

3,500 kV 衝撃電圧発生装置

河合泰治* 浅野次夫**

3,500 kV Impulse Generator

By Taiji Kawai and Tsugio Asano

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

With the development of high voltage transmission, it is very important to investigate the impulse characteristics of high voltage apparatus.

Hitachi works has recently established 3,500 kV impulse generator which has the largest accumulated energy in our country. This set is composed of 40 capacitors, having unit capacity of $0.5 \mu\text{F}$, and each of them is charged up to D.C. 87,500 V, and discharged in series as shown by thick line in Fig. 2. Then the maximum no-load voltage of the set reaches up to 3,500 kV, stored energy is 76,600 joule, and total series capacitance is $0.00125 \mu\text{F}$.

The capacitors are piled up vertically as shown in Fig. 1, to minimize the floor space and height.

The charging, discharging, and damping resistors are all made of metallic resistor to avoid the influence of temperature, to get the good starting characteristic.

For one example, the test results of 70,000 kVA three phase transformer that is epock-making product in Japan, are shown.

Utilizing this sets, much progress concerning the insulation for impulse voltage is expected.

[I] 緒 言

送電系統中の機器の絶縁に関しては、衝撃電圧に対する強度が特に重要視され、JEC においても、衝撃電圧試験の実施が規定されている。日立製作所においては、昭和9年斯界にさきがけて、2,000 kV の衝撃電圧発生装置を設置し、旺に衝撃電圧に関する試験、研究を行っていたのであるが、戦災のためその設備を失い、戦後その新設が強く要望されていた。

我国初めての超高压送電となる新北陸幹線が新設せられることになったので、超高压機器の衝撃電圧試験を行うに十分な容量を有する発生装置の新設を計画し一昨年来その製作を急いでいたが、昨年6月ようやく完成を見

