

ミックスト・シグナル LSIテスト技術の基礎



(前編)

システムLSIの品質・信頼性を保証するための基盤技術

小室貴紀, 小林春夫, 酒寄寛, 光野正志

ここでは、ミックスト・シグナルLSIテストを構成する要素技術について解説する。最近では、システムLSIの多くがアナログ回路やミックスト・シグナル回路を内蔵している。また、1Gbps以上の伝送速度に対応した高速I/O回路を内蔵するLSIも増えている。こうしたLSIの量産テストに欠かせないのがミックスト・シグナルLSIテストである。LSIの開発・製造コストに占めるテスト・コストの割合は年々上昇している。とくに、アナログ回路やミックスト・シグナル回路のテストにかかるコストの削減は、LSI量産時の大きな課題の一つとなっている。(編集部)

LSIテストは、技術的には“今日の”LSIを用いて、“あしたの”(つまり、より性能の高い)LSIを計測・評価する電子装置です。そのため、(相対的に)性能の低いLSIを使って性能の高いLSIを測定するためのさまざまなくふうが盛り込まれています。また、高性能化とともに、小型化、低消費電力化、低コスト化の要求もあります。

本稿ではミックスト・シグナルLSIテストについて、アナログ関係のハードウェア技術を中心に解説していきます。今回の前編では、LSIテストを構成する要素技術や実際のLSIテストの例について説明します。次回の後編では、テスト容易化設計、およびLSIテストに関する産学連携の開発事例を紹介する予定です。

● 製造したチップの良否判定を行う計測装置

LSIテストは、LSI製造の最終工程で、パッケージングまで終了したチップの良否判定を行う計測装置です⁽¹⁾。そのため、実験室などで使用される先端的な測定器とは性格が異なります。

図1に、典型的なミックスト・シグナルLSIテストの構成を示します。ミックスト・シグナルLSIテストは、DUT(device under test; 測定対象となるデバイス)へデジタル信号を入出力する部分、DUTに規定のアナログ信号を与えるAWG(arbitrary waveform generator; 任意波形発生器)、PMU(parametric measurement unit; 直流電圧・電流源)、DUTのアナログ出力を受けるディジタイザなどからなります。ミックスト・シグナルLSIテストには、このほかに、これらのサブシステムとDUTを接続するインターフェース、各サブシステムにクロックや同期信号を供給するタイム・ベース、全体の動きを制御するCPU(central processing unit)、全体に電力を供給する電源などが含まれます。LSIの動作速度は年々上昇し、高機能化も進んでいるので、それをテストするLSIテストの能力も年々向上させる必要があります。

高速信号(ここで述べる“高速”とは、数百MHz~数GHzの領域を指す)の計測において、アナログ信号波形をデジタル・データとして取得するディジタイザは重要な構成

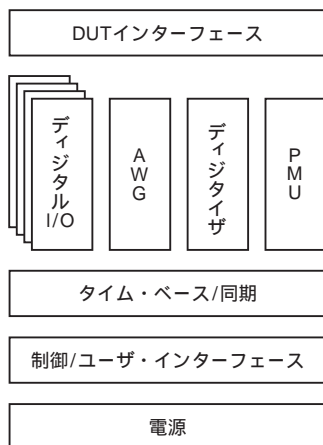


図1
ミックスト・シグナルLSI
テストの構成

ミックスト・シグナルLSIテストは、DUT(device under test)へデジタル信号を入出力する部分、DUTに規定のアナログ信号を与えるAWG(arbitrary waveform generator)、PMU(parametric measurement unit)、DUTのアナログ出力を受けるディジタイザなどからなる。

要素の一つです。ディジタイザはA-Dコンバータを内蔵しており、その性能は回路技術に大きく依存します^{(12)~(14)}。この領域の信号計測技術は、オシロスコープなどの単機能測定器ですでに確立しています。これらの技術をもとに、いかにしてシステムを構築するかがLSIテスタ開発の要点となります。高速信号を測定する手段には、サンプリング技術とインターリーブ技術があります。それぞれの技術については、後ほど詳しく紹介します。

