряжения возвращаются в виде строк ASCII в вольтах. Разрешение составляет 1/3 мВ. Эта команда может только запрашивать значения.

SPTS ?

Команда **SPTS?** запрашивает количество значений, записанных в буфер. Оба дисплея имеют одинаковое число записанных значений. Если буфер сброшен, то возвращается 0. Помните, что **SPTS?** возвращает N , где N есть количество значений, которые нумеруются от 0 (самое старое) до $N-1$ (самое последнее). Команда **SPTS?** может быть отправлена в любое время, даже когда выполняется запись данных. Эта команда может только запрашивать значения.

TRCA ? i, j, k

Команда **TRCA?** запрашивает значения, сохраненные в буфере дисплея i . Данные возвращаются в виде чисел ASCII с плавающей точкой. Несколько значений разделяются запятыми, а за последним следует символ конца строки. Например, ответ с двумя значениями может быть «-1.234567e-009,+7.654321e-009,».

Аргумент i выбирает буфер дисплея ($i=1,2$) и является обязательным. Значения считываются из буфера, начиная с позиции j ($j \geq 0$). Всего считывается k позиций ($k \geq 1$). Чтобы считать одно значение, установите $k=1$. Аргументы j и k являются обязательными. Если $j+k$ превосходит число записанных в буфере точек (возвращаемое запросом **SPTS?**), то возникает ошибка. Помните, что **SPTS?** возвращает N , где N есть количество значений, а команда **TRCA?** нумерует позиции значений в буфере от 0 (самое старое) до $N-1$ (самое последнее). Если установлен циклический режим записи данных, обязательно приостанавливайте запись перед считыванием каких-либо данных. Это необходимо потому, что значения нумеруются относительно самого последнего записанного, которое все время меняется.

TRCB ? i, j, k

Команда **TRCB?** запрашивает значения, сохраненные в буфере дисплея i . Данные возвращаются в виде двоичных чисел с плавающей точкой в формате IEEE. На каждое значение приходится 4 байта. Несколько значений не разделяются делителями. Байты могут быть считаны напрямую в массив чисел с плавающей точкой (в большинстве языков программирования).

Не запрашивайте бит состояния IFC (никакая команда не выполняется) после отправки команды **TRCB**. Этот бит не будет установлен до тех пор пока передача данных не завершится.

При использовании интерфейса GPIB символ EOI отправляется вместе с последним байтом. Значения должны быть считаны с использованием режима двоичной передачи данных (см. инструкцию к программному обеспечению Вашей интерфейсной карты GPIB). Убедитесь, что программное обеспечение настроено НЕ прекращать считывание при получении символов CR (возврат каретки) или LF (перевод строки).

При использовании интерфейса RS232 максимальная длина слова должна быть 8 бит. Значения должны быть считаны как двоичные байты (без проверки перевода строки, возврата каретки или других управляющих символов). Большинство драйверов последовательных интерфейсов разработаны только для текста ASCII и не будут работать в данном случае. Передача данных не приостанавливается между байтами. Принимающий интерфейс должен всегда быть готов принять следующий байт. Вообще, использование двоичной передачи данных через интерфейс RS232 не рекомендуется.

Аргумент i выбирает буфер дисплея ($i=1,2$) и является обязательным. Значения считываются из буфера, начиная с позиции j ($j \geq 0$). Всего считывается k позиций ($k \geq 1$) для передачи $4k$ байтов. Чтобы считать одно значение, установите $k=1$. Аргументы j и k являются обязательными. Если $j+k$ превосходит число записанных в буфере точек (возвращаемое запросом **SPTS?**), то возникает ошибка. Помните, что **SPTS?** возвращает N , где N есть количество значений, а команда **TRCB?** нумерует позиции значений в буфере от 0 (самое старое) до $N-1$ (самое последнее). Если установлен циклический режим записи данных, обязательно приостанавливайте запись перед считыванием каких-либо данных. Это необходимо потому, что значения нумеруются относительно самого последнего записанного, которое все время меняется.

TRCL ? i, j, k

Команда **TRCC?** запрашивает значения, сохраненные в буфере дисплея i . Данные возвращаются в ненормализованной форме с плавающей точкой. На каждое значение приходится 4 байта. Несколько значений не разделяются делителями. Байты НЕ МОГУТ быть считаны напрямую в массив чисел с плавающей точкой.

Каждое значение состоит из четырех байтов. Байт 0 является младшим, бит 4 – старшим. Формат проиллюстрирован ниже.

16 бит		16 бит	
0	порядок	мантисса	
байт 3	байт 2	байт 1	байт 0

Мантисса является 16-битным целым со знаком (от -32768 до 32767). Порядок представляет собой целое со знаком, принимающее значения от 0 до 248 (поэтому байт 3 всегда ноль). Представляемое значение *value* равно:

$$value = m \times 2^{exp-124},$$

где m – мантисса, а exp – порядок.

Данные внутри SR830 хранятся в этом формате. Передача данных с использованием этого формата выполняется **быстрее**, чем в формате IEEE с плавающей точкой. Если скорость передачи данных важна, следует использовать команду **TRCL?**.

Не запрашивайте бит состояния IFC (никакая команда не выполняется) после отправки команды **TRCL**. Этот бит не будет установлен до тех пор пока передача данных не завершится.

При использовании интерфейса GPIB символ EOI отправляется вместе с последним байтом. Значения должны быть считаны с использованием режима двоичной передачи данных (см. инструкцию к программному обеспечению Вашей интерфейсной карты GPIB). Убедитесь, что программное обеспечение настроено НЕ прекращать считывание при получении символов CR (возврат каретки) или LF (перевод строки).

При использовании интерфейса RS232 максимальная длина слова должна быть 8 бит. Значения должны быть считаны как двоичные байты (без проверки перевода строки, возврата каретки или других управляющих символов). Большинство драйверов последовательных интерфейсов разработаны только для текста ASCII и не будут работать в данном случае. Передача данных не приостанавливается между байтами. Принимающий интерфейс должен всегда быть готов принять следующий байт. Вообще, использование двоичной передачи данных через интерфейс RS232 не рекомендуется.

Аргумент i выбирает буфер дисплея ($i=1,2$) и является обязательным. Значения считываются из буфера, начиная с позиции j ($j \geq 0$). Всего считывается k позиций ($k \geq 1$) для передачи $4k$ байтов. Чтобы считать одно значение, установите $k=1$. Аргументы j и k являются обязательными. Если $j+k$ превосходит число записанных в буфере точек (возвращаемое запросом **SPTS?**), то возникает ошибка. Помните, что **SPTS?** возвращает N , где N есть количество значений, а команда **TRCL?** нумерует позиции значений в буфере от 0 (самое старое) до $N-1$ (самое последнее). Если установлен циклический режим записи данных, обязательно приостанавливайте запись перед считыванием каких-либо данных. Это необходимо потому, что значения нумеруются относительно самого последнего записанного, которое все время меняется.

FAST (?) {i}

Команда **FAST** включает и выключает режим быстрой передачи данных. Аргумент i выбирает состояния режима:

- $i=0$: выключен
- $i=1$: включен (программы DOS или специализированные для сбора данных компьютеры)
- $i=2$: включен (программы операционной системы Windows)

Когда режим быстрой передачи включен, всякий раз когда данные дискретизируются (во время записи), значения X и Y автоматически передаются через GPIB (недоступно через RS232). Частота дискретизации определяет частоту передачи данных. Важно, чтобы принимающий интерфейс не отставал от передачи.

Для использования режима **FAST2** требуется версия ROM 1.06 или выше. Режим **FAST2** использует очередь подготовленных к передаче данных в синхронном детекторе для буферизации данных, передаваемых через GPIB компьютеру. Поскольку очередь данных может буферизовать максимум 63 пары значений X и Y , принимающий компьютер может «отвлекаться» только на короткие промежутки времени (например, 120 мс при частоте дискретизации 512 Гц), не вызывая превышения максимального времени ожидания синхронным детектором и прекращения режима **FAST** передачи данных.

Значения X и Y передаются как целые числа со знаком длиной 2 байта (16 бит). X посылается первым, за ним посылается Y — в сумме 4 байта на отсчет. Значения могут быть от -32768 до 32767. Значение ± 30000 представляет \pm полную шкалу (например, чувствительность).

Сдвиги и выходные усиления включены в значения X и Y . Передаваемые значения равны (исходные данные - сдвиг) \times усиление. Результирующее значения обязано быть по-прежнему 16-битным целым. Значение ± 30000 теперь представляет \pm полную шкалу, деленную на коэффициент усиления.

На больших частотах дискретизации важно, чтобы принимающий интерфейс успевал за передачей. Если SR830 обнаруживает, что интерфейс не готов получить значение, режим быстрой передачи отключается. Режим быстрой передачи можно отключить командой **FAST0**.

Режим передачи данных следует включить (используя **FAST1** или **FAST2**) до запуска записи данных (сканирования). Затем используйте команду **STRD** (см. ниже) для запуска сканирования. После отправки команды **STRD** сразу же сделайте SR830 передающей стороной, а управляющий интерфейс принимающей. Помните, что первая передача случится при записи первого значения. Если запись запускается с передней панели или по синхроимпульсу, то убедитесь, что SR830 является передающей стороной, а управляющий интерфейс — принимающей, ДО того, как запись в действительности начнется.

STRD

После использования **FAST1** или **FAST2** для включения быстрой передачи данных используйте команду **STRD** для запуска сканирования. **STRD** запустит сканирование после задержки в 0,5 с. Эта задержка позволяет управляющему интерфейсу переключить себя в режим чтения до начала передачи данных. Не используйте команду **STRT** для запуска сканирования. См. примеры программ в конце этого раздела.

