

高電圧インパルスの測定精度について

川 口 芳 弘*

On the Measurement Accuracy of High Voltage Impulse

Yoshihiro Kawaguchi*

Summary: IEC Pub. 60 "High Voltage Test Techniques" has recently been revised, which puts the so-called "Comparison Test" into the forefront of the new Standard, to compliment the draw-back of the current measuring technology and to establish the international accreditation system in future, even though it's in the former publication as a alternative method.

On this occasion, the author tries to explain the reason why the revision was necessary and how it will be executed in the engineering fields, based on the new IEC standard.

要旨: 高電圧インパルスの測定に関しては、古くから議論され IEC 規格も順次改定されてきた。しかし、急峻なインパルス特に波頭裁断波を精度高く測定するのは容易なことではなく、遂に今回の規格改定では、比較試験法なるものを前面に押し出し、将来は国際的認定制度を意図することになった。

その背景、今後この規格がどのような形で国際的に運用されてゆくかを簡単に概説する。

は し が き

高電圧インパルス測定に関する最初の IEC 規格は、絶縁協調上必要となった変圧器の雷サージに対する耐力試験の実施と共に、今世紀の早い時点で導入されたと思われる。

その後、何回かの改定を経て、これまで1973-1977年の間に四分冊が逐次発行され、これら¹⁾が有効なものであったが、近時1989年、1994年に大幅改定され最新版²⁾が発行され、従来の四分冊が二分冊となった。

その骨子はかなり急進的であって、従来感覚から離れたものである。即ち、絶対的精度を要求するのは現状困難であるとして、測定系を国際的、国内的に比較試験して、お互いの精度を認め合おうという趣旨である。

この背景にある最大の駆動源は欧州連合 EU (European Union) 内での貿易を真に自由化しようとの試みからである。換言すれば、EU 内の他国から輸入したものを改めて自国で試験検証する様では欧州連合が一体となっ

た経済圏を構成する意義が無いと言うことである。

他方、この様な動きに必ずしも気分の良くない国々もあり、例えば日、米は「逆に貿易障壁を拡大するものだ」或は「測定系の直線性の保証が不十分だ」として審議過程では強く反対した。

本稿では、改定に至る経緯、改定内容、今後の運用がどのようになるかを概説し、我々のこの分野に於ける活動の資としたい。尚、IEC Pub. 60は直流、交流、雷インパルス、開閉インパルスの各種高電圧、電流の測定技術に係わるものであるが、本稿では最も関心の寄せられる雷インパルス電圧測定の部分のみを対象とする。

1. 高電圧インパルス測定に関する歴史的経緯

古くからインパルス高電圧の測定精度を論じるために、応答時間 (Normal Response Time) の概念が導入されたが、分圧器単体の応答時間のみ留意していた。

測定用接続線まで含めた測定系を一体として捉え、特性を論じる様になったのは、1973版規格からである。即ち、Travelling Wave Theory に基いて、組み立てられる様になった訳で、画期的なことであった。その先導役を務めたのが F. C. Creed, T. Kawamura 両氏の論文である。Creed, Kawamura 両氏の論文³⁾の要点は、下記の如

*電気工学科 教授 工学博士

Professor, Department of Electrical Engineering, Faculties of Engineering, Dr. of Engineering, Member IEEJ, Fellow IEEE.

くである。

測定系の真の Response Time は分圧器までの接続線を含めたもので決定される。即ち、接続線と分圧器間での往復反射振動が測定系の Response Time を左右する。これを考慮しないで測定系の評価はできない。と更に、CIGRE SC33 (Overvoltages and Insulation Co-ordination) では、直線上昇波に対する球ギャップの V-t 特性を利用して、測定系の応答時間を測定しようとの研究も行われ、これらが反映されて、1973版規格に採用されるに及んだ⁴⁾。

1973年版規格では、波高値測定及び時間パラメータ(波頭長及び波尾長)測定の誤差を下記範囲に納める様、表1に示す測定系の応答時間を要求している¹⁾。

この様な研究と平行して、単位応答 $g(t)$ と観測波形 $y(t)$ を求めようとする活動もあった。即ち、下式の積分方程式を解くことが試行された。所謂 Deconvolution である。

$$y(t) = d/dt \left[\int_0^t x(\tau) * g(t-\tau) d\tau \right] \quad (1)$$

しかしながら、Convolution と違って、単位応答、観測波形共に実測されるものは誤差も多く Deconvolution には不向きで、この試みも実らなかった⁵⁾。