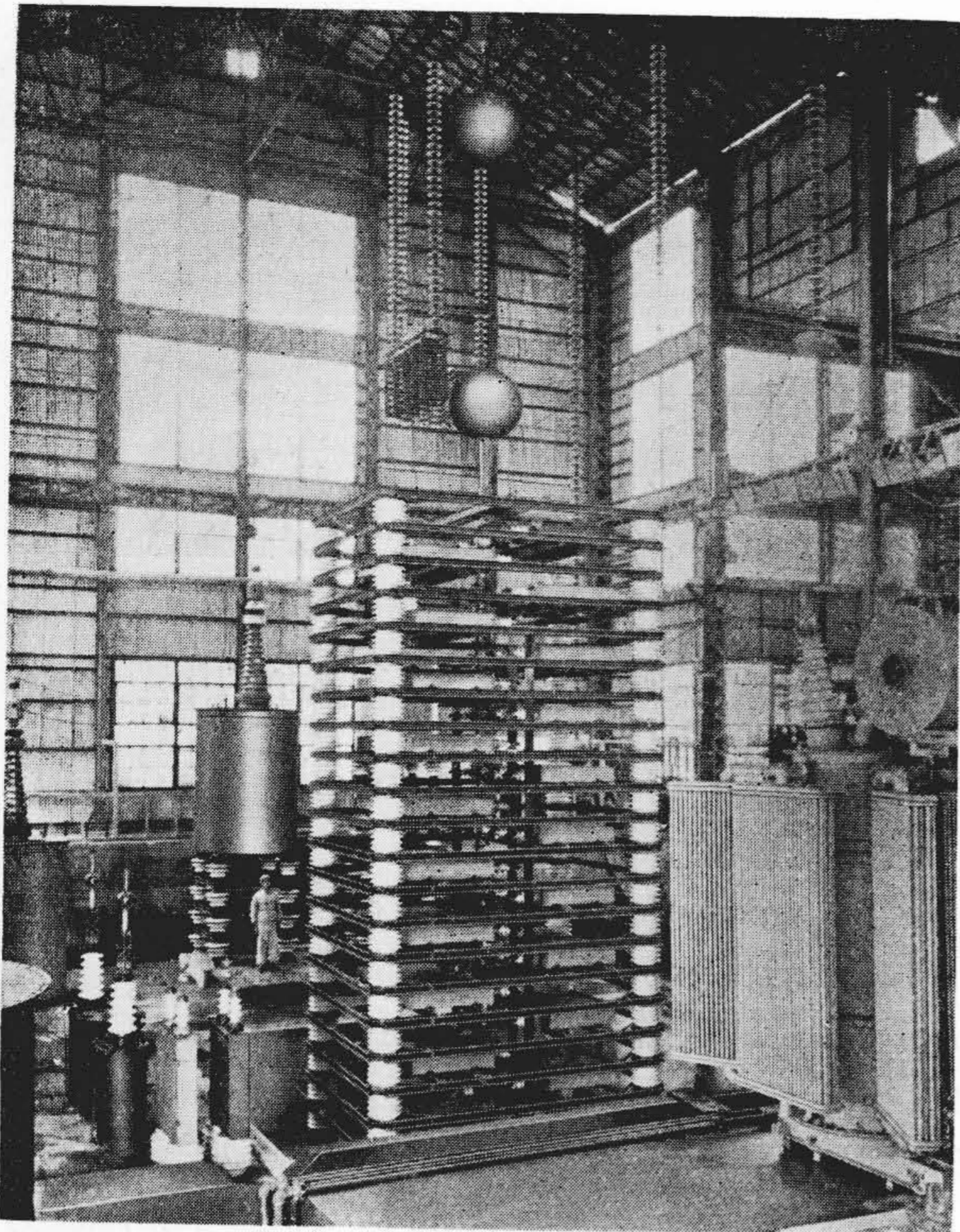
るに至つたので、以下にその設備の概要を紹介したい。

[II] 装置の概要

本装置は、最高使用電圧 87,500 V 単位蓄電器 40 箇を左右二群に分けて並列に充電し、これらを直列に放電せしめて、3,500 kV の衝撃電圧を発生するもので、その外観は第1図（次頁参照）に示す如きものである。

蓄電器群の構成の方法としては、階段型、屈曲階段型直立型等があり、各々利害得失があるが、今回製作せるものは、設置箇所が屋内であり、床面積及び高さを出来得る限り小にするため、第1図に示すように蓄電器を交互に積重ねた直立型とした。この結果、床面積 $3\text{m} \times 4\text{m}$ 高さ約 9 m となりこの程度の発生器としては最小限にすることが出来た。蓄電器を交互に積重ねたのは、次段

* ** 日立製作所日立工場



第1図 3,500 kV 衝撃電圧発生装置
Fig. 1. Outline View of 3,500 kV Impulse Generator

