

交流高電圧ブリッジによる絶縁障害点の検出

Method of Fault Locating by AC High Voltage Bridge

花岡 利男* 鈴木 敏雄*
Toshio Hanaoka Toshio Suzuki

岡本 邦彦* 高木 賢二郎*
Kunihiko Okamoto Kenjiro Takagi

内 容 梗 概

現在までケーブルの高抵抗障害点を適確に検出する満足な方法が得られていなかった。今回種々の方法について検討を加えた結果、交流電源を使用した高電圧ブリッジを開発実用化した。本装置によれば従来測定不可能であった高抵抗障害の場合でもケーブルを損傷することなく、絶縁障害点を検出することができる。本稿では基本的なマレー法、バレー法による検出法と諸外国の高電圧ブリッジの概要を紹介し、交流高電圧ブリッジの内容と二、三の測定結果について述べる。

1. 緒 言

ケーブルの障害点位置の測定には、従来から種々の方法が用いられてきた。障害点の種類には混線、断線、絶縁不良などがあるが、この中で断線と絶縁障害点の正確な位置測定はきわめて困難な問題である。絶縁および耐電圧障害点の位置検出には従来からマレー法、バレー法などの直流ブリッジを使用したもの、およびパルス試験器などが使用されてきた。しかしこれらの方法は、高抵抗障害の場合には、正確な障害点検出が困難である。したがってこの場合は障害点に大電流を流して接触抵抗を小さくし、上記の測定器を使用する。この目的に対してはBW (Break down and weld) 試験器⁽¹⁾などがあるが、ケーブルの損傷がはなはだしいため実用的でなく、容易かつ正確な測定法が要求されていた。

これに対しアメリカの Bell Lab およびフランス Cable de Lyon 社がそれぞれマレー法、バレー法を応用した高電圧ブリッジを発表している⁽²⁾⁽³⁾。この測定器は直流高電圧を必要とすること、ならびに放電時に発生する交流分除去のため装置が比較的大形となる。

筆者らはこの種の測定法につき種々検討を加え、交流高電圧に低電圧の直流電圧を重ねし、絶縁障害点を検出する装置を開発実用化した。本装置は現在、実際のケーブル障害点位置測定に使用し、好結果を得ているのでその内容を報告する。

2. マレー法およびバレー法

従来から障害点位置の測定に使用されている直流ブリッジ法には種々の方法があるが、最も一般的なマレー法、バレー法の基本的回路について述べる。

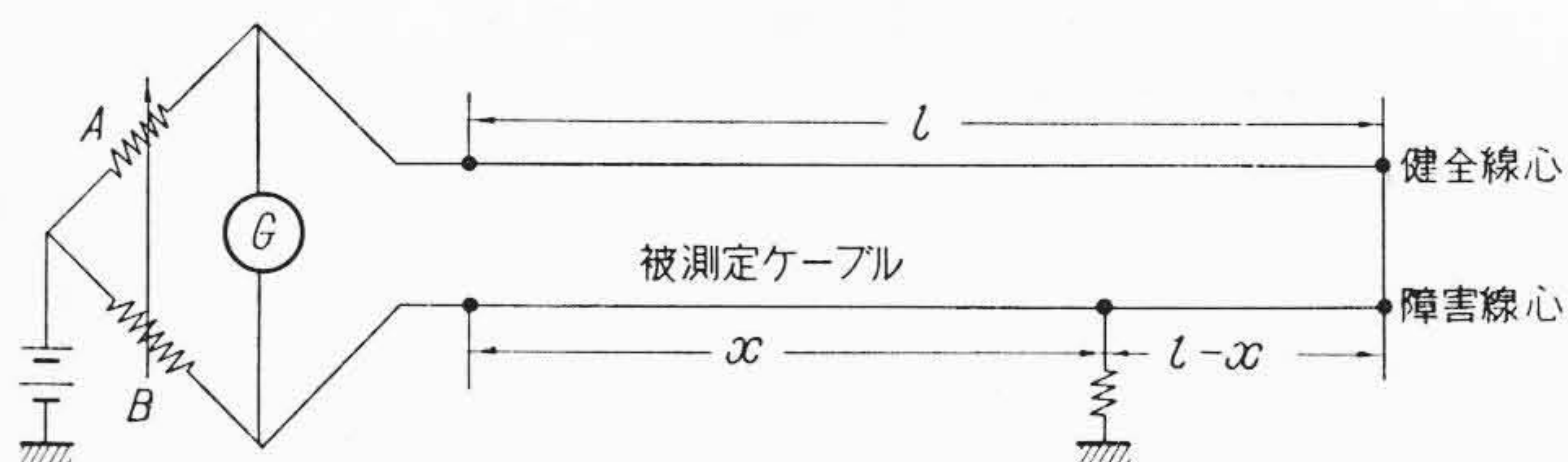
2.1 マレー法

障害が通信ケーブルの対やカッドの中の1線心であれば同一線種で障害の発生していない健全線心を1本片道として使用する。第1図のように障害点の抵抗を電源に直列になるように入れて、ブリッジの平衡を求めると、障害点までの導体抵抗は(1)式により求められるので、障害点までの距離は容易に算出することができる。

