



## ИЗМЕРЕНИЯ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ В USB-ЛАБОРАТОРИИ

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АСК-4106

Афонский А.А., Суханов Е.В.

Наш журнал уже рассказывал о некоторых входящих в состав USB-лаборатории АКТАКОМ приборах (см. КИПиС № 4-2003). Мы писали о возможностях комбинирования приборов этой серии (КИПиС № 1-2004). Сегодня мы рассмотрим характерный пример такой комбинации, дающей прибору качественно новые возможности, превышающие простую сумму возможностей составляющих его частей.

Итак, комбинированный прибор АСК-4106 (рис. 1): осциллограф + генератор сигналов. Конечно, АСК-4106 сохраняет все возможности двух его предшественников: АСК-3106 (цифровой запоминающий осциллограф) и АНР-3121 (генератор сигналов

или не имеет значения для данного процесса). Требуется определить его характеристики. Упрощенно блок-схема измерения этих характеристик выглядит следующим образом (рис. 2).

На вход ЧЯ (исследуемого изделия) с выхода соответствующего гене-



Рис. 1. Комбинированный прибор АСК-4106

произвольной формы), но, кроме того, он может использоваться и в качестве универсального измерительного комплекса. Совмещая под единым управлением компьютерной программы источник испытательных сигналов и прибор для их измерения, АСК-4106 позволяет в автоматическом режиме измерять амплитудно-частотные, амплитудные, фазо-частотные и переходные характеристики испытываемого устройства.

#### ОБЩАЯ СХЕМА ИСПЫТАНИЙ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА»

Сформулируем задачу. Пусть имеет некий радиоэлектронное устройство с одним аналоговым входом и одним аналоговым выходом, которое представлено в виде «черного ящика» (ЧЯ), внутреннее устройство которого, в общем случае, неизвестно (недоступно

ратора подается воздействие в виде тестирующего сигнала с необходимыми параметрами ( $T_1, T_2, \dots, T_i$ ). С выхода ЧЯ с помощью соответствующего регистратора (измерителя) снимается

результат такого воздействия — отклик ( $O_1, O_2, \dots, O_k$ ) и анализируются числовые значения выбранного параметра или характеристики.

На рис. 3 показан макет измерительной системы на базе комбинированного прибора АСК-4106. Ко входу ЧЯ подключен выход канала А модуля генератора сигналов АСК-4106, а выход ЧЯ — ко входу канала А модуля осциллографа. Таким образом, подавая с помощью генератора различные испытательные сигналы (ИС), можно увидеть реакцию исследуемого устройства. Для того чтобы скомпенсировать собственные искажения прибора (например, неравномерность АЧХ осциллографа), будем также подавать тот же испытательный сигнал с канала В генератора напрямую на канал В осциллографа. Теперь, сравнивая измеренные сигналы по обоим каналам, обнаружим только влияние ЧЯ (пренебрегая тонкими различиями между каналами прибора).

#### ТРАЕКТОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Для получения достаточно полной картины свойств испытываемого устройства, необходимо провести большое количество измерений при различных параметрах тестового сигнала. Соответственно, программа измерительного комплекса должна обеспечивать пользователя средствами описания такой последовательности сигналов для проведения всего комплекса испытаний «списком».

В программе АСК-4106 для этой цели вводится понятие траектории измерений, представляющей собой последовательность точек измерений. Каждая точка измерений — это совокупность нескольких величин: частоты



Рис. 2. Блок-схема измерения характеристик «черного ящика»