の蓄電器との絶縁距離を十分にとり、然も高さを最小限にするためである。

1. 蓄電器

単位蓄電器は、静電容量 0.5 μF 定格電圧 直流 87,500 V のもので、厚さを特に小とし装置の高さが増さぬ様に考慮して設計せるものである。

この蓄電器 40 箇を直列に放電せるときの全静電容量は

$$C = \frac{0.5}{40} = 0.0125 \mu F$$

となる。従つて各蓄電器の充電電圧を、直流 87,500 V とすれば、本装置の最大電圧の波高値は

$$E = 87,500V \times 40 = 3,500kV$$

となり、最大蓄積エネルギーは

$$\frac{1}{2}CE^2 = 76,600 \text{ ジュール}$$

であつて、本邦に於ける衝撃電圧発生装置の内では記録的なものである。

2. 電源

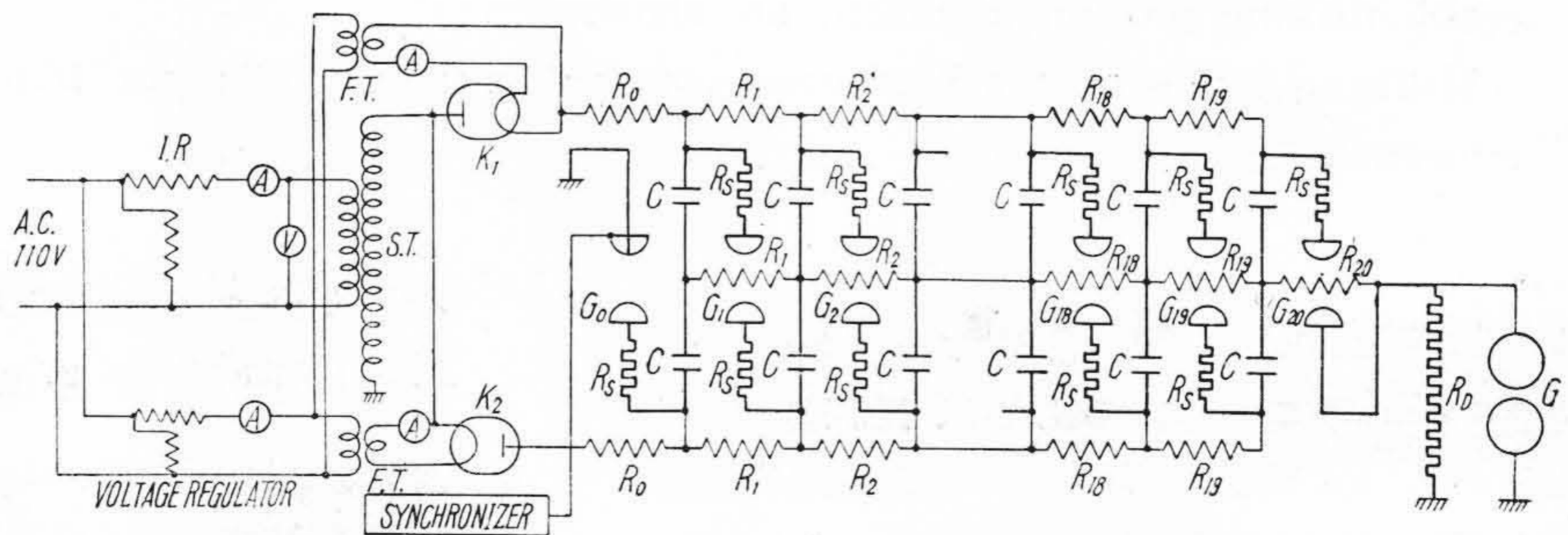
充電用電源変圧器及び2台のケノトン繊維条加熱用変圧器は、第2図に示す様に各々独立した機器になつていて、簡単な接続変更によつて発生電圧の極性を変更することが出来る。

3. 充電回路

充電回路は、第2図に示す様に、直列充電方式、いわゆるマルクス回路を採用し、充電抵抗は比較的低い値を採用してあるから実用上は等率充電と見て差支えない。この抵抗値の上限は充電時間により制限せられ、その下限は火花連絡特性に支配せられるが、今回のものは接地側の数段を除いては約 15 kΩ とし、充電時間は1乃至2分となつている。抵抗体としては液体抵抗と金属抵抗の2種類が考えられるが液体抵抗は温度による抵抗の変化等のため保守が困難であり、又金属抵抗は断線し易い等の欠点があるが今回のものには下段の保守の比較的容易な所には火花連絡特性をも考慮して抵抗の大きい液体抵抗、上段の方へは金属抵抗を使用している。この金属抵抗は絶縁筒の外周に溝を切り抵抗線を巻いた特別な抵抗体を使用している。

4. 放電回路

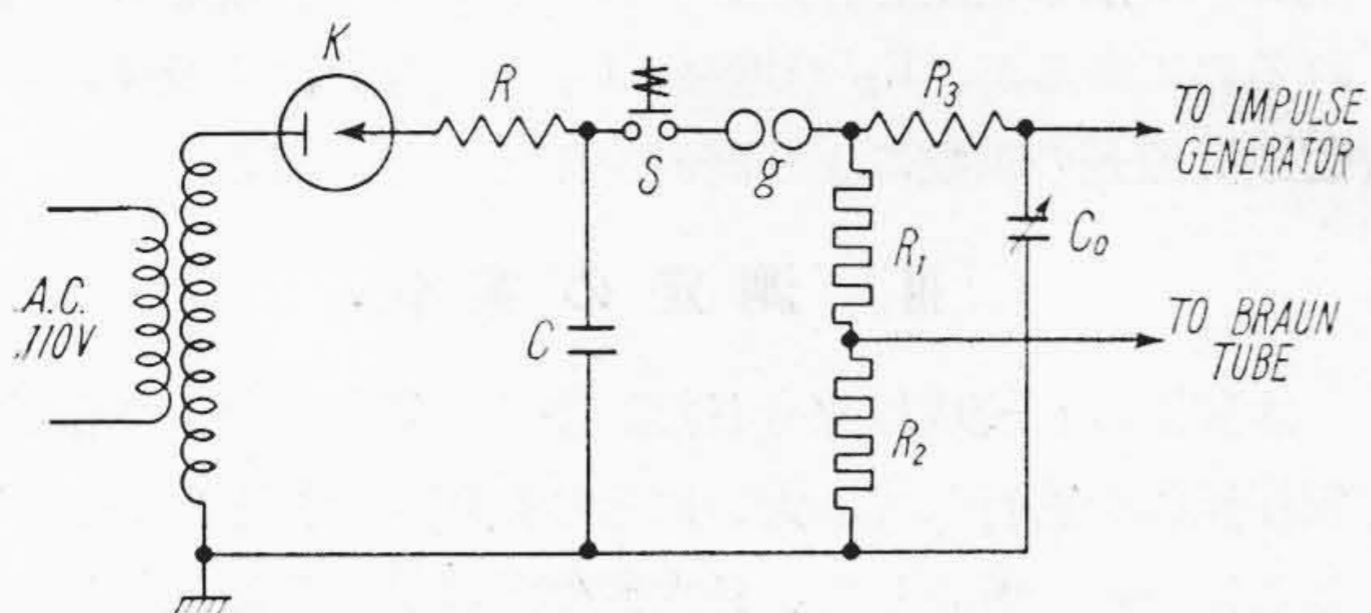
放電回路は第2図中太線を以て示してあるが、発生電



SPECIFICATION	
STORED ENERGY : CONDENSER	76,600 JOULE
UNIT CAPACITY :	0.5 μF
NUMBER OF CONDENSER :	40
TOTAL CAPACITY :	0.0125 μF
GENERATED VOLTAGE :	3,500 kV
WAVE FORM	
WAVE FRONT :	0.5 ~ 1.5 μS
WAVE TAIL :	20 ~ 100 μS
FLOOR SPACE :	3,000 x 4,000 mm ²
TOTAL HEIGHT :	9,000 mm
TOTAL WEIGHT :	30,000 kg

