

平成 21 年 5 月 11 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007 年-2008 年度

課題番号：19560279

研究課題名 (和文) 低インピーダンス負荷用雷インパルス電圧校正器の開発

研究課題名 (英文) Development of L.I. Voltage Calibrator for Low Impedance Load

研究代表者 里 周二 (SATO SHUJI)

宇都宮大学・工学研究科・教授

研究者番号：10215759

## 研究成果の概要：

現在の雷インパルス電圧校正器は対象とする負荷は  $1M\Omega$  程度の高い内部インピーダンスを有するデジタル・レコーダなどが想定されており、雷インパルス電圧波形測定システムのような低インピーダンス負荷に電圧を印加することが出来ない。この問題を解決する手法として、 $10k\Omega$  以下の負荷が繋がれた状態でも、 $1000V$  程度の校正波を発生できる校正器を製作し、発生波形を直接デジタル・レコーダに取り込むと同時に、測定システムに印加しその低圧部信号をデジタル・レコーダで記録し、記録された2つの波形を比較することにより、測定システムの応答性能を評価できることが出来るようにした。製作された校正器は、測定ケーブルの信号変歪特性の測定に使用され、顕著な効果を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電気機器工学

キーワード：

## 1. 研究開始当初の背景

雷インパルス電圧波形測定システムの校正には単位ステップ電圧校正、比較校正などがあるが、実際の雷インパルス電圧波形を加える比較校正は大きな難点があった。従来から行われていたのは、性能が明らかな分圧器と被測定分圧器に同時に電圧を印加し、両者の応答を比較する方法であるが、測定される量は、性能が明らかな分圧器に対してどれほど

不確かさがあるか (トレーサビリティ) であり、絶対的な誤差は測定できないことであった。

## 2. 研究の目的

被測定システムとデジタル・レコーダに同時に雷インパルス電圧を印加し、システムのインパルス応答を測定し、歪みのない入力波形 (デジタル・レコーダの記録) を比較す

ることにより、被測定システムの応答性能を絶対的な量として把握できるようにする。このため、負荷が 5~10k $\Omega$  (代表的な雷インパルス測定用分圧器の主抵抗の値) 程度の低い値であってもピーク値 500~1000V の歪みのない標準雷インパルス電圧波形を発生できる校正器を開発する。

このような低インピーダンス負荷用校正器が開発できれば、測定システムの評価は精度良く (デジタル・レコーダ直結)、しかも迅速、安全に (1000V 程度の低い電圧を用いる) 行うことができる。

### 3. 研究の方法

研究の方法は以下の通り、

- 1) 発生回路 (校正器) の構成素子から出力波形を計算するのではなく、与えられた波形パラメータを満たす様に構成素子の値を自動計算するプログラムを制作する。これにより、種々の想定される負荷条件であっても、波頭調整用抵抗をいくつか準備しておくことにより、標準雷インパルス電圧を発生することができる。また、残留インダクタンスの値を未知数とすることで、測定不可能な回路の残留インダクタンス (100nH 以下) を推定できる。
- 2) 製作する校正器は限りなく理想的でなくてはならない。このため、主コンデンサ及び波頭調整用コンデンサとして、電圧、周波数特性が極めて安定なマイコンデンサをつかった。また、湿式水銀リレーは電流が小さい領域 (つまり、発生電圧が低い領域) ではアーク抵抗が大きく非線形となるので、スイッチング素子として内部抵抗が電流に殆ど依存しない高耐圧 MOS FET を用いることにした。また、MOS FET のソース・ドレイン間抵抗が発生波形の波頭長に大きな影響を及ぼすため、前例のない 20 素子並列接続したものをスイッチングに用い、等価抵抗を 1/20 に低減させた。
- 3) 実際の性能の検証は分圧器が抵抗性分圧器及び制動容量型分圧器 (直列抵抗 10k $\Omega$ ) で構成される測定システムの性能検証に用い、その優秀性を確認した。また、完成した試作器は測定用同軸ケーブルのケーブルパラメータがインパルス応答パラメータに及ぼす影響を測定するためにも使われ、通常は精度良く測定することができない、単位長さ辺りの抵抗値を精度良く決定することができた。

