

## Мультиплексированные измерения с использованием синхронных усилителей с цифровой обработкой сигналов [Signal Recovery 7265](#) и [7280](#).

### Введение

Существует множество экспериментов, в которых исследователи хотели бы использовать методы синхронного детектирования для измерения нескольких сигнала. В этом пособии по применению рассмотрены возможные варианты использования синхронных усилителей Signal Recovery, от самой простой задачи с двумя сигналами до примера с системой, требующей десять измерительных каналов.

### Одновременные измерения

Обычно если требуется измерять два и более сигналов, для этого требуется соответствующее количество синхронных усилителей. Задача решается либо путем использования нескольких приборов, либо, если все эти сигналы имеют одинаковую опорную частоту (reference frequency), путем использования многоканального прибора.

Тем не менее, если имеется только два сигнала с разной частотой и сравнимой амплитудой, то синхронные усилители Signal Recovery [7265](#) или [7280](#) вполне подойдут для решения данной задачи. Это обусловлено наличием в этих приборах режимов Парных гармоник (Dual Harmonics Mode) и Парных опорных частот (Dual Reference Mode), позволяющих проводить независимые измерения каждого сигнала. Дополнительная информация об эксперименте, в котором используется один синхронный усилитель вместо двух приведена в пособии по применению [AN1000](#) (Dual-Channel Absorption Measurement with Source Intensity Compensation).

### Последовательные измерения

Во многих случаях при проведении экспериментов, нет необходимости выполнять измерения одновременно. В качестве примера можно привести изучение процесса фотосинтеза в ткани листа, при котором несколько детекторов отслеживают поглощение света в различных точках листа во время эксперимента, который длится один день. Все, что для этого необходимо, это подключить каждый детектор по очереди ко входу синхронного усилителя, *дать выходу стабилизироваться* и зарегистрировать измеренное значение. Очевидно, что это эту процедуру можно выполнять вручную, но это достаточно неудобно и часто приводит к ошибкам. Лучшим вариантом будет автоматизировать систему и использовать подходящий входной мультиплексор для подключения необходимого детектора ко входу прибора.

Если таких сигналов всего два, и они представляют собой несимметричные сигналы напряжения, тогда синхронные усилители SIGNAL RECOVERY модели [7265](#) или [7280](#) могут выполнить необходимое переключение без необходимости в каком-либо дополнительном оборудовании. Один сигнал подключается ко входу канала «А», а второй - ко входу канала «В», и выбор того, какой из них используется, можно затем сделать с передней панели, либо с помощью управляющей команды с компьютера. На рис. 1 показана схема подключения двух сигналов к синхронному усилителю [7265](#). Единственная поправка, которая может потребоваться, - это учесть инверсию сигнала входного канала «В».

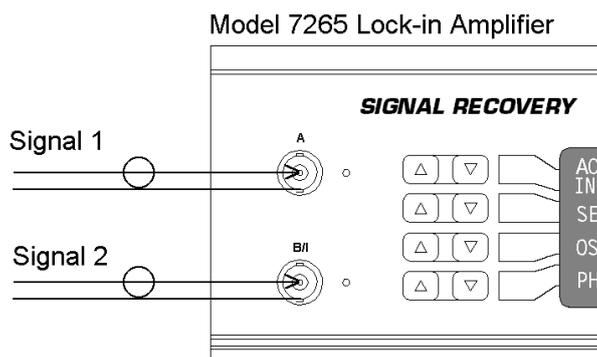


Рис. 1 – Схема подключения двух сигналов к синхронному усилителю SR 7265

В случае, когда необходимо измерять три и более сигналов, обязательно требуется внешний мультиплексор. Такие устройства предлагают различные производители, но в данном материале речь будет идти о десяти канальной системе, состоящей из синхронного усилителя SR [7265](#) и двух десятиканальных мультиплексоров SR 7200.

### 10-канальная система измерения критической плотности тока в сверхпроводниках

При изготовлении сверхпроводящих зондов из покрытых пластин измерение критической температуры  $T_c$  и критической плотности тока  $I_c$ , выше которой сверхпроводимость прекращается, важно для последующих этапов обработки.  $T_c$  можно определить, соприкасаясь с пластиной на ее периферии, но традиционный метод измерения  $I_c$  подразумевает формирование узкой мостиковой структуры на пластине. Техника таких измерений хорошо отработана, но для испытаний на больших площадях или в больших количествах предпочтительнее использовать неразрушающие методы.

Д. Х. Клаассен в работе [1] предложил такой метод, который генерирует вихревой ток в образце за счет индуктивной связи и использует измерительную катушку для измерения результирующего поля. Когда плотность тока образца ниже критического уровня, система остается линейной, а сигнал на измерительной катушке имеет ту же частоту, что и подаваемый, но как только критический уровень достигается, результирующая нелинейность вызывает генерацию сигнала третьей гармоники. Обнаруживая появление сигнала на этой частоте по мере увеличения приложенного сигнала, можно определить  $I_c$ .