SPECIFICATION OF MAIN APPARATUS	
I.R. :	INDUCTION REGULATOR 2.5kVA 110/110±110V 50CYCLE 1HR
S.T. :	SOURCE TRANSF 5kVA 200/75,000V 50CYCLE 1HR
F.T. :	FILAMENT TRANSF 200VA 110/20V 50CYCLE DC 140KV
K ₁ , K ₂ :	KENOTRON TUBE 230kVP
C :	CONDENSER 0.5μF D.C. 87,500V
R ₀ :	SERIES RESISTOR 500kΩ
R ₁ ~ R ₁₉ :	CHARGING RESISTOR 15kΩ
R ₂₀ :	DISCHARGING RESISTOR
R _S :	DAMPING RESISTOR 20Ω x 40
G ₀ :	STARTING GAP
G ₁ ~ G ₁₉ :	SWITCHING GAP 125mmφ SEMI-SPHERE GAP
G :	SPHERE GAP 1,000mmφ

第2図 3,500 kV 衝撃電圧発生装置結線図
Fig. 2. Connection Diagram of 3,500 kV Impulse Generator

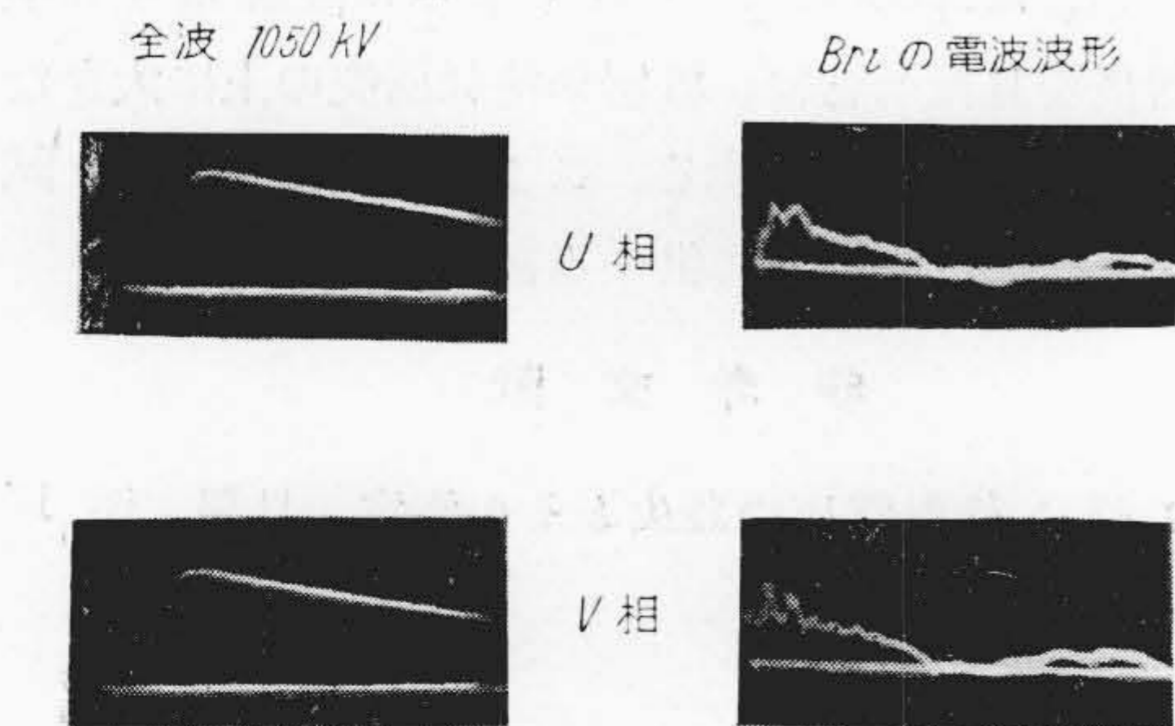
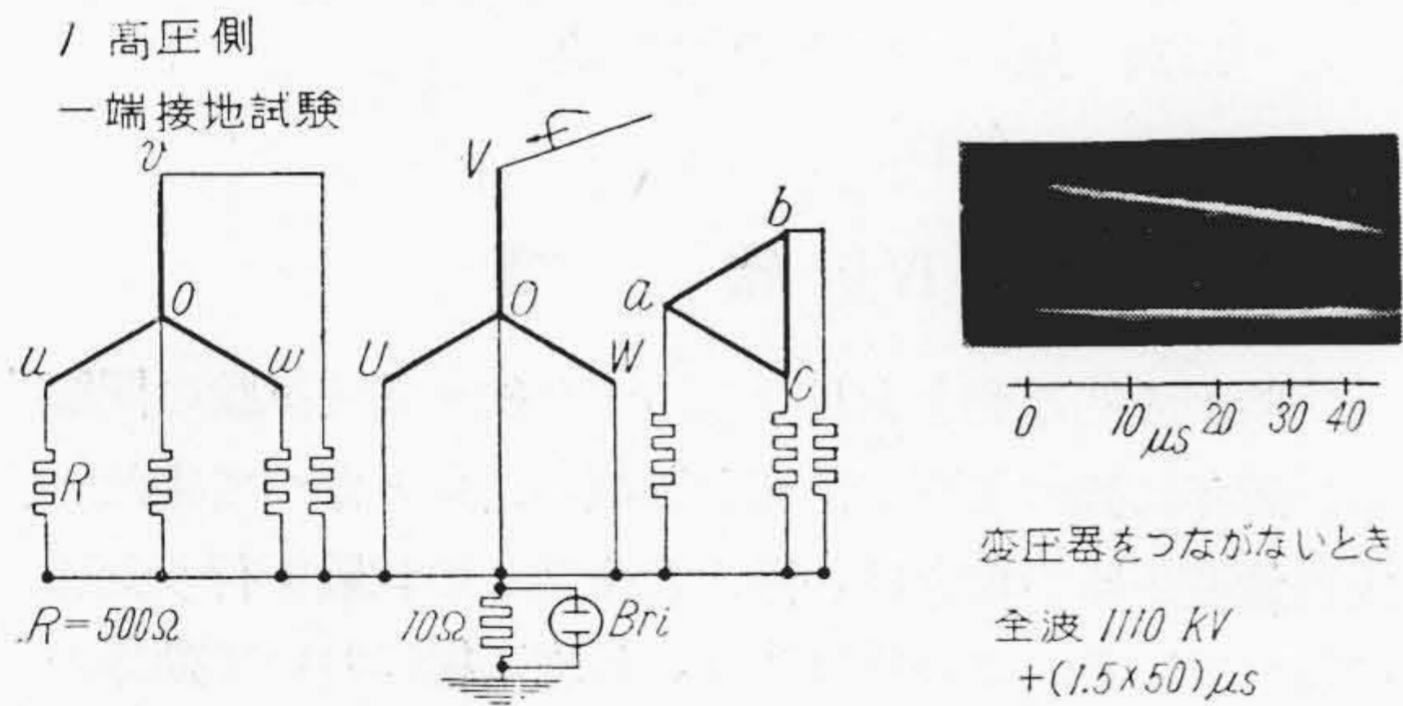


