

高周波減衰量標準

計測標準研究部門 Widarta Anton

高周波減衰量

高周波、マイクロ波等の電磁波は情報通信システム、レーダをはじめ、医療技術や加熱装置等の生活に関連する分野まで使われてきている。低い周波数領域の電磁波回路では、電圧、電流等が基本量として使われている。しかし、高い周波数領域では、電磁波の波長は測定対象物の寸法に同程度か、それより短いので、波動伝搬的な取り扱いが必要となり、伝搬に伴い生じる高周波減衰量が基本量の1つとして重要である。

高周波減衰量は、測定対象物(DUT)の入出力信号の電力の比により定義する。図1のように反射波のない理想的状態の回路を用いて、負荷(LOAD)に吸収される電力を測定してDUTの有無により減衰量を評価する。数値表現の簡便さで、通常dB(デシベル)で表され、電力の比が百分の一、百万分の一の場合それぞれ20 dB、60 dBになる。

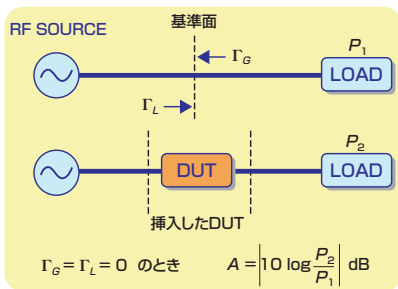


図1 高周波減衰量の定義

高周波減衰量標準の開発

計量標準総合センター(NMIJ)では、国家計量機関(NMI)として高周波減衰量の一次標準器を決定し、10 MHz ~ 110 GHzの高周波減衰量標準の開発を行った。

- 一次標準器：1 kHzで動作する誘導分圧器(IVD)を採用している。IVDは、低周波標準へのトレーサビリティが確保されており、高精度測定に適し、温度の依存性が少なく安定しているため採用した。

- 測定システム：下記のとおり2種類の減衰量測定装置を使用している。

周波数範囲40 GHz以下では、IVDを標準器とする中間周波置換法(図2左)を開発した。DUTを通った高周波信号をヘテロダイン検波により1 kHzの信号に置き換え、高周波減衰量を1 kHzのIVDの電圧比に置換測定する。この測定システムは、デュアルチャンネルで構成され、一種のブリッジ回路になり高精度な測定システムが実現できる。要点はチャンネル間の高いアイソレーションであり、本システムの開発において10 MHz ~ 1 GHzの部分的周波数ではあるが、EO変換器-光ファイバによる高性能のアイソレーション回路を実現した¹⁾。さらに40 GHzまでの範囲の拡張を目標に研究を行っている。

40 GHz以上の周波数領域では、ピストン減衰器(WBCO)を標準器として切り替えて測定するスイッチング型中間周波置換法(図2右)を採用している。DUTを通った高周波信号を30 MHzの信号に変換し、ピストン減衰器を通った30 MHz信号の減衰量と比較測定する。このシステムの間周波が30 MHzと高く設定できるため、要求される高周波信号のスペクトル純度条件が緩く、110 GHzまでの周波数範囲ばかりでなく300 GHz帯やTHz帯等における減衰量測定システムとしても期待されている。

高周波減衰量標準の供給と国際比較

平成16年4月から30 MHzのピストン減衰器、10 MHz ~ 18 GHzの同軸可変減衰器についてJCSS(計量法校正事業者認定制度)等による供給を開始した。校正範囲は10 MHz ~ 12 GHzで100 dB、18 GHzでは60 dBまでであり、平成18年度に40 GHzまでの供給を目指している。40 GHz以上の周波数範囲については、計量標準のニーズによって優先順位を付けて開発を行っている。2003年6月には、高周波減衰量の国際比較(CCEM-RF-K19.CL)に参加した。この国際比較では、今後幹事機関の集計により参加機関の同等性が国際度量衡局のホームページに公表されることになる。

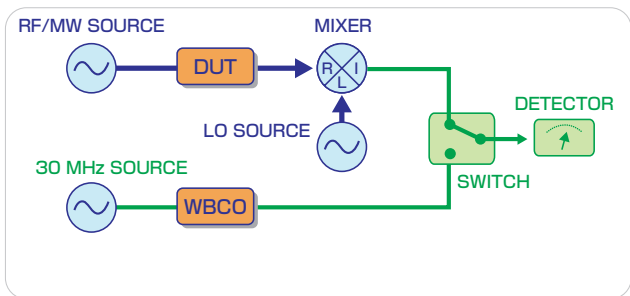
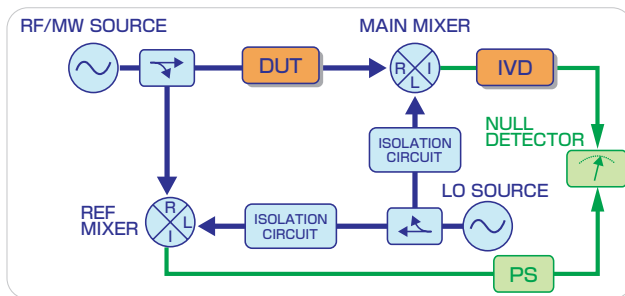


図2 高周波減衰量測定システム

左：IVDを用いたデュアルチャンネル中間周波置換法(10 MHz~40 GHz) 右：ピストン減衰器を用いたスイッチング型中間周波置換法(40 GHz以上)

1) Widarta, Kawakami, "Attenuation measurements system in the frequency range of 10 to 100 MHz", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol.52, Apr. 2002, 302-305.