Команды интерфейса

- RST** Команда **RST** сбрасывает SR830 в его конфигурацию по умолчанию. Установки связи не изменяются. Все остальные режимы и настройки устанавливаются в их состояния и значения по умолчанию. Выполнение этой команды требует некоторого времени. Эта команда сбрасывает любую выполняющуюся запись данных. Данные, записанные в буферах будут потеряны.
- IDN?** Запрос **IDN?** возвращает строку идентификаторов устройства SR830. Эта строка имеет формат
- «Stanford_Research_Systems,SR830,s/n00111,ver1.000»
- В этом примере серийный номер 00111, версия программно-аппаратного обеспечения 1.000.
- LOCL (?) {i}** Команда **LOCL** устанавливает режим ручного/удаленного управления (local/remote). Если $i=1$, SR830 в состоянии LOCAL, если $i=2$, SR830 перейдет в состояние REMOTE, и, если $i=2$, SR830 перейдет в состояние LOCAL LOCKOUT. Эти состояния дублируют GPIB состояния local/remote. В состоянии LOCAL разрешены и выполнение команд и ввод с клавиатуры. В состоянии REMOTE разрешено выполнение команд, но клавиатура и ручка заблокированы, кроме кнопки **LOCAL**, которая возвращает SR830SR830 в состояние LOCAL. В состоянии LOCAL LOCKOUT все операции с передней панели заблокированы, включая кнопку **LOCAL**. Индикатор REMOTE расположен сразу над кнопкой **LOCAL**. Режим ручного управления при удаленном управлении (Override Remote) должен быть отключен, чтобы передняя панель была заблокирована. Если режим Override Remote включен, то передняя панель активна даже в состоянии REMOTE.
- OVRM (?) {i}** Команда **OVRM** устанавливает или запрашивает режим ручного управления при удаленном управлении (Override Remote). Аргумент i выбирает, выключен ($i=0$) или включен ($i=1$) режим. Если режим включен, передняя панель не блокируется, когда прибор находится в состоянии REMOTE. Индикатор REMOTE будет по-прежнему включен, и кнопка **LOCAL** вернет прибор в состоянии LOCAL. **По умолчанию режим Override Remote включен.** Чтобы заблокировать переднюю панель используйте команду **OVRM0** перед переводом прибора в состояние REMOTE.
- TRIG** Команда **TRIG** является командой программного синхроимпульса. Она имеет такой же эффект, как и синхроимпульс на входе внешней синхронизации на задней панели.

Команды уведомления о состоянии

Определения байтов состояния приведены в следующем разделе.

*CLS	Команда *CLS сбрасывает все регистры (байты) состояния. Маски HE сбрасываются.
*ESE (?) {i} {j}	Команда *ESE i устанавливает маску байта состояния Standard Event равной десятичному значению i (0-255). Команда *ESE i,j устанавливает бит i (0-7) равным j (0 или 1). Команда *ESE? запрашивает значение (0-255) маски байта состояния. Команда *ESE? i запрашивает значение (0 или 1) бита i .
*ESR? {i}	Команда *ESR? запрашивает значение значение байта состояния Standard Event . Значение возвращается в виде десятичного числа от 0 до 255. Команда *ESR? i запрашивает значение (0 или 1) бита i (0-7). Считывание всего байта состояния очистит его, в то время как считывание бита i очистит только бит i .
*SRE (?) {i} {j}	Команда *SRE i устанавливает маску байта состояния Serial Poll равной десятичному значению i (0-255). Команда *SRE i,j устанавливает бит i (0-7) равным j (0 или 1). Команда *SRE? запрашивает значение (0-255) маски байта состояния. Команда *SRE? i запрашивает значение (0 или 1) бита i .
*STB? {i}	Команда *STB? запрашивает значение значение байта состояния Serial Poll . Значение возвращается в виде десятичного числа от 0 до 255. Команда *STB? i запрашивает значение (0 или 1) бита i (0-7). Считывание этого байта не влияет на его значение.
*PSC(?) {i}	Команда *PSC устанавливает значение бита очистки состояния при включении питания. Если $i=1$, бит очистки состояния при включении питания установлен и все регистры (байты) состояния и активизирующие регистры очищаются при включении питания. Если $i=0$, бит сброшен и активизирующие регистры сохраняют свои значения при выключенном питании. Это позволяет генерировать сервисные запросы при включении питания.
ERRE (?) {i} {j}	Команда ERRE i устанавливает маску байта состояния Error равной десятичному значению i (0-255). Команда ERRE i,j устанавливает бит i (0-7) равным j (0 или 1). Команда ERRE? запрашивает значение (0-255) маски байта состояния. Команда ERRE? i запрашивает значение (0 или 1) бита i .
ERRS? {i}	Команда ERRS? запрашивает значение значение байта состояния Error . Значение возвращается в виде десятичного числа от 0 до 255. Команда ERRS? i запрашивает значение (0 или 1) бита i (0-7). Считывание всего байта состояния очистит его, в то время как считывание бита i очистит только бит i .
LIAE (?) {i} {j}	Команда LIAE устанавливает маску байта состояния синхронного детектора (LIA) равной десятичному значению i (0-255). Команда LIAE i,j устанавливает бит i (0-7) равным j (0 или 1). Команда LIAE? запрашивает значение (0-255) маски байта состояния LIA. Команда LIAE? i запрашивает значение (0 или 1) бита i .

LIAS? {i}

Команда **LIAS?** запрашивает значение значение байта состояния синхронного детектора (**LIA**). Значение возвращается в виде десятичного числа от 0 до 255. Команда **LIAS? i** запрашивает значение (0 или 1) бита *i* (0-7). Считывание всего байта состояния очистит его, в то время как считывание бита *i* очистит только бит *i*.

Определение байтов состояния

SR830 сообщает о своем состоянии с помощью четырех байтов состояния: «Serial Poll», «Standard Event», «LIA» и «Error».

Биты состояния устанавливаются в 1, когда событие или состояние, описанные в таблицах ниже, возникают или существуют.

Байт Состояния	бит	название	значение
Serial Poll	0	SCN	Сканирование не выполняется (остановлено или завершено). Приостановленное сканирование считается выполняющимся.
	1	IFC	Не выполняется никакая команда.
	2	ERR	В байте состояния Error был установлен немаскированный бит.
	3	LIA	В байте состояния LIA был установлен немаскированный бит.
	4	MAV	Выходной буфер интерфейса не пустой.
	5	ESB	В байте состояния Standard Event был установлен немаскированный бит.
	6	SRQ	Появился сервисный запрос (SRQ).
	7	не используется	

Биты ERR, LIA и ESB устанавливаются всякий раз, когда в соответствующих байтах и их масках одновременно установлен любой из битов. Используйте команды **SSRE**, **SESE**, **ERRE** и **LIAE** для установки маскирующих битов. Биты ERR, LIA и ESB не сбрасываются до тех пор, пока ВСЕ немаскированные биты в байтах состояния Error, LIA и Standard Event не будут сброшены (считыванием байта состояния или использованием ***CLS**).

Использование ***STB?** для считывания байта состояния Serial Poll

Бит в байте состояния Serial Poll НЕ сбрасывается считыванием байта состояния с помощью ***STB?**. Бит остается установленным пока существует причина его установки. Это верно даже для SRQ. SRQ будет установлен всегда, когда этот же бит установлен в байте состояния Serial Poll И его маске. Это не зависит от того, возник ли последовательный опрос для того, чтобы сбросить сервисный запрос.

Использование последовательного опроса (serial poll)

За исключением SRQ, любой бит в байте состояния Serial Poll НЕ сбрасывается при последовательном опросе (serial poll) байта состояния. При считывании байта состояния с помощью последовательного опроса, бит SRQ сигнализирует о том, что SR830 сформировал запрос. Бит SRQ будет установлен при первом опросе SR830 после сервисного запроса. Последовательный опрос автоматически сбрасывает сервисный запрос. Последующие последовательный опросы будут возвращать SRQ сброшенным до тех пор, пока не возникнет еще один сервисный запрос. Опрос байта состояния и его считывание с помощью ***STB?** может возвращать различные значения для SRQ. При опросе SRQ показывает, что возник сервисный запрос. При считывании SRQ показывает, что установлен немаскированный бит состояния.

Сервисные запросы (SRQ)

Сервисный запрос GPIB (SRQ) будет сгенерирован всякий раз, когда бит в байте состояния Serial Poll И его маске установлен. Используйте **SSRE** для установки битов в маске Serial Poll. Сервисный запрос генерируется только когда немаскированный бит в байте состояния Serial Poll становится установленным (изменяется с 0 на 1). Немаскированный бит состояния, который становится и остается установленным, генерирует одиночный SRQ. Если требуется получить еще один сервисный запрос от того же бита состояния, запрашивающий бит состояния должен быть сначала сброшен. В случае битов ERR, LIA и ESB это означает сброс немаскированных битов в байтах состояния Error, LIA and Standard Event (посредством их считывания). Несколько установленных немаскированных битов генерируют один SRQ. Следующий SRQ от битов ERR, LIA или ESB может быть сгенерирован только после сброса этих битов. Для сброса этих битов ВСЕ немаскированные биты в байтах состояния Error, LIA and Standard Event должны быть сброшены.

Контроллер должен отвечать на SRQ выполнением последовательного опроса для считывания бита состояния Serial Poll с целью определить запрашивающий бит состояния. Бит 6 (SRQ) будет сброшен последовательным опросом.

Например, чтобы сгенерировать сервисный запрос при возникновении перегрузки резерва (RESRV), необходимо установить бит 0 в маске бита состояния LIA (команда **LIAE 0,1**) и бит 3 в маске бита состояния Serial Poll (команда **SSRE 3,1**). Когда возникает перегрузка резерва, устанавливается бит 0 в байте состояния LIA. Поскольку бит 0 установлен в байте состояния LIA И его маске, это ТАКЖЕ приводит к установке бита 3 (LIA) в байте состояния Serial Poll. Поскольку бит 3 установлен в байте состояния Serial Poll И его маске, генерируется SRQ. Устанавливается бит 6 (SRQ) в байте состояния Serial Poll. Дальнейшие перегрузки резерва не будут генерировать другой SRQ до тех пор, пока бит перегрузки резерва не будет сброшен. Бит состояния RESRV сбрасывается считыванием бита состояния LIA (с помощью **LIAS?**). Как правило, контроллер оповещается о перегрузке посредством SRQ, выполняет последовательный опрос чтобы сбросить SRQ, делает что-нибудь, чтобы попытаться поправить ситуацию (изменить усиление, аргументы эксперимента и т.д.), и затем сбрасывает бит состояния RESRV считыванием регистра состояния LIA. Тогда последующая перегрузка резерва генерирует другой SRQ.

	<u>бит</u>	<u>название</u>	<u>значение</u>
Байт Состояния Standard Event	0	INP	Уст. при переполнении входной очереди (получено слишком много команд, очередь очищена).
	1	не используется	.
	2	QRY	Уст. при переполнении выходной очереди (слишком много ответов ожидающих передачи, очередь очищена).
	3	не используется	.
	4	EXE	Уст., если команда не может быть выполнена корректно или значение аргумента вне допустимого диапазона.
	5	CMD	Уст., если получена недопустимая команда.
	6	URQ	Уст. при нажатии на кнопку или повороте ручки.
	7	PON	Уст. при включении питания.

Биты этого регистра остаются установленными до тех пор, пока не будут сброшены при их считывании или командой ***CLS**.

	<u>бит</u>	<u>название</u>	<u>значение</u>
Байт Состояния LIA	0	INPUT/RESRV	Уст., если обнаружена перегрузка входа или усилителя.
	1	FILTR	Уст., если обнаружена перегрузка фильтра низких частот.
	2	OUTPT	Уст., если обнаружена перегрузка выхода.
	3	UNLK	Уст., если обнаружена потеря опорного сигнала.
	4	RANGE	Уст., когда частота синхронного детектирования (гармоника × опорная частота) уменьшается ниже 199,21 Гц или увеличивается выше 203,12 Гц. Постоянные времени больше 30 с и синхронная фильтрация отключаются в верхнем частотном диапазоне.
	5	TC	Уст., если постоянная времени изменена косвенно, вследствие изменения частотного диапазона, динамического резерва, ската (подавления) фильтра или выходного усиления.
	6	TRIG	Уст., когда запись данных запущена по синхроимпульсу (только если дискретизация или сканирование в режиме запуска по внешнему синхроимпульсу).
	7	не используется	

Биты состояния LIA остаются установленными до тех пор, пока не будут сброшены при считывании или командой ***CLS**.