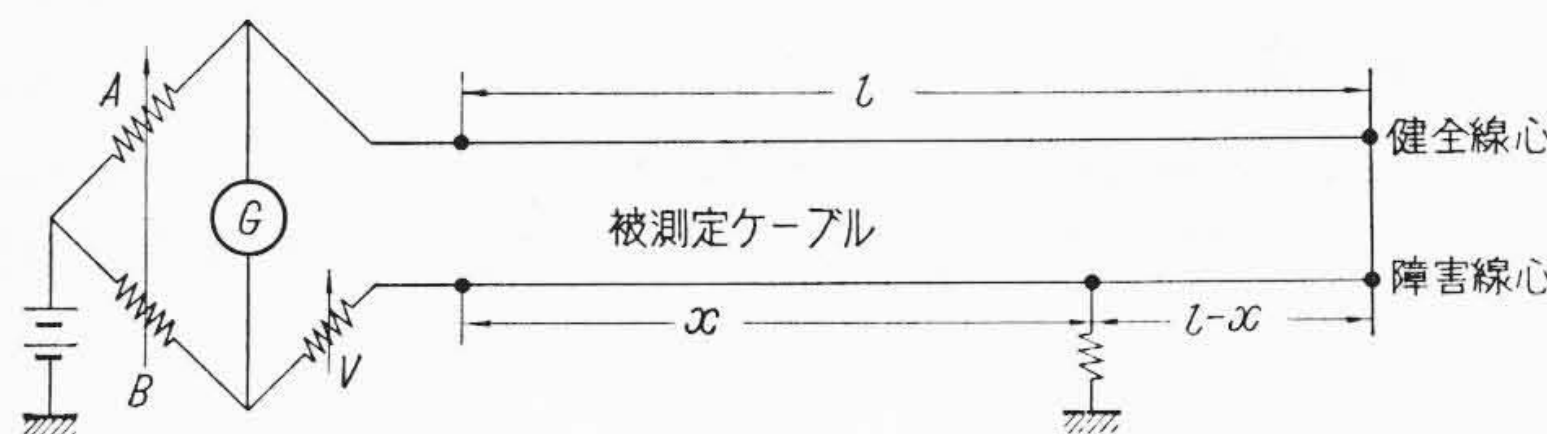
$$\left. \begin{aligned} \frac{A}{B} &= \frac{2l-x}{x} \\ x &= \frac{2l}{1 + \frac{A}{B}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし l ならびに x はそれぞれ全長の抵抗値および障害点までの抵抗値を示す。

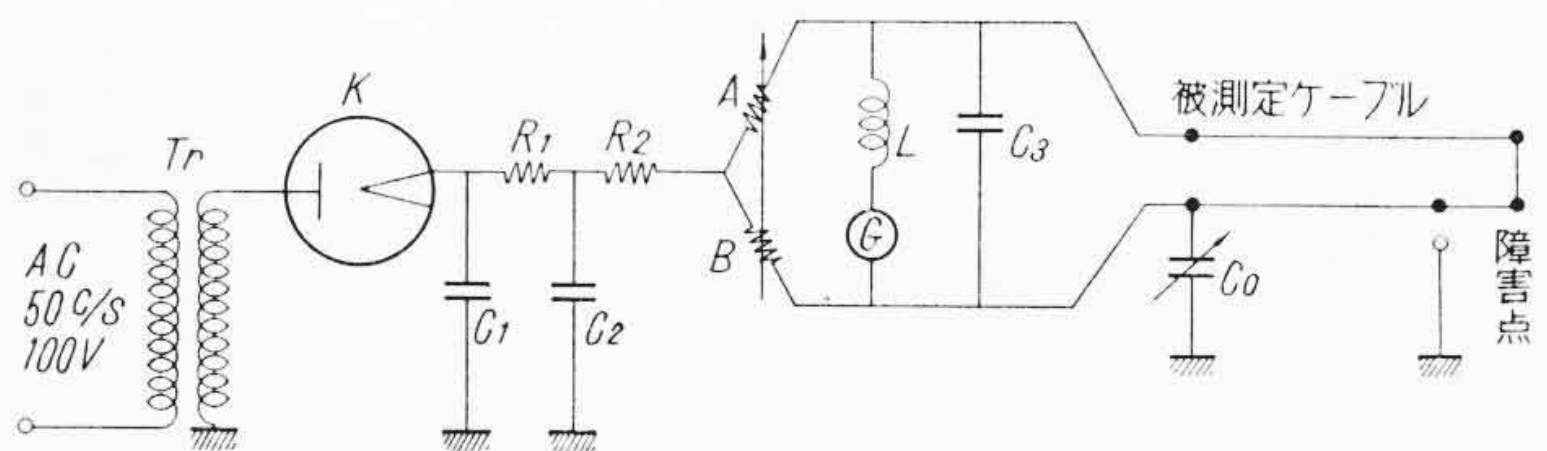
* 日立電線株式会社電線工場



第1図 マレー法



第2図 バレー法



第3図 Bell Lab の高電圧ブリッジ

2.2 バレー法

第2図のようにマレー法とまったく同様にして、(2)式より障害点距離を求めることができる。一般にマレー法は短距離線路の測定に適し、バレー法は長距離線路の測定に適する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{A}{B} &= \frac{2l-x}{V+x} \\ x &= \frac{2l - \frac{A}{B}V}{1 + \frac{A}{B}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

3. 諸外国の高電圧ブリッジ

3.1 アメリカ Bell Lab の高電圧ブリッジ⁽²⁾

本装置は第3図に示すようにバレー法を応用したものである。直流高電圧電源を用い、絶縁障害点で一定時間間隔の火花放電を発生させ、このときの充放電電流によりブリッジの平衡を求めるものである。したがってバレー法と本質的な相違はないが、電源が直流高電

圧であることと、 P_1 、 C_3 からなる“キックバランサ”により放電電流中の交流分を除去している点が異なっている。これは放電による交流分の周波数が非常に低く、普通の LC フィルタでは除去することが困難なため用いられるものである。“キックバランサ”が適当に調整された場合は放電電流中の交流分と大きさ同一で逆位相の交流分が障害点に流れ、検流計には直流分のみが流れるようになっている。