### 4. 研究成果

本研究によって得られた研究成果は次章にまとめられた発表論文として実を結んだ。

また、以下に視覚的に成果を示してみよう。

Fig. 1 は 3. 研究の方法 1) で紹介した、与えられた波形パラメータを満たすよう素子定数を決定するプログラムである。

Windows 形式となっており、対話型で簡単に扱うことができる。

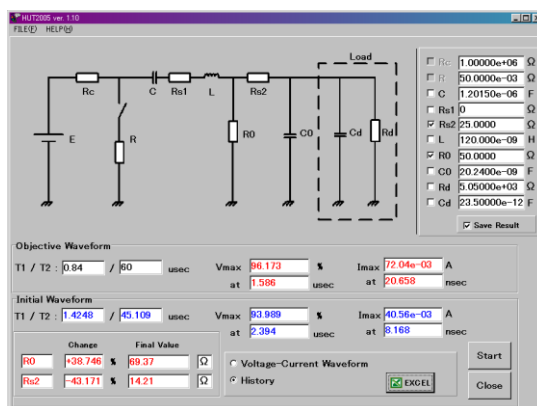


Fig. 1 Automatic Circuit Constants Determination Programme

Fig. 2 は 3. 研究の方法 2) で紹介した校正器本体の内部写真である。発生波形を考慮し、全部で 3 台製作された。

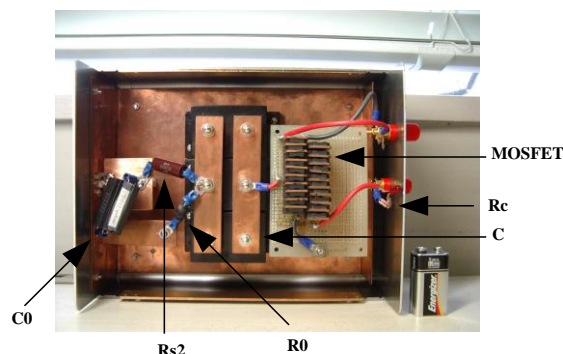


Fig. 2 overview of calibrator

これら 3 台の発生回路の回路定数の測定値及び (Fig. 1 のプログラムを用いて決定した) 残留インダクタンスをまとめたものが Table 1 である。表中、 $\leftarrow$  で示されているのは、3 台の共用部品かあるいは同じ値であるとしても、発生波形に有意な影響を及ぼさない素子である。

Fig. 3 は 3. 研究の方法 3) で紹介した実験の一つ (ケーブルパラメータがインパルス応答パラメータに及ぼす影響) を調べたとき、本研究で試作された校正器が使われたときの模様をスケッチを示したものである。

Table 1 components and measured impulse parameters for MOSFET-installed calibrator

L. I.	0,84/60	1,2/50	1,56/60
Measured	0,8153/57,45	1,190/49,89	1,555/58,89
Rc[MΩ]	1,0	←	←
C [nF]	1201,5	1201,0	1201,0
R [Ω]	0,07	←	←
Rs1 [Ω]	0	←	←
L [nH]	<b>159</b>	<b>175</b>	<b>62</b>
R0 [Ω]	66,10/ <b>66,36</b>	56,12/ <b>56,34</b>	65,95/ <b>66,26</b>
Rs2 [Ω]	13,99	20,98	27,17
C0 [nF]	20,24	19,90	19,92
Rd [Ω]	5050,0	←	←
Cd [pF]	5	←	←
Vmax [%]	<b>96,2</b>	<b>94,9</b>	<b>94,5</b>
Imax [mA]	<b>77,9</b>	<b>60,1</b>	<b>37,7</b>

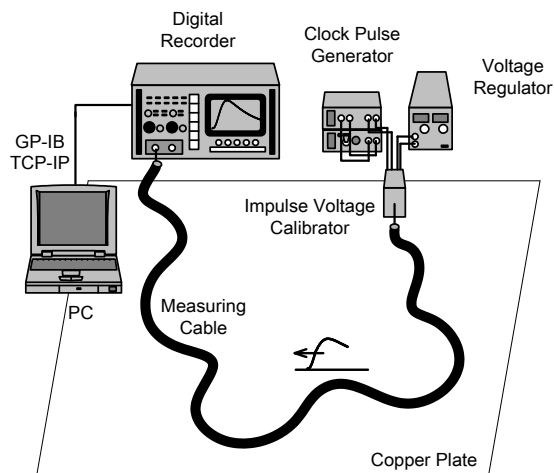


Fig. 3 Layout for Experiment. Co-Axial Cable Lies on a Copper Plate

以上説明したように、本研究ではソフトウェア開発、校正器試作、試作器の実用面での応用とすべての分野で計画通り研究が実行され、予定した成果も期待通り得られた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

(1) S. Sato and M. Sasaki: “Digitally Recorded Impulse Voltage Waveform and Its Parameters”, Proc. of 15<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, CD-ROM, T10-301 (4 pages), Ljubljana, August, 2007

(2) S. Sato: “Automatic Determination of Circuit Constants Fulfilling the Given Impulse Parameters”, Proc. of 15<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, CD-ROM, T10-313 (4 pages), Ljubljana, August, 2007

(3) J. Hällenström, A. Bergman, F. Garnacho, R. Gobbo, T. Kato, Y. Li, A. Nilsson, G. Pesavento, S. Sato and A. X. Yu: “International Comparison of Software for Calculation of Lightning Impulse Parameters Based on A New Processing Algorithm”, Proc. of 15<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, CD-ROM, T10-539 (4 pages), Ljubljana, August, 2007

