

水銀整流器用濾波装置

村山隆男* 浅野次夫**

The Wave Filter for M R

By Takao Murayama, Tsugio Asano
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The wave filters recently supplied to the Chigasaki Substation of the Japan National Railway for the protection of inductive interference to the telephone line, have been manufactured in accordance with its new specification which incorporates some features quite different from the conventional idea.

In this article, an attempt is made to explain the general fundamental theory involved in the wave filter together with the brief description of the construction and major characteristics of the present products.

The new specification stipulates that with the standard frequency of 50 cycles per second, the ratios of the voltages at the input side to the output side of the series reactor should be about 20, 15, 15, and 10 respectively for the 1st, 2nd, 3rd, and 4th harmonics in the range of 48-52 cycles per second.

The results of the field tests have shown that under 50% load at 50 cycles per second, these ratios are 82.3, 105.5, 83.3, and 97.2 respectively for the 1st, 2nd, 3rd, and 4th harmonics and quite satisfactory to meet this new specification.

[I] 緒言

水銀整流器の直流側の電圧及び電流には、相当量の高調波が含まれているため、電鐵では電車線と並行に架設してある通信線に、高調波電圧が、静電的、電磁的に誘起され、通話障害を起す虞れがある。この障害を除くために、直流變電所において高調波電圧を短絡させる方法がある。これがいわゆる濾波装置である。

既に日立製作所においては、日本國有鐵道高崎變電所、東武鐵道川越變電所等に、この種の濾波装置を納入して、極めて優秀な成績を納めている。今回、日本國有鐵道茅ヶ崎變電所に納入した濾波装置は、新に制定せられた仕様を十分満足する様に、従來の製品について種々検討を加えて、改良製作したものである。以下この濾波装置について述べる。

[II] 濾波装置の一般理論

誘導障害の大きさは、電車線より通信線へ静電的、電磁的に誘導される電圧に比例すると考えてよく、前者は當然電車線中の脈動電圧に比例し、後者も又電車線中の脈動電流、従つて脈動電圧に比例する。故に通信線への障害作用を考えるときは、電車線中の脈動電圧に就いて論ずれば良い。

然し、障害作用は單に誘導電圧の大きさだけではなくその高調波に対する人間の聴覺感度も考慮に入れねばならない。これを一般に次の如く表わしている⁽¹⁾。

$$\text{調波妨害電圧} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_n \times S_n$$

$$\text{調波妨害度 } q_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \times p_n \times S_n$$

但し $V_n \cdots n$ 次調波電圧の最大値

$$p_n = \frac{V_n}{V_d} \times 100\% \cdots \text{調波脈動率}$$

$S_n = n$ 次調波周波數に對する聴覺感度

一般に多數の高調波が共存する場合は、次の様に表わ

* ** 日立製作所日立工場

されるものと考えられている。

$$\text{綜合妨害電壓} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum (V_n S_n)^2}$$

$$\text{綜合妨害度 } q = \sqrt{\sum q_n^2}$$

濾波装置の性能の良否は、從來有効率によつて表わしていたが、これは装置の有る時と無い時の妨害度、又は妨害電壓の比で表わされる。即ち、 p_n, q_n, q を濾波装置の無い時、 p_n', q_n', q' を装置の有る時の脈動率、調波妨害度、及び綜合妨害度とするとき

$$\text{調波有効率 } \epsilon_n = \frac{q_n}{q_n'} = \frac{p_n}{p_n'}$$

$$\text{綜合有効率 } \epsilon_r = \frac{q}{q'} = \sqrt{\frac{\sum q_n^2}{\sum q_n'^2}} = \sqrt{\frac{\sum (S_n p_n)^2}{\sum (S_n p_n' / \epsilon_n)^2}}$$

となるが、これは濾波装置を接続したときの電源側の内部インピーダンスによる電圧降下を無視していることと變電所内の配線の如何によつては、その間の相互誘導による影響が含まれる虞れがあるので、装置自體の性能を示していないのが缺點である。

この缺點を補うために、今回の新仕様書においては、装置自體の特性を示すものとして、新しく調波低減率を規定した。これは、誘導性負荷において定格飽和電流のときの、濾波装置の入力側と出力側の高調波電壓の比をいうもので、整流器の定格電流の 10% をとる抵抗負荷において試験を行い、これに次式による補正をする。

$$A_n = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} \times \frac{L_0}{L_0'}$$

- 但し $A_n \dots n$ 次調波低減率
 $V_{1n} \dots$ 試験時における n 次調波入力電壓
 $V_{2n} \dots$ " " " 出力電壓
 $L_0 \dots$ 定格飽和電流における直列線輪のインダクタンス
 $L_0' \dots$ 試験電流における直列線輪のインダクタンス

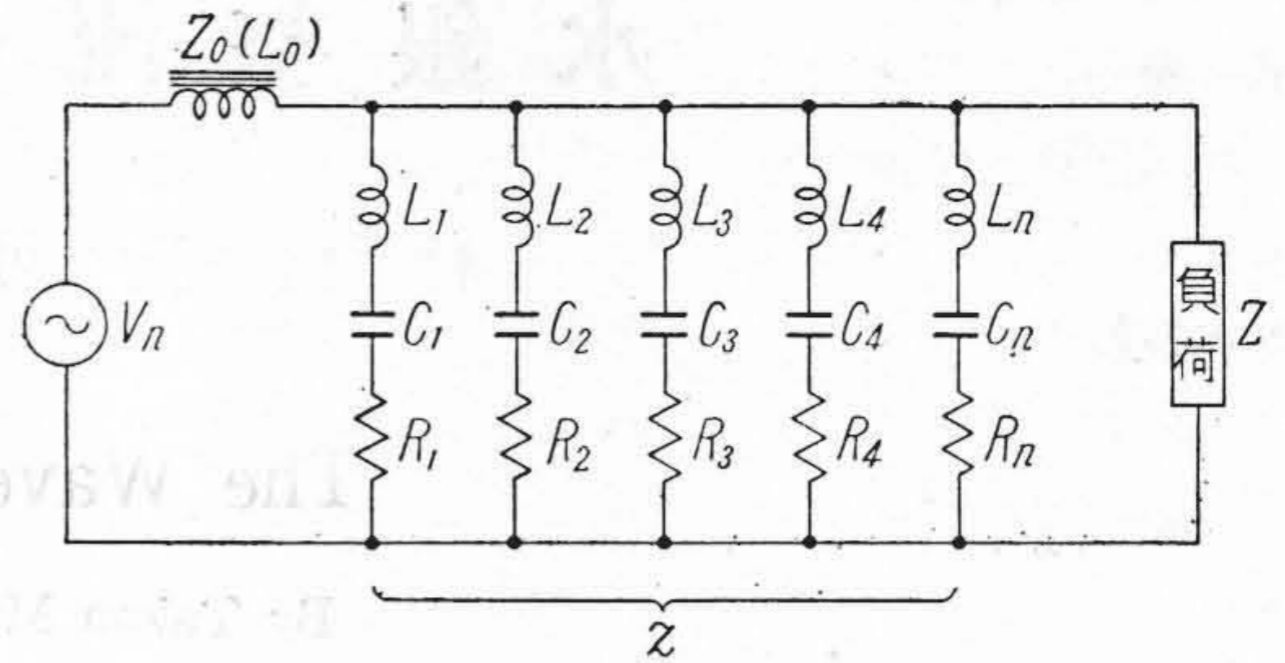
こゝでいう定格飽和電流とは、鐵心入りの直列線輪において、その電流で定格インダクタンスとなり、その 150% の電流で定格インダクタンスの 90% 以上となる様な電流をいうものである。

今、濾波装置の回路を脈動部分について考えれば、第 1 圖の如くである。圖において、電源電圧は一定と見做し、又第 n 調波のみについて考え

- $Z_0 \dots$ 直列線輪のインピーダンス
 $z \dots$ 共振分路の合成インピーダンス
 $Z \dots$ 負荷インピーダンス
 $V_n \dots n$ 次調波脈動電圧

とするとき

$$n \text{ 次調波低減率 } A_n = \frac{Z_0(z+Z) + zZ}{zZ}$$



第 1 圖 濾波装置回路

Fig. 1 Wave Filter Circuit.

であるが、假りに整流器が無負荷又は輕負荷の場合にも脈動電流を自由に流し得るとし、又或る調波に對して他の共振回路の影響が無いものと考えたときは、 n 次調波低減率は次の様になる。これを假想的調波低減率 A'_n と呼ぶことにすると

$$A'_n = \frac{\omega_n L_0}{R_n}$$

- 但し $R_n \dots n$ 次調波共振回路の實効抵抗
 $L_0 \dots$ 直列線輪のインダクタンス
 $\omega_n \dots 2\pi f_n$ (f_n は n 次調波周波數)

即ち、調波低減率は、直列線輪のインダクタンスに比例し、共振回路の實効抵抗に反比例する。

これを有効率と比較するとき、負無荷脈動電壓を V_{no} 、定格飽和電流における濾波装置の出力側脈動電壓を V'_n 、入力側脈動電壓を V''_n とすれば

$$n \text{ 次調波有効率 } \epsilon_n = \frac{V_{no}}{V'_n}$$

$$n \text{ 次調波低減率 } A_n = \frac{V''_n}{V'_n}$$

として表わされ、通常の場合、負荷時における脈動電壓 V''_n は、無負荷脈動電壓 V_{no} より小なる故

$$A_n < \epsilon_n$$

となる。

【III】 回路定數及び各機器

今回の新仕様書においては、調波低減率の値は基準周波數を 50 ω としたとき 48 乃至 52 ω 、60 ω のとき 58 乃至 61.5 ω の範圍において次の如く規定せられている。

調波次數	周波數	調波電壓	調波低減率
1	300 ω	100 V	20 以上
2	600	40	15
3	900	30	15
4	1,200	20	10

こゝでいう調波電壓とは、濾波装置を接続したときの入力側の各調波の脈動電壓を實効値で示せるものである。

この仕様に基き、今回納入した濾波装置においては、**第1圖**の如き回路により、その共振回路を4分路とした。

共振回路の定数の組合せは種々あるが、蓄電器容量を減ずることは、周波数の変化による影響が大となり、又共振線輪のインダクタンスを増加せしめることになる。これは空心リアクトルの巻数の増加や直徑の増大を意味し、結局實効抵抗を増すことになり、特性に悪影響を及ぼすので、これ等の条件を考え、又従來の製品について種々検討した上その定数を決定した。