	<u>бит</u>	<u>название</u>	<u>значение</u>
Байт Состояния Error	0	не используется	
	1	Backup Error	Уст. при включении питания, если резервное батарейное питание вышло из строя
	2	RAM Error	Уст., если самотестирование ОЗУ находит ошибку.
	3	не используется	
	4	ROM Error	Уст., если самотестирование ПЗУ находит ошибку.
	5	GPiB Error	Уст., если быстрая передача данных по GPiB была аварийно прекращена.
	6	DSP Error	Уст., если самотестирование DSP находит ошибку.
	7	Math Error	Уст., если возникает внутренняя математическая ошибка.

Биты состояния Error остаются установленными до тех пор, пока не будут сброшены при считывании или командой ***CLS**.

Пример программы 1

Использование Microsoft C (версия 5.1) с картой National Instruments GPIB на персональном компьютере IBM PC

Для корректного взаимодействия SR830 с ПК через интерфейс GPIB необходимо правильно настроить прибор, интерфейсную карту и интерфейсные драйверы. Для того, чтобы настроить SR830, адрес GPIB должен быть установлен с помощью кнопки . По умолчанию адрес GPIB равен 8. Используйте этот адрес до тех пор, пока не возникнут конфликты с другим оборудованием в вашей установке. Всякий раз при выполнении сброса аргументов (включение питания при нажатой кнопке) GPIB адрес SR830 устанавливается на значение 8.

Следуйте инструкции при установке карты GPIB. Недостаточно просто распаковать и поставить карту National Instruments GPIB в ваш компьютер. Для настройки карты необходимо установить переключки и переключатели на карте, чтобы установить адрес ввода-вывода и уровни прерывания. Далее нужно запустить программу "IBCONF" для настройки GPIB-драйвера компьютера для вашей GPIB карты. Вся необходимая информация находится в инструкции National Instruments. Например, следующие опции должны быть установлены с помощью программы "IBCONF":

Device name (Название прибора):	LIA
Device address (Адрес прибора):	8
Terminate Read on EOS (Прекращать чтение на символе EOS):	No (для двоичной передачи)

После настройки всего оборудования и GPIB драйверов, используйте программу "IBIC". Это программа эмуляции терминала. Она позволяет отправлять команды для SR830 напрямую с клавиатуры компьютера. Если вы не можете взаимодействовать с SR830 через "IBIC", то ваши программы не будут работать. Используйте простые команды, предоставляемые National Instruments. Используйте "IBWRT" и "IBRD" для записи и чтения с SR830. После того, как вы познакомитесь с этими простыми командами, вы можете изучать более сложные команды программирования.

```

/*****
/* Пример программы, использующей Microsoft C V5.1 и карту
National Instruments GPIB.

```

С помощью BNC кабеля подсоедините выход "Sine Out" ко входу "A".

Запустите эту программу, набрав имя программы и за ним через пробел имя прибора. Имя прибора - это имя, которое IBCONF использует для настройки драйвера National Instruments. К примеру, если имя программы LIATEST и используется настройка, приведенная выше, то следует набрать LIATEST LIA.

Двоичные данные X и Y будут переданы на ПК с помощью команды FAST в течение 10 секунд. После завершения быстрой передачи, существующие значения амплитуды в буфере данных будут переданы в формат с плавающей точкой, а также во внутренний формат синхронного детектора в ненормализованной форме с плавающей точкой (более быстрая передача).*/

```

#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include "decl.h"

```

```

#define SR830 argv[1]
/* прототипы функций */
void    main(int, char *[]);
void    txLia(char *);
void    initGpib(char *);
void    setupLia(void);
void    printOutBinaryResults(void);
void    printOutIEEEResults(void);
void    printOutLIAResults(void);
/* Прототипы функций интерфейса National Instruments ( Вызовы стандарта 488.1 - смотри
    инструкцию к программному обеспечению National). */
Декларированы в "decl.h"
int    ibfind(char*);
void    ibwrt(int,char *,int);
void    ibrd(int,char *,unsigned long);
void    ibrsp(int,char *);
void    ibeos(int,int);
void    ibtmo(int,int);
*/
/* глобальные переменные */
int    lia;                /* идентификатор SR830 */
int    rxBuf[660*2];      /* буфер данных для режима FAST*/
float  rfBuf[1000];       /* буфере данных с плавающей точкой*/

void main(int argc, char *argv[])
{
    int    nPts,i;
    char   tstr[20];
    if (argc<2) {
        printf("\nUsage: liatest <devName>\n");
        exit(1);
    }
    else
        initGpib(SR830);
    txLia("OUTX1"); /* Настройка SR830 для отправки ответов на порт GPIB */
    setupLia();     /* Инициализация установок SR830 */

    printf("\nAcquiring Data\n"); ibtmo(lia,0); /* отключить таймаут или установить таймаут
        больше, чем время записи (10 секунд). Таймаут
        определяет время, необходимое для передачи
        полного числа байтов, а не время с момента
        получения последнего байта.*/

    txLia("FAST2;STRD"); /* Включить метод передачи данных FAST, затем начать сканирование,
        используя STRD (команда запуска после задержки).
        Использование команды STRD ОБЯЗАТЕЛЬНО, если сканирование
        будет запущено данной программой. НЕ используйте команду STRT.*/

    /* Получать данные в течение 10 секунд и затем остановиться */
    ibrd(lia,(char *)rxBuf,2564L); /* получить данные методом FAST в течение 10 секунд.
        В результате 10 секунд получения данных на частоте
        дискретизации 64 Гц получится 64*10 + 1 значений,
        каждое значение содержит X (2 байта) и Y (2 байта),

```

```

        что в сумме даст 4*(64*10+1) = 2564 байт. */
i=(int)ibcnt; /* Сохранить общее число прочитанных байт */
i=(int)ibcnt; /* Сохранить общее число прочитанных байт */

txLia("PAUS"); /* Приостановить запись данных. Новых значений получено не будет. */
printOutBinaryResults(); /* Отформатировать и напечатать результаты */

printf("\n%d bytes received.\nPress <Enter> to continue.",i);
getch(); printf("\n");

printf("Reading Results in IEEE Binary Format\n");
txLia("SPTS?"); /* Сколько значений в буфере канала 1 (значения R)? */
ibrd(lia,tstr,20L); /* Получить ответ */
sscanf(tstr,"%d",&nPts); /* Конвертировать строку в целое */
printf ("SPTS?=%d\n",nPts);

sprintf(tstr,"TRCB?1,0,%d",nPts); /* Использовать TRCB? для чтения значений
        в формате IEEE с плавающей точкой */
ibwrt(lia,tstr,strlen(tstr)); /*Заметьте, мы не можем использовать здесь txLia,
        поскольку биты IFC RDY не будут установлены,
        пока не завершится передача данных!*/
ibrd(lia,(char *)rfBuf,(long)nPts*4L); /* Читать напрямую в массив FLOAT, 4 байта
        на значение */

printf ("\nReceived %d bytes in IEEE binary format\n",ibcnt);
printOutIEEEResults(); /* Отформатировать и распечатать результаты */
printf ("Press <Enter> to continue");
getch(); printf("\n");

printf("Reading Results in LIA Binary Format\n");
sprintf(tstr,"TRCL?1,0,%d",nPts); /* Использовать TRCL? для чтения значений
        с плавающей точкой во внутреннем формате
        прибора */
ibwrt(lia,tstr,strlen(tstr)); /* Заметьте, мы не можем использовать здесь txLia,
        поскольку биты IFC RDY не будут установлены,
        пока не завершится передача данных! */
ibrd(lia,(char *)rfBuf,(long)nPts*4L); /* Читать в массиве FLOAT, однако величины НЕ будут
        значениями с плавающей точкой! */

printf ("\nReceived %d bytes in LIA binary format\n",ibcnt);
printOutLIAResults(); /* Отформатировать и распечатать результаты */
printf ("End of Program");
}

void printOutBinaryResults(void)
{
    /* Рассчитывает первые 10 величин амплитуд, используя значения X и Y, полученные с SR830
        методом быстрой передачи (FAST) */
    int i; float x,y,r; int *ptr;

    printf("\n\n");
    ptr = rxBuf; /* ptr указывает на первую пару величин X,Y. X и Y целые. */
    for (i=0;i<10;i++) {

```

```

    x = (float) (*ptr++) / (float) 30000.0; /* 30000 это полная шкала, которая соответствует
                                           в данном случае 1В */
    y = (float) (*ptr++) / (float) 30000.0; /* для других масштабов, умножить на полную
                                           шкалу напряжения*/
    r = (float) sqrt(x*x + y*y); /* Вычислить амплитуду по значениям X и Y */
    printf("%d %e\n",i,r);
}

}

void printOutIEEEResults(void)
{
    /* Печатает первые 10 величин амплитуды, переведенных SR830
       в формат IEEE с плавающей точкой */

    int i;

    printf("\n\n");
    for (i=0;i<10;i++)
        printf("%d %e\n",i,rfBuf[i]); /* Это просто, поскольку все величины уже
                                       в формате IEEE с плавающей точкой */
}

void printOutLIAResults(void)
{
    /* Рассчитывает первые 10 величин амплитуды, переданные SR830
       во внутреннем формате с плавающей точкой */

    int i,mant,exp;
    int *ptr;
    float val;

    printf("\n\n");
    ptr = (int *) rfBuf; /* ptr указывает на целые значения в rfBuf,
                          не с плавающей точкой! */

    for (i=0;i<10;i++) {
        mant = *ptr++; /* Сначала идет мантисса (16 бит) */
        exp = *ptr++ - 124; /* Затем показатель двойки (16 бит),
                             сдвинутый на 124 */
        val = (float) mant * (float) pow(2.0,(double) exp);
        printf("%d %e\n",i,val);
    }
}

void initGpib(char *devName)
{
    if ((lia=ibfind(devName))<0) {
        printf("\nCannot Find SR830 \n\a");
        exit(1);
    }
}

void txLia(char *str)
{

```

```

char serPol;
ibwrt(lia,str,strlen(str));
do {
ibrsp(lia,&serPol);          /* теперь опрашиваем IFC RDY */
} while ((serPol&2)==0);    /* Пока команда не закончит исполнение */
}

void setupLia(void)
{
txLia("*RST");              /* Инициализировать синхронный детектор */
txLia("SRAT10; SEND0");    /* установить частоту дискретизации 64\,Гц,
                           остановку в конце сканирования */
txLia("DDEF1,1,0; DDEF2,1,0"); /* Установить CH1=R, CH2=theta.
                           Буферы сохраняют CH1 и CH2 */
printf("Scan is Initialized, Press <Enter> to Begin Scan...");
getch();
}

```

Использование программ SR530 для SR830

SR830 отвечает на большинство программируемых команд SR530. Это обстоятельство позволяет использовать с SR830 существующие приложения для SR530 с минимальными программными изменениями. Конечно, некоторые изменения потребуются, поскольку у каждого прибора существуют свои уникальные особенности. Например, команды SR530 не могут перевести SR830 в запрещенную для него (SR830) конфигурацию. **Все стандартные модули программ, запрашивающие состояние SR530 ДОЛЖНЫ быть переписаны для того, чтобы запрашивать эквивалентное состояние SR830, используя команды состояния SR830.**

Режим эмуляции SR530 предназначен для упрощения перехода на SR830. Новые программы должны использовать команды SR830 для того, чтобы использовать достоинства всех функций SR830.

Программы, написанные для SR575, НЕ будут работать надежно с SR830. Данная ситуация обусловлена тем, что SR575 оптимизирован на более скоростную работу, а время исполнения некоторых команд SR830 дольше, чем в SR575.

Команды SR530 документированы в инструкции к SR530. Аргументы команд SR530 следуют правилам SR830. Исключения приведены ниже.

OUTX i	Команда OUTX устанавливает выходной интерфейс: RS232 ($i=0$) или GPIB ($i=1$). Команда OUTX i ДОЛЖНА быть в начале ЛЮБОЙ программы для SR830, чтобы направить ответы прибора на используемый интерфейс.
FMOD i	SR530 всегда находится в режиме с внешним источником опорного сигнала. Используйте команду FMOD 0 для выбора внешнего источника опорного сигнала. Для выбора внутреннего генератора SR830 используйте команду FMOD 1.
AX AY AR	Команды AX, AY и AR автоматически настраивают сдвиг для выходных величин X, Y и R. В отличие от SR530, сдвиги X и Y не влияют на R.
AP	Команда AP выполняет функцию автоматической настройки фазы. AP ничего не делает, если фаза нестабильна.
B{n}	У SR830 нет полосового фильтра. Эта команда эмулируется, но не делает никаких изменений в настройках SR830.
C{n}	Изменяет режим дисплея опорного канала (REFERENCE).
D{n}	Изменяет динамический режим. В отличие от SR530, все резервы разрешены для всех чувствительностей.
E m {,n}	Изменяет выходное усиление канала m . $n=2$ выбирает усиление в 100 раз. Заметьте, что усиления в SR830 влияют не только на BNC выходы X и Y, но и на показания дисплеев.
F{x}	Команда F считывает частоту. Команда F x устанавливает частоту внутреннего генератора равной x Гц.
G{n}	Изменяет чувствительность от 10 нВ ($n=1$) до 500 мВ ($n=24$). Значения ниже 100 нВ разрешены всегда. Чувствительность 1 В может быть установлена, используя G25. Запрос данной чувствительности возвращает значение 24.
H	SR830 не чувствует предусилитель. Эта команда эмулируется и всегда возвращает 0.

I{n}	Изменяет режим удаленного/ручного управления. В SR830 режим ручного управления во время удаленного управления (Override Remote) может обойти команду I2. Используйте команду OVRM, чтобы изменить это.
J	Не реализовано. Не используйте.
K	Не реализовано. Не используйте.
L m {n}	Изменяет состояние узкополосного вырезающего (режекторного) фильтра.
M{n}	Включает режим детектирования на второй гармонике опорного сигнала. На самом деле команда устанавливает номер гармоники равным $n+1$ для того чтобы получить доступ к гармоникам выше второй.
N{m}	Изменяет шумовую полосу. Эта команда не влияет на постоянную времени. Если использована команда S4 для отображения на дисплеях Xnoise, Ynoise, то команда N m изменяет эквивалентную шумовую полосу, с которой будет возвращаться выходное значение шума при запросе командами Q1 или Q2. Команда N влияет только на ответ на Q1 или Q2 и только если сначала использовалась команда S4.
OX {n}{v}	Изменяет сдвиги X, Y или R. Помните, что v это входное напряжение (не в процентах) в SR530. В отличие от SR530, сдвиги X и Y не влияют на R.
OY {n}{v}	
OR {n}{v}	
P{v}	
Q1	Считывает выходные значения в вольтах или градусах. Когда выбран токовый вход, выходные значения возвращаются в амперах.
Q2	
QX	
QY	
R {n}	Задаёт момент срабатывания компаратора при использовании внешнего источника опорного сигнала.
S {n}	Изменяет величины, отображаемые на выходных дисплеях. SR830 реагирует, только если $n=0$ (X, Y), $n=2$ (R, θ) или $n=4$ (Xnoise, Ynoise).

$T\ m\ \{,n\}$	<p>Изменяет постоянную времени.</p> <p>Если $m=1$, то $T1,n$ устанавливает постоянную времени от 1 мс ($n=1$) до 30 000 с ($n=1$). Постоянные времени больше 30 с доступны, только если частота детектирования ниже 200 Гц. Подавление фильтра низких частот не изменяется. Запрос $T1$ возвращает максимальное значение 11, даже если постоянная времени больше 100 с.</p> <p>Если $m=2$:</p> <p>$T2,0$ изменяет подавление фильтра на 6 дБ/окт., постоянная времени не изменяется.</p> <p>$T2,1$ изменяет постоянную времени на 100 мс со скатом фильтра 12 дБ/окт.</p> <p>$T2,2$ изменяет постоянную времени на 1 с со скатом фильтра 12 дБ/окт.</p> <p>Используйте команду $T2,n$, чтобы изменить скат фильтра, затем используйте $T1,n$, чтобы выбрать постоянную времени.</p>
$U\ m\ \{,n\}$	Не реализовано. Не используйте.
$U\ m\ \{,n\}$	Изменяет значение маски SRQ. Эта команда изменяет маску байта состояния Serial Poll SR830. Байт состояния Serial Poll в SR830 не такой же, как в SR530! Программы, которые запрашивают состояние SR530 необходимо изменить, чтобы запрашивать эквивалентный байт состояния SR530.
$V\ \{n\}$	Не реализовано. Не используйте.
$X\ n\ \{,v\}$	Устанавливает или опрашивает вспомогательные аналоговые порты. Если $n=1,2,3$ или 4, возвращается значение Aux Input n . Если $n=5$ или 6, то Xn,v устанавливает напряжение на вспомогательном выходе (Aux Output) 1 или 2 равным v вольт. Команда $X5$ опроса выхода относительной величины не реализована. Вывод относительной величины должен быть выполнен с использованием режима относительной величины (ratio) для дисплея SR830.
$V\ \{n\}$	Не реализовано. Не используйте. Используйте команды состояния SR830 для считывания байтов состояния SR830.
Z	Сбрасывает SR830. Прибор сбрасывается к установкам по умолчанию, перечисленным в главе «Работа с Синхронным Детектором». Они немного отличаются от установок по умолчанию SR530. (Чувствительность устанавливается равной 1 В, а не 500 мВ.)

Тестирование SR830

Введение	Тесты, описанные в этой главе, созданы для проверки правильной работы прибора. Результаты каждого теста можно записать в таблицу в конце данной главы.
Серийный номер	Если вы хотите обратиться в компанию „Stanford Research Systems”, Вам понадобится серийный номер прибора. Пятизначный серийный номер напечатан на ярлыке, прикрепленном к задней панели. Серийный номер также отображается на дисплеях первого и второго каналов при включении прибора.
Версия прошивки	Версия прошивки отображается на дисплее опорного канала (REFERENCE) при включении прибора.
Предварительная установка	Практически во всех тестах этой главы прибор в самом начале требуется установить в известное начальное состояние (с настройками по умолчанию). Для этого выключите прибор. Затем включите прибор снова, нажимая на кнопку Setup . Прибор выполнит стандартные тесты при включении и все настройки установятся в значения по умолчанию. Эта операция будет кратко называться {Предустановка}.
Прогрев	Прибор необходимо включить и прогреть как минимум в течение одного часа, прежде чем проводить тестирования. Само тестирование не требует прогрева. Для предварительной установки необходимо выключить и включить прибор. Если сразу включить прибор, это повлияет на результаты тестов.
Запись результатов тестов	Результаты тестов Вы можете записывать в таблицу в конце данной главы. Эти записи помогут вам определить, удалась испытание или нет, и сохранить результаты.
Если прибор не прошел тест	Если прибор не прошел тест, проверьте все настройки и соединения с другими приборами и, по возможности, проверьте их работу с помощью цифрового вольтметра, осциллографа или другого тестового оборудования. После проверки всех настроек, повторите тест с самого начала. Если прибор вновь не пройдет тест, свяжитесь с представителями фирмы „Stanford Research Systems” за дальнейшими инструкциями. Убедитесь, что Вы знаете серийный номер и версию прошивки. Имейте также на руках результаты тестов.

Необходимое оборудование Для проведения тестов необходимо следующее оборудование. Должно быть использовано либо предлагаемое оборудование, либо аналоги.

1. Синтезатор частот

Частотный диапазон	1 Гц — 1 МГц
Точность частоты	более 5×10^{-6}
Точность амплитуды	0.2 дБ от 1 Гц до 100 кГц
Гармонические искажения	≤ -65 дБн
Побочные искажения	≤ -55 дБн
TTL SYNC	есть
Рекомендуется	SRS DS335

2. Калибратор

Частотный диапазон	10 Гц — 100 кГц
Амплитуда	1 мВ — 10 В
Точность	0,1%
Возможность связывания по фазе с внешним сигналом	
Рекомендуется	Fluke 5200A

3. Вольтметр

Диапазон	19.999 В, 4 1/2 цифры
Точность	0.005%
Рекомендуется	Fluke 8840A

4. Заглушки

Сопротивление	50Ω
---------------	-------------

Тестирование дисплея передней панели Чтобы протестировать дисплеи передней панели, нажмите одновременно клавиши **Phase** и **Freq**. Включатся все светодиоды. Нажмите клавишу **Phase**, чтобы уменьшить количество светодиодов в 2 раза, до одного и выключить полностью. Используйте ручку, чтобы переключить все зажженные светодиоды вдоль панели. Нажмите **Freq**, чтобы увеличить количество светодиодов. Убедитесь, что загораются все светодиоды. Нажмите любую другую клавишу, чтобы закончить тестирование.

Тестирование клавиатуры Чтобы протестировать клавиатуру, нажмите одновременно клавиши **Phase** и **Ampl**. На дисплеях каналов 1 и 2 отобразится „Pad code”, и включатся индикаторы светодиодов. Светодиоды показывают, какие клавиши еще не были нажаты. Нажмите по одной все клавиши передней панели. При нажатии клавиши ее код отображается на дисплее опорного канала (REFERENCE), а ближайший индикатор светодиода гаснет. Когда вы протестируете все клавиши, дисплей вернется к нормальному режиму. Чтобы вернуться к нормальному режиму, не нажимая на все клавиши, просто поверните ручку.

1. Само тестирование

Самотестирование проверяет компоненты прибора SR830. Само тестирование состоит из набора тестов функциональности, не относящихся к спецификации. Это тестирование должно быть проведено в первую очередь.

Настройка

Никакой внешней настройки самотестирование не требует.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу Setup. Проверьте результаты тестов DATA, BATT, PROG и DSP.
- 2) На этом функциональные тесты аппаратного обеспечения завершаются. Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

2. Постоянный Сдвиг

Этот тест определяет сдвиг постоянного сигнала.

Настройка

Поставьте заглушку на 50Ω на вход А. Это закортит вход, что позволит измерить сдвиг постоянного сигнала детектора.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - **Freq** Используйте кнопку, чтобы установить частоту 1.00 Гц.
 - **▽** в секции SENSITIVITY. Установите чувствительность 1 мВ.
 - **Display** в первом канале. Выберите отображение величины R .
- 3) Подождите как минимум 10 секунд и запишите значение R .
- 4) Нажмите **Couple**. Выберите полный сигнал (DC).
- 5) Подождите 10 секунд и запишите показания R .
- 6) Внесите результаты теста в таблицу в конце данной главы.

3. Ослабление Синфазного Сигнала

Этот тест проверяет ослабление синфазного сигнала детектором.

Настройка

Мы используем синусоидальный выход внутреннего генератора SR830 для создания сигнала. Соедините выход SINE OUT с обоими входами детектора А и В. Используйте кабели одной длины от входов А и В к BNC-тройнику. Соедините кабелем выход SINE OUT и BNC тройник. Не используйте никаких заглушек.

Порядок действий.

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу .
- 2) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - Используйте ручку для установки частоты равной 100.0 Гц.
 - канала 1. Выберите отображение R для дисплея канала 1 (CHANNEL ONE).
- 3) Величина R должна составлять 1.000 В (с точностью 2%).
- 4) Нажмите:
 - Выберите полный сигнал (DC).
 - Выберите А-В.
 - в секции SENSITIVITY. Установите чувствительность 200 мкВ.
- 5) Запишите показания R .
- 6) Ослабление синфазного сигнала вычисляется по формуле $20 \cdot \log(1.0/R)$, где R измеряется в вольтах. Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

4. Точность Амплитуды и АЧХ

В этом тесте измеряется точность амплитуды и проверяется, является ли амплитудно-частотная характеристика константой в специфицированном диапазоне частот.

Настройка

Мы используем синтезатор частот для обеспечения точной частоты и калибратор для создания синусоидальной волны с точно заданной амплитудой.

Соедините выход синтезатора частот со входом фазовой автоподстройки частоты калибратора. Соедините выход калибратора со входом А детектора. Убедитесь, что используете необходимые заглушки. Соедините синхровыход синтезатора (TTL SYNC) с опорным входом детектора.

Настройте синтезатор на:		Настройте калибратор на:	
Сигнал	синус (Sine)	Частота	1 кГц
Частота	1 кГц	Амплитуда	1.000 В (rms)
Амплитуда	0.5 В	Напряжение	выкл.
Сдвиг	выкл. или 0 В	Фазовая автоподстройка частоты	вкл.
Скан (Sweep)	выкл.	Чувствительность (Sense)	внутренняя
Модуляция	нет		

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - **Source** Выберите внешний опорный сигнал (светодиод INTERNAL выключен).
 - **Trig** Выберите нарастающий фронт (POS EDGE).
 - **Display** канала 1. Выберите отображение величины R .
 - **Slope/Oct** Выберите 24 дБ/октаву.
- 3) Точность амплитуды проверяется при частоте 1 кГц для разных значений чувствительности. Для каждой величины чувствительности в таблицы ниже, проделайте действия 3 (а) – 3 (с).

Чувствительность: Амплитуда калибратора:

1 В	1.0000 В (rms)
200 мВ	200.00 мВ (rms)
100 мВ	100.000 мВ (rms)
20 мВ	20.000 мВ (rms)
10 мВ	10.000 мВ (rms)

- (а) Установите амплитуду калибратора равной значению из таблицы.
- (б) Кнопками **△**, **▽** в секции SENSITIVITY выберите соответствующую величину чувствительности из таблицы.
- (с) Подождите, пока установится значение величины R . Запишите значение R для каждой величины чувствительности.

- 4) Амплитудно-Частотная характеристика проверяется на частотах выше 1 кГц. Величины частот для тестирования перечислены ниже.

Частоты для тестирования:

24 кГц
48 кГц
72 кГц
96 кГц

- (a) Установите частоту калибратора равной 1 кГц, а амплитуду 200.00 мВ.
- (b) Установите частоту синтезатора равной 1 кГц.
- (c) Кнопками , в секции SENSITIVITY установите чувствительность 200 мВ.
- (d) Установите частоту для калибратора и синтезатора равной значению из таблицы.
- (e) Подождите, пока установится значение R . Запишите данные R для каждой величины чувствительности.
- (f) Повторите действия 4 (d) – 4 (e) для каждой из перечисленных величин частоты.
- 5) Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

5. Линейность Усиления.

В этом тесте проверяется линейность усиления. Он определяет, насколько точно SR830 измеряет сигнал, который меньше полной шкалы.

Настройка

Мы используем синтезатор частот для создания точной частоты и калибратор для создания синусоидальной волны с точно установленной амплитудой.

Соедините выход синтезатора частот со входом фазовой автоподстройки частоты калибратора. При необходимости используйте соответствующие заглушки. Соедините синхровыход синтезатора (TTL SYNC) с входом опорного сигнала детектора.

Настройте синтезатор на:		Настройте калибратор на:	
Сигнал	синус (Sine)	Частота	1 кГц
Частота	1 кГц	Амплитуда	1.000 В (rms)
Амплитуда	0.5 В	Напряжение	выкл.
Сдвиг	выкл. или 0 В	Фазовая автоподстройка частоты	вкл.
Скан (Sweep)	выкл.	Чувствительность (Sense)	внутренняя
Модуляция	нет		

Порядок действий.

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - **Source** Выберите внешний опорный сигнал (светодиод INTERNAL выключен).
 - **Trig** Выберите нарастающий фронт (POS EDGE).
 - **Display** канала 1. Выберите отображение величины R .
 - **Slope/Oct** Выберите 24 дБ/октаву.
- 3) Для каждой из предложенных ниже величин амплитуды, проделайте действия 3 (a), 3 (b).

Амплитуды калибратора:

 - 1.0000 В (rms)
 - 100.00 мВ (rms)
 - 10.000 мВ (rms)
 - (a) Установите для калибратора амплитуду из таблицы.
 - (b) Подождите, пока установится значение R . Запишите значение R .
- 4) Запишите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

6. Точность Частоты

Этот тест определяет точность частотомера внутри прибора. Частотомер используется только при использовании внешнего опорного сигнала. Частота внутреннего генератора задается кристаллом кварца с точностью 25×10^{-6} .

Настройка

Мы используем синтезатор частот для создания основного сигнала. Соедините синхровыход синтезатора частот (TTL SYNC) со входом опорного сигнала детектора.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Установите частоту синтезатора равной 10 кГц.
- 3) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - **Source** Выберите внешний опорный сигнал (светодиод INTERNAL выключен).
 - **Trig** Выберите нарастающий фронт (POS EDGE).
- 4) Внутренний сигнал детектора должен связаться по фазе с внешним опорным сигналом. В этом случае частота отобразится на дисплее опорного канала (REFERENCE). Запишите значение частоты.
- 5) Внесите результаты в таблицу в конце данной главы.

7. Точность Фазы

Этот тест определяет точность фазы детектора. Благодаря устройству прибора SR830 точность фазы можно определить, измеряя фазу сигнала с выхода „SINE OUT”.

Настройка

Соедините выход „Sine Out” со входом А детектора, используя BNC-кабель длиной 1 м. Не используйте никаких заглушек.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Нажмите **Slope/Oct** и выберите 24 дБ/октаву.
- 3) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - **Couple** Выберите полный сигнал (DC).
 - **Display** канала 1. Выберите отображение величины R .
 - **Display** канала 2. Выберите отображение величины θ .
- 4) Значение величины R должно быть равно 1.000 В ($\pm 2\%$), а величины θ равно 0° ($\pm 1^\circ$).
- 5) Точность фазы проверяется для различных частот. Значения частот приводятся в таблице ниже.

Частота:

 - 10 Гц
 - 100 Гц
 - 1 кГц
 - 10 кГц
 - (a) Нажмите **Freq**. Ручкой установите частоту из таблицы.
 - (b) Подождите, пока установятся показания прибора. Запишите значение θ .
 - (c) Повторите шаги 4 (a), 4 (б) для всех частот в таблице.
- 6) Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

8. Точность Амплитуды и АЧХ Внутреннего Генератора

В этом тесте измеряется точность амплитуды и определяются частотные характеристики сигнала внутреннего генератора прибора SR830.

Настройка

Мы используем SR830 для измерения сигнала с выхода „SINE OUT”. Соедините выход „SINE OUT” со входом А детектора.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Нажмите кнопку **Display** канала 1. Выберите отображение величины R .
- 3) Точность амплитуды проверяется на частоте 1 кГц при разных величинах чувствительности. Повторите действия 3 (а), 3 (b) для каждой величины чувствительности и амплитуды сигнала.

Чувствительность:	Амплитуда сигнала:
1 В	1.000 В (rms)
200 мВ	0.200 В (rms)
50 мВ	0.050 В (rms)
10 мВ	0.010 В (rms)

(а) Нажмите:

- **Ampl** Установите ручкой амплитуду сигнала в соответствии с таблицей.
- **△**, **▽** в секции SENSITIVITY. Установите чувствительность в соответствии с таблицей.

(b) Подождите, пока установится значение R . Запишите это значение.

(с) Повторите пункты 3 (а), 3 (b) для каждой величины амплитуды сигнала из таблицы.

- 4) Зависимость от частоты определяется для частот выше 1 кГц. Амплитуда сигнала устанавливается равной 1 В для всех частот. Таблица значений тестируемых частот приводится ниже.

Частота:
24 кГц
48 кГц
72 кГц
96 кГц

(а) Нажмите:

- **△** в секции SENSITIVITY. Установите чувствительность 1 В.
- **Ampl** Ручкой установите амплитуду сигнала равной 1,00 В.
- **Freq** Ручкой установите частоту сигнал в соответствии с таблицей.

(b) Подождите, пока установится значение R . Запишите это значение.

(с) Повторите действия 4 (b), 4 (с) для каждой частоты из таблицы.

- 5) Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

9. Цифровые Входы и Выходы

В этом тесте проверяется точность установки и считывания напряжений прибором SR830.

Настройка

Для измерения постоянных напряжений прибора мы будем использовать цифровой вольтметр. Затем мы используем один из выходов, чтобы создать напряжение для входов прибора.

Поставьте на вход А заглушку 50 Ω.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу **Setup**.
- 2) Для выходов CH1 OUTPUT и CH2 OUTPUT выполните действия 2 (a) – 2 (e).
 - (a) Соедините выход CH1 (или CH2) с цифровым вольтметром. Выберите шкалу вольтметра равной 19.999 В.
 - (b) Нажмите **On/Off** секции OFFSET канала 1 (или 2). Включите сдвиг.
 - (c) Для каждого сдвига из таблицы ниже повторите действия 2 (d), 2 (e).

Сдвиг (%)
–100.00
–50.00
0.000
50.00
100.00
 - (d) Нажмите **Modify** в секции OFFSET канала 1 (или 2). На дисплее опорного канала (REFERENCE) должен отобразиться сдвиг. Ручкой установите сдвиг в соответствии с таблицей.
 - (e) Запишите показания цифрового вольтметра.
- 3) Выполните действия 3 (a) – 3 (e) для каждого выхода AUX OUT (1, 2, 3 и 4).
 - (a) Нажмите **Aux Out**. На дисплее отобразится напряжение на выходе AUX OUT.
 - (b) Соедините выбранный выход AUX OUT (на задней панели) с цифровым вольтметром.
 - (c) Для каждого выходного напряжения из таблицы ниже повторите действия 3 (d), 3 (e).

Выходное напряжение:
–10.000
–5.000
0.000
5.000
10.000
 - (d) Ручкой установите напряжение в соответствии с таблицей.
 - (e) Запишите показания цифрового вольтметра.
- 4) Нажмите **Aux Out** и отобразите на дисплее напряжение на выходе 1 (Aux Out 1).
- 5) Выполните действия 5 (a) – 5 (e) для входов AUX IN 1 и 2.

- (a) Соедините выход Aux Out 1 со входом AUX IN 1(или 2) коаксиальным кабелем.
 - (b) Нажмите Display канала 1 и отобразите на дисплее напряжение на входе Aux In 1 (или 2).
 - (c) Для каждого выходного напряжения из таблицы выше (3с) повторите действия 5 (d), 5 (e).
 - (d) Ручкой установите напряжение на выходе AUX OUT 1 в соответствии с таблицей.
 - (e) Запишите показания дисплея для входа AUX IN 1 (или 2).
- 6) Выполните действия 6 (a) – 6 (e) для входов AUX IN 3 и 4.
- (a) Соедините выход Aux Out 1 со входом AUX IN 3 (или 4) коаксиальным кабелем.
 - (b) Нажмите Display канала 2 и отобразите на дисплее напряжение на входе Aux In 3 (или 4).
 - (c) Для каждого выходного напряжения из таблицы выше (3с) повторите действия 6 (d), 6 (e).
 - (d) Ручкой установите напряжение на выходе AUX OUT 1 в соответствии с таблицей.
 - (e) Запишите показания дисплея для входа AUX IN 3 (или 4).
- 7) Внесите результаты тестов в таблицу в конце данной главы.

10. Входной Шум

В этом тесте измеряется входной шум детектора.

Настройка

Поставьте на вход А заглушку 50Ω . Заглушка закоротит вход, что позволит измерить собственные шумы детектора.

Порядок действий

- 1) {Предустановка} Выключите SR830 и включите, удерживая клавишу Setup.
- 2) Нажмите клавиши в следующей последовательности:
 - ▽ в секции SENSITIVITY. Установите чувствительность равной 100 нВ.
 - Нажмите кнопку Display канала 1. Выберите „X noise” (отображение шума в канале X).
- 3) Подождите, пока установятся показания на дисплее. Запишите их.
- 4) Внесите результаты теста в таблицу в конце данной главы.

Результаты Тестирования SR830				
Серийный номер:		Версия прошивки:		
Дата:		Тестирование выполнил:		
Использованное оборудование:				
1. Самотестирование				
Тест	Пройден	Сбой		
DATA				
BATT				
PROG				
DSP				
2. Постоянный Сдвиг				
			Измерено	Максимум
	AC			0.500 мВ
	DC			0.500 мВ
3. Ослабление Синфазного Сигнала				
	Частота		Измерено	Максимум
	100 Гц			30 мкВ
4. Точность Амплитуды и АЧХ				
Чувствительность	Амплитуда Калибратора	Минимум	Измерено	Максимум
1 В	1.0000 В(rms)	0.9900 В		1.0100 В
200 мВ	200.00 мВ(rms)	198.00 мВ		202.00 мВ
100 мВ	100.000 мВ(rms)	99.00 мВ		101.00 мВ
20 мВ	20.000 мВ(rms)	19.800 мВ		20.200 мВ
10 мВ	10.000 мВ(rms)	9.900 мВ		10.100 мВ
Чувствительность	Частота	Минимум	Измерено	Максимум
200 мВ	24 кГц	198.00 мВ		202.00 мВ
200 мВ	48 кГц	198.00 мВ		202.00 мВ
200 мВ	72 кГц	198.00 мВ		202.00 мВ
200 мВ	96 кГц	198.00 мВ		202.00 мВ

5. Линейность Усиления				
Чувствительность	Амплитуда Калибратора	Минимум	Измерено	Максимум
1 В	1.0000 В(rms)	0.9900 В		1.0100 В
	100.00 В(rms)	0.0990 В		0.1010 В
	10.000 В(rms)	0.0098 В		0.0102 В
6. Точность Частоты				
	Входная частота	Минимум	Измерено	Максимум
	10 кГц	9.990 кГц		10.010 кГц
7. Точность Фазы				
	Частота	Минимум	Измерено	Максимум
	10 Гц	-1.0°		+1.0°
	100 Гц	-1.0°		+1.0°
	1 кГц	-1.0°		+1.0°
	10 кГц	-1.0°		+1.0°
8. Точность Амплитуды и АЧХ Внутреннего Генератора				
Чувствительность	Амплитуда Сигнала	Минимум	Измерено	Максимум
1 В	1.000 В(rms)	0.9800 В		1.0200 В
200 мВ	0.200 В(rms)	196.00 мВ		204.00 мВ
50 мВ	0.050 В(rms)	49.000 мВ		51.000 мВ
10 мВ	0.010 В(rms)	9.800 мВ		10.200 мВ
Амплитуда Сигнала	Частота	Минимум	Измерено	Максимум
1.000 В	24 кГц	0.9800 В		1.0200 В
	48 кГц	0.9800 В		1.0200 В
	72 кГц	0.9800 В		1.0200 В
	96 кГц	0.9800 В		1.0200 В
9. Цифровые Входы и Выходы				
Выход	Сдвиг	Минимум	Измерено	Максимум
CH1	-100.00	9.960 В		10.040 В
	-50.00	4.960 В		5.040 В
	0.00	-0.020 В		0.020 В
	50.00	-5.040 В		-4.960 В
	100.00	-10.040 В		-9.960 В

9. Цифровые Входы и Выходы (продолжение)

Выход	Сдвиг	Минимум	Измерено	Максимум
CH2	-100.00	9.960 В		10.040 В
	-50.00	4.960 В		5.040 В
	0.00	-0.020 В		0.020 В
	50.00	-5.040 В		-4.960 В
	100.00	-10.040 В		-9.960 В

Выход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX OUT 1	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

Выход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX OUT 2	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

Выход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX OUT 3	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

Выход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX OUT 4	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

9. Цифровые Входы и Выходы (продолжение)

Вход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX IN 1	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

Вход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX IN 2	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

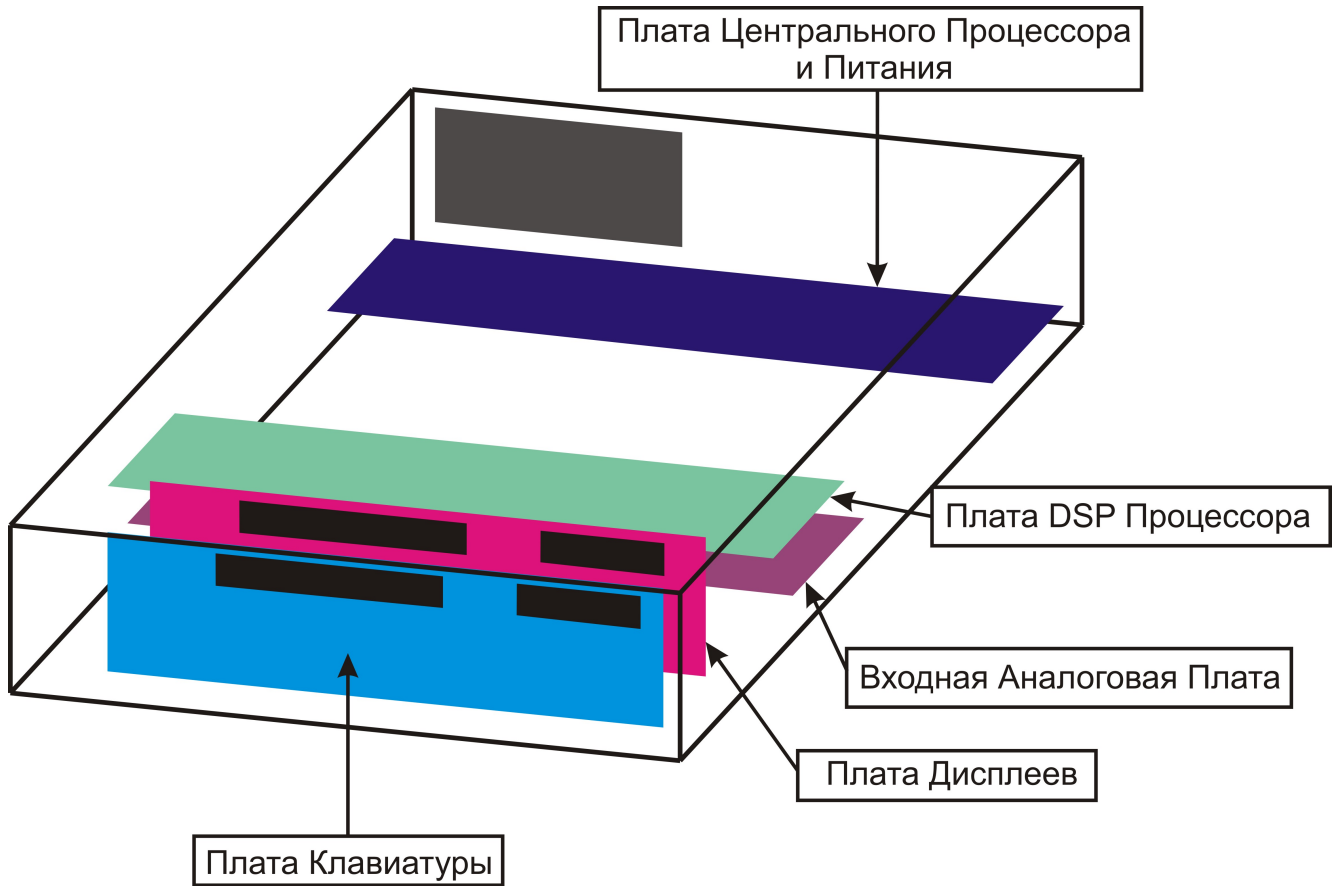
Вход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX IN 3	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

Вход	Напряжение	Минимум	Измерено	Максимум
AUX IN 4	-10.000	-10.040 В		-9.960 В
	-5.000	-5.040 В		-4.960 В
	0.000	-0.020 В		0.020 В
	5.000	4.960 В		5.040 В
	10.000	9.960 В		10.040 В

10. Входной Шум

Частота	Чувствительность	Измерено	Максимум
1 кГц	100 нВ (Минимальный динамический резерв)		8 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$

Описание Электронных Схем SR830



Предостережение!

Перед тем, как снять крышку прибора, отсоедините провод питания и подождите, по крайней мере, одну минуту. Внутри прибора могут присутствовать опасные для жизни напряжения даже после отключения питания.

Проверьте светодиод, расположенный на плате Питания спереди. Прибор безопасен только если этот светодиод НЕ горит. Если светодиод горит, то не пытайтесь выполнить ремонт прибора.

Этот прибор может обслуживаться только квалифицированным персоналом. Прибор не содержит частей, которые могут обслуживаться пользователем.

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

Прибор SR830 содержит пять основных печатных плат. На этих печатных платах (показанных на рисунке) находится большая часть электроники прибора. Печатная плата на задней панели только обеспечивает связь с BNC выходами задней панели.

ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА и ПИТАНИЯ

Эта печатная плата содержит микропроцессорную систему. На этой плате находятся все интерфейсы с дисплеями, передней панелью, диском и компьютером.

Микропроцессорная система

Микропроцессор U101 – это микроконтроллер 80C186, который объединяет в себе быстрый 16-ти битный процессор, счетчики-таймеры, контроллер прерываний, контроллер прямого доступа к памяти (DMA) и входной/выходной дешифратор.

Для создания тактовых импульсов для микропроцессора 80C186 используется генератор X101 с частотой 24.00 МГц. Одна инструкция выполняется процессором за 2 такта, то есть с частотой 12.0 МГц. Данные и младшие 16 бит адреса устанавливаются на выходах AD0-AD15. Триггеры U201, U202, U203 устанавливают биты адреса A0-A19 в начале каждого цикла чтения/записи в память. Триггеры в сборках U204 и U205 служат для двухсторонней передачи данных – они активны во время чтения/записи данных в память.

Процессор 80C186 может адресовать 1 МБайт данных и 64 кБайта пространства Ввода/Вывода. Память отображается в 2 блока по 256 кБайт. У каждого блока есть 2 сокета: один для младшего байта данных, а другой для старшего.

Микросхемы U303 и U304 являются „EPROM” памятью, в которой хранится загрузочная прошивка прибора. Эта память занимает адреса с C0000H по FFFFFH (256кБайт).

Микросхемы U401 и U402 являются статической RAM памятью по 128 кБайт и занимают адреса с 00000H по 3FFFFH (256кБ). Для этих микросхем (U401 и U402) создается резервное питание от аккумуляторов. Транзистор Q401 защищает RAM память при выключении. Эта память является системной.

3 из 7 стобирующих сигналов процессора 80C186 используются для периферийных устройств. Стробирующий сигнал –PCS0 распределяется на 16 I/O стробирующих сигналов, которые служат для доступа к дисплеям, клавиатуре и руч-

ке. Сигнал –PCS1 относится к GPIB контроллеру. –PCS2 выбирает приемопередатчик UART.

Интерфейс с передней панелью

Передачики U614 и U615 повторяют сигнал от кабеля с передней панели. Микросхемы, отвечающие за функциональность передней панели, расположены на плате Дисплеев.

Поворотная ручка

Повороты ручки фиксируются оптическим датчиком и повторяются усилителями U612. Каждый сигнал с выходов этих усилителей поступает на тактовый вход триггера U610 или U611 и на выходе U602A формируется прерывание. Процессор все время помнит позицию ручки.

Динамик

Динамик управляется таймером внутри контроллера 80C186. Выход таймера – это прямоугольный сигнал, который активируется логическим вентилем U602B и подается на динамик через транзистор Q705.

Интерфейс GPIB

Интерфейс GPIB (IEEE-488) обеспечивается контроллером TMS9914A (U902). Микросхемы U903 и U904 повторяют входные/выходные данные на GPIB соединитель. Контроллер U902 создает прерывание всегда, когда сигналы GPIB интерфейса адресованы к прибору SR830.

Интерфейс RS232

UART приемопередатчик SCN2641 (U905) выполняет все приемопередающие функции, в том числе и установку скорости соединения. С помощью тактового сигнала 3.6864 МГц могут быть созданы стандартные значения скоростей вплоть

до 19.2кБод. Элементы в микросхеме U906 повторяют выходные данные и управляющие сигналы. Входные данные принимаются U705A и U705B. Если компьютер устанавливает сигнал „DTR”, тогда отправка данных с прибора по интерфейсу RS232 прекращается.

Прибор SR830 является DCE-устройством: для его связи с компьютером может быть использован стандартный кабель (не „нульмодемный”).

Расширяющий коннектор

Все управление оборудованием, собирающим данные, осуществляется сигналами на 30-ом пине расширяющего коннектора.

Напряжения питания

Предостережение: Нестабилизированные напряжения на печатных платах присутствуют всегда – независимо от того, подключено ли сетевое питание или нет и нажата ли кнопка питания.

Всегда отсоединяйте провод питания и ждите по крайней мере одну минуту перед тем, как открыть прибор. Проверьте светодиод на переднем крае платы Центрального Процессора и Питания. Прибор безопасен только если светодиод НЕ ГОРИТ. Если же светодиод горит, то НЕ пытайтесь отремонтировать прибор.

Нестабилизированные напряжения питания

Входной модуль питания с фильтром высоких частот используется для настройки прибора на сетевое переменное напряжение 100, 120, 220 или 240 Вольт. Фильтр высоких частот уменьшает шум от прибора и уменьшает чувствительность прибора к шумам в сети питания.

Выпрямительные мосты создают нестабилизированные напряжения ± 24 Вольт, ± 20 Вольт и ± 8 Вольт. Диоды Шоттки используются для всех напряжений для уменьшения потерь при выпрямлении.

Для всех нестабилизированных напряжений параллельно конденсаторам включены резисторы, позволяющие конденсаторам разрядиться. Поскольку используются конденсаторы с большой емкостью, то до их полной разрядки следует подождать около минуты после выключения прибора.

Стабилизаторы напряжения

Стабилизаторы напряжения создают напряжения $+5$, -5 , ± 15 и ± 12 Вольт из нестабилизированного напряжения. Стабилизаторы на $+5$ Вольт рассчитаны на работу с небольшим падением напряжения.

В приборе есть два стабилизатора на $+5$ Вольт: один питает плату Центрального Процессора и дисплея на передней панели („ $+5V_P$ ”), а другой создает питание для платы DSP Процессора („ $+5V_I$ ”).

Микросхемы U6 и U8 являются стабилизаторами напряжения ± 12 Вольт. Микросхема U5 стабилизирует напряжение -5 Вольт.

Микросхемы U9 и U10 создают напряжения ± 20 Вольт, которые развязаны с цифровой землей (как и все вышеупомянутые напряжения). Это позволяет Аналоговой Входной плате устанавливать потенциал земли на аналоговых входах, не создавая шума в цифровой земле.

Триггеры Шмитта U1 формируют сигнал „PWR-RESET” при включении и выключении прибора.

Вентилятор, питающийся от постоянного напряжения 24 В, охлаждает радиатор и выпрямителя напряжения.

ПЛАТА DSP ПРОЦЕССОРА

Обзор

Плата DSP Процессора получает цифровое значение напряжения с цифро-аналогового преобразователя, расположенного на Аналоговой Входной плате, и выполняет все необходимые вычисления перед тем, как показать результат на дисплее. Вычисления включают в себя: генерацию цифрового опорного сигнала, перемножение опорного и исследуемого сигналов, низкочастотную фильтрацию, сдвиг и увеличение выходных сигналов. Также на этой плате создаются сигналы для выходов „AUX OUT” и для выхода „SIN OUT”. Если используется внешний опорный сигнал, то тогда петля фазовой автоподстройки частоты управляет тактовыми импульсами для этой платы. Для выполнения всех этих функций используются система из пяти ключевых блоков: цифровой сигнальный процессор (DSP), выходы цифро-аналоговых преобразователей, генератор временного сигнала (Timing Signal Generator), генератор тактового сигнала (Reference Clock Generator) и I/O интерфейсы. Используя высокоэффективные алгоритмы, система способна синхронно детектировать сигнал на частоте вплоть до 100 кГц с подавлением фильтров 24 дБ/октава в каналах X и Y, а также формировать аналоговый сигнал на выходе „SIN OUT”.

Цифровой Сигнальный Процессор (DSP)

В приборе SR830 используется 24-битный цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processor – DSP) DSP56001 фирмы „Motorola” (U501). DSP процессор настроен на работу без внешней памяти. Все алгоритмы синхронного детектирования используют только внутреннюю память процессора. Шина процессора связывается с платой Центрального Процессора через Входной/Выходной (I/O) интерфейс на плате DSP Процессора. Центральный процессор 80C186 является „ведущим” для DSP процессора. Прошивка и команды для цифрового сигнального процессора загружаются с платы Центрального Процессора для активирования различных режимов работы DSP процессора. DSP процессор также имеет два последовательных порта: один для приема и один для передачи данных.

Тактовые сигналы

Синхросигналы для DSP процессора формируются генератором тактовых импульсов. Микросхемы U120, U121 и U122 выбирают источник тактовых импульсов, которые используются на всей цифровой плате.

Когда используется внутренний опорный сигнал, то тактовые импульсы задаются кварцевым генератором (U111) с частотой 30.208 МГц. Аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи работают на частоте 256 кГц; за время одного преобразования DSP процессор успевает выполнить 59 инструкций (для выполнения одной инструкции требуется два такта). Кварцевый генератор также определяет точность частоты внутреннего опорного сигнала.