一方、LSIテスタの構成要素のうち、デジタル部、および(D-A変換器を含む)AWGは、LSIのプロセス技術への依存度が高く、半導体の微細化に伴って処理速度が向上していきます。また、LSIテスタ特有の問題として、DUTと測定システムとの接続のよしあしが計測品質を左右するようになってきています。

1 高速波形のサンプリング技術

ここでは高速波形のサンプリングに必要な等価時間サンプリング技術や同技術のタイム・ベースなどについて説明していきます。

● 繰り返し信号の計測に「等価時間サンプリング」を利用

高速波形計測の一つの手法として、入力を一定時間間隔でサンプリングし、A-D変換した後、メモリに取り込む「サンプリング技術」が広く用いられています(図2)^{(2)~(5)}。

LSIテスタでは「等価時間サンプリング」が用いられており、この技術は被測定信号が繰り返し生起する場合はサンプリング定理の制約を受けません。また、(高速・高周波

信号の)入力信号よりも長い周期で信号をサンプリングして、波形を合成・計測できます。

この技術は原理上、単発信号は扱えず、繰り返し生起する信号のみが測定対象となります。サンプリング・オシロスコープに広く採用されており、さまざまな方式が実現されています。LSIテスタでは、入力信号の周期の整数倍から少しずれた周期でサンプリングし、低い周波数に変換して、そのあとA-D変換する方法がとられています(コヒーレント・サンプリング法)。

図3に等価時間サンプリングの動作原理を示します。LSIテスタでは、多くの場合、DUTに対して既知の信号を与えます。また、測定系全体が同期して動作します。そのため、DUTの出力信号を予想可能な繰り返し信号とすることができ、等価時間サンプリングの手法を利用できます。

● 等価時間サンプリングのタイム・ベースは3種類

一般に、電子計測器(LSIテスタやサンプリング・オシロスコープなど)において等価時間サンプリングを実現するタイム・ベースには、次の三つがあります^{(2)~(5)}。

1) コヒーレント・サンプリング法

コヒーレント・サンプリング法は、図4に示すように、入力が周期信号でサンプリング周期 T_s を入力周期に対して少しだけ(T_e)ずらすことで実現できます。ただし、測定したい波形が繰り返し生起しても、その生起する周期が一定でない場合、この方法は使用できません。

2) シーケンシャル・サンプリング法

シーケンシャル・サンプリング法とは、生起したときにトリガをかけ、その一定時間(t)後にサンプリングする

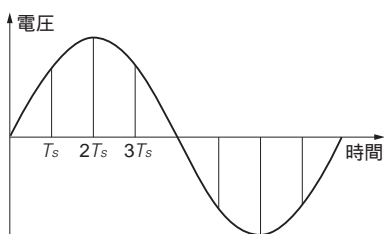


図2 波形のサンプリング技術
時間間隔 T_s ごとに波形データを取得する。

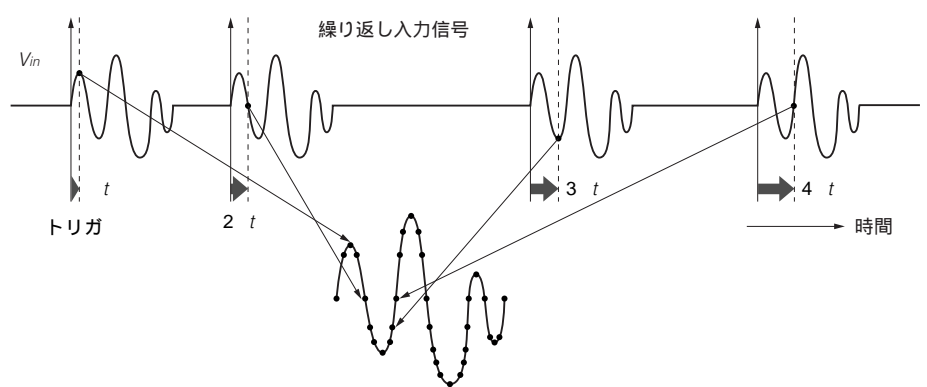


図3 繰り返し入力波形に対する等価時間サンプリングの原理

サンプリング時刻のトリガ信号(繰り返し入力信号の起点)からの時間を知ること、サンプル値データから波形を再合成できる。