その後の CIGRE SC33の調査によると、斯様な新規格を満足する測定系も、間もなく、波頭裁断波の波高値、裁断時間の測定では、誤差が規格で意図したものを超えてしまう。また、誤差の面で許容できる分圧器も、応答時間の長いものは自動的に排除され、好ましくないことが、指摘される様になった。

CIGRE WG33.03 (1986) では、これらを背景に、遂に比較試験法の必要性を認識し、本格的に国際間研究が開始される様になり、一躍比較試験法が脚光を浴びることになった。

従来の規格にも比較試験法がそれなりに位置付けされているが、実務面でこれが採用されることはなかった。

同じ頃、下記二論文が発表され、注視される様になった^{6,7)}。

二論文の一つで、N. Hylten-Cavalius 等は、急峻波測定における応答誤差は通常の Normal Response Time T に加えて、Residual Response Time T_r , Standard rise Time T_s , Settling Time T_{st} で決まる。各々は下式で定義されると説いた⁶⁾。

$$T = \int_0^{\infty} [1-g(t)] dt \quad (2)$$

$$T_r = - \int_{t_1}^{\infty} [1-g(t)] dt \quad (3)$$

表 1 旧規格での期待精度と応答時間

	波高値 誤 差	時間 誤 差	要求応答時間
全波	$\leq 3\%$	$\leq 10\%$	$\leq 0.2 \mu\text{S}$
波頭裁断波 $T_c > 2 \mu\text{S}$	$\leq 3\%$	同上	(A) $\leq 0.05 T_r$ and $0.2 \mu\text{S}$ (B) $\leq 0.05 U_{\max}/\text{SL}$
同上 $0.5 \leq T_c \leq 2 \mu\text{S}$	$\leq 5\%$	同上	
開閉インパルス			$\leq 0.03 T_c$ and $0.03 T_{cr}$

時間誤差は波頭長 T_1 , 半波尾長 T_2 , 裁断時間 T_c の測定に対して意図された誤差。

応答時間の(A), (B)は直線、非直線上昇に対して適用。

T_r : Rise Time, SL: Slope (kV/ μS), T_c : Chopping Time, T_{cr} : Time to Crest

$$T_s = \sqrt{\left[2 \int_0^{\infty} t^2 [1-g(t)] dt - T_2 \right]} \quad (4)$$

$$T_{st} = \left| \int_{T_s}^{\infty} [1-g(t)] dt \right| \leq 0.02 * T_{st} \quad (5)$$

なお、これらの諸応答時間は数学的には下記左二辺で定義される単位応答の微分 $g'(t)$ の Moment として位置付けられ、上記各応答が導入されている。

$$T_m = \int_0^{\infty} t \cdot g'(t) dt = \int_0^{\infty} [1-g(t)] dt$$

$$T_s^2 = \int_0^{\infty} (t - T_m) \cdot 2 \cdot g'(t) dt$$

$$= 2 \cdot \int_0^{\infty} t [1-g(t)] dt - T_m^2$$

$$T_q^3 = \int_0^{\infty} (t - T_m) \cdot 3 \cdot g'(t) dt$$

$$= 3 \cdot \int_0^{\infty} t^2 [1-g(t)] dt - 3 T_m T_s^2 - T_m^3$$

$$T_4^4 = \int_0^{\infty} (t - T_m) \cdot 4 \cdot g'(t) dt$$

$$= 4 \cdot \int_0^{\infty} t^3 [1-g(t)] dt - 4 T_m T_q^3 - 6 T_m^2 T_s^2 - T_m^4$$

上記 T 及び T_r は波頭裁断波の誤差は、 $T + T_r = A_1$ は許容する誤差内で測定できる最高の振動周波数を、 T_s は全波の波頭時間、波頭値の誤差を決定するものである。特に、 T_s を最小にすることが全波、波頭裁断、重畳する振動分測定の誤差を低減するものであることを示した。

もう一方、Qi, Qing-Chen, W. S. Zaengl は全波の波頭時間 T_1 の誤差には単位応答時間 T , Partial Response

Time T_a 及び Overshoot β が影響する。取り分け T_a が極めて重要であると発表した。同時に、 T_1 の測定誤差を許容範囲に抑えるための K_a/T_1 と β との関係の明らかにした⁷⁾。これらの考え方は全て改定規格に取り入れられたことを付記したい。

これと併行して、EU 内での比較試験法の結果が逐次発表されだした。何れも比較試験法は有用であることを結論付けている^{8)~11)}。

同時に、従来採用されている各種応答時間の測定は極めて間接的な評価法であるのに対して、Reference Measuring System (基準測定系) さえ確立されれば、比較試験法は直接的であり、極めて望ましいと報告している。

特に注目すべき点として、各種応答時間を評価するための単位応答測定回路は、実試験回路と大分異なるから、これを基準に測定系の良否を判断するのは好ましくない、との論拠も目立つ。序に、単位応答測定時に電源接地線部分が存在するが、これは実試験回路状態と異なる状態で、試験回路の良否を判定することになる。この事実だけ見ても単位応答測定の位置付けが疑われる。

但し、実用面で各種応答時間を計測し、これを基準に測定系の評価するのは有用であるとの一般認識は健在である。

この様な流れに沿って、D. Kind 等も、比較試験法の具体的手法を紹介した。即ち、電圧比、時間特性の比較の明確な基準測定系と、任意の測定系とを比較試験し、裁断時間を変えつつ、これと波高値、裁断時間誤差との関係曲線を描いて、任意測定系が IEC の許容誤差範囲に適合する裁断時間領域を図から、一目でつかむ方が実用的である。即ち、各種応答時間から判断するより実務向きだとした。この種の特性表示法が現在の比較試験でも多用されている¹²⁾¹³⁾。

反面、本格的に調査される様になると、比較試験法に纏わる諸問題が出てきた。決して不思議はない。最も注目すべきは Y. X. Zhang 等の論文で、比較試験の時二台の分圧器が近接せざるを得ないが、その時両者間で相互誘導があり、誤差を誘発し合うと言うものである。特に、これから比較試験が一般化する時、留意せねばならない重要な問題点である¹⁴⁾。特に、二台の中の一台が振動性の場合 (減衰抵抗無し等)、その振動が他方へも影響し、他台の誤差をも誘発する。同様のことを R. C. Hughes 等も最近発表した。

また、Yu Cunyi は単位応答を測定する時に印加する単位電圧の立ち上がり時間が測定される応答時間に影響することを発表した。即ち、立ち上がり時間 T_r の単位電圧を、真の応答時間 T_0 の測定系に印加する時、測定

される応答時間 T_1 は下式になることを指摘した¹⁵⁾。

$$T_1 = T_0 + T_r$$

IEC Pub. 60 が発行されてからも本年の 9th ISH (International Symposium on High Voltage Engineering) at Graz では、新規格に尚も潜在する問題点や各国の新規格に対する取り組みが紹介されたがここでは割愛する。

2. 認定制度の導入

この様な多岐にわたる各方面の研究結果が実り、比較試験法が脚光を浴びるようになると、何か最も信頼できるものを真正とし、これとの比較において、他の信頼性を判断することになる。即ち、真正なるものを基準とした認定制度が確立されねばならない。

勿論、従来から電圧波高値の測定そのものは球ギャップのフラッシュオーバー電圧を基準にしているが、この思想は今後とも変りない。この球ギャップのフラッシュオーバーによって測られる電圧波高値の不確かさは $\pm 3\%$ と考えられている。但し、その際空中火花によって照射して置くことが必要である。問題はインパルスの場合、電圧の急激な時間的変化を正確に測定することを目的としているから、波高値の測定と同時に、波形の正確な測定が必要なわけで、電圧と時間との二要素が絡む物理量の測定の難しさがここにある。換言すれば、電圧、時間を各々単独で正確に測ることは原器に照らして、測定器を容易に校正できるが、二要素を同時に校正することの難しさがここに存在すると考えてもよい。

2.1 RMS

さて、このような背景において、先ず必要なものは、国家的あるいは国際的基準となる基準測定系を設立する必要がある。これが新規格で定義された Reference Measuring System (基準測定系、以下 RMS と略称する) である。

(1) これは他の測定系との比較試験によって、満足なものであり、また国内的、国際的に Traceable (原器との繋がりにおいて校正されたもの) なものでなければならない。分圧比の不確かさは $\pm 0.5\%$ と規定された。

(2) 代案として、表 2 の様な特性を有する必要がある。

これらの試験は少なくとも五年に一度実施され、RMS として自他が認め合わねばならない。この RMS は国家に一台は最低限度必要と思われるが、必ずしも必要とせず、他国の RMS に依存することもあり得る。また、任意の機関例えば、学術研究機関や企業などが自機関の測定系を RMS として、認定申請することもできる。

表2 新規格における RMS に対する要求

各種 応答時間	全波、 波尾裁断波	波頭 裁断波	開閉 インパルス	電流 インパルス
T_N	$\leq 15 \text{ nS}$	$\leq 10 \text{ nS}$	—	—
T_r	$\leq 200 \text{ nS}$	$\leq 150 \text{ nS}$	$\leq 10 \text{ uS}$	—
T_a	$\leq 30 \text{ nS}$	$\leq 20 \text{ nS}$	—	$0.1 T_1$
T_o	—	$\leq 2.5 \text{ nS}$	—	—

各種応答時間の定義は付録を参照のこと。

2.2 AMS

他方、我々が日常使用する測定系は上述の基準測定系に照らして校正を受けねばならない。ここに比較校正制度が必要となる。即ち、我々が日常使用する測定系は前述の RMS と比較校正されて初めて、取引上使用可能となる。これが新規格で定義された Approved Measuring System (承認された測定系、以下 AMS と略称する) である。

ここに国家的あるいは国際的比較校正制度が必要となる。

3. AMS の必要条件

3.1 AMS 資格獲得、維持の為の試験

上記のような AMS 資格を得るための手順、試験は下記の通りである。

(1) 受入試験 (Acceptance Test)

測定系として初使用する前の試験

(2) 性能試験 (Performance Test)

初使用後定期的に毎年或は五年に一度行う試験

(3) 性能チェック (Performance Check)

測定系の安定性を適当な間隔でチェックする試験

これらの試験結果は克明に性能記録 (Record of Performance) として残され、毎回の試験時に前回のものと比較される必要がある。これらの試験内容を次節で説明する。

3.2 AMS に期待される性能

上記のような試験によって、AMS がインパルス電圧測定に対して期待される諸性能は下記のようなものである。

(1) 全波電圧の波高値を不確か $\pm 3\%$ 以下で測定できること

(2) 裁断波電圧の波高値を以下のような不確かさで測定できること

波頭裁断波に対して、 $\pm 5\%$ $0.5 \mu\text{S} \leq T_c < 2 \mu\text{S}$

波尾裁断波に対して、 $\pm 3\%$ $T_c \geq 2 \mu\text{S}$

(3) 波形を決定するための時間パラメータ (波頭時間、波尾時間、裁断時間) を $\pm 10\%$ 以内で測れること

(4) 重畳する振動を規格で決められた許容レベルを越えることなく測れること。

更に、この AMS には下記のような性能が要求される。

(5) 分圧比の安定性

分圧比は性能記録 (Record of Performance) に記載された外気温度、絶縁距離範囲内で $\pm 1\%$ 以上変化しないこと。

(6) 動特性

性能記録に記載された範囲の波形で、電圧波高値、時間パラメータを測定する場合、動特性は的確であること。即ち、

(A) 分圧比が全波電圧に対して $\pm 1\%$ 、波頭裁断波に対して $\pm 3\%$ 以内で一定のこと

(B) 時間パラメータの不確かさが $\pm 10\%$ 以内で一定のこと

(C) インパルスに振動が重畳する場合、測定系の上限周波数 f_2 はあるいは部分応答時間 T_a が下記の範囲であること

波頭振動の場合、 $f_2 > 5 \text{ MHz}$, $T_a < 30 \text{ nS}$

$f_2 > 10 \text{ MHz}$, $T_a < 15 \text{ nS}$

4. AMS の試験法詳細

前節でのべた各種試験の詳細をインパルス電圧測定に対するものを中心に概説する。

4.1 受入試験

この試験は、測定系として組み立て初使用する前の試験で、下記のようなものからなっている。但し、接続線、測定器まで含める必要はない。即ち、分圧器単体を対象として良い。

(1) 分圧比 (Scale Factor)

下記のどれかによって決定する。

(A) 測定系への入力量、出力量の同時測定

(B) ブリッジ法

(C) 要素のインピーダンス測定からの計算値

(2) 直線性 (Linearity)

測定系の使用電圧最高値、最低値、これらの中間三値の合計五点で測定し、これらの五値がその平均値より $\pm 1\%$ 以上変わらないこと。

(3) 短期安定性 (Short Term Stability)

測定系が予定される連続使用時間、全波電圧を連続印

加し、その後直ちに（10分以内）、分圧比を測定し、前後での差が1%以内

(4) 長期安定性 (Long Term Stability)

測定系要素の電圧、電流、温度による変化を調べるもので、前後の性能試験迄に分圧比が1%以上変化しないこと。

(5) 温度効果

外気温度の変化による分圧比の変化を要素の温度係数によって計算或は実測により決定する。

(6) 近接効果 (Proximity Effect)

測定系が近接する接地壁や課電物の影響を受けないことを調べるもので、接地壁や課電物からの距離を変えて、その範囲内で分圧比の変化が1%以下のこと。

(7) 動特性 (Dynamic Behaviour)

(A) 周波数特性 (Amplitude/Frequency Response)

正弦波入力電圧を印加し、出力電圧を測定する。

(B) 単位応答 (Step Response)

単位電圧を印加し、出力電圧を測定する。但し、印加する単位電圧の立ち上がり時間は部分応答時間 T_a の1/10以下のこと。

(8) 耐電圧 (Withstand Voltage)

測定系が定格使用電圧の110%電圧に耐えること。

4.2 性能試験

インパルス電圧測定系として、校正を受けるための試験で、実使用場所で実施されるのが原則である。

(1) 直線性

直線性試験は被試験 AMS が使用されるであろう夫々の極性で、単一波形の雷インパルスを使用して実施する。裁断波に対する直線性も全波電圧で行って良い。下記の三方法のどれかで実施すれば良い。

(A) 球ギャップとの比較

被試験 AMS の最高電圧、最低電圧、及びこの中間の三電圧値に対して、大気補正を必要としない様短時間に行う。五電圧における球ギャップのフラッシュオーバー電圧と被試験 AMS から得られた電圧値の比が平均種の $\pm 1\%$ 以内であること。

(B) 多段積み分圧器の場合

この場合には、各段の分圧器での型式試験、各段の直線性試験、全体として組み立てられた分圧器が定格電圧で可視コロナの発生のないこと。

(C) 充電電圧との比較

被試験 AMS の最高電圧、最低電圧、及びこの中間の三電圧値に対して、測定された電圧値と充電電圧値との比が平均種の $\pm 1\%$ 以内のこと。

(D) 電界計測値との比較

測定される電圧に比例して電界が発生すると思われる場所に電界計を設置し、被試験 AMS の最高電圧、最低電圧、及びこの中間の三電圧値に対して、測定された電圧値と対応する電界計の読みとの比が平均種の $\pm 1\%$ 以内であること。

(2) 分圧比

基本的に、RMS と被試験 AMS とを並列配置にし、同一入力電圧に対する出力電圧を同時測定する。前者で測られた入力電圧を後者の出力電圧で除して、 F_i を算定する。

これを10回繰り返す、その平均値 F_m をも算定する。下式で算定される標準偏差が F_m の1%以下であれば F_m がこの被試験 AMS の分圧比である。

$$S = \sqrt{[\sum (F_i - F_m)^2 / (n - 1)]}$$

但し、RMS に高電圧を印加出来ない場合、AMS 定格電圧の20%電圧で実施しても良いこととなっている。(従って、AMS の定格電圧近くで実使用する時の分圧比精度に対する保証が無いことが問題点であるとして議論を呼んだ)

代案として、測定系各要素の分圧比の積として求めることもできる。

インパルス電圧に対しても、上記規定のもとで、下記のどれかの方法で実施する。

(A) 二つの波形を用いての比較試験

RMS との比較試験で実施する。即ち、被試験 AMS の測定可能な波形範囲 (Nominal Epoch) に対して、二つの異なる波形を使用して求められる。

全波電圧、波尾裁断波に対して、

短波頭時間 t_{min} と長波頭時間 t_{max} の二波頭時間を用い、何れも波尾は長波尾時間 t_{2max} とする。

波頭裁断波に対して、短裁断時間 t_{min} と長裁断時間 t_{max} の二波形を用いる。

(B) 一つの波形を用いての比較試験と単位応答測定

被試験 AMS が実使用されるであろう短波頭時間 t_{1cal} 、最長波尾時間 t_{2max} の一種類の全波電圧用い実施する。また単位応答を測定し、短波頭時間 t_{1cal} での応答レベルと測定可能な波形範囲での基準レベル (Reference Level) との差が下記を上回らなければ良い。

全波及び波尾裁断波に対して、 $\pm 1\%$

波頭裁断波に対して、 $\pm 3\%$

あるいは、単位応答が高周波振動が重畳する場合、

全波及び波尾裁断波に対して、整定時間 T_s が t_{\min} 以下であること

波頭裁断波に対して、残留応答時間 T_R が $t/200$ 以下

単位応答は t_{\min} から $t_{2\max}$ の範囲で5%以上変化しないこと。

(C) 要素の分圧比から求める法

更に代案として、被試験 AMS の要素の分圧比と総合組立測定系の単位応答から分圧比を決定する方法もある。ここでは詳細を割愛する。

なお、単位応答特性によって被試験 AMS の資質を決定する場合、記録として下記を留めなければならない。

単位応答の記録、規約原点 O_1 、及び基準レベルに対応する水平線の記録、 T_a 、 T_N 、 T_s 、 β の記録

(3) 動特性

前項の分圧比決定の方法と同様で測定される各種時間パラメータには下記が要求される。

(A) 各種時間パラメータ (Time Parameter) は RMS のその $\pm 10\%$ 以内のこと。

(B) 被試験 AMS と RMS との各種時間パラメータの比の標準偏差が5%以下のこと

代案として、被試験 AMS の単位応答を計測し、当該の応答パラメータが規格の要求を満足していれば良い。

(4) 障 害

被試験 AMS の電送入力端子を短絡した状態で、測定系に課電した場合の出力電圧を計測する。その大きさは正規に出力電圧を計測する場合の出力の1%以下のこと。

4.3 性能チェック

頻度高く行われるインパルス電圧測定系に対するこのチェックは分圧比と動特性を対象に実施される。その方法は下記三法のどれかで行えば良い。

(1) 測定系要素の分圧比及び単位応答のチェック

前回の分圧比記録と比較して $\pm 1\%$ 以内の不確かさなら合格である。また、前回の単位応答と比較して変化が認められないこと。

(2) 他の AMS との比較

他の AMS との分圧比の不確かさが3%以下なら合格である。

(3) 球ギャップを使用しての分圧比及び単位応答チェック

球ギャップのフラッシュオーバー電圧と AMS から求められた電圧との不確かさが3%以内なら合格、また、前回の単位応答と比較して変化が認められないこと

ま と め

IEC Pub. 60新規格で探求されているインパルス電圧の測定精度を概説するに当たり、今回の改定に先立つ歴史的経緯を簡単に述べ、インパルス電圧の測定において、その精度を確保することの難しさに言及した。今回の規格として絶対的なものでなく、従前より進歩させることを狙ったものであることは関係者全員が承知している。

他方、残念なことに、我が国には、インパルス電圧測定系に関する認定、校正精度が未だ確立されていない。これは欧州の一部の国々と同様であるが、今後国際協調の基に早急な認定、校正精度確立の作業が必要とされる。

(附) 高電圧インパルスの測定法と関連する用語

変圧器などの高電圧機器の高電圧試験を実施する場合を想定して、その試験回路を図示すれば、付図1の様になる。各々の部分の呼称は図中に記した通りである。この中で、#4-#8が測定系である。付図中 #5は所謂分圧器であって、インパルス電圧測定時、多くの場合、抵抗分圧器が用いられるので、以降これに限定して話を進める。

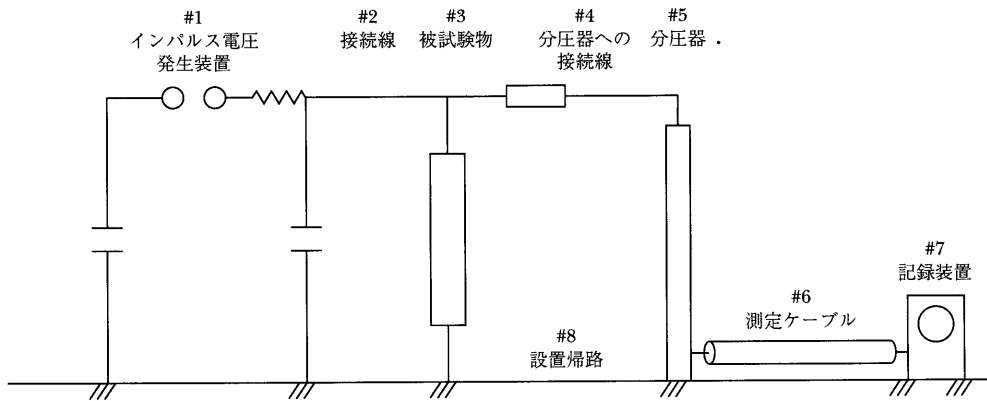
この分圧器部分の等価回路は付図2のごとくなる。ところで、被試験物に印加されるインパルス電圧は付図3の様な波形で、全波、波尾裁断、波頭裁断がある。全波電圧は波頭長 $T_1=1.2 \mu\text{s}$ 、波尾長 $T_2=50 \mu\text{s}$ が標準とされている。実務的に波高値は3000 kV 以下と考えて良い。

勿論これらの電圧を直接測る術もなく500-1000 V 程度の測定器を接続できる程度の低減電圧にするため分圧器が必要となる。換言すれば、分圧器に課せられる機能は波形を忠実に伝達し、波高値を正確に低減できることである。