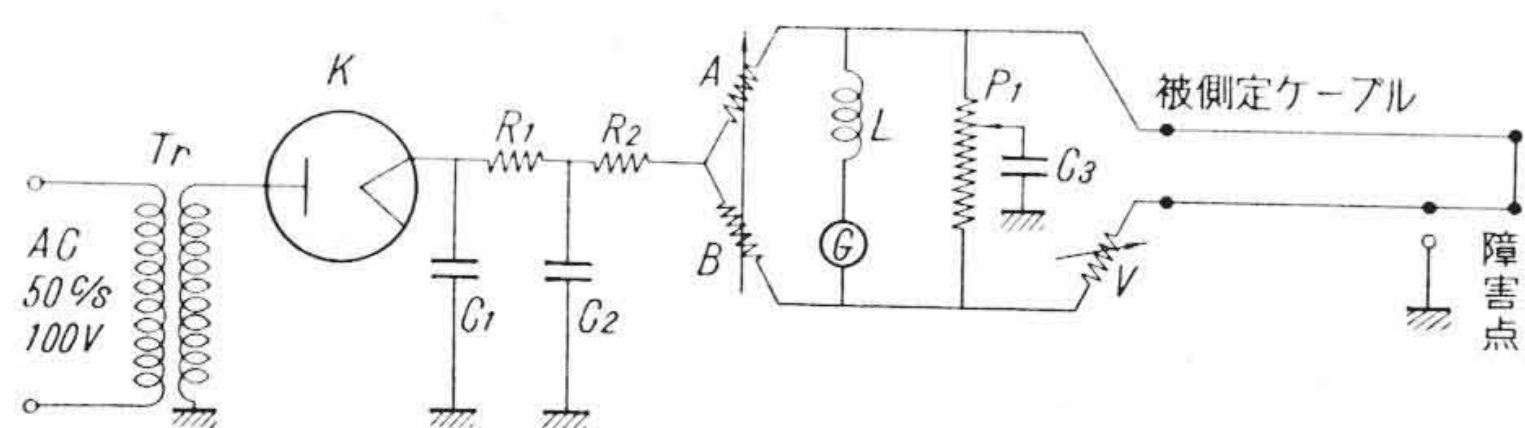
3.2 フランス Cable de Lyon 社の高電圧ブリッジ⁽³⁾

測定回路は第 4 図に示すとおりである。本装置はマレー法を応用したものであり、電源が直流高電圧であることと、放電を規則的な間隔をおいて起させるための平衡コンデンサを必要とする点が異なる。この平衡コンデンサはケーブルが短い場合は不要であるが、長くなると必要となり、しかもケーブル長に対応して可変にしなければならない。またこのコンデンサは、直流高電圧に耐えねばならぬので、装置が大形化する欠点がある。

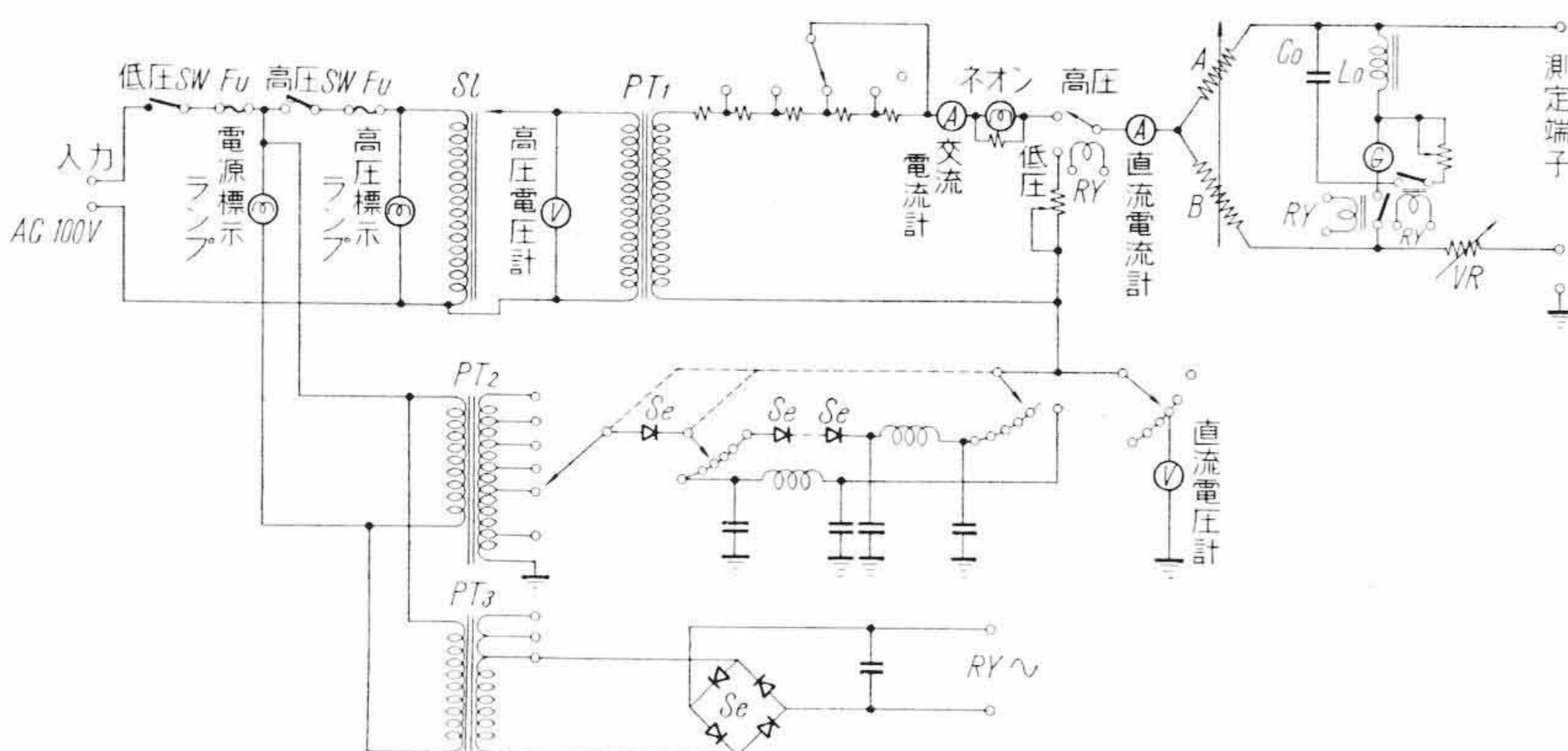
4. 交流高電圧ブリッジ

4.1 測定回路

上述の各種の絶縁障害点測定法の長所、短所について検討を加え、筆者らは次のような交流高電圧ブリッジを開発した。すなわち諸外国の高電圧ブリッジはいずれも直流高電圧を使用しているが、今回開発した高電圧ブリッジは直流低電圧と商用周波数の交流高電圧を重畳して使用している。本ブリッジでは電源が AC 100 V で容易に得られ、また“キックバランサ”および平衡コンデンサが不要で、一般の LC フィルタが使用できるなどの利点がある。本装置の回路は第 5 図に示すとおりである。商用周波の交流電圧は変圧器により昇圧され、電流制限抵抗を通り、ブリッジの高電圧端子に印加される。この電圧は障害抵抗により電圧調整器で 0~6,000 V の範囲