(4) S. Sato and M. Sasaki: “Resolution of Digital Recorder and Evaluated Impulse Voltage Waveform Parameters”, CD-ROM Proc. of the 8th International Power Engineering Conference, Singapore, 2007, December-December

(5) 里 周二, 山口 智久, 西村 誠介, 西村 翔太: 「測定ケーブルが雷インパルス電圧波形パラメータに及ぼす影響」, 電気学会論文誌 A, Vol.128-A, No.11, pp.663-668, 2008 年 11 月

[学会発表] (計 19 件)

(1) 里 周二, 明石 真和, 山口 智久: 「制動容量型分圧器の低圧部残留インダクタンスの影響」, 平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), No.444, 2007 年, 9 月

(2)里周二, 西村 翔太:「新しい IEC-TDG に現れるインパルス電圧波形について」, 平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), No.445, 2007 年, 9 月

(3)里周二, 針谷 真人, 寺町 亨:「雷インパルス測定システムに使われるデジタル・レコーダの非直線特性」, 平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), No.446, 2007 年, 9 月

(4)里周二, 針谷 真人:「雷インパルス測定システム用デジタル・レコーダの性能評価試験について」, 第 1 回宇都宮大学企業交流会 (ポスター), 宇都宮大学 大学会館, 2007 年, 12 月

(5)松本 聡, 脇本 隆之, 里周二, 合田 豊, 榊原 高明, 河村 達雄:「高電圧試験に関する IEC 規格の最終動向と今後の検討事項」, 平成 20 年電気学会高電圧研究会 No. ED-08-18, DEI-08-18, HV-08-18, pp.1-8, 2008 年 1 月

(6)里周二, 西村 翔太, 山口 智久:「改訂 IEC 61083-2 に現れる雷インパルス電圧波形について」, 平成 19 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-07-25, pp.62-63, 2008 年 2 月

(7)里周二, 針谷 真人, 山口 智久:「デジタル・レコーダの非直線特性の測定」, 平成 19 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-07-26, pp.64-65, 2008 年 2 月

(8)里周二, 山口 智久:「制動容量型分圧器の低圧部補償解析の応用」, 平成 19 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, ETT-07-27, pp.66-67, 2008 年 2 月

(9)里周二, 針谷 真人, 西村 誠介, 佐々木 正行:「デジタル・レコーダの非直線特性の測定」, 平成 20 年電気学会全国大会論文集, Vol.7, No.082, pp.128-129, 2008 年, 3 月

(10)里周二, 西村 翔太, 山口 智久, 西村 誠

介, 佐々木 正行:「改訂 IEC 61083-2 に現れる雷インパルス電圧波形について」, 平成 20 年電気学会全国大会論文集, Vol.7, No.083, pp.130-131, 2008 年, 3 月

(11)里周二, 山口 智久, 西村 誠介, 佐々木 正行:「制動容量型分圧器の低圧部補償解析の応用」, 平成 20 年電気学会全国大会論文集, Vol.7, No.086, pp.134-135, 2008 年, 3 月

(12)里周二, 山口 智久, 西村 誠介:「インパルス電圧波形測定用同軸ケーブルの波形パラメータへの応用」, 平成 20 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), No.382, 2008 年, 9 月

(13)里周二, 山口 智久, 西村 誠介:「IEC 61083-1 に準拠したデジタル・レコーダの非直線性試験」, 平成 20 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), No.383, 2008 年, 9 月

(14)里周二, 山口 智久:「改訂 IEC 61083-2 (2009) と電圧・電流波形評価方法」, 第 2 回宇都宮大学企業交流会 (ポスター), 宇都宮大学 大学会館, 2008 年, 9 月

(15)山口 智久, 里周二, 西村 誠介:「制動容量型分圧器の低圧部補償解析の応用」, 平成 20 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, No. ETT-08-29, pp.76-77, 2009 年 2 月

(16)里周二, 山口 智久, 西村 誠介:「2 重指数関数パラメータの推定方法」, 平成 20 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, No. ETT-08-30, pp.78-80, 2009 年 2 月

(17)関 進悟, 里周二, 山口 智久, 西村 誠介:「IEC 61083-2 TDG の発生する波尾裁断雷インパルス電圧波形の処理方法」, 平成 20 年度電気学会東京支部栃木支所研究発表会, No. ETT-08-31, pp.81-82, 2009 年 2 月

(18)里周二, 山口 智久, 西村 誠介:「IEC 61083-2 TDG の発生する波尾裁断雷インパ

ルス電圧波形の処理方法」, 平成 21 年電気学会全国大会, Vol. 7, No. 119, pp.186-187, 2009 年 3 月

(19)里 周二, 山口 智久, 西村 誠介:「制動容量型分圧器の低圧部補償解析の応用」, 平成 21 年電気学会全国大会, Vol. 7, No. 123, pp.193-194, 2009 年 3 月

〔図書〕 (計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

里 周二

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし