

# 出力波形観測器機能付き ns高電圧パルスジェネレータの試作

黒川 正明 (電気・電子工学科)

## 1. はじめに

近年の電力需要の高まりによって供給電力の容量の増大、効率化等により、昭和50年代にはEHV(500kV)送電が行われ、最近では、UHV(1000kV)の送電が実用化されている。発電所、変電所等で設置している変圧器、遮断機等の電力機器が十分な絶縁耐力を有しているか確認するために耐電圧試験を行う必要がある。試験には雷インパルス、開閉インパルス等があり、その際インパルス発生装置が用いられる。この発生装置のインパルス電圧波形を測定するために図1のような分圧器<sup>1)</sup>が必要となる。その分圧器が正しく電圧を分圧していることを検証するために、分圧比の確認及び応答の確認をしておかなくてはならない。今回、MV(1000kV)



図1 分圧器

級インパルス分圧器の直角波応答試験に対応できることを想定して、波形立ち上がり時間がns( $1 \times 10^{-9}$ s)オーダの高電圧パルスジェネレータを試作した。また、この波形の立ち上がり時間を検証するための高電圧波形モニタを開発したので報告する。

## 2. パルスジェネレータの試作

### < 2. 1 > パルスジェネレータの仕様

国内の大学、研究所にに所有されているMV級インパルスの分圧比は表1に示すように約数万分の一である<sup>1)</sup>。直角波応答試験でこれまでに使用されているパルスジェネレータ(PG)の出力は高々1kV程度であるので、先の分圧比では出力が数十mV程度となり、デジタルオシロ(DSO)の感度、S/Nを考慮するとMV級分圧器の試験にはPGの出力電圧が不足している。これよりPGの出力を従来より可能な限り大きくし数kVとする。

	分圧比	部分応答時間(ns)
分圧器A	13535.5	16.5
分圧器B	18070	31.1

図2に直角波応答試験における分圧器の応答波形を示す。部分応答時間として定義される $T\alpha$ は表1で示すように、20 ns前後の高速の場合もあることから、PGの出力はこれより十分速い立ち上がり速度を持つことが必要である。

モニタについてはPGの波形の立ち上がり部分を正確に評価するため、PG出力より高速である必要がある。

以上これらを総合的に判断して、PGの仕様の目標値を充電電圧を5 kV、立ち上がり時間を数 ns 以内、モニタ部の立ち上がり時間をその数分の一とした。

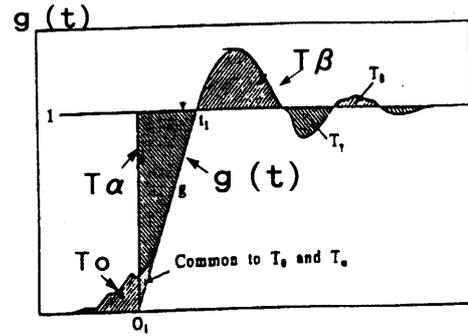


図2 直角波応答波形

### < 2. 2 > 部品の選定・回路構成

先に目標とした仕様を実現するために、波尾部での減衰の小さいラインパルサ方式を採用し、図3に示すPG回路構成にある各種スイッチ、コネクタ、充電用線路の耐電圧、周波数特性等の性能を十分調査した。また、同一型式の部品の特性においても製造メーカーによって、実際の性能にばらつきがあるため比較を行い部品の選定を行った。使用する部品の特性について表2に示す。スイッチについては、水銀リレーはIGBT、サイリスタ等の半導体、サイラトロン等真空管と較べて、立ち上がりの速さ、波頭部に発生するチャタリング発生の有無等から見て十分優れているので水銀リレーとした。充電用線路については耐電圧や高周波減衰特性を考慮した。コネクタについては高周波同軸コネクタの中から耐電圧が高く、形状種別が比較的多いHNを使用した。

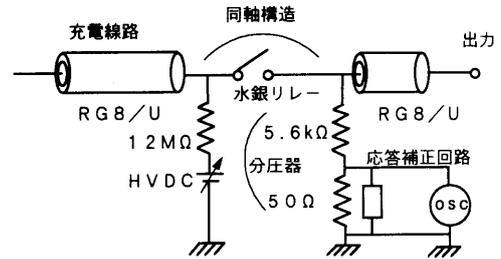


図3 パルスジェネレータの構成

実装にあたっては、充電用同軸ケーブルからパルス出力端まで波形の伝搬が良好になるように回路全体が同一特性インピーダンスの同軸構造になるように留意した。しかし、図4に示す水銀リレーについては、形状が複雑であるため特性インピーダンスを合わせるために、工作技術センターで製作した真鍮製円筒ホルダーに収納し同軸構造となる様にした。

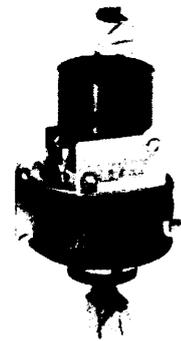


図4 水銀リレー

表2 使用部品の各特性

	水銀リレー	コネクタ	同軸ケーブル
部品名	CFCH-396	HN	RG8/U
耐電圧 (kV)	5	5	5.6
周波数特性 (GHz)		3	2

### < 2. 3 > 高電圧波形モニタの製作

電圧波形モニタについては、小型で高電圧高速パルスの計測ができるよう図3に示す抵抗分圧器をとした。高圧部は耐パルス用セラミック抵抗器を用いた。低圧部は高圧部より残留インダクタンスが小さく、高周波特性の優れた抵抗体を使用する必要があるため<sup>2)</sup>、表面実装用の小型角形チップ固定抵抗器を用いた<sup>3)</sup>。また、応答波形には高圧部の抵抗体が持つ漂遊容量による影響が重畳するので、これを補償する目的で低圧部に並列容量を付加した。この容量にも周波数特性が優れ、残留インダクタンスの小さい積層セラミックチップコンデンサを使用した<sup>3)</sup>。実装においては、ベタアースのプリント基板に部品足の長さが最小になるようにし、さらに基板上に接続した入出力用コネクタ間において信号線とアースを同じ長さにする等の工夫をし、良好なる高速パルス伝搬特性が得られる様にした。