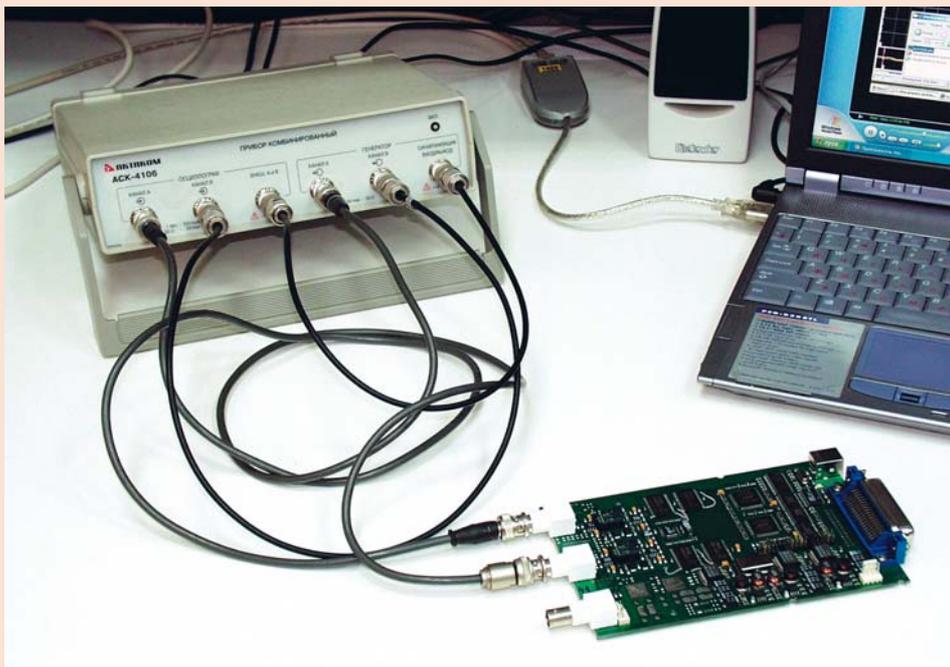


Рис. 3. Макет системы для измерения характеристик устройства

повторения испытательного сигнала, размаха напряжения, шаблона формы и флага использования этой точки при измерениях. Шаблон формы задает характер испытательного сигнала: синус, прямоугольник, дельта-импульс или любая произвольная форма. Флаг использования позволяет включать или исключать данную точку из текущей серии измерений, не удаляя ее из траектории.

Программа содержит удобные средства для работы с траекториями измерений (рис. 4). Пользователь может создавать новые траектории, сохранять их в файлы, загружать сохраненные, составлять новые траектории, соединяя несколько существующих траекторий, сортировать точки в составе траектории, вносить изменения в отдельные точки или в группы точек измерений и т. д.

### АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ

Подключив тестируемый ЧЯ к прибору и задав требуемую траекторию измерений, можно переходить непосредственно к процессу испытаний.

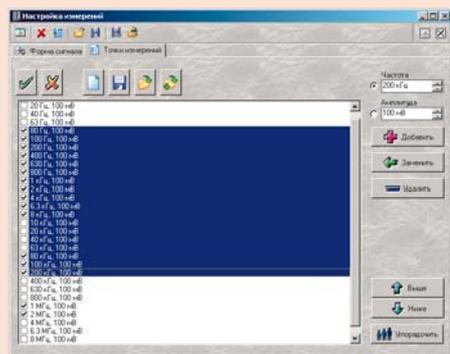


Рис. 4. Программное окно для работы с траекториями измерений

Программа позволяет запустить измерения в автоматическом или пошаговом (полуавтоматическом) режиме. В обоих режимах программа последовательно генерирует ИС, задаваемые очередной точкой траектории измерений (шаг измерений). На каждом шаге измерений программа автоматически

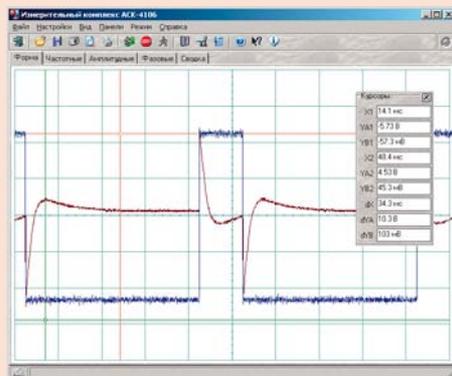


Рис. 5. Наблюдение осциллограмм измерений

устанавливает длину буфера данных и скорость развертки осциллографа в соответствии с периодом повторения ИС в текущей точке измерений так, чтобы оказались захваченными несколько периодов ИС с достаточным временным разрешением. Далее автоматически подбираются оптимальные величины усиления и смещений по обоим измеряемым каналам и проводится несколько настроечных захватов сигнала. После настройки осциллографа производится результативный захват осциллограмм, по которым далее будут осуществляться вычисления. Все осциллограммы, получаемые для настройки и для результативных измерений, отображаются по мере захвата на вкладке «Форма» главного окна программы (рис. 5).

Изображения осциллограмм нужны только для визуального контроля оператором качества настройки прибора на сигнал. Определение численных параметров измеренных сигналов проводится автоматически: программа сама выделяет в собранных данных целое число периодов повторения ИС, по каждому найденному периоду вычисляет размах сигнала, его среднеквадратическое значение, частоту и фазу, затем полученные величины усредняются по всем периодам. Результаты измерений сохраняются в таблице данных и отображаются в главном окне программы. Автоматический и полуавтоматический режимы отличаются только тем, что в пошаговом режиме программа после каждого шага измерений и вывода результатов останавливается и ожидает команды пользователя для начала следующего шага измерений, давая возможность не спеша ознакомиться с полученными результатами. В автоматическом режиме переход к следующему шагу производится сразу, без дополнительного подтверждения.

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

После определения параметров в очередной точке измерений, результаты заносятся в массив данных траектории и выводятся в графическом виде как амплитудно-частотная, амплитудная и фазо-частотная характеристики, а также в текстовом виде в таблице «Сводка измерений».

### ГРАФИКИ ХАРАКТЕРИСТИК

Зависимость среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуды выходного сигнала от частоты входного сигнала (амплитудно-частотная характеристика, АЧХ) изображается на вкладке «Частотные» (рис. 6). Ось

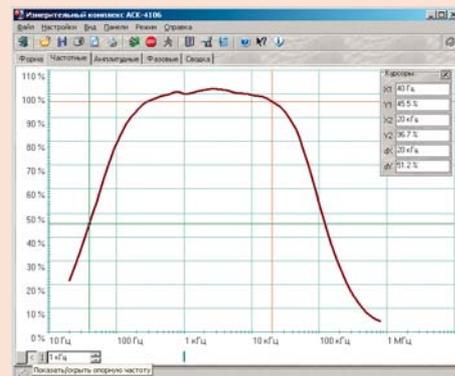


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика

значений этого графика может работать в двух режимах. В первом режиме по этой оси откладывается измеренная величина коэффициента усиления (отношение СКЗ выходного сигнала к СКЗ входного сигнала), в линейном или логарифмическом масштабе. Во втором режиме дополнительно включается возможность использования



опорного уровня. При этом выводится отношение измеренного в данной точке коэффициента усиления к некоторому фиксированному уровню, либо к уровню, определенному на указанной частоте, либо к уровню, введенному в явном виде.

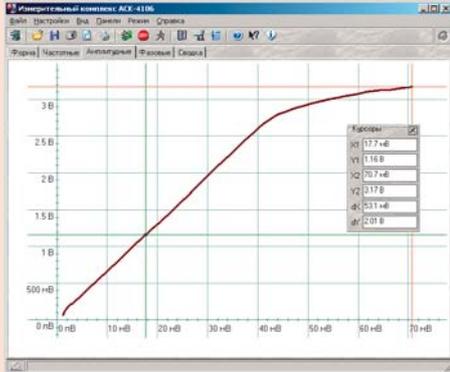


Рис. 7. Амплитудная характеристика

На вкладке «Амплитудные» (рис. 7) отображается зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от среднеквадратического значения амплитуды входного сигнала (амплитудная характеристика). Если текущая траектория измерений служит для измерения АЧХ и амплитуда входного сигнала поддерживается постоянной во всех измеряемых точках, этот график будет не слишком наглядным, представляя собой вертикальную линию. В этом случае пользователь может запретить программе строить ненужный график. Это же относится и к графикам АЧХ и ФЧХ при измерении амплитудной характеристики (когда измерения проводятся при фиксированной частоте ИС).

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) отображается на графической вкладке «Фазовые» (рис. 8). На этом графике выводится зависимость величины угла сдвига фаз выходного сигнала относительно входного от частоты входного ИС. Величины углов могут

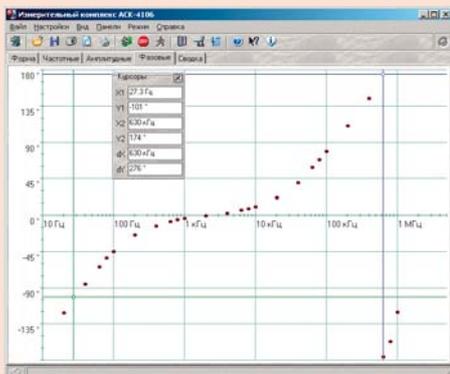


Рис. 8. Фазо-частотная характеристика

по выбору пользователя отображаться в градусах, радианах, градиентах или в долях полного круга.

Программа позволяет выбрать один из трех методов определения фазового

сдвига: геометрический, метод «косинуса потерь» и спектральный. При использовании геометрического метода определяются моменты перехода сигнала через его среднее значение. Поэтому если, например, на вход ЧЯ подается синусоидальный сигнал, а на выходе наблюдается тот же синус, но ограниченный сверху или снизу, величина сдвига фаз будет искажаться за счет смещения средней линии. В этом случае целесообразнее использовать спектральный метод. При этом программа с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье раскладывает исследуемые сигналы в спектр, определяет главные гармоники (по условию максимума амплитуды) и показывает разность фаз между ними.

Если устройство (ЧЯ) кардинально изменяет форму ИС, можно попытаться определить величину сдвига фаз на основе формулы мощности потерь. Здесь слово «определить» надо понимать не только как «найти», но и как «дать определение». Действительно, что счи-

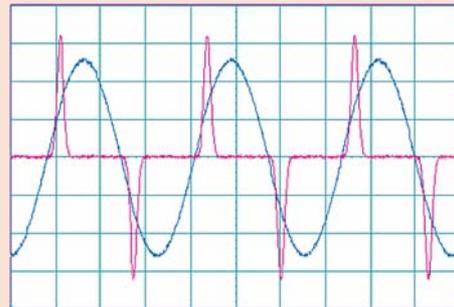


Рис. 9. Определение сдвига фаз для сигналов разной формы

тать сдвигом фаз для сигналов, изображенных на рис. 9? А между тем этот рисунок — иллюстрация к реальной задаче определения сдвига фаз между сигналами напряжения и тока при измерении параметров петли гистерезиса магнитопроводов.

Итак, пусть по одному каналу измеряется напряжение некоторого сигнала, по второму — ток этого же сигнала (в виде напряжения с шунта). Так как мощность этого сигнала можно выразить и как произведение действующих значений напряжения и тока, и как интеграл произведения мгновенных значений напряжения и тока, можем записать:

$$\cos \varphi = \frac{\int_0^T U_A \cdot U_B dt}{T \cdot (U_{ARMS} \cdot U_{BRMS})}$$

где:  $U_A$ ,  $U_B$  — мгновенное значение сигнала по каналу А, В;  $U_{ARMS}$ ,  $U_{BRMS}$  — среднеквадратическое значение сигнала по каналу А, В;  $T$  — длительность периода измеряемого сигнала.

Недостатком метода является невозможность определения знака угла сдвига фаз, поскольку измерения по разным каналам входят в формулу симметрич-

но. Метод дает лишь абсолютное значение (модуль) угла.

Для всех графиков реализована возможность курсорных измерений. Для каждого графика пользователь может установить наиболее удобные настройки с помощью специального диалогового окна (рис. 10). Здесь можно выбрать наиболее подходящие цвета для всех элементов графика, настроить стиль графиков, установить параметры осей

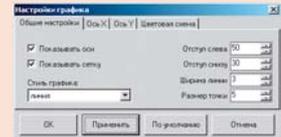


Рис. 10. Диалоговое окно настройки вида графиков (масштаб, шаг сетки, линейная или логарифмическая). Каждый график настраивается независимо.

## СВОДНАЯ ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ

Просмотреть исходные данные для построения графических характеристик в числовом виде можно в таблице на вкладке «Сводка» (рис. 11). Для каждой точки измерений в эту таблицу построчно заносятся: «N» — номер точки измерений, «Частота ->» — заданная частота ИС, «Амплитуда ->» — заданная пиковая амплитуда ИС, «СКЗ ->» — измеренное среднеквадратическое значение амплитуды входного сигнала, «Частота <-» — измеренное значение частоты выходного сигнала, «Фаза <-» — угол сдвига фазы выходного сигнала относительно входного, «СКЗ <-» — измеренное среднеквадратическое значение амплитуды выходного сигнала.

Все результаты измерений, в том числе и содержимое этой таблицы, могут быть сохранены в текстовом файле в формате «CSV». Этот файл может

N	Частота ->	Амплитуда ->	СКЗ ->	Частота <-	СКЗ <-
1	20 Гц	100 мВ	35,355 мВ	20,015 Гц	-2,2°
2	40 Гц	100 мВ	35,355 мВ	39,99 Гц	-0,3°
3	60 Гц	100 мВ	35,355 мВ	62,558 Гц	44,4°
4	80 Гц	100 мВ	35,355 мВ	80,033 Гц	53,4°
5	100 Гц	100 мВ	35,355 мВ	100,01 Гц	45,4°
6	200 Гц	100 мВ	35,355 мВ	200,04 Гц	-24,8°
7	400 Гц	100 мВ	35,355 мВ	400,2 Гц	-13,4°
8	600 Гц	100 мВ	35,355 мВ	620,85 Гц	-7,9°
9	800 Гц	100 мВ	35,355 мВ	800,05 Гц	5,5°
10	1 МГц	100 мВ	35,355 мВ	1,003 Гц	4,86°
11	2 МГц	100 мВ	35,355 мВ	2,0002 Гц	-0,029°
12	4 МГц	100 мВ	35,355 мВ	3,9995 Гц	2,46°
13	6 МГц	100 мВ	35,355 мВ	6,2001 Гц	6,18°
14	8 МГц	100 мВ	35,355 мВ	7,9997 Гц	8,20°
15	10 МГц	100 мВ	35,355 мВ	10 МГц	10,1°
16	20 МГц	100 мВ	35,355 мВ	20 МГц	21,1°
17	40 МГц	100 мВ	35,355 мВ	40,019 МГц	39,8°
18	53 МГц	100 мВ	35,355 мВ	63,118 МГц	58,3°
19	80 МГц	100 мВ	35,355 мВ	90,014 МГц	58°
20	100 МГц	100 мВ	35,355 мВ	99,996 МГц	78,3°
21	200 МГц	100 мВ	35,355 мВ	200,02 МГц	111°
22	400 МГц	100 мВ	35,355 мВ	400,12 МГц	144°
23	600 МГц	100 мВ	35,361 мВ	626,07 МГц	176°
24	800 МГц	100 мВ	35,355 мВ	800,93 МГц	152°
25	1 МГц	100 мВ	35,355 мВ	899,89 МГц	-120°
26					73,391 мВ

Рис. 11. Сводная таблица результатов

быть затем либо вновь открыт самой программой измерительного комплекса, либо использован для дальнейшей обработки данных внешними приложениями, такими, как Microsoft Excel или подобными. Кроме того, все графики программы также можно сохранить в файлы в виде изображений в растровой или в векторной форме. На-



конец, содержимое любой вкладки результатов измерений пользователь может снабдить собственным комментарием и вместе с ним отправить на печать.