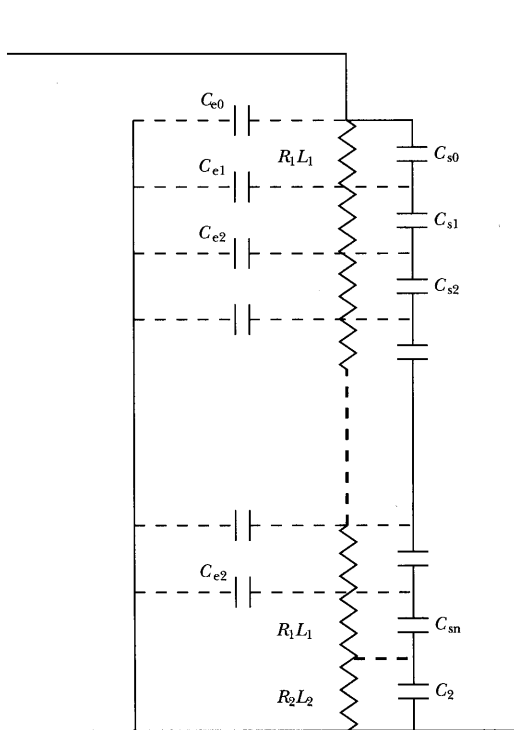
試験回路、等価回路に振り返って考えれば明らかのように、被試験物に印加した電圧が測定系を経て、オシロ上に原波形を忠実に現せ得るか否かは測定系の回路条件により千差万別である。そこで、測定系の特性を表現するために幾つかの特性値が必要となる。以下これに用いられる用語定義を説明する。(付図4を参照のこと)

(1) Normalized Step Response (単位応答) $g(t)$

直角波入力電圧に対して出力電圧の最終値が1になるように正規化された直角波応答

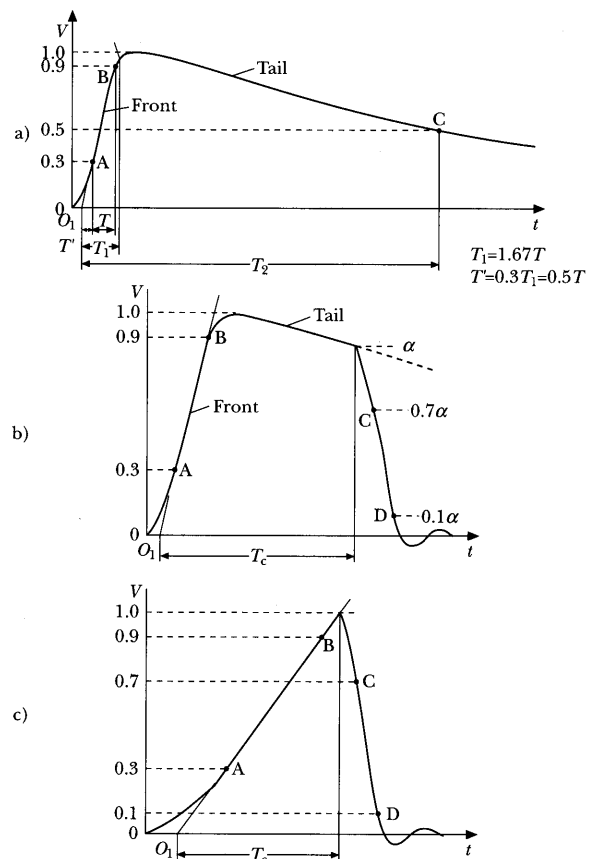


付図1 インパルス電圧測定系



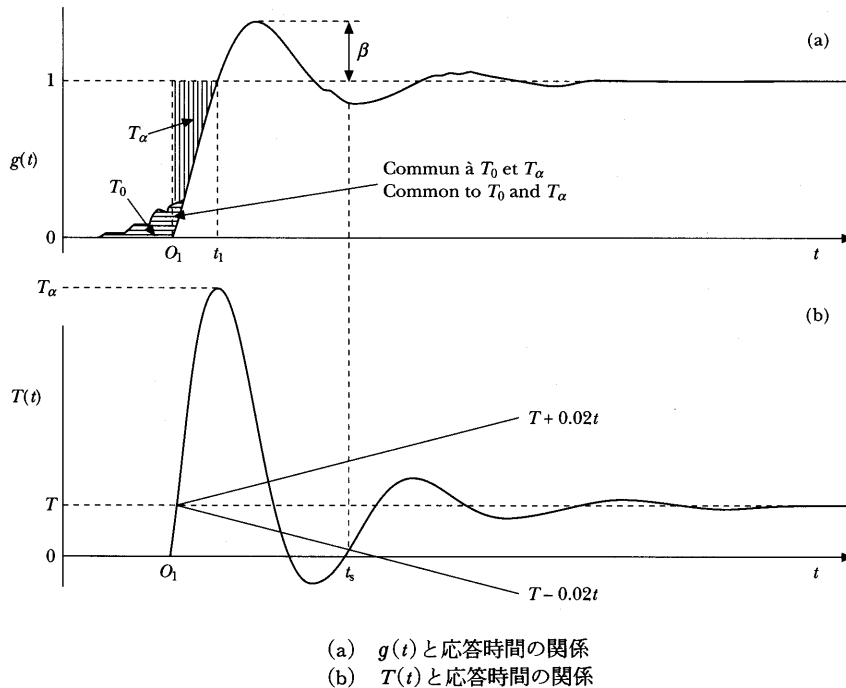
C_{en} : 対地静電容量
 C_{sn} : 直列方向静電容量
 $R_1 L_1$: 抵抗体の抵抗
 及残留インダクタンス