K : RECTIFIER
 R : SERIES RESISTOR
 R₁ : DISCHARGING RESISTOR
 R₂ : "
 R₃ : PROTECTING RESISTOR
 C : STATIC CONDENSER
 C₀ : VARIABLE STATIC CONDENSER
 S : STARTING SWITCH
 g : SPHERE GAP

第 3 図 同期装置結線図

Fig. 3. Connection Diagram of Synchronizer

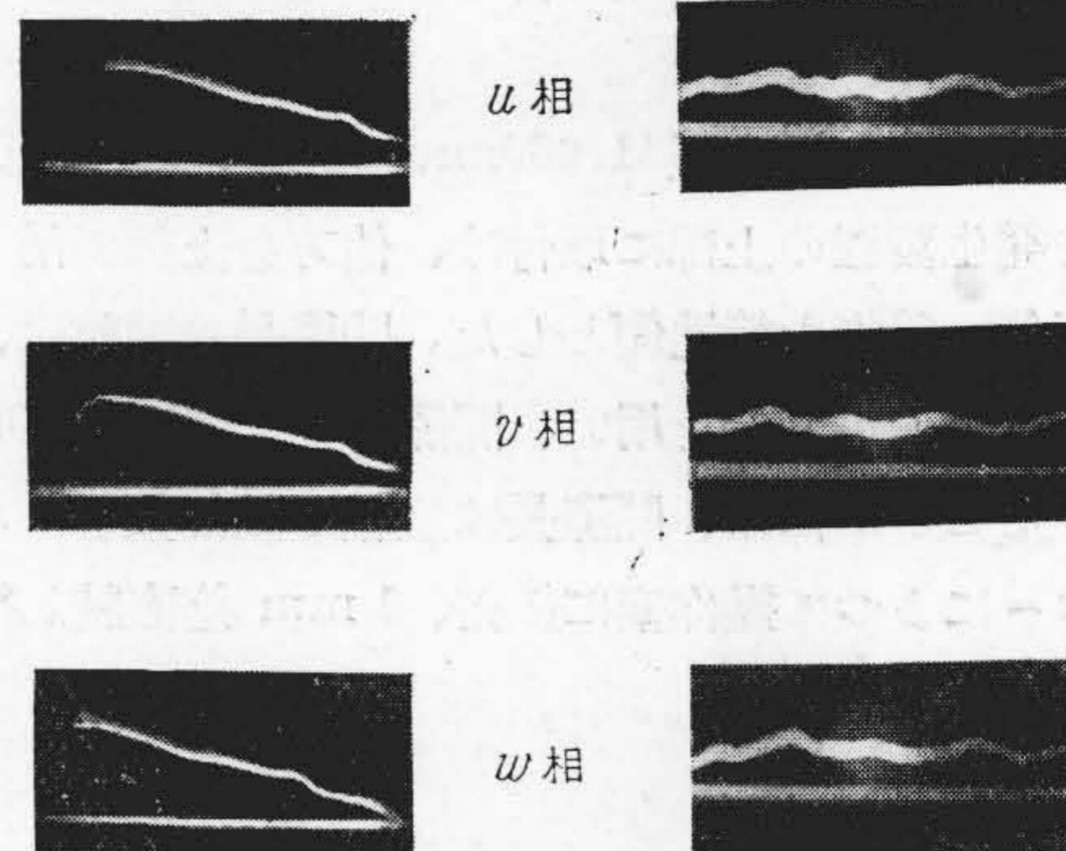
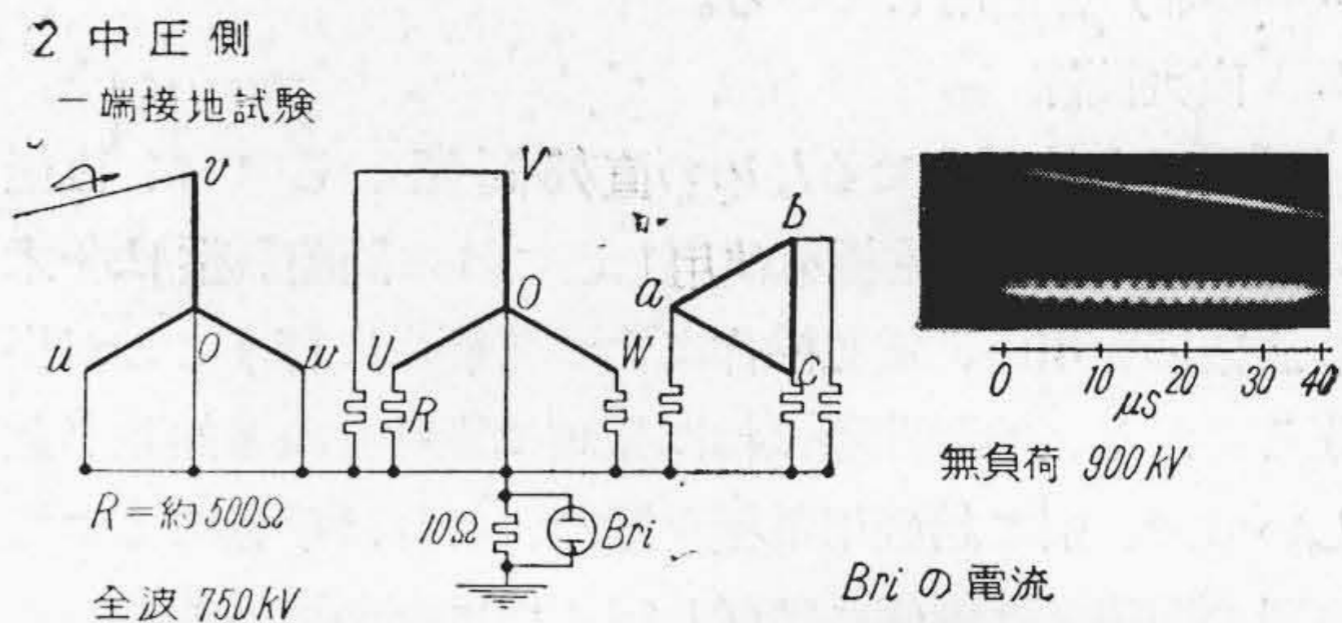
圧の波形はこの回路の全静電容量 C 、放電抵抗 R_D 及び負荷静電容量によつて決定され、これらの関係は JEC-106 に示されている。放電抵抗値は負荷の静電容量によつて変化する故、適当に調整し得るよになつてゐる。又制動抵抗 R_s としては、従来の研究結果により⁽¹⁾、 20Ω の抵抗体を各直列間隙に 1 箇所計 800Ω 挿入している。この放電抵抗、及び制動抵抗には、絶縁板に抵抗線を無誘導にまいたもの（いわゆる Ayrton-Perry



第 4 図 (a) 高压巻線(275kV) に対する試験結果端子 U.V.W.

