



# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Кудреватых Е.Ф.

Как известно, при разработке различной радиоэлектронной аппаратуры одним из важнейших этапов работы является изготовление опытного образца или макета, его настройка и проверка его параметров на соответствие техническому заданию.

На этом этапе необходим тщательный подбор комплекса контрольно-измерительного оборудования для исследования параметров опытного образца разрабатываемого изделия с заданной точностью. При этом нужно иметь в виду, что спектр вновь разрабатываемых и выпускаемых изделий очень широк и, соответственно, велик перечень параметров и диапазон изменения их значений. То же касается и реакции различных испытываемых устройств на эти воздействия. В связи с этим использовать один-единственный измерительный комплекс на все случаи жизни на сегодняшний день совершенно не реально.

Вместе с тем, для изделий или узлов общего назначения (усилители, фильтры, преобразователи, детекторы, модуляторы и т. п.) существуют некоторые однотипные наборы характеристик, например: амплитудная, амплитудно-частотная, фазо-частотная, импульсная, переходная и т. п., которые снимаются с помощью одних и тех классов измерительной аппаратуры.

В реальной жизни эта задача усложняется тем, что практически каждый вид воздействия требует своего источника тестирующих сигналов с требуемыми формой (синусоидальная, прямоугольная, дельта-импульсная, пилообразная, треугольная и т. п.) и числовыми амплитудными и временными параметрами. В качестве регистратора-измерителя чаще всего используются осциллографы или вольтметры. Поэтому, при достаточно большом количестве исследуемых параметров или широком диапазоне изменения этих параметров парк измерительной аппаратуры соответственно расширяется.

Применение большого парка измерительной аппаратуры при исследовании радиоэлектронных устройств одного класса к снижению производительности из-за увеличения времени проведения измерений за счет большого количества коммутаций сигнальных кабелей, повышению себестоимости работы вследствие значительной суммарной стоимости парка используемого оборудования и повышению трудоемкости анализа и сохра-

нения результатов измерений даже с применением компьютера, т. к. эти результаты приходится вводить вручную. Кроме того, существенно увеличивается загруженность рабочего места ввиду немалых суммарных габаритов всего комплекса приборов и общая потребляемая мощность.



Рис. 1. Генератор сигналов произвольной формы ПЯТКОМ АНР-3121

Очевидно, что для снижения этих временных и финансовых затрат целесообразно использование специализированного измерительного оборудования, с помощью которого можно проверять максимально возможное количество параметров исследуемого устройства, изменяя лишь режимы работы при минимальном количестве коммутационных операций. В идеале такое изменение режимов должно производиться полностью автоматически в соответствии с заданной программой измерений (сценарием).

Примером подобного рода аппаратуры являются различные приборы для снятия амплитудно-частотных характеристик (АЧХ-метры), в которых совмещены синхронно работающие генератор синусоидального сигнала с изменяемой в заданном диапазоне частотой и индикатор результирующей амплитудно-частотной характеристики в осях «Амплитуда – частота» с возможностью курсорных измерений ее числовых параметров. Аналогичным образом устроены измерители КСВН (приборы для измерения коэффициента стоячей волны), рефлектометры (приборы для измерения параметров кабельных линий и обнаружения отклонения этих параметров от заданных допустимых значений), В-Н анализаторы (приборы для измерения характеристик магнитных материалов), ВАХ-метры (приборы для снятия семейств вольт-амперных, фарад-амперных и т. п. характеристик электровакуумных и полупроводниковых приборов).

Все эти приборы предназначены для работы в различных областях измерения, но не являются в полной мере универсальными, т. к. чаще всего решают

только одну измерительную задачу, хотя и довольно сложную. Так, например, с помощью АЧХ-метра снимается или настраивается амплитудно-частотная характеристика устройства, но для снятия другой, например, амплитудной, характеристики того же изделия в общем случае необходимо использовать другой комплект измерительной аппаратуры.

Вместе с тем, использование современных компьютерных технологий позволяет несколько приблизиться к созданию единого универсального измерительного комплекса. Основной задачей при этом является разработка аппаратной части генератора тестирующих сигналов с максимально широким диапазоном временных и амплитудных характеристик сигналов необходимой формы и регистратора-измерителя реакции (отклика) на входные воздействия с параметрами, согласованными с параметрами генератора. Обязательным условием при создании таких комплексов является возможность программного управления генератором и регистратором от внешнего или от встроенного компьютера (программного модуля). Наличие такого управления при фиксированном аппаратном обеспечении позволяет автоматизировать процесс измерений, гибко меняя измерительные задачи по запрограммированному сценарию в зависимости от потребностей пользователя, практически



Рис. 2. Осциллограф ПЯТКОМ АСК-3106

не производя при этом или сводя к минимуму операции коммутации при исследовании одного изделия. Это особенно удобно для потокового контроля однотипных изделий. Протоколирование процесса тестирования полностью автоматизируется, однако при этом сохраняется возможность контроля и анализа в любой момент времени.

Чаще всего для измерений используются генераторы напряжения и регистраторы со входами по напряжению, но при использовании дополнительных соответствующих преобразователей необ-



ходимых физических величин, включая неэлектрические, в напряжение, один и тот же комплекс аппаратуры можно использовать при работе с этими величинами, что значительно расширяет спектр применения такого комплекса. При этом изменению подвергнется только программное обеспечение для адаптации к конкретной задаче и физической величине. В некоторых случаях такие изменения может проводить сам пользователь при достаточной квалификации и открытости программного обеспечения, поставляемого в комплекте с измерительной аппаратурой. Это позволяет резко сократить временные и материальные затраты на обеспечение новой задачи измерительным оборудованием.

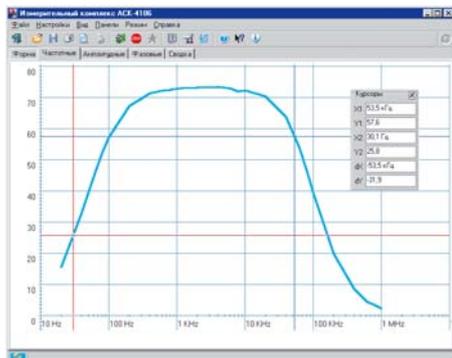


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика

Одним из примеров разработки универсального измерительного оборудования является создание аппаратно-программного комплекса на основе управляемого генератора сигналов произвольной формы АНР-3121 (или АНР-3122), работающего в качестве двухканального генератора воздействий в диапазоне частот синусоидального сигнала практически от нуля до 5 МГц (для АНР-3122 — 10 МГц) и амплитудой от единицы милливольт до  $\pm 2,5$  В (или до  $\pm 10$  В — в АНР-3122) на нагрузку 50 Ом с 12-разрядным разрешением (рис. 1). Неоспоримым преимуществом данного прибора является возможность задавать форму и размах сигнала различными способами: графическим (нарисовав его на экране), математическим (описав формулой), а также считывая его из сохраненного ранее файла. Естественно, имеется возможность в качестве сигналов воздействия использовать и некоторые стандартные формы сигналов: синус, прямоугольник, треугольник, пила, вспышка, цифровая последовательность бит для сигнатурных проверок логических узлов и т. п. В качестве регистратора-измерителя используется двухканальный цифровой запоминающий осциллограф АСК-3106 с полосой пропускания 100 МГц и частотой выборок до 100 Мвыб/сек в режиме реального времени и 10 ГГц в стробоскопическом режиме (рис. 2). Чувствительность прибора от 2 мВ/дел. до 10 В/дел. Особенностью такого комплекса является то, что в качестве сиг-

нала воздействия может быть использован также сигнал, предварительно измеренный осциллографом, а затем сохраненный в файле. Это позволяет исследовать устройства с использованием реальных сигналов.

На рис. 3-5 в качестве примера приведены некоторые характеристики усилителя низких частот, снятые с помощью аппаратно-программного комплекса на основе генератора сигналов произвольной формы АНР-3121 и осциллографа АСК-3106.

Амплитудно-частотная характеристика позволяет оценить основные частотные свойства испытуемого изделия (в данном случае усилителя): полосу рабочих частот по уровню  $-3$  дБ, коэффициент усиления в рабочей полосе частот, неравномерность коэффициента усиления в этой полосе, крутизну спада и коэффициент передачи за ее пределами. Эти параметры определяются с помощью курсорных измерений в характерных точках характеристик.

Анализируя фазо-частотную характеристику изделия, несложно определить запас по фазе для его устойчивой работы в заданном диапазоне частот и при его недостаточной величине принять меры для его увеличения.

Амплитудная характеристика наглядно показывает диапазон изменения уровня входных сигналов при заданной величине нелинейных искажений выходного сигнала при различных напряжениях питания и разных частотах входного сигнала.

Некоторое изменение программного обеспечения комплекса позволяет снимать различные трехмерные характеристики исследуемого изделия для анализа пользователем реакции испытуемого изделия при изменении более чем одного входного воздействия. Это позволяет

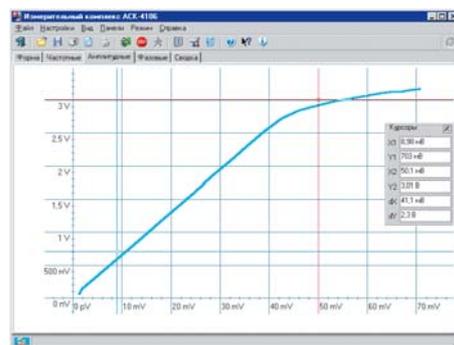


Рис. 4. Амплитудная характеристика

заметно сократить время на снятие характеристик, а также выявить возможные особенности реакции изделия, которые могут быть пропущены при анализе двухмерных характеристик. Это связано, в основном, с тем, что автоматическое снятие трехмерных характеристик можно задать с меньшей дискретностью и без заметных потерь времени, т. к. пользователю не нужно каждый раз устанавливать новое значение неизменяемого параметра вручную.

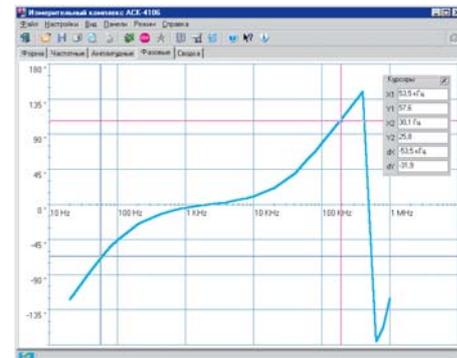


Рис. 5. Фазо-частотная характеристика

Приборы работают на основе одного общего персонального компьютера, выполняющего роль управляющего программного модуля. Соответствующее программное обеспечение входит в комплект поставки. Управление приборами и обмен данными осуществляются по интерфейсам USB 1.1 или LPT в режиме EPP по выбору пользователя. Все это позволяет исследовать, настраивать и проверять характеристики устройств, входные параметры которых соответствуют параметрам генератора, а выходные — параметрам осциллографа.

Важным достоинством виртуальных приборов является возможность совмещения в одном корпусе двух (или более) различных по функциональному назначению устройств. Примером такого комбинированного прибора является АСК-4106, объединяющий в одном корпусе двухканальный цифровой запоминающий осциллограф и генератор сигналов произвольной формы.

Основное преимущество такого комплекса заключается в том, что тестируемое изделие подключается к измерительной аппаратуре только один раз, и после этого по заданной программе снимаются все необходимые характеристики и параметры. Другим немаловажным достоинством является то, что состав измерительных функций комплекса можно изменять путем изменения только программного обеспечения, в том числе и самим пользователем. Комплект разработчика программного обеспечения, поставляемый дополнительно, позволяет создавать собственное программное обеспечение для работы с комплексом, которое будет максимально соответствовать решению конкретных задач данного пользователя.

Подробнее о характеристиках, функциональных возможностях и примерах использования комбинированного прибора АСК-4106 мы расскажем в одном из следующих номеров.

*The general principles of measuring of radio-electronic devices characteristics are described in this article. The example of design of PC-based measuring complex is represented.*