### 3. パルスジェネレータの性能試験・結果

高速のステップパルス波形や応答波形の立ち上がりを正しく求める場合には、測定器の周波数帯域や入力波形の峻度を考慮した測定を行う必要がある。真の立ち上がり時間は実測の立ち上がり時間より速く、その補正には次のElmoreの式(1)が用いられる<sup>4)</sup>。

$$T_{r0} = \sqrt{T_{r1}^2 + T_{r2}^2} \quad \dots (1)$$

ただし、 $T_{r0}$  : 表示立ち上がり時間 (実測時間)、  
 $T_{r1}$  : 被測定波形の立ち上がり時間 (真の時間)、  
 $T_{r2}$  : 測定系の立ち上がり時間

PGの性能試験については、最初に高電圧波形モニタ部の直角波応答試験からを行った。モニタ部に低電圧の立ち上がり時間0.85nsの高速ステップパルスを入力し、デジタルオシロスコープ(DSO, LeCroy 9354A、周波数帯域500MHz)で測定を行ったときの応答波形を図6に示す。モニタの立ち上がり時間は1.4nsとなった。このモニタとDSOを用いて、50Ω負荷とした場合の測定したPGの出力波形を図7に示すが、立ち上がり時間は2.0nsとなった。波頭部に見られるオーバーシュートは充電用同軸ケーブルと水銀リレーホルダのインピーダンスのミスマッチによって生じたものと考えられる。水銀リレーホルダの特性イン

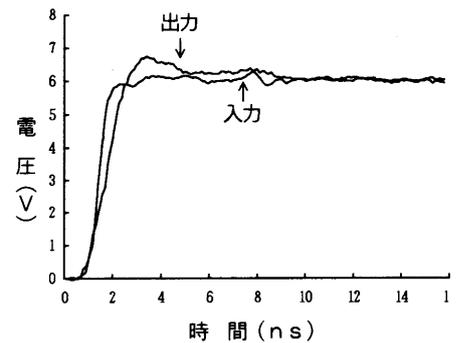


図6 モニタの応答

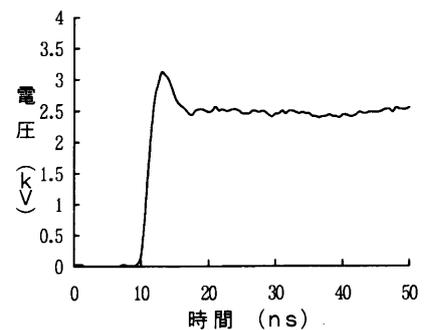


図7 PGの出力波形

ピーダンスを  $30\ \Omega$  として、P G 回路の過渡解析シュミレーションをパーソナルコンピュータで行ったところ、図 7 に示す出力波形と同様な結果を得ている。

モニタ、P G の立ち上がり時間を (1) 式を用いて補正した結果が表 3 である。P G の出力波形の立ち上がり時間は  $1.4\ \text{ns}$ 、電圧は  $50\ \Omega$  負荷時に約  $2.5\ \text{kV}$  (高抵抗負荷時に電圧  $5\ \text{kV}$ ) となり目標値を達成した。

表3 各種波形の立ち上がり時間

	実行値 (ns)	計算値 (ns)
低電圧パルス	0.85	0.48
電圧モニタ	1.4	1.1
パルスジェネレータ	2.0	1.4

#### 4. まとめ

MV 級分圧器の直角波応答試験に対応できる P G を試作するため、その分圧比、部分応答時間、試験に使用されている P G の出力等を調査し目標スペックを設定した。使用する部品の周波数特性、耐電圧特性等を十分吟味し、実装するにあたって全体が同軸構造となるように工夫を行った。製作したモニタの応答試験から性能評価を行い、次にこれを用いて P G の性能を検証した。以上より次の結果を得た。

- (1) 最大出力  $5\ \text{kV}$ 、立ち上がり時間  $1.4\ \text{ns}$  の性能を持つことが分かった。
- (2) 製作したモニタの立ち上がり時間は  $1.1\ \text{ns}$  であった。

今後、P G の出力波形の波頭部にオーバシュート部を改善するため、水銀リレーのホルダーを改良する等または、別の水銀リレーを探すことにより特性インピーダンスに整合性を持たせる等のことを試みたい。

今回 P G の試作を遂行するにあたりご指導頂いた電気・電子工学科松本隆宇助教授、水銀リレーホルダの製作を行って頂きました工作技術センターの皆様には感謝いたします。なお、本研究は文部省科学研究費 (奨励研究 B) の補助を受けた。

#### 文 献

- 1) インパルス測定システムの校正法調査専門委員会試料 IC-36~39
- 2) 高電圧試験ハンドブック (電気学会)
- 3) 新・低周波/高周波回路設計マニュアル (鈴木雅臣著、CQ出版社)
- 4) ソニー・テクトロニクス編「プローブ測定技術と活用」