

АКИП — современные измерители RLC-параметров

Любое аналоговое или цифровое оборудование содержит множество пассивных элементов: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности. Поэтому при разработке, изготовлении, настройке или ремонте электронной аппаратуры возникает необходимость измерения параметров радиодеталей и различных компонентов схем.

В статье рассмотрены особенности, основные технические характеристики и возможности многофункциональных RLC измерителей АКИП-6103, АКИП-6105.

Алексей ШИГАНОВ
shyganov@prist.ru

Хотя принцип работы приборов для определения комплексного сопротивления пассивных компонентов достаточно прост, их схемотехника все-таки оказывается сложной. Связано это с тем, что модуль комплексного сопротивления зависит от частоты. При определении RLC-параметров диапазон частот варьируется от десятков килогерц для массовых элементов до десятков и даже сотен мегагерц в особых случаях. С увеличением частоты возрастают и труд-

ности измерения. Это обусловлено тем, что на высоких частотах измерения проводятся в стандартизованных экранированных трактах, а не на точечных выводах элементов. Поэтому наличие в измерителях RLC тестовых частот в диапазоне свыше 1 МГц переводит их уже на другой, более высокий уровень конструктивного исполнения.

Примером такого оборудования являются новые измерители RLC-параметров АКИП-6103 (рис. 1) и АКИП-6105 (рис. 2). Измерители

предназначены для проведения измерений сопротивления, емкости, индуктивности, тангенса угла потерь, добротности, комплексного сопротивления и фазового сдвига. Базовая погрешность измерений составляет ±0,05%. Измерители обладают функциями программирования режимов, ручного или автоматического выбора диапазона измерений. Это позволяет выполнять измерения широкой номенклатуры пассивных компонентов электрических схем.



Рис. 1. Внешний вид измерителя АКИП-6103



Рис. 2. Внешний вид измерителя АКИП-6105

Таблица 1. Основные характеристики АКИП-6105, АКИП-6103

Характеристики	Параметры	Значения	Значения	
Измерение RLC	Измеритель	АКИП-6105	АКИП-6103	
	Сопротивление (Z, R)	До 100 МОм с макс. разрешением 0,001 Ом		
	Емкость (C)	До 10 Ф с макс. разрешением 0,00001 пФ		
	Индуктивность (L)	До 100 мкГн с макс. разрешением 0,00001 мкГн		
	Добротность (Q)	0,01–99999		
	Тангенс угла потерь (D)	0,00001–99999		
	Фазовый сдвиг (θ)	–180...+180		
	Базовая погрешность	От 0,05% в основном диапазоне		
	Скорость измерения	До 30 изм./с в быстром режиме	До 20 изм./с в быстром режиме	
	Запуск измерений	Автоматический, ручной, внешний	Автоматический, ручной, внешний, по шине	
Схема измерения	Параллельная/последовательная (ручной выбор)			
Выбор предела измерения	Автоматический или ручной			
Тест-сигнал	Частота тест-сигнала	20 Гц – 1 МГц		
	Разрешение по частоте, Гц	0,001		
	Погрешность установки, %	±0,02		
	Уровень тест-сигнала	5 мВ – 2 В/50 мкА – 20 мА (СКЗ)		
	Выход. сопротивление	30 Ом/100 Ом, переключаемое		
	Постоянное смещение	5 мВ – 2 В/50 мкА – 20 мА		
Дополнительные функции	Режим индикации измерений	Абсолютное значение, Δ-измерение, Δ-измерение в %, усреднение		
	Режим «График»	Графики качания по 960 точкам	Графики качания по 240 точкам	
	Режим «Таблица»	Табличные значения качания по 10 точкам (частота/уровень/смещение)		
	Память	520 профилей	10 профилей	
	Режим сортировки	10 ячеек (компаратор)		
Интерфейс	Интерфейс	RS-232, USB, GPIB RS-232, USB, LAN		
	Формат индикации	6 разрядов на основной шкале (макс. 999.999); 6 разрядов на дополнительной шкале		
Дисплей	Экран	Графический ЖКИ (320×240), монохромный		
	Напряжение питания, В	220 (при 50 Гц)	220 (при 50 Гц)	
Общие данные	Габаритные размеры, мм	430×186×490	285×95×410	
	Масса, кг	15	5	
	Комплект поставки	Шнур питания (1), 4-проводной измерительный кабель с двумя зажимами «крокодил» (1), 2-проводной адаптер прямого подключения компонентов (1), короткозамыкатель (1), РЭ		