試験電圧全波 1,050 kV

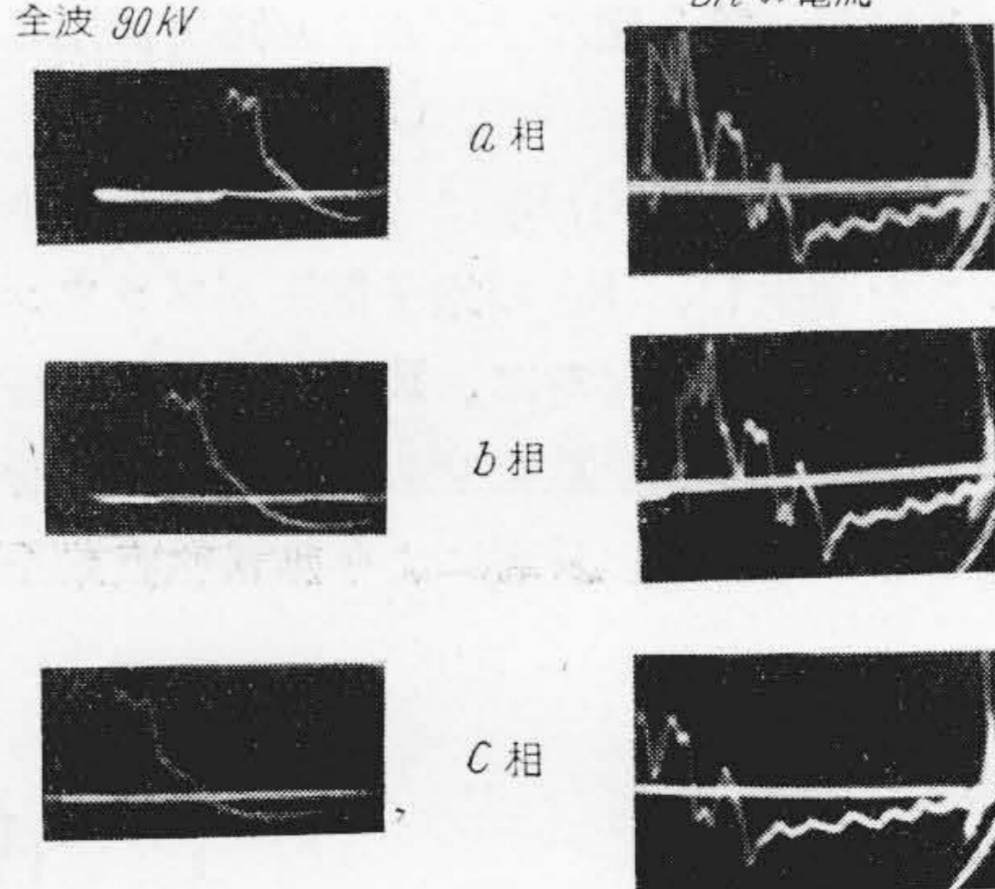
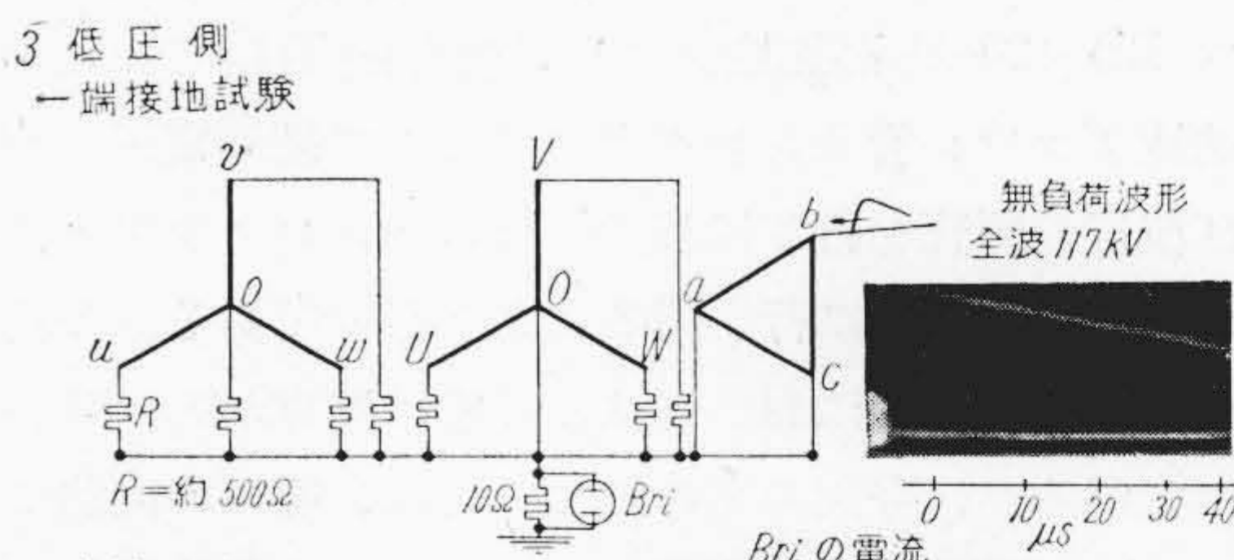
Fig. 4. (a) Test for High Tension Winding (275 kV) Terminal; U.V.W. Testing Voltage; Full Wave 1,050kV