第 4 図 Cable de Lyon の高電圧ブリッジ



A, B: ポテンショメータ
VR: 可変抵抗器
G: 直流検流計
Lo: フィルタ用インダクタンス
Co: フィルタ用コンデンサ
Sl: 単巻変圧器

第 5 図 交流高電圧ブリッジ回路図

で可変とすることができ、また放電電流は制限抵抗により 0~50mA まで可変である。障害点における放電は内蔵するネオンランプにより確認することができる。一方低電圧端子にはセレン整流器により 0~500V の直流電圧が印加され、交流高電圧端子にこの直流電圧が常時重畳されるようになっている。

ケーブル心線のループ抵抗の測定および障害点抵抗が低い場合の測定には直流低電圧のみを使用する。これに反し障害点抵抗が高い場合は直流、交流の重畳した高電圧を使用する。すなわち交流電圧は障害点において放電させる役目を受け持ち、直流低電圧は障害点までの距離を測定するため、検流計を動作させるものである。

ブリッジ部は一般のホイートストンブリッジに放電電流中の交流分を除去する LC フィルタを付加したもので、バレー法による測定回路である。検流計には並列に可変抵抗器を入れて検流計感度を調整できるようになっている。これらのブリッジ素子は大地に対して高電位にあるので絶縁板で完全に絶縁されている。高圧、低圧端子の切替えスイッチおよび検流計感度調整用抵抗の切替えなどは高電圧による危険を防止するため、すべてリレーにより操作できるようにした。