В основу работы приборов положены технологии прямого цифрового синтеза DDS (Direct Digital synthesis) и цифровой обработки сигнала DSP. Это принципиально отличает их от измерителей с мостовой схемой на переменном токе, в которых производится сравнение неизвестного комплексного сопротивления с образцовой мерой. На практике в качестве меры применяется конденсатор, поскольку процесс изготовления высокодобротных образцовых катушек связан с определенными трудностями. Погрешность измерения уравновешенных классических мостов переменного тока обеспечивается в диапазоне значений 0,5–5%.

В измерителях АК ИП-6103, АК ИП-6105 источником тест-сигнала является генератор DDS (с переключаемым внутренним сопротивлением), который позволяет получить непрерывный набор частот с минимальной дискретностью перестройки. Тестовый сигнал представляет собой непрерывное колебание синусоидальной формы. Погрешность установки частоты $\pm 0,02\%$.

Приборы отличаются широким частотным диапазоном, высокой скоростью измерений (до 20 изм./с), расширенным алгоритмом программной калибровки (КЗ/ХХ/на нагрузку). Имеется режим сортировки компонентов (10 ячеек выборки), внутренний источник тест-сигнала с уровнем до 2 В/20 мА (СКЗ). Усреднение отображаемого результата программируется пользователем в диапазоне от 1 до 255 с шагом «1». При работе измерителя с электролитическими конденсаторами к тестовому сигналу переменного тока может быть добавлена постоянная составляющая (смещение) величиной до 2 В/20 мА от внутреннего источника. Режимы измерения: FAST/быстро, MED/средние и SLOW/медленно. Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

За один цикл измерения АК ИП-6103, АК ИП-6105 могут одновременно вычислять два параметра импеданса — первичный и вторичный (табл. 2).

Измеряемые объекты подключаются к измерителю через BNC-гнезда передней панели с помощью измерительного кабеля или



Рис. 3. Измерительный четырехпроводный кабель (два зажима «крокодил»)



Рис. 4. Адаптер прямого подключения компонентов (с короткозамыкателем)

адаптера для RLC-компонентов (рис. 3), входящего в комплект поставки.

Процесс измерений контролируется микропроцессором, он же используется для расчета усредняемых значений и обработки данных, выводимых на дисплей. При измерении происходит автоматическое отображение на дисплее основного и вторичного параметра тестируемого компонента (Z, R, L или C) в требуемом их сочетании. В таблице 3 представлены возможные комбинации (в каждой из четырех колонок).

Таблица 3. Сочетание параметров

Первичный параметр	Z, Y	L, C	R	G
Вторичный параметр	θ (угол в град.), θ (угол в рад.)	D, Q, RS, RP, G	X	B

Меню функций измерителя, результаты и единицы измерений, индикатор режима (в том числе эквивалентная схема) и предупреждающие сообщения отображаются на ЖК-дисплее, который условно делится на пять контекстных секторов (рис. 5).

Дисплей является монохромной графической матрицей с разрешением 320×240 пикселей, которая не только отображает бук-

венно-числовую информацию, но и имеет возможность построения графиков измеряемых параметров во всех функциональных режимах. При необходимости для удобства считывания результатов с помощью функции SWAP PARAM можно поменять два значения на дисплее местами: например, в процессе измерений отображение «Ср-D» сменить на «D-Ср».

Диапазон частот тест-сигнала измерителя составляет от 20 Гц до 1 МГц с шагом перестройки 0,001 Гц. Выбор уровня тестирования представляет собой процедуру задания СКЗ-сигнала синусоидальной формы. При этом можно задать как величину напряжения тестирования, так и величину тока. Выходной импеданс источника сигналов для согласования с объектом тестирования можно выбрать из значений: 100 Ом или 30 Ом.

В приборе имеется функция постоянного смещения по напряжению от 0 до 2,0 В (шаг перестройки 10 мВ); по току — от 0 до 20 мА (шаг перестройки 10 мкА). В процессе измерений функция автоматической регулировки уровня (ALC) корректирует фактический уровень сигнала в соответствии с заданным значением. Благодаря этому обеспечивается постоянство тест-сигнала. Диапазоны стабилизации при использовании функции ALC: по напряжению 10 мВ – 1 В (СКЗ), по току 0,01–10 мА (СКЗ). Функция контроля напряжения или тока, протекающего через тестируемое устройство (мониторинг), позволяет измерить и отобразить на дисплее их реальные значения ($[V_m]/[I_m]$).

Встроенный компаратор позволяет распределять тестируемые компоненты максимум по десяти каналам выборки (BIN_1 – BIN_9 и BIN_{OUT}), а также задать до девяти пар предельных значений основного параметра и одно предельное значение вторичного параметра. Если основной параметр тестируемого устройства не выходит за рамки предельных значений, а второй находится вне данного диапазона, то тестируемое устройство будет отнесено к вспомогательному каналу дополнительной выборки (AUX BIN).

Задавать предельные значения можно двумя способами, аналогично выбору частоты

Таблица 2. Параметры импеданса

Первичный параметр	
IZI	Импеданс (модуль сопротивления)
IYI	Адмиттанс (модуль полной проводимости)
L	Индуктивность
C	Емкость
R	Сопротивление
G	Проводимость
Вторичный параметр	
D	Тангенс угла диэлектрических потерь (коэф. рассеяния)
Q	Добротность (область префиксной экранной клавиши)
Rs	Эквивалентное последовательное сопротивление
Rp	Эквивалентное параллельное сопротивление
X	Реактивное сопротивление
B	Полная проводимость
θ	Угол сдвига фаз

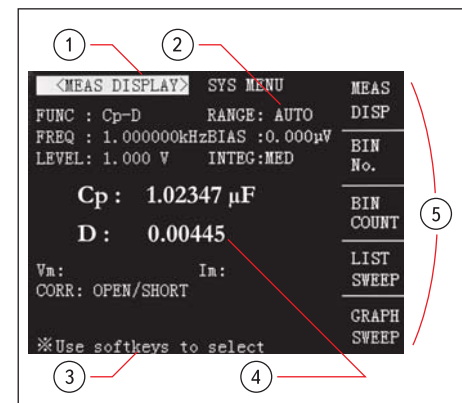


Рис. 5. Структура информации на дисплее

и уровня тест-сигнала. Нажимая на соответствующую префиксную клавишу, можно включить или отключить функцию компаратора.

Приборы имеют возможность подсчета числа компонентов в выборках (в каналах сравнения). При необходимости через экранное меню доступно включение или выключение счетчика в каждом из каналов.

Одновременно с функцией компаратора при сортировке по различным выборкам прибор подсчитывает в нарастающем порядке количество тестируемых элементов, отнесенных к каждому из каналов выборки. Максимальная индикация счетчика «999.999». Превышение на дисплее отображается символом «----», но внутренний подсчет при этом продолжается, а фактически подсчитанное значение можно получить через интерфейс GPIB (КОП).

В соответствующих секторах дисплея указываются: номинальное значение параметра (NOM), измеряемый параметр (FUNC), предельные значения каналов (LOW/HIGH) (Нижний/Верхний). При этом в поле параметров FUNC контролируется символ для текущего измерения. В данном случае на экране отображается «Cp-D», где Cp соответствует компаратору первичного параметра, а D — вторичного параметра.

Функция свипирования (качания), поддерживаемая АК ИП-6103 и АК ИП-6105, автоматически осуществляет циклическую развертку до десяти точек частоты, уровня тестирования или постоянного смещения (по току или напряжению). Соответствующий параметр FREQ, LEVEL, BIAS (V/I) предварительно выбирается в меню. При этом возможен выбор одного из двух режимов: SEQ (последовательный) или STEP (пошаговый). В режиме SEQ при нажатии клавиши [TRIG] будет осуществляться автоматическое качание сразу по всем заданным точкам. В режиме STEP при каждом запуске может осуществляться развертка только одной заданной точки.

В режиме LIST SWEEP/ТАБЛИЦА на дисплее (рис. 6) автоматически отображаются значения измеряемого параметра, соответствующие заданной частоте, уровню измерения или постоянного смещения.

<LIST SWEEP>		SYS MENU		MEAS
MODE: SEQ				DISP
FREQ [Hz]	Cp [F]	D []	CMP	BIN No.
50.000 Hz	2.1988n	-0.010		
100.00 Hz	2.1815n	0.0016		
200.00 Hz	2.1803n	0.0034		
250.00 Hz	2.1795n	0.0022		
500.00 Hz	2.1764n	0.0039		
1.0000kHz	2.1727n	0.0052		
2.5000kHz	2.1455n	0.0173		
5.0000kHz	2.1599n	0.0089		
7.5000kHz	2.1546n	0.0101		
10.000kHz	2.1501n	0.0103		
*Use softkeys to select				

Рис. 6. Отображение результатов качания в режиме «Таблица»

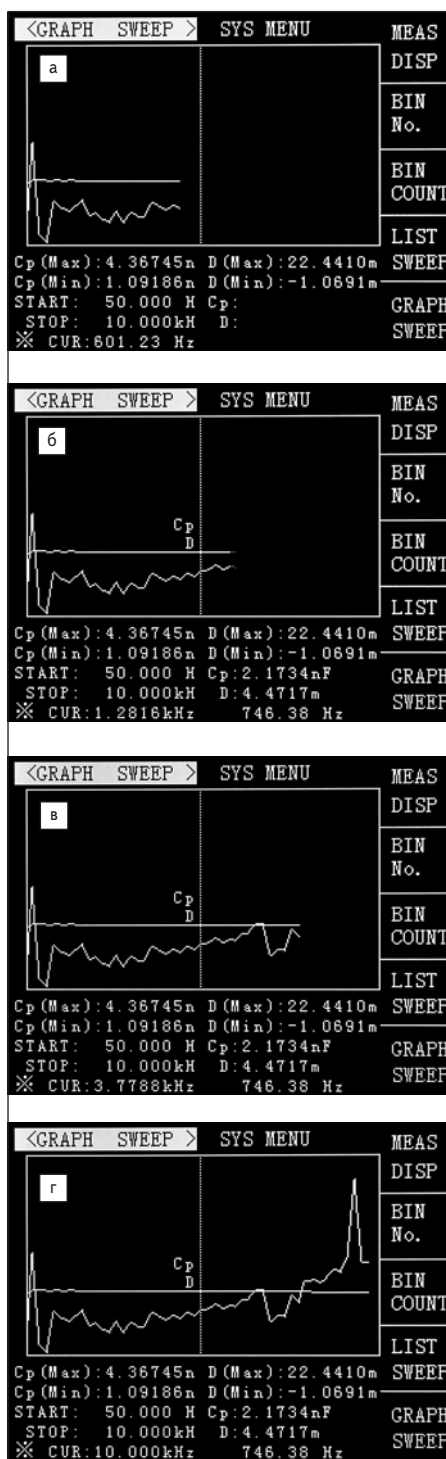


Рис. 7. Отображение этапов качания в режиме «График»:

- а) точка тест-сигнала $f = 601,23$ Гц;
- б) точка тест-сигнала $f = 1,2816$ кГц;
- в) точка тест-сигнала $f = 3,7788$ кГц;
- г) точка тест-сигнала $f = 10,00$ кГц

Как отмечалось ранее, помимо табличных измерений, приборы имеют продвинутую функцию GRAF/ГРАФИК. Наличие графического анализа следует выделить особо, так как он реализуется преимущественно в топовых моделях современных измерителей RLC, стоимость которых составляет ~200–400 тыс. рублей или предлагается дру-

гими производителями как опция. При активации осуществляется автоматическое линейное/логарифмическое качание с построением графика измеряемого компонента максимум по 240 точкам (АКИП-6103) или по 960 точкам (АКИП-6105) частоты (уровня или постоянного смещения).

Для настройки режима графического качания необходимо задать значения и требуемые условия:

- параметр (Param Type): FREQ[Hz], LEVEL[V], BIAS[V], BIAS[I];
- режим (Sweep Mode): LINE, LOG;
- настройка (Start Freq — начальная частота, Stop Freq — конечная частота);
- число точек (Points);
- предельные значения (MinA/Max A, MinB/MaxB);
- режим отображения (DispMode): REFRESH/Обновление, OVER/Наложение.

При нажатии клавиши [GRAPH SWEEP] прибор автоматически начнет построение графиков двух параметров в соответствии с заданными значениями и условиями. В режиме графического отображения можно наблюдать формирование кривой значений измеряемого компонента (основной и второстепенный параметр) во всем диапазоне качания. Данная функция применяется для обнаружения частот резонанса, определения максимального и минимального значения параметра в пределах выбранного диапазона качания (рис. 7).

Вместе с графиком на дисплей выводится вертикальный маркер (курсор), который может перемещаться вдоль линии графика и отображать величины по оси X (частота) и оси Y (значение двух параметров: основной Cp и второстепенный D — рис. 8).

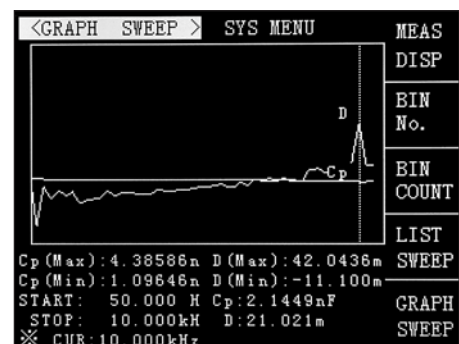


Рис. 8. Отображение курсорных значений на графике качания

Изменение коэффициента масштабирования (то есть развертки горизонтальной шкалы дисплея) производится автоматически в момент пересечения курсором графопостроителя правой вертикальной линии экрана.

Вычислительные возможности прибора заключаются в определении абсолютного (ΔAbs) и относительного ($\Delta\%$) отклонения от номинального значения. Данная функция пред-

назначена для отображения отклонения вместо прямых измерений значения. Это позволяет наглядно проследить, каким образом изменился определенный параметр компонента в зависимости от температуры, частоты, величины токового смещения и т. п. Функцию можно применить к первичному или вторичному параметру либо к обоим одновременно:

- Режим абсолютного отклонения. Значение отклонения представляет собой разность между фактическим измеренным значением параметра и сохраненным исходным значением: $\Delta Abs = X - Y$.
- Режим отклонения, выраженного в процентах. Значение отклонения представляет собой разность между фактическим измеренным значением параметра и сохраненным исходным значением в процентах: $\Delta\% = (X - Y) / Y \times 100 [\%]$.

Режимы запуска измерений: INT (внутренний), MAN (ручной), EXT (внешний), АК ИП-6103 имеет дополнительный вид — BUS (по шине LAN). Если выбран режим триггера INT, то измерения выполняются автоматически (то есть непрерывно). В режиме MAN (ручной) измерения проводятся поочередно одно за другим только при каждом очередном нажатии клавиши [TRIG]. Эти возможности обеспечиваются не только для режима отображения результата измерения на дисплее, но также в режимах «Таблица» и «График».

Функцией «DELAY/Задержка» можно задать требуемое время задержки при выполнении измерения (Trigger Delay Time) в диапазоне 1 мс – 60с (с разрешением 1 мс). С помощью программирования задержки обеспечивается надежная и устойчивая связь между тестируемым устройством и прибором. Функция наиболее востребована в случае формирования автоматизированной системы измерений.

Измерители имеют ячейки памяти для типовых настроек, что позволяет сохранять установленные системные параметры (профили) во внутренней энергонезависимой памяти. Эти данные в виде файлов профилей настроек при выключении питания не будут утрачены. АК ИП-6103 сохраняет до 10 профилей, АК ИП-6105 — до 520. Для вызова требуемых параметров во время следующего сеанса работы достаточно загрузить только соответствующие файлы, не вводя параметры заново, что, безусловно, повышает эффективность работы. При включении питания по умолчанию активируется профиль измерения, сохраненный в ячейку № 0 (режим, параметры, частота, уровень тест-сигнала и т. п.).

Программирование измерителей, ДУ и вывод результатов измерений осуществляется с помощью интерфейсов RS-232, USB, LAN (опция GPIB/КОП).

Таким образом, АК ИП-6103, АК ИП-6105 — универсальные измерители RLC-параметров, способные проводить быстрые и точные измерения иммитанса на частотах до 1 МГц. ■