第 4 図 (b) 中圧巻線 (154 kV) に対する試験結果端子 u, v, w

試験電圧 全波 750 kV

Fig. 4. (b) Test for Middle Tension Winding (154kV) Terminal; u, v, w Testing Voltage; Full Wave 750kV



第 4 図 (c) 低压巻線 (10.5 kV) に対する試験結果端子 a, b, c 試験電圧 全波 90 kV

Fig. 4. (c) Test for Low Tension Winding(10.5kV) Terminal; a, b, c Testing Voltage; Full Wave 90 kV

winding) を使用している。

5. 直列間隙

蓄電器を放電させるための直列間隙としては、直径125mmの半球状電極を使用し、この間隙調整は一本の連結桿を用い、電動操作によつて簡単に行うことが出来る。ただ、始動間隙は特に微細に調整せぬと始動が難しいので、別に始動用電極を設け、これは手動によつて主器の間隙とは別個に調整し得る様になつている。

6. 電圧測定用球間隙

測定用球間隙は、直径1,000mmのものを使用し、球の一方を発生装置の上部に取付け、他方を上部で吊し前者を高圧側、後者を接地側とした。間隙長の調整は、電磁制動器付誘導電動機を用い、間隙を0乃至3,000mm迄調整することが出来、間隙長は主軸の回転数をセルシオンモーターによつて操作室に伝え、1mm迄直読し得る様になつている。

7. 絶縁架台

蓄電器の各段毎の支持碍子は、本装置のために特に製作せるもので、碍子の内部には隔壁を設け、更に絶縁混和物を充填して碍管内面の絶縁を保つてある。本装置の総重量は約30,000kgであつて最下段の碍子には相当の力が加わるので支持碍子の強度には充分の注意が払われている。

8. 同期装置

発生衝撃電圧及び供試物を流れる電流波形の測定には日立BB-120-D高速度ブラウン管を使用しているが、高速度ブラウン管オシログラフによつて衝撃電圧の測定及び波形の照査を行うに当つては、オシログラフと発生器との同期を確実にし得ることが必要である。多段式衝撃電圧発生装置においては、一般に同期がとり難いとされているが、今回のものについては、種々の回路によつて実験せる結果、第3図に示す如き回路を採用して好い成績を得ている。図において、Cを約5,000Vに充電し、Sを閉ずれば、C、 R_1 、 R_2 にて決定される波形の起動インパルスが発生し、 R_2 の端子電圧がブラウン管へ加わり掃引を開始すると同時に、 R_1 、 R_2 の端子電圧が主発生器の最下段有針間隙を放電せしめて、蓄電器を将棋倒しに放電せしめる。この放電により放電抵抗端子間に

現われる衝撃電圧を分圧して、オシログラフ現象板へ入れるのであるが、 R_2 の増減、 C_0 の調整及び主発生器の起動間隙長の調整により同期を確実にし得る。

[III] 測定の実例

本装置は、完成以来今日迄、多くの製品に対して衝撃電圧試験を施行して、大いにその効用を發揮しているがここにその一例として、日立製作所に於ける記録的製品たる関西電力株式会社、成出発電所納入の、275kV, 70,000kVA、三相変圧器の試験結果を第4図a, b及びcに示す。尚本変圧器の仕様は下記の如きものである。

型 式

屋外用送油水冷三相三巻線変圧器

出 力

一次 50,000 kVA

二次 70,000 kVA

三次 40,000 kVA

定格電圧

一次 154 kV

二次 275 kV

三次 10.5 kV

結 線

一次 星形 中性点高抵抗接地

二次 星形 中性点直接接地

三次 三角形

[IV] 結 言

一時表面的な動きを見せなかつた衝撃電圧試験の問題も、近年に到つて再び活発な論議の対象となつて来た。大容量変圧器の如きは、殆んど全部この試験を行う気運になつている。この時に当り、日立工場において斯界の記録品たる、3,500kV, 76,600ジュール衝撃電圧発生装置の設置を見たことは、機器の絶縁研究の上に大きな進歩をもたらすことと信ずる。ここに本装置の概要と試験の一例を記し、御参考に供する次第である。

参 考 文 献

- 1) 毛利：衝撃電圧の発生とその測定 日評 昭17