装置が複雑化すると配線による直流抵抗の増加が考えられるのでこれらの影響がないよう配線には十分な注意を払った。

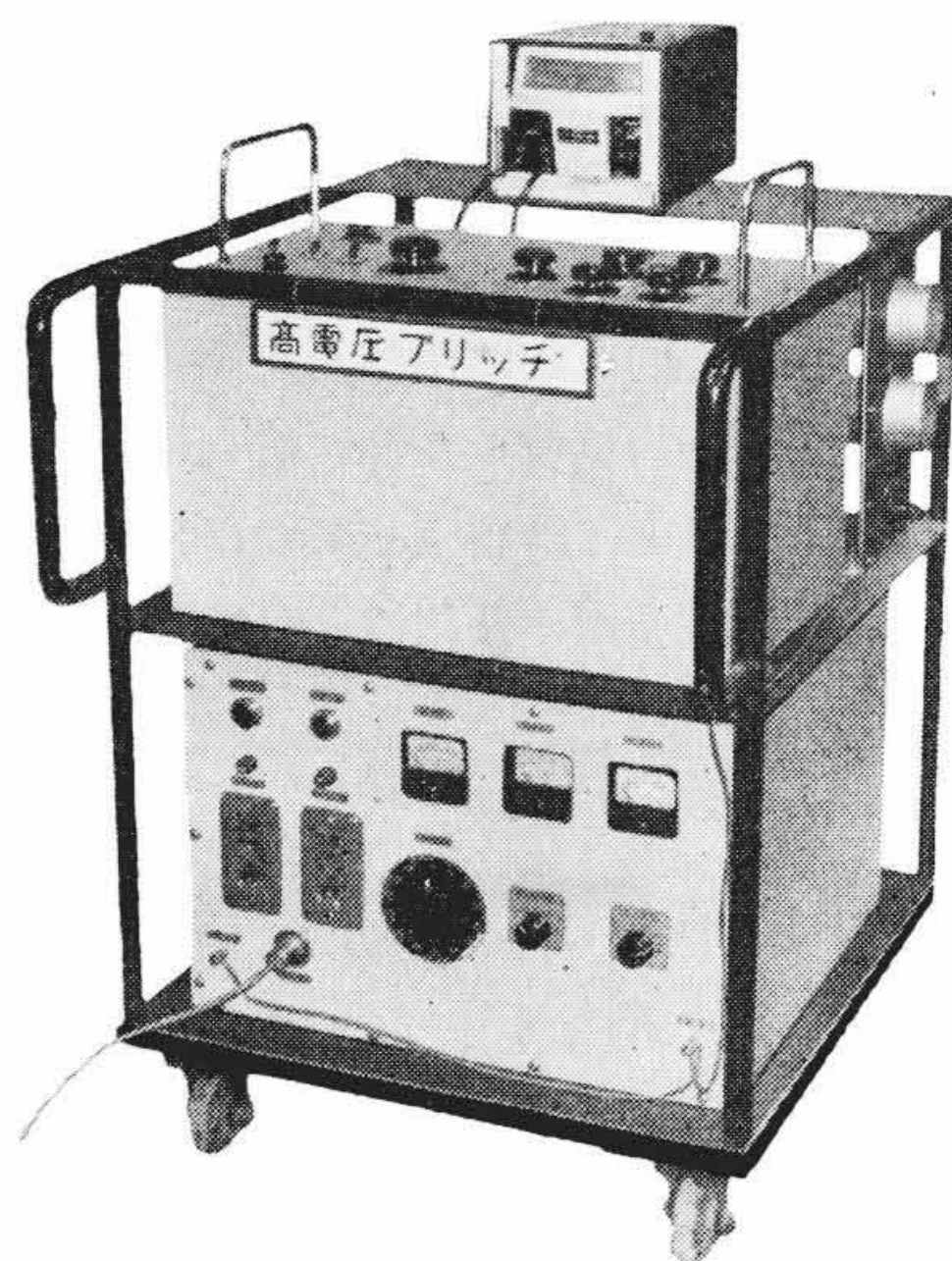
本装置の外観は第 6 図に示すとおりであるが、これらは可搬式となっている。

4.2 測定法

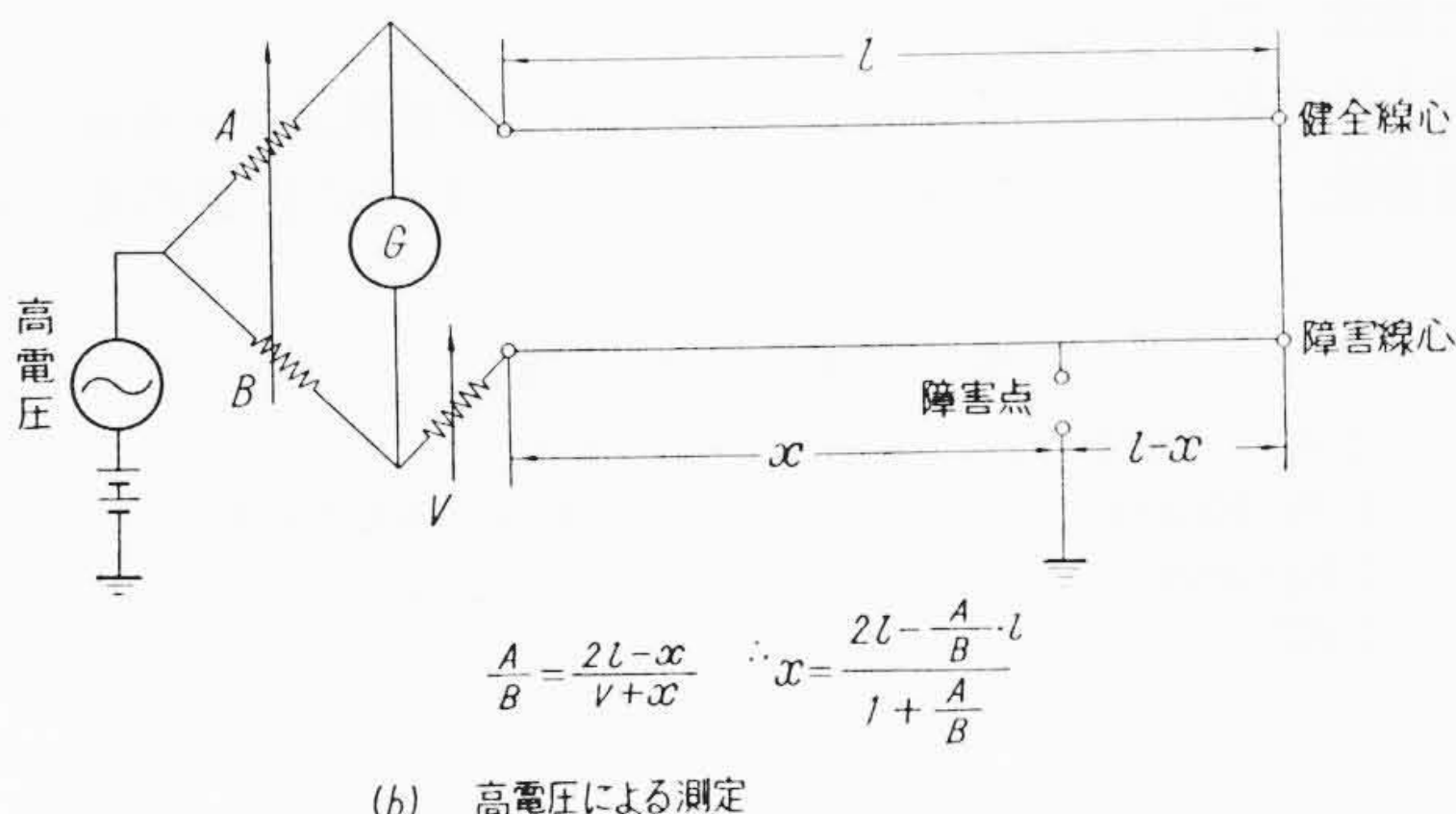
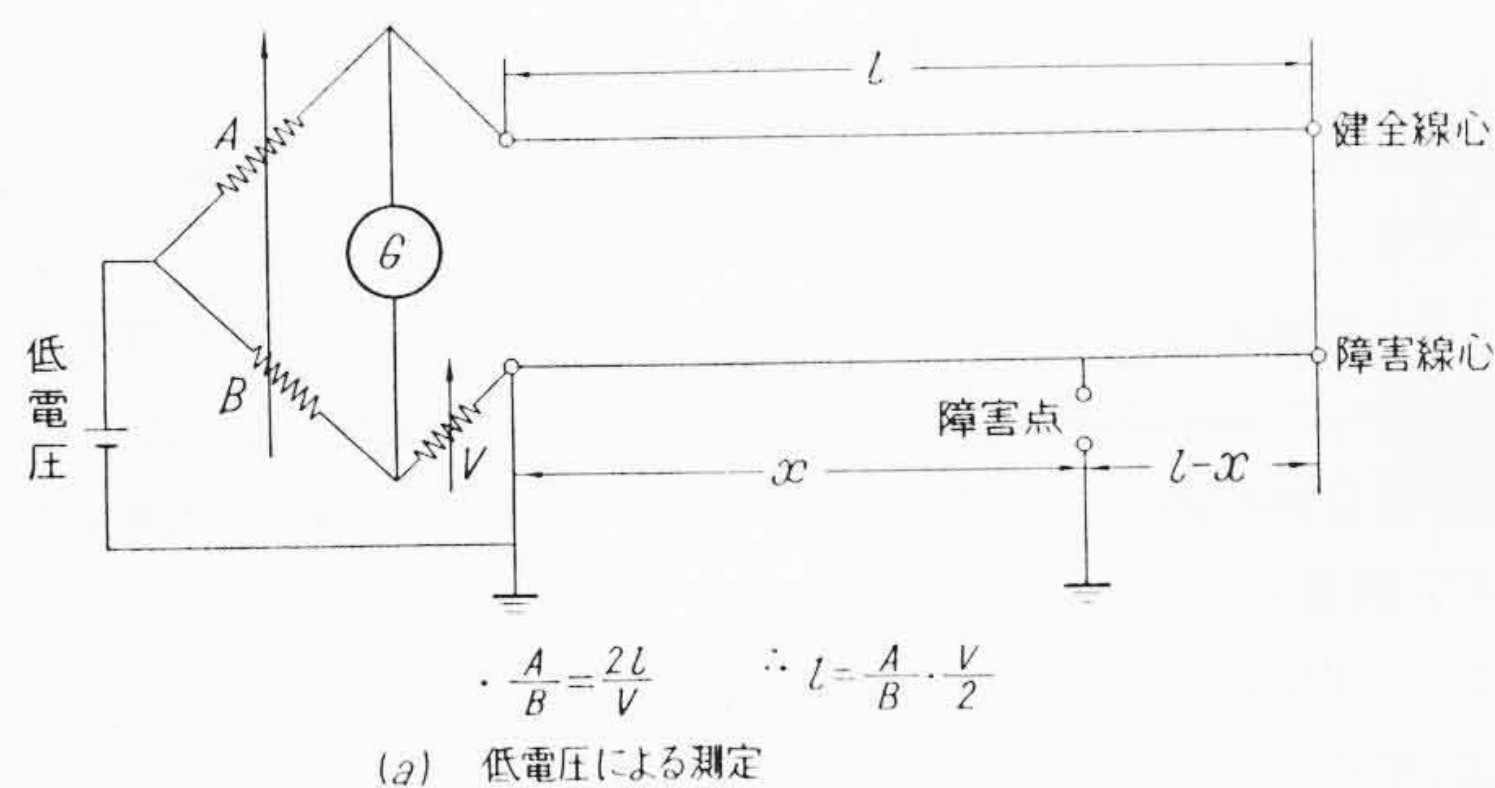
第 5 図の回路中、測定に関係するブリッジ部のみを第 7 図に示す。第 7 図(a)において、まず直流低電圧により健全線心、障害線心間のループ抵抗を測定する。この場合健全線心として、障害線心と同一の線心が得られないときはそれぞれの線心の抵抗値を測定しておく必要がある。