Если используется внешний опорный сигнал, то тактовые импульсы формируются генератором, управляемым напряжением (ГУН) (U110). Частота ГУНа также равна 30 МГц. Микросхема U105 является фазовым компаратором. Внешний опорный сигнал через дискриминатор U103 (или через TTL повторитель U104 D) поступает на один из входов фазового компаратора. На второй вход подается внутренний опорный сигнал. DSP процессор всегда синтезирует синусоиду на опорной частоте. Этот сигнал есть на выходе „SINE OUT”. Он же преобразуется дискриминатором U209 в прямоугольный TTL сигнал („TTL OUT”) после чего поступает на второй вход фазового компаратора. Затем через петлю обратной связи поступает корректирующий сигнал на генератор, который формирует тактовые импульсы для DSP процессора. Это, в свою очередь, изменяет частоту выходной синусоиды, обеспечивая ее связь с частотой внешнего опорного сигнала. DSP процессор постоянно получает информацию об опорной частоте от центрального процессора (информация основана на показаниях счетчика U622), что позволяет DSP процессору синтезировать опорный сигнал с корректной частотой, опираясь на тактовую частоту 30 МГц. Это позволяет удерживать ГУН внутри рабочего диапазона для всех опорных частот.

Генератор временного сигнала

Все сигналы времени для Аналоговой платы и платы DSP Процессора получаются из системно-

го часового сигнала с помощью микросхем программируемой матричной логики (Programmable Array Logic – PAL) (U601-U604). Эти PAL микросхемы формируют тактовые импульсы для аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, создают сигналы для мультиплексоров, выбирающих один из четырех входов „AUX IN” и выходов „AUX OUT” и т.д..

Последовательные каналы

Существует два последовательных канала данных от аналого-цифрового преобразователя, расположенного на Аналоговой Входной плате, к DSP процессору. Оцифрованный входной сигнал принимается DSP процессором непосредственно через его входной последовательный порт. Оцифрованный сигнал со входа „AUX IN” поступает на пару регистров сдвига (U502 и U503), преобразующих последовательный формат к параллельному, а затем эти данные считываются посредством шины данных. По каждому каналу приходит новое оцифрованное значение каждые 4 мкс.

На плате DSP процессора расположены два двухканальных цифро-аналоговых преобразователя, обеспечивающих четыре выходных аналоговых сигнала. Сигнал на каждом выходе обновляется каждые 4 мкс. Это означает, что DSP процессор должен записывать 4 цифровых значения каждые 4 мкс. DSP процессор записывает данные на один канал, используя свой порт последовательной передачи данных. Порт передачи данных работает на вдвое большей частоте, чем порт приема данных. DSP процессор записывает данные на каждый канал преобразователей с помощью пары регистров сдвига (U504 и U505), которые преобразуют параллельный формат к последовательному.

Выходы цифро-аналоговых преобразователей

Три выхода цифро-аналоговых преобразователей формируют сигналы „SINE OUT”, „X” и „Y”. Четвертый канал мультиплексируется на 8 медленных выходов. Два из них – это выходы „CH1 OUTPUT” и „CH2 OUTPUT”. Еще четыре выхода – это выходы „AUX OUT”. Последние два выхода используются для подстройки внутренних сдвигов дискриминаторов опорного и внутреннего синусоидального сигналов.

DSP процессор формирует синусоидальные сигналы, используя схему прямого цифрового синтеза. Каждые 4 мкс DSP процессор вычисляет следующее значение синусоиды, основываясь на величине опорной частоты. Это значение преобразуется ЦАПом в аналоговое напряжение. Этот сигнал и является синтезированным синусоидальным сигналом. Чтобы превратить его в гладкий синусоидальный аналоговый сигнал, он пропускается через фильтр низких частот, который подавляет частоты выше 100 кГц (U201-U203). Сигнал с выхода фильтра масштабируется ЦАП U206 и повторяется усилителем U207. Дискриминатор U209 детектирует пересечение нуля сигналом, создавая прямоугольный TTL сигнал на опорной частоте. Этот сигнал поступает на выход „TTL SYNC” и на вход фазового компаратора, если используется внешний опорный сигнал.

Интерфейс с платой центрального процессора

Входной/выходной интерфейс обеспечивает связь между платой DSP Процессора и платой Центрального Процессора. Микросхемы U610 и U613 являются повторителями бит данных и адреса. Оба повторителя активны, только если плата Центрального Процессора отправляет данные на плату DSP Процессора. Это позволяет исключить влияние платы DSP на работу платы Центрального Процессора. Микросхемы U608 и U609 являются простыми D-триггерами, используемыми для удержания данных, предназначенных для платы DSP. U606 является главным PAL декодером и создает все сигналы активации микросхем и все стробирующие импульсы, которые нужны плате DSP.

Питание

Основная цифровая электроника, DSP процессор и программируемые логические матрицы питаются от напряжения +5 Вольт. Напряжения ± 22 В используются для создания ± 15 В для операционных усилителей. Напряжения ± 5.6 В для аналоговых переключателей и операционных усилителей создаются из ± 15 В. Дискриминаторы опорного и исследуемого сигнала используют отдельные напряжения ± 5 В, которые тоже создаются стабилизированием ± 15 В.

ВХОДНАЯ АНАЛОГОВАЯ ПЛАТА

Обзор

Входная Аналоговая плата обеспечивает очень важную связь между входными сигналами и DSP процессором. Сигнал с BNC входа передней панели проходит через входной усилитель, каскады усиления, вырезающие фильтры, сглаживающий фильтр и попадает на аналого-цифровой преобразователь. После оцифровки сигнал готов к обработке цифровым сигнальным процессором.

Входной усилитель

Целью любого измеряющего прибора является выполнение измерения с минимальным возмущением измеряемой величины. Поэтому входной усилитель часто является наиболее критичным местом из всего пути прохождения сигнала. Входной усилитель в SR830 проектировался с целью обеспечения оптимальных условий по следующим параметрам: входной шум напряжения, входной шум тока, входная емкость, гармоническое искажение (с появлением более высоких гармоник) и ослабление синфазного сигнала (common mode rejection – CMR). Чтобы обеспечить оптимальные характеристики был выбран дифференциальный усилитель с полевыми транзисторами на входах с архитектурой обратной связи, минимизирующей усиление синфазного сигнала. Сначала входной сигнал проходит через несколько реле, которые задают входной режим и выделяют полный или переменный сигнал. Входные полевые транзисторы U100 A и U100 B обладают низким уровнем шума и тщательно согласованы друг с другом. Для уменьшения искажений входные полевые транзисторы включены в каскадной схеме, что гарантирует постоянное напряжение между стоком и истоком для каждого транзистора. Каскадная схема включения предотвращает нежелательный эффект модуляции входным сигналом напряжения между стоком и истоком. Два усилителя U109 измеряют напряжения на истоках и поддерживают такое же напряжение на стоках (через полевые транзисторы U108 A и B) с некоторыми сдвигами, определяемыми резисторами N102 и N103. Усилители U105 обеспечивают обратную связь для синфазного сигнала и выдают постоянный ток для выходных полевых транзисторов. Коэф-

фициент усиления входного усилителя фиксирован. Усилитель U103 формирует выходной сигнал. Постоянный сдвиг настраивается резистором P101, а подавление синфазного сигнала – резистором P102.

Каскады усиления и вырезающие фильтры

Входной усилитель вместе с последующими каскадами усиления способны усилить сигнал вплоть до 2000 раз. Вырезающие фильтры (узкополосные режекторные фильтры – „notch filters”) представляют собой инвертированные полосовые фильтры, суммирующие свой выходной сигнал со входным сигналом для удаления частот из сети питания (60 Гц или 120 Гц). У каждого фильтра настраивается глубина и частота (фильтр на 60 Гц – глубина:P222, частота:P221; фильтр 120 Гц – глубина:P202, частота:P201). У вырезающего фильтра на 120 Гц можно устанавливать коэффициент усиления равным либо 1, либо 3.17.

За вырезающими фильтрами следуют две стадии усиления, усиление на каждой стадии является настраиваемым и может быть установлено вплоть до 10.

Перегрузки детектируются на входном усилителе и на выходе последнего усилителя. Поскольку в цепи усиления не предусмотрено никаких ослабителей, то важно не допускать перегрузки.

Сглаживающий фильтр

Для предотвращения наложений, создаваемых при оцифровке высокочастотными сигналами, входной сигнал проходит через фильтр низких частот („anti-aliasing filter”). Этот фильтр подавляет все компоненты сигнала, частоты которых превышают половину частоты оцифровки аналого-цифрового преобразователя, как минимум на 96 дБ. Для этого используется 9-ти полюсный эллиптический фильтр низких частот с 8-ью нулями. Полоса пропускания этого фильтра простирается от постоянного сигнала до 102 кГц. Полоса подавления начинается от 154 кГц. Номинально в полосе подавления сигнал ослабляется на 100 дБ.

Архитектура фильтра основывается на пассивном ступенчатом LC фильтре лестничного типа. Индуктивности симулируются активными фазовращателями, формируемыми парами операционных усилителей (U311, U321, U331, U341). Пассивные LC фильтры лестничного типа являются слабо чувствительными к изменению параметров компонентов. Поскольку ни одна часть такого фильтра не является полностью изолированной от остальных частей, то изменение значения одного элемента повлияет на всю „лестницу” элементов. Однако, конструкция лестницы подбирается таким образом, чтобы характеристики оставшихся компонент компенсировали изменение одного элемента, минимизируя результирующий эффект. Это не только снимает требование на использование высокоточных резисторов и конденсаторов, но также делает такой фильтр высоконадежным в широком температурном диапазоне. Поэтому сглаживающий фильтр, используемый в SR830 не требует калибровки.

После прохождения через сглаживающий фильтр сигнал следует на повторитель (U386), усилитель (U301) и, затем, попадает на аналого-цифровой преобразователь.

Аналого-цифровой преобразователь

В приборе SR830 используется двухканальный аналого-цифровой преобразователь (U407). Каждый канал оцифровывает сигнал с частотой 256 кГц. Один канал предназначен для вход-

ного сигнала. Второй канал считывает сигнал на одном из входов „AUX IN”. Входы „AUX IN” последовательно выбираются мультиплексором, так что сигнал на каждом из входов оцифровывается на каждом четвертом цикле. Два оцифрованных сигнала повторяются U406 и отправляются на плату DSP Процессора.

Входной/Выходной интерфейс

Входная Аналоговая плата связывается с платой Центрального Процессора через свой собственный интерфейс. Микросхемы U504 и U506 являются триггерами, которые хранят конфигурационные данные для Аналоговой платы. Они записываются через изолированную шину данных, идущую от платы DSP Процессора. Эта шина данных активна только при обращении к Аналоговой плате. Это сделано для предотвращения влияния шумов с других плат на измеряемый сигнал. Синхросигналы для АЦП повторяются инвертором U406.

Питание

На Аналоговой Входной плате формируется несколько напряжений питания. Напряжения ± 15 В создаются для питания большинства аналоговых микросхем на этой плате. Для входного усилителя создаются отдельные ± 15 В. ± 5.6 В создаются для питания цифровой электроники и некоторых драйверов. У аналого-цифрового преобразователя есть свое собственное питание ± 5 В.