## МОДУЛЬ АНАЛИЗА ФОРМЫ

Для изучения переходных характеристик испытываемых устройств пользователь может либо просто воспользоваться курсорными измерениями на графике формы сигналов либо дополнительно использовать возможности автоматических измерений модуля анализа формы сигнала (рис. 12). Этот модуль объединяет возможности спектрального анализа (разложение сигналов в гармонические ряды, изображение спектров сигналов и их параметров: частот и амплитуд гармоник, коэффициента нелинейных искажений) и алгоритмов автоматического определения параметров импульса (частоты, длины импульса, времени нарастания и спада, величины выброса и т. д.).

Таким образом, совмещение в едином приборе источника испытательных сигналов и прибора для наблюдения и измерения выходных параметров исследуемого электронного устройства превращает АСК-4106 в мощную наладочную и измерительную станцию при экономии пространства на рабочем месте. Преимуществами этого высокопро-

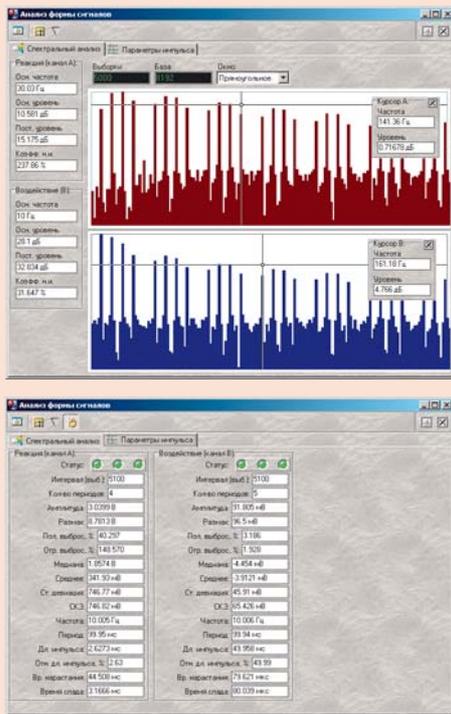


Рис. 12. Спектральный анализ сигналов

изводительного измерительного комплекса являются:

- универсальность: комплекс позволяет измерять одновременно амплитудно-частотные, амплитудные, фазо-частотные и переходные характеристики;

- гибкость: возможно использование самых разных испытательных сигналов, начиная от стандартных форм и заканчивая произвольно нарисованными, при этом возможно также использование в качестве испытательных реально измеренных сигналов, записанных этим же прибором в режиме осциллографа;
- автоматизация: весь цикл измерений по однажды заданной траектории измерений может проводиться без участия оператора;
- и, наконец, возможность модификации: полное программное управление прибором позволяет пользователю с помощью предоставляемых библиотек разработчика (см. КИПиС, № 6-2003) создавать собственные программы, предназначенные для решения конкретных производственных или исследовательских задач в любой необходимой степени. ☑

*New PC-based combined measuring device ACK-4106 from AKTAKOM «USB-laboratory» is described in this article. Its specifications, features, capabilities and advantages are represented.*

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство «ЭЛИКС+» предлагает Вашему вниманию новую серию справочников

# «СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ»

**выпуск № 1 «Радиоэлектронные измерения»**

**выпуск № 2 «Электрические и магнитные измерения»**

**выпуск № 3 «Приборы для учета электроэнергии»**

**выпуск № 4 «Весоизмерительная техника»**

В справочниках приведены перечни и описания типов средств измерения, внесенных в Госреестр.

Эти справочные издания станут настольной книгой для широкого круга специалистов, использующих в своей работе контрольно-измерительную технику: метрологов, разработчиков, инженерно-технических работников эксплуатационных служб, руководителей предприятий.

По вопросам приобретения и размещения рекламы в справочниках обращайтесь по тел. (095) 344-67-07 или пишите E-mail: editor@kipis.ru