次に第 7 図(b)に示すように接続して交流高電圧を漸増することにより障害点において放電を開始させる。この放電電流の直流分に対してポテンショメータ A, B とケーブル線心の抵抗 x , $l-x$ から成るバレー法類似の方法によりブリッジ回路の平衡を直流検流計 G により求める。障害点抵抗が低い場合には直流低電圧のみで測定することもできる。測定電流中の交流分による検流計の振動は L と C で構成されるフィルタにより除かれる。

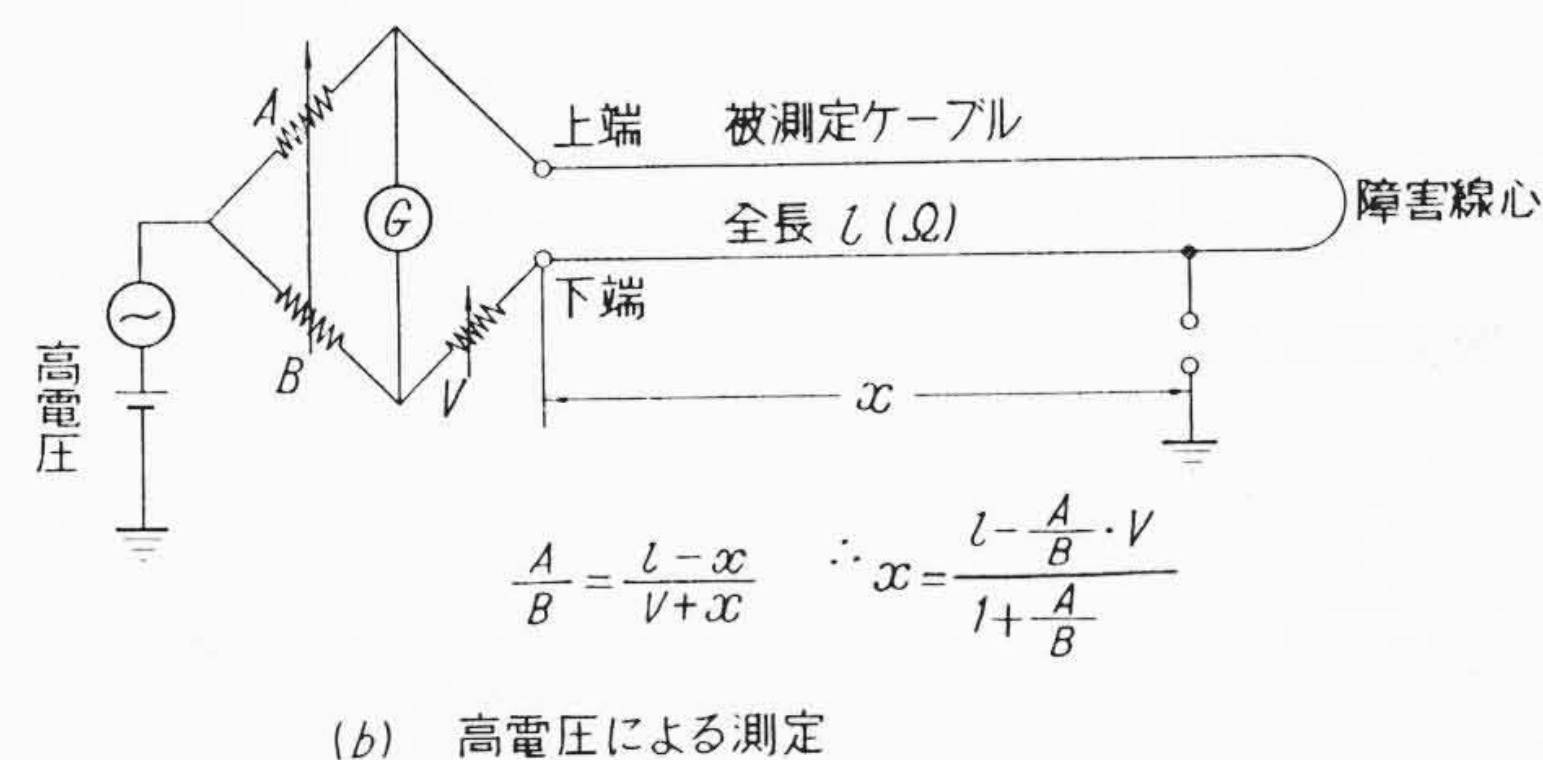
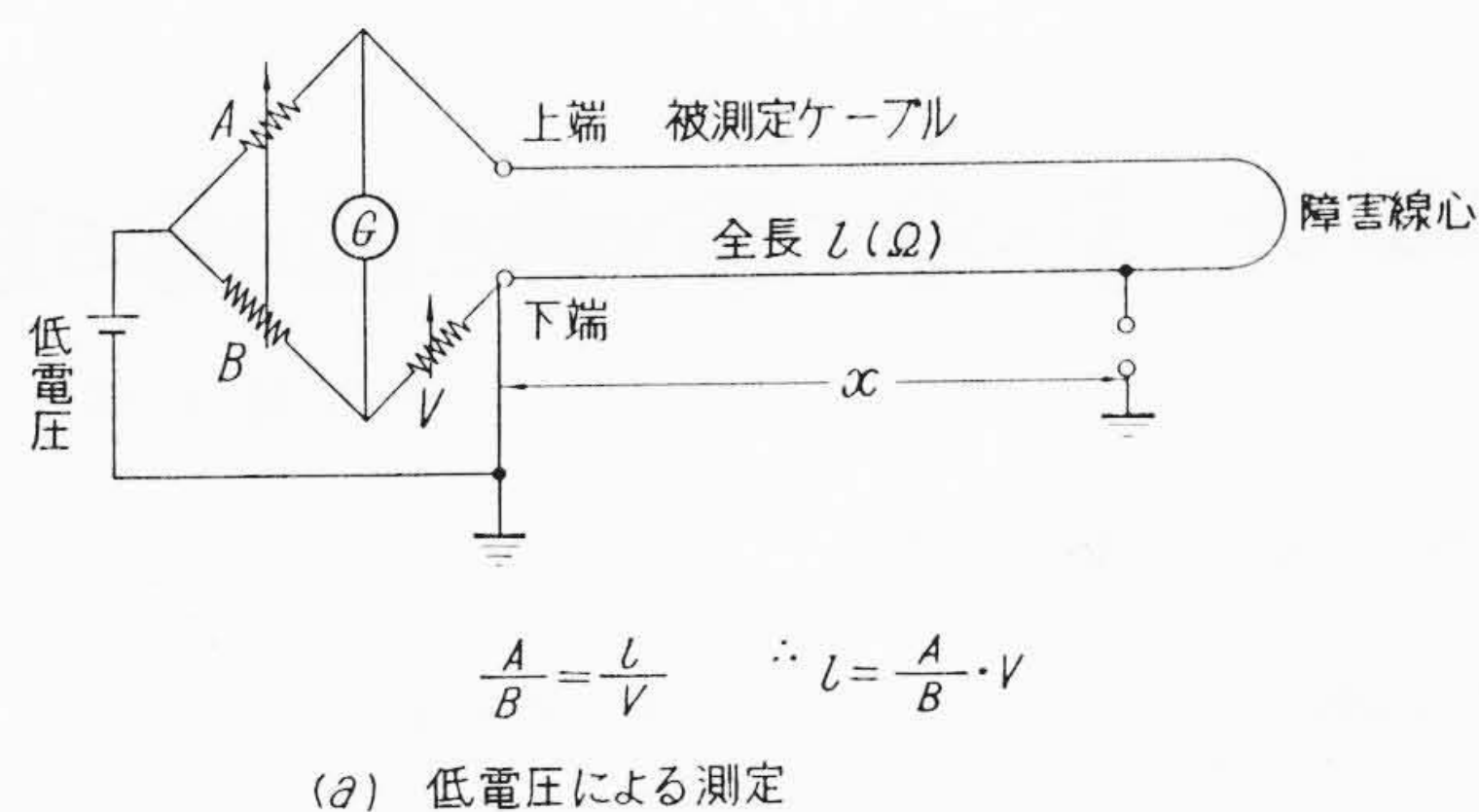
以上の測定により第 7 図中に示されている計算式により、障害点



第 6 図 交流高電圧ブリッジの外観



第7図 障害点測定回路



第8図 健全線心が得られない場合の測定回路

までの導体抵抗が求められるので、容易に障害点距離を算出することができる。

またケーブルが巻わくなどに巻かれている場合はケーブルの両端末が同一箇所にあるので、障害線心の両端をブリッジに接続することができる。したがって健全線心のない場合でも第8図の方法により障害点距離の測定ができる。

5. 障害点測定の実例

5.1 模擬障害点を使用した場合

まず測定器の精度を確認するために次のような試験を行なった。試料として0.65×54P発泡ポリエチレン絶縁ビニルシース市外星ケーブル(遮へい体はアルミテープ横巻)25mの線心を15往復折り返

第1表 交流高電圧ブリッジの測定精度

障害点 No.	障害点までの真の距離 x (m)	ブリッジで測定した 障害点までの距離 x' (m)	誤差	
			$ x-x' $ (m)	$\frac{ x-x' }{l}$ (%)
1	50.0	50.061	0.061	0.008
2	100.0	100.27	0.27	0.036
3	150.0	149.97	0.03	0.004
4	200.0	199.33	0.67	0.084
5	250.0	249.35	0.65	0.087
6	300.0	299.80	0.20	0.027
7	350.0	349.98	0.02	0.003
8	400.0	399.33	0.67	0.089
9	450.0	449.43	0.57	0.076
10	500.0	500.08	0.08	0.011
11	550.0	549.99	0.01	0.001
12	600.0	600.45	0.45	0.060
13	650.0	650.55	0.55	0.073
14	700.0	700.64	0.64	0.086

球間げき：約0.5mm
全ループ抵抗：40.32Ω (15℃) 全長750m (I)
測定電圧：AC 1,200V, DC 400V

第2表 障害点測定の実例

ケーブル 種類	ポリエチレン絶縁 通信ケーブル	紙絶縁通信ケーブル	不平衡形通信 ケーブル	受信用テレビファイ ーダ
項目				
試料	0.9×30PCPEV 1,027m	0.9×400PCPUL 243m	RG-58c/u 215m	HTV-300
絶縁厚	約0.3mm (PE)	約0.09mm (紙)	約1.0mm (PE)	約0.5mm (PE)
障害点の 状態	導体～遮へい面 AC 500V耐圧	隣接対間 DC 500V混線	内外導体間, 球 間げきによる模 擬障害点作成	導体～水間 ナイフ傷作成
絶縁抵抗	DC 500V : ∞HΩ " 1,000V : 0HΩ	DC 500V : 50kΩ以下	DC 1,000V : ∞	DC 500V : 0.5MΩ
測定電圧 (AC)	1,000V	500V	1,200V	500V
測定距離 (m)	237.5	86.3	32.7	55.7
実測距離 (m)	234.8	85.5	32.5	55.6
測定誤差 (%)	0.26	0.33	0.09	0.11

して接続し、ケーブル長を750mとした。障害点として直径約15mmの球間げきを使用し、これを順次折返し点(心線一大地間)にそう入して、この点までの距離を測定した。測定結果を第1表に示す。

カッド別による導体抵抗の差がないものとすれば、第1表の測定値はポテンショメータ、可変抵抗器、そのほか配線などの総合的な誤差とみることができよう。測定結果から明らかなように、全長750mにおいても測定誤差は1m以下であり、精度は0.1%以下であることがわかった。

5.2 実際のケーブルに適用した場合

本装置の性能は球間げきによる測定で一応確かめることができたが、次に実際の通信ケーブルについて測定した。

ポリエチレン絶縁、紙絶縁通信ケーブルおよび不平衡形ケーブルの絶縁障害点、また導体一大地間(水中)の絶縁障害点について障害点距離を測定した結果は第2表に示すとおりである。第2表の測定結果を模擬障害点の場合と比較すると、球間げきによる模擬障害点の場合は測定誤差が0.1%以下であったが、実際のケーブル障害点の測定では0.4%程度の誤差となった。これはケーブル条長の測定誤差が原因と考えられるが、このほか導体抵抗の長さ方向の不均一も測定誤差となる。本装置で測定したケーブルについて障害点を解体調査した結果、測定線心以外の絶縁体は全然損傷がなく、測定線心の絶縁体も、やや炭化しているのみで損傷は微々たるものであった。

5.3 印加電圧の二、三の問題

高電圧ブリッジの測定電圧は障害点において、放電を開始させるだけの値が必要であるが、同時に健全部を損傷する電圧となつては困る。一般に、ケーブルが耐電圧不良となった場合は、耐電圧試験時とほぼ同一の電圧で障害点を放電させることができる。

第3表 絶縁破壊試験結果

品 名		0.9×38P 有線放送用 市内対ケーブル	0.5×50P 市内星 鉛被非ケーブル
構 造		ポリエチレン絶縁厚 約0.3mm 上巻紙 0.09mm 厚 2枚巻 (遮へい, 銅テープ)	絶 縁 紙 厚 0.045mm 上 巻 紙 0.065mm 厚 2枚巻
破壊電圧	心線〜遮へい層(鉛被)間	AC 10,000~15,000V	1,700~2,500V
	心線相互間	(対 内) AC 25,000~35,000V	(カッド対角線) 1,500~2,300V

しかし絶縁障害の場合は障害点で放電させるには耐電圧試験時の電圧より高い電圧を必要とする場合が多い。

このため被測定ケーブルのおおよその絶縁破壊電圧値を知っておくことが必要である。ポリエチレン絶縁、紙絶縁通信ケーブルについて、絶縁破壊試験を行なった結果を第3表に示す。測定結果から明らかなように、破壊電圧は第2表の測定電圧に比較してかなり裕度があるので、特に問題はない。

また本装置では障害点の損傷がきわめて小さいため、ケーブルを解体した場合でも肉眼により障害点位置を見定めることは困難である。すなわち障害点位置は本ブリッジの測定距離を計尺してかなり正確に得られるが、障害点近傍において探索線輪による方法または放電による振動音の探知などの諸方法を併用すればいっそう効果がある。

6. 結 言

絶縁障害点位置の検出について、従来の方法と交流高電圧ブリッジを適用した場合について述べたが要約すると次のとおりである。

- (1) 交流高電圧ブリッジを使用することにより、従来測定不可能であった高抵抗絶縁障害の場合でも測定が可能となった。また測定器自体の誤差は 0.1% 以下であり、実際の障害点測定でも 0.5% 程度の誤差である。
- (2) 本測定法によれば、障害点を損傷することなくその位置を検出することができる。
- (3) 電源として直流低電圧に交流高電圧重畳した電源を使用した結果、装置を簡易化することができた。

終りに本研究に終始ご指導いただいた日立電線株式会社電線工場武地部長、今井課長、結城、萩原、八田の各主任に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 小林：通信工学講座 16-C (昭 31-6)
- (2) J. W. Kitter：B. L. R., 26, 416~419 (Oct. 1948)
- (3) I. Eyraud：Cable and Transmission, 11, 91~101 (Apr. 1957)



特 許 第 267429 号

特 許 の 紹 介



栗 田 健 太 郎

変 圧 器 の 遮 へ い 装 置

一般に、変圧器巻線の衝撃電圧に対する等価回路は第1図に示すように、インダクタンス L 、対地静電容量 C および巻線間直列静電容量 K によって表わされ、急しゅん波頭波の侵入時インダクタンス L は、大きなインダクタンス値を呈するため電圧初期分布はほぼ C 、 K の静電容量によって決定される。

この場合に印加端子付近の直列静電容量 K には、それより内側の巻線の対地静電容量を充電する充電電流が流れるため、その部分に大きな電位集中を生じ、ついで蓄えられた電荷はインダクタンス L を通して放電し、この間に内部電位振動を発生する。

この内部電位振動による異常電圧を抑制する方法としては、従来より種々の遮へい装置が提案されているが、この発明は巻線に特別の遮へい構体を付加することなく、巻線の単なる接続配置の改良により遮へい効果をあげようようにしたものである。

第1図において、衝撃電圧印加時の衝撃電圧の分布を均一とし、内部電位振動を抑制するためには、巻線の直列静電容量 K を大きくすることにより対地充電電流の影響を小さくして電位振動を抑制することができるが、その方法としてこの発明では第2図に示すように鉄心50上に巻回した複数の円盤状コイルを密着して一区分とした複数区分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ……を相間隔させて重積し、これらの接続は、一区分の円盤状コイルが3段の場合は、巻線端子導体100よりⅠ区分上段コイル最外層の導体1に接続し、この導体1より順次に最内層の導体8に達し、これより、わたり線101により、Ⅱ区分の上段コイルの最内層導体9に接続し、この導体9よりは、順次に最外層の導体16に達し、導体16よりは、わたり線102によりⅠ区分中段コイルの最外層導体17に接続し、この導体17より順次に最内層導体24に達し、導体24より、わたり線103によりⅡ区分の中段コイルの最内層導体25に接続し、導体25よりはさらに順次最外層導体32に達し、導体32より、わたり線104によりⅠ区分下段コイルの最外層導体33に接続し、導体33より順次最内層導体40に達し、導体40より、わたり線105によりⅡ区分下段コイルの最内層導体41に接続し、導体41より順次最外層導体48に達し、導体48より、わ

たり線200によりⅢ区分上段コイルの最外層導体1に接続する。

このような接続順序を繰返して巻線全区分のわたり接続を行うものである。

この発明のような接続配置とすれば、巻線各区分の複数段の密着コイル段間の静電容量 K は、コイル各段を全巻線にわたり、等間隔に離して接続配置する従来のものに比較し著しく大きくなり、したがってこの直列静電容量はそのまま遮へい用静電容量として作用することになり、巻線の外部へ特別の遮へい構体を付加する必要がなく、最も簡単に遮へい効果を生じさせることができる。(須田)

