

2018 年度 高周波計測研究会  
大学院生向け特別講義

「**RF** 回路の計測・評価技術」

開催日時：2018 年 8 月 27 日～28 日

学部 4 年

15304001 青木里穂

## 1) RF 回路の計測・評価技術

ここでは、計測・評価技術について学習したが、主役である対象の測定にはさまざまな知識が必要であることから、「測定は雑学」と認識されている。「王道」というものは存在せず、コネクタなどの知識も要求される。小林先生の回路ゼミでも雑学が重要だとよく言われているので、計測や回路設計では雑学が大切だということが分かった。

データ通信の規則としてプロトコル(Protocol)という、ネットワークを介してコンピュータ同士が通信を行う為に決めた通信手順や物理的な基準があり、通信手順、通信規約などと呼ばれることもある。コネクタ、bit 数、誤り訂正、通信速度などが、送信側と受信側でマッチしていないと通信ができないということだが、例えば、話す言語が異なれば会話ができないというのと同じである。プロトコルは7つの層に分けられ、下位から、物理層、データリンク層、ネットワーク層、トランスポート層、セッション層、プレゼンテーション層、アプリケーション層となっている。第1層の物理層は回線の上でデータ送受信を担当しており、回線に送信する電気的な変換やピンの形状・ケーブル特性などを規定する。通信で実際に測定を行うのはこの第1層だけであり、第2層以上では「誤り率(BER)」と「スループット」程度の評価で十分である。

デジタルとアナログの違いを高さに例えると、デジタルは階段、アナログは坂道である。自然界はアナログだが、コンピュータが扱えるのはデジタルなのでどちらも必要不可欠である。階段になっていけば3段目に立つように指示した時、確実に3段目に立つことができるが、坂道では何段目という明確な定義がないので、正確に3段目に立つことはできない。このため、アナログよりデジタルの方が高精度である。しかし、整数ならデジタルの方が正確だが、2.5などの整数でないものになると表現できないので、微妙な値を取りたい時はアナログが必要となってくる。

AD変換器(ADC)とはアナログ信号をデジタル信号に変換する装置だが、電圧が連続、時間が離散である装置をサンプル・ホールド SCF、電圧が離散、時間が連続である装置を PWM・TDC という。日本では電圧、時間共にアナログもしくはデジタルであるどちらかの研究が多いが、アメリカでは SCF、PWM・TDC などのアナログとデジタルが混在した研究がなされていることが多い。

通信システムは送信機とそれと対称な受信機からなり、これらは ADC、DAC、フィルタ、ミキサ、アンプなどから構成されている。送信機(変調器)を測定するには理想復調器が必要で、シングル・アナライザ(SA)として入手可能である。一方、受信機を測定するには理想送信機が必要で、信号源(SG)として入手可能である。アナログ入出力の要素を測定するにはネットワーク・アナライザ(NA)と上記の SG+SA が必要となる。伝送路を測定するには TDR が使用されるが、これにより伝送路のどの部分が広いのか狭いのか分かる。それに加え、高精度なものではコネクタによる乱れなども測定できる。

## 2) スペクトラム・アナライザの基礎

スペクトラム・アナライザ(SA)とは、周波数ごとのパワーを測定するもので、RFプロ

ックと IF ブロックからなる。なお、新型の SA は IF ブロックがデジタルとなっている。スペアナは高価であるが、過大入力などで故障しやすい装置である。大きな直流を入れないようにすれば良いだけだが、試作品を測定する時予想したとおりに動作するとは限らず、内部で短絡していて出力に直流がそのまま乗っていることもあるので、予想に反して大きな直流が発生することもある。そのため、最初に測定する時は測定範囲の広い安価な測定器を使用すべきである。企業に就職した後に高価な機器を使用する機会が多くなるが、試作品を測定する時は注意して高精度でなくても壊れにくい装置を使用するよう心がけようと思った。

### 3) RF コンポーネントの単体測定

今回の講義では主にトルクレンチという特殊なレンチを使って実習を行った。トルクレンチとは普通のレンチと違って、ねじを締めすぎて壊さないようにするために、締めている途中で音が鳴りそれ以上は締まらないようになっているレンチである。ただし、コネクタがかみ合っていないのに回すとトルクレンチでも壊れることがあるので注意が必要である。今回の実習で使ったコネクタの中には非常に硬いものもあり、かみ合わせるのが難しく大変だった。

TDR とは Time Domain Reflectometry の略で、DUT にステップ波を入力し、その時間軸応答からインピーダンスを求めるもので、伝送線路の途中の情報も取り出すことができる。周波数軸応答を合成することにより、NA でも同様の測定ができる。

### 4) デジタル変復調の測定

デジタル変調にはいろいろな種類があり、通信規格により変調方式が異なり、誤差の様子を直感的に把握しやすい。円周上の  $180^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $45^\circ$  ごとに点を取って区別するが、さらに細かく分けると誤差の影響が大きくなるので、さらに細かくしたいときは格子点を取るようになっている。

最初、この講義はほとんどが座学で実習はあまりないのかと思っていたが、実際は半分以上が実習で、普段できない体験ができたので遠くまで来た甲斐があったと思った。講義室にあった装置は 1 千万円相当の滅多に触ることのない高価な機器で、最初は壊さないかすごく不安だったが、2 日目は随分慣れてきて普通に回路が組めるようになったので、良い勉強になったと思った。あまり測定をしたことがないので、測定機器の名称や使い方もよく分からなかったが、今回の実習で全部ではないが大まかな理解はできたと感じている。普段は設計された回路図だけを見ることが多いが、今回は実際に回路がどのようなになっているのか、どういった波形が出力されるのかなども見ることでとても面白かった。また、コネクタを接続するとき、頑丈なものだと締めるのが大変で、かみ合っていなかったり、斜めに入っていたりしたので壊さないか不安だった。しかし、実際に自分でコネクタを接続して、出力結果を見比べるとは普段はできないことなので、とても良い経験になったと思う。