Десятиканальная система, построенная Зайцевым А.Г. [2], использует такой же метод, но расширена до десяти измерительных каналов для измерения характеристических свойств YBCO-пленок, предназначенных для использования в качестве пассивных микроволновых устройств, для которых необходима критическая плотность тока в 3 МА/см.

Схема экспериментальной установки приведена на Рис. 2.

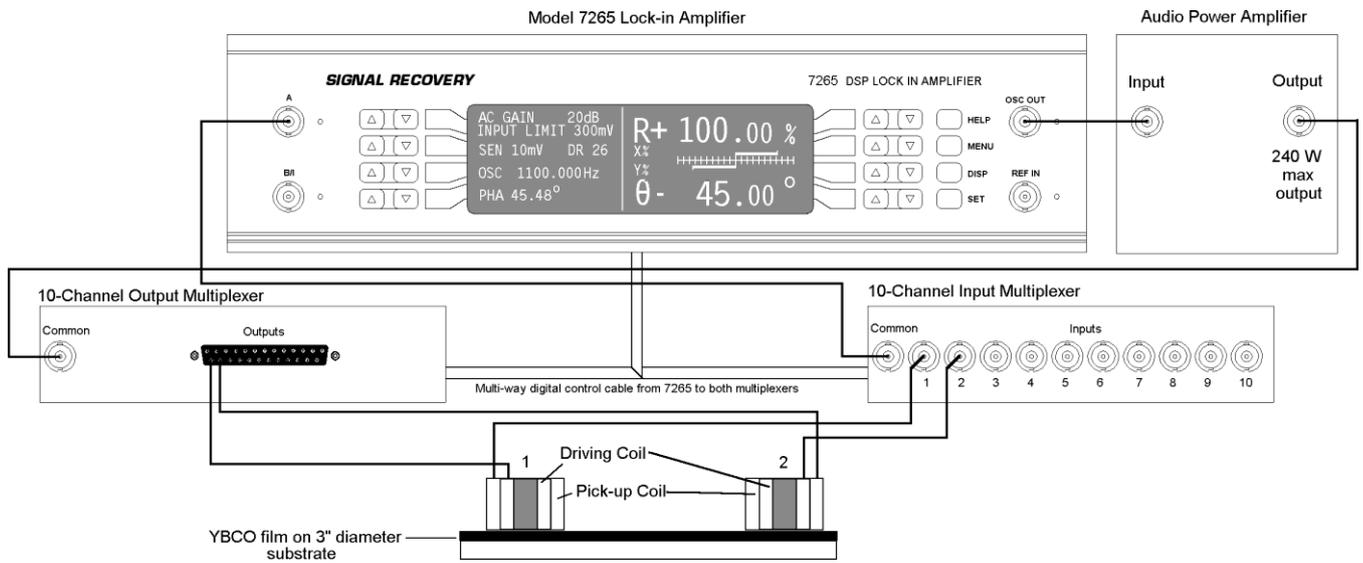


Рис. 2 - Десятиканальная система для определения критической плотности тока в сверхпроводниках.

Синхронный усилитель SR [7265](#) работает в режиме внутренней опоры на частоте 1,1 кГц, но установлен в режим детектирования на частоте  $3 \cdot f$ , так что он будет измерять сигналы на частоте 3,3 кГц. Выходной сигнал с генератора «OSC OUT» поступает на аудио усилитель мощности, который работает на малом уровне выходной мощности для минимизации искажений, и его выходной сигнал подается на общий вход первого из двух десятиполосных мультиплексоров. Мультиплексор подключает усиленный сигнал генератора к возбуждающей стороне (Driving side) одной из десяти измерительных катушек, из которых только две показаны на схеме для простоты.

Каждая катушка состоит из двух концентрических обмоток из проволоки диаметром 50 мкм, внутренняя обмотка из 1100 витков используется в качестве возбуждающего элемента, а другая из 170 витков – в качестве считывающего. Усилитель мощности настроен так, чтобы возбуждающий ток находился в диапазоне от 1 до 120 мА.

Общий диаметр каждой катушки составляет около 6 мм, и десять из них равномерно распределены по поверхности пластины диаметром 3 дюйма. Пластина и катушки, конечно же, установлены в сосуде с жидким азотом, который не показан на схеме.

Каждая считывающая катушка подключена к соответствующему входу второго десятиканального мультиплексора, который, в свою очередь, соединяет один вход со своим общим разъемом. Затем он подключается ко входному разъему «А» синхронного усилителя. При таком уровне возбуждающего тока типичные сигналы в этой точке лежат в диапазоне от 1 до 50 мкВ.