臨界ノズルを用いた気体流量測定規格 ISO 9300:1990 の改訂とこれに等価な JIS の作成

計測標準研究部門 石橋 雅裕

臨界ノズルによる流量測定

臨界ノズルは気体流量の高精度測定に用いられるが、その構造は、流速が音速以下に限られる一般的な亜音速ノズルと基本的に変わることはない。たとえば、ベンチュリ型では、図1のように、管路断面積が滑らかに減少し、再び滑らかに増加する。しかし、これに大きな差圧を与えると、スロート(断面積の最も小さい位置)直下に超音速流れが発生し、下流側情報がスロートに伝わることを防ぐため、流量が下流側状態に依存しなくなり非常に安定する。

臨界ノズルのスロートは、その上流側が亜音速流れ、下流側が超音速流れとなり、亜音速流れと超音速流れの分岐点となって流速が音速に固定される。したがって、その流量(kg/s)は、流れが断面積にわたって一様であれば、(スロート面積)×(スロートでの音速)×(スロートでの密度)で与えられるはずであるが、実際は、壁面付近に急激に流速がゼロに落ちる境界層が発生し、また、境界層以外の領域でも、断面積上でわずかな流速の増減があるため、上の式は1%程度の誤差を持つ。そのため、正しい流量を得るためには、この式に補正係数(流出係数)を掛ける。

国際規格の改定作業

臨界ノズルに関する国際規格 ISO

9300:1990 “Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles (CFVN) (臨界ベンチュリノズルを用いた気体流量の測定)” は、1990年に出版され、 $1 \times 10^5 \sim 2 \times 10^7$ のレイノルズ数範囲で、天然ガスを含めた様々な気体が行われる臨界ベンチュリノズルの流出係数を、不確かさ0.5%で与えるものである。この規格は、現在、次の2点を主眼として、改訂作業が行われている。

(1) 現規格の不確かさは、その他の一般流量計に比べて小さいとは言えない。また、レイノルズ数範囲の下限で大きな偏差を持つことが明らかになった。これは、本来、この規格が、レイノルズ数の大きい天然ガス流量を乱流域で測定するために作られたものであり、そのレイノルズ数範囲の下限では、境界層が層流となり、ノズル特性が大きく変わるためである。この部分の修正には、産総研で測定した層流境界層領域における精密ノズル(HPN/ High-Precision Nozzle)の流出係数が採用された(図2)。HPNは超精密旋盤で製作されたもので理想的な形状を持つため、その流出係数は一般ノズルの基準となる。改訂版では、全体のレイノルズ数範囲($2.1 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^7$)をカバーする1本のカーブ(不確かさ0.3%)と共に、低レイ

ノルズ数範囲($2.1 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^6$)でのみ有効なHPNのカーブ(不確かさ0.2%)が導入される。後者は、ほぼ産総研の測定結果そのままであり、前者はユニバーサルカーブと呼ばれ、現規格のカーブを作ったアンペルク氏と産総研の共同作成である。

(2) スロートにおける音速と密度を求めるためには気体の物性値が必要となるが、現規格では、その計算方法として、高度な繰り返し計算を紹介する文献(AGA 8)を参照するのみであった。これに対し、英国NELが、各種気体に関してAGA 8に従って計算した結果に曲線を適合した。改訂版には、その係数が掲載され、気体の種類が決まれば、簡単にスロートにおける音速と密度が計算できるようになる。

将来方向

以上の改訂により、ISO 9300は非常に使いやすくなるはずである。現時点では、規格草案ISO/DIS 9300が完成し、その投票で賛成多数が得られたところである。2004年10月中に最終草案ISO/FDIS 9300となり、最終投票の後に、そのまま規格として出版される見込みである。我が国では、これと等価なJISを作成すべく、草案作成作業が同時進行している。

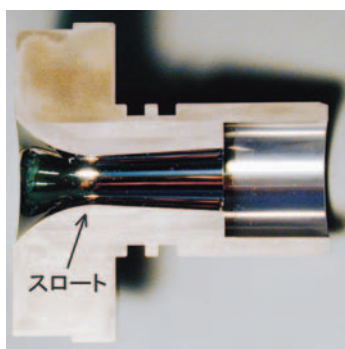


図1 ベンチュリ型HPNのカットモデル

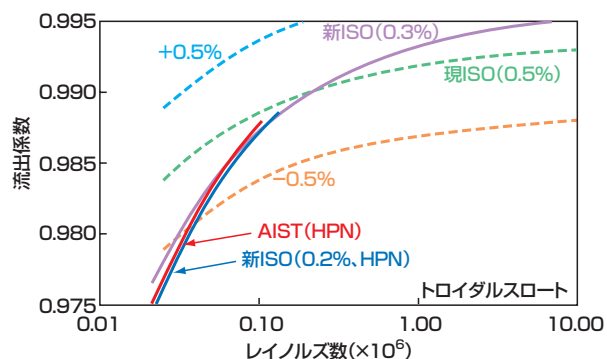


図2 新旧ISOカーブと産総研カーブの比較