付図2 分圧器等価回路



(a)全波 (b)波尾裁断波 (c)波頭裁断波
 T_1 : 波頭長 T_2 : 波尾長
 T_c : 裁断時間 O_1 : 規約原点

付図3 インパルス電圧波形の種類



付図4 各種応答時間の定義

(2) Step Response Integral (応答積分)

$$T(t) = \int_{O_1}^t [1 - g(\tau)] d\tau$$

但し, O_1 は直角波応答の規約原点で, 応答波頭の最大傾斜接線が時間軸と交差する点

(3) Experimental Response Time (応答時間)

$$T_N = T(t_{\max})$$

(4) Partial Response Time (部分応答時間)

$$T_\alpha = T(t_1)$$

但し, t_1 は $g(t)$ が最初に振幅 1 に達する時間

(5) Residual Response Time (残留応答時間) T_R

$$T_R(t_i) = T_N - T(t_i) = \int_{t_i}^{t_{\max}} [1 - g(\tau)] d\tau$$

(6) Over Shoot (過振動)

$\beta: g(t)$ が 1 を超える最大値

(7) Initial Distortion (初期歪) T_0

時間軸, $g(t)$ 及び波頭最大傾斜線によって囲まれる面積

(8) Settling Time (整定時間)

$$T_s: |T_R| = |T_N - T(t)| < 0.02 T_s$$

T_R が t の 2% 以下となる最初の時間

括弧内の和訳は必ずしも標準用語になっていないものもある。

参考文献

- 1) IEC Pub. 60. 1-4 (1973-1977): High Voltage Test Techniques.
- 2) IEC Pub. 60. 1, 2 (1989-1994): High Voltage Test Techniques.
- 3) F. C. Creed et al: Step Response of Meas. System for High Impulse Voltages. PAS-86, No. 11, P1408-1420, 1967/11.
- 4) CIGRE SC33: Facing UHV Measuring Problems. ELECTRA NO. 35, P157-254, 1974.
- 5) K. Schon et al: Reconstruction of High Impulse Voltage Considering the Step Response of the Measuring System. PAS-101, No. 10, P4147-4155, 1982/10.
- 6) N. Hylten-Cavallius et al: A New Approach to Minimize Response Errors in the Measurements of High Voltage Impulses. PAS-102, No. 7, P2077-2091, 1983/7.
- 7) Qi, Qing-Chen et al: Investigation of Errors Related to the Measured Virtual Front Time T_l of the Lightning Impulses. PAS-102, No. 8, P2379-2390, 1983/8.

- 8) T. R. McComb et al: International Comparison of HV Impulse Measuring Systems. IEEE 88 SM 635-5.
- 9) A. Bonamy et al: HV Comparative Measurement. 6th ISH. 1989 No. 20. 02.
- 10) T. R. McComb et al: Comparative Measurements of HV Impulse to Evaluate Different Sets of Response Parameters. IEEE 90 WM 056-2 PWRD.
- 11) A. Bonamy et al: International Comparison of HV Impulse Dividers. 7th ISH. 1991 No. 61. 07.
- 12) D. Kind et al: Chopping Errors for Characterizing HV Impulse Dividers. 5th ISH. 1987 No. 72. 02.
- 13) D. Kind et al: The Calibration of Standard Impulse Dividers. 6th ISH. 1989 No. 41. 10.
- 14) Y. X. Zhang et al: Interaction Between Two Dividers in Simultaneous Comparison Measurements. IEEE 88 SM 637-1.
- 15) Yu Cunyi: The Influence of Input Step Front on Measured Response Time. 7th ISH. 1991 No. 61. 02.