Два мультиплексора управляются через 8-битный цифровой выходной порт синхронного усилителя, так что под управлением компьютера система может подключать усиленный сигнал генератора к одной из катушек возбуждения, а соответствующую считывающую катушку обратно к синхронному усилителю. Синхронный усилитель в данном случае, работает в режиме обнаружения сигнала на третьей гармонике его опорной частоты  $3f$ , или, другими словами на уровне 3,3 кГц. Следовательно, увеличивая амплитуду выходного сигнала генератора и отслеживая амплитуду  $3f$ , можно определить критическую плотность тока.

Такая система калибруется путем сравнения с измерениями, выполненными на тестовых образцах традиционным методом.

## Результаты

На рис. 3 показан график выходной мощности одной считывающей катушки при увеличении тока возбуждения для случая чистой полупроводниковой подложки и подложки, покрытой пленкой YBCO. Видно, что для первого образца детектируемый сигнал  $3f$  на всем протяжении близок к нулю. Однако, когда присутствует сверхпроводящая пленка, сигнал  $3f$  сильно возрастает при токах возбуждения, превышающих примерно 70 мА, что соответствует критической плотности тока для образца.

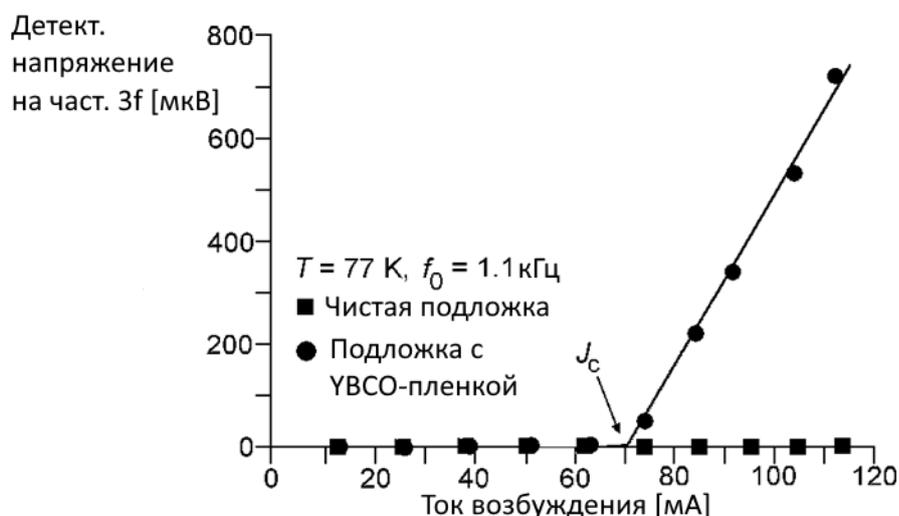


Рис.3 - Зависимость  $3f$  сигнала от тока возбуждения для сверхпроводящего образца на подложке и только в условиях подложки.

## Преимущества десятиканальной системы

Основным преимуществом использования мультиплексоров является скорость, с которой может быть проведен эксперимент. Установка одной катушки на образец и охлаждение его до температуры 77 К может занять от 10 до 15 минут, поэтому для измерения десяти точек потребовалось несколько часов, просто чтобы позволить образцу нагреться до комнатной температуры, переставить катушку и снова охладить ее для каждого измерения. При использовании мультиплексированного метода все десять катушек устанавливаются одновременно, что добавляет всего несколько минут к процессу подготовки, а затем все десять измерений выполняются без необходимости извлечения образца из дьюара. Этот метод также имеет дополнительное преимущество, заключающееся в снижении риска повреждения сверхпроводящего материала, которое может быть вызвано конденсацией воды во время процессов охлаждения и нагрева образца.

## Выводы

В случаях, когда необходимо измерить несколько сигналов с помощью синхронного усилителя, кроме очевидного, но дорогостоящего решения использования нескольких приборов параллельно, существует ещё несколько альтернатив. В случаях, когда необходимо измерить только два сигнала, синхронные усилители Signal Recovery [7265](#) и [7280](#) могут предоставить достаточно удобное решение с

использованием специальных режимов детектирования, а в случаях с более чем двумя каналами наиболее рентабельным и быстрым будет использование методов мультиплексирования.

**Литература:**

1. Claassen J.H., Reeves M.E. and Soulen M. Jr. (1991) A contactless method for measurement of the critical current density and critical temperature of superconducting films, Rev.Sci.Instrum. 62, 996–1004
2. A.G. Zaitsev, R. Schneider, J. Geerk et al., European Conf. on Appl. Superconductivity, 1999 Sitges (Spain)
3. Application note: Multiplexed Measurements using the 7225, 7265 and 7280 DSP Lock-in Amplifiers

За дополнительной информацией по продукции Signal Recovery обращайтесь к официальному партнеру на территории РФ:

ООО «Альфа Инструментс»

Адрес: 630049, г. Новосибирск, ул. Линейная, 28, оф. 207

<https://alfa-instr.ru/>

e-mail: [info@alfa-instr.ru](mailto:info@alfa-instr.ru)

Телефон: +7 (383) 203-1000