次に各機器について述べる。

a). 直列線輪

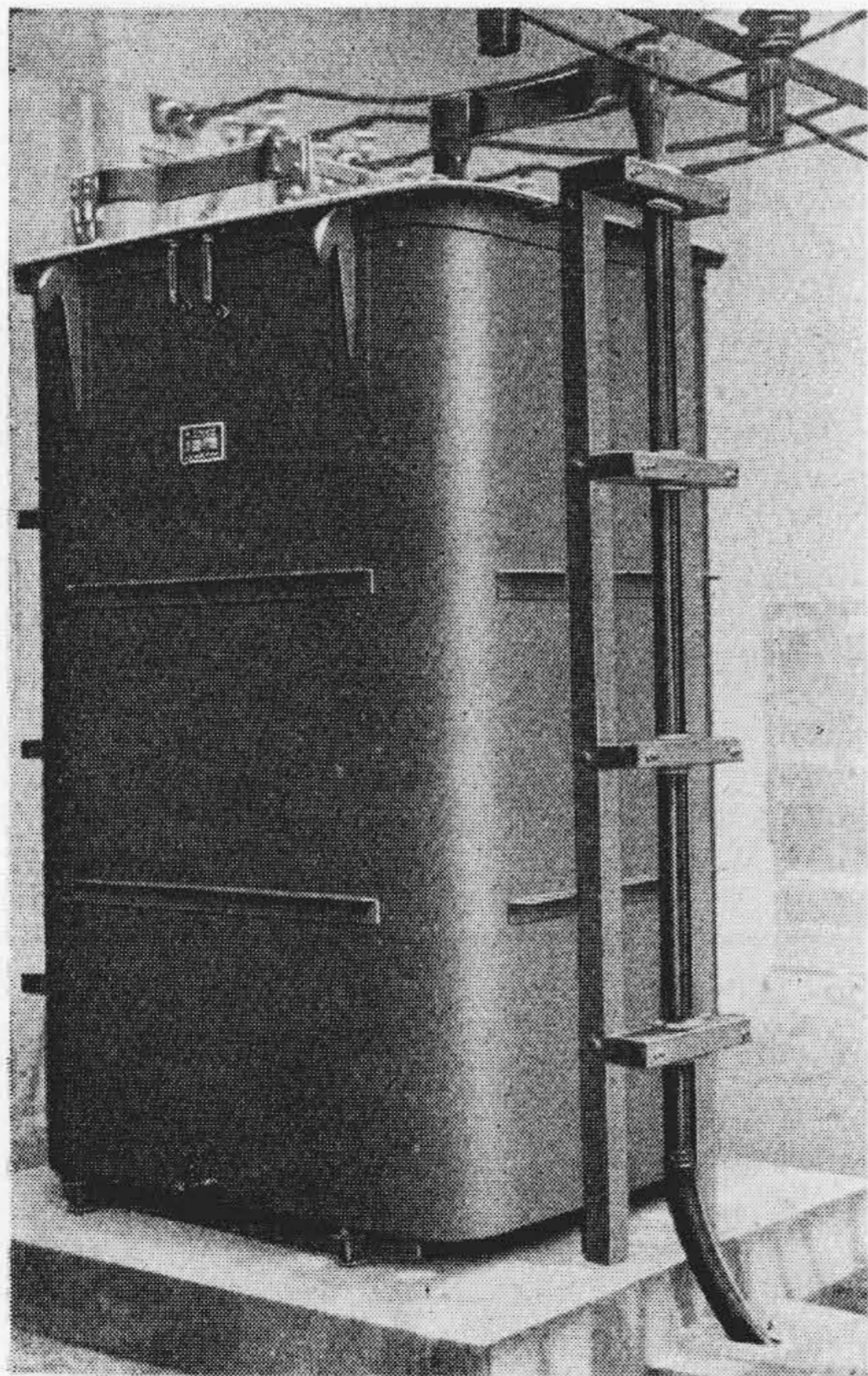
仕様書によれば、そのインダクタンスの値は規定されていないが、前述の様な条件を満足しなければならない。即ち、直列線輪の鐵心は150%の電流においても飽和することなく、然も或る値のインダクタンスを得るためには、鐵心中に空隙を設け、その斷面積を極めて大にしなければならないが、これにも或る經濟的な値が存在する。

今回製作したものは、これ等の要求を充分満足するもので、その外觀は**第2圖**の寫眞に示してあるが、大略の大きさは、床面積 1,300×1,700 mm, 高さ 2,950 mm 重量約 11,500 kg である。

次にこの直列線輪の仕様を示す。

型式 SO-FX 油入屋外、内鐵型

定格直流電壓 1,500 V



第2圖 直列線輪
Fig. 2 Series Reactor.

定格直流電流 3,000 A

定格飽和電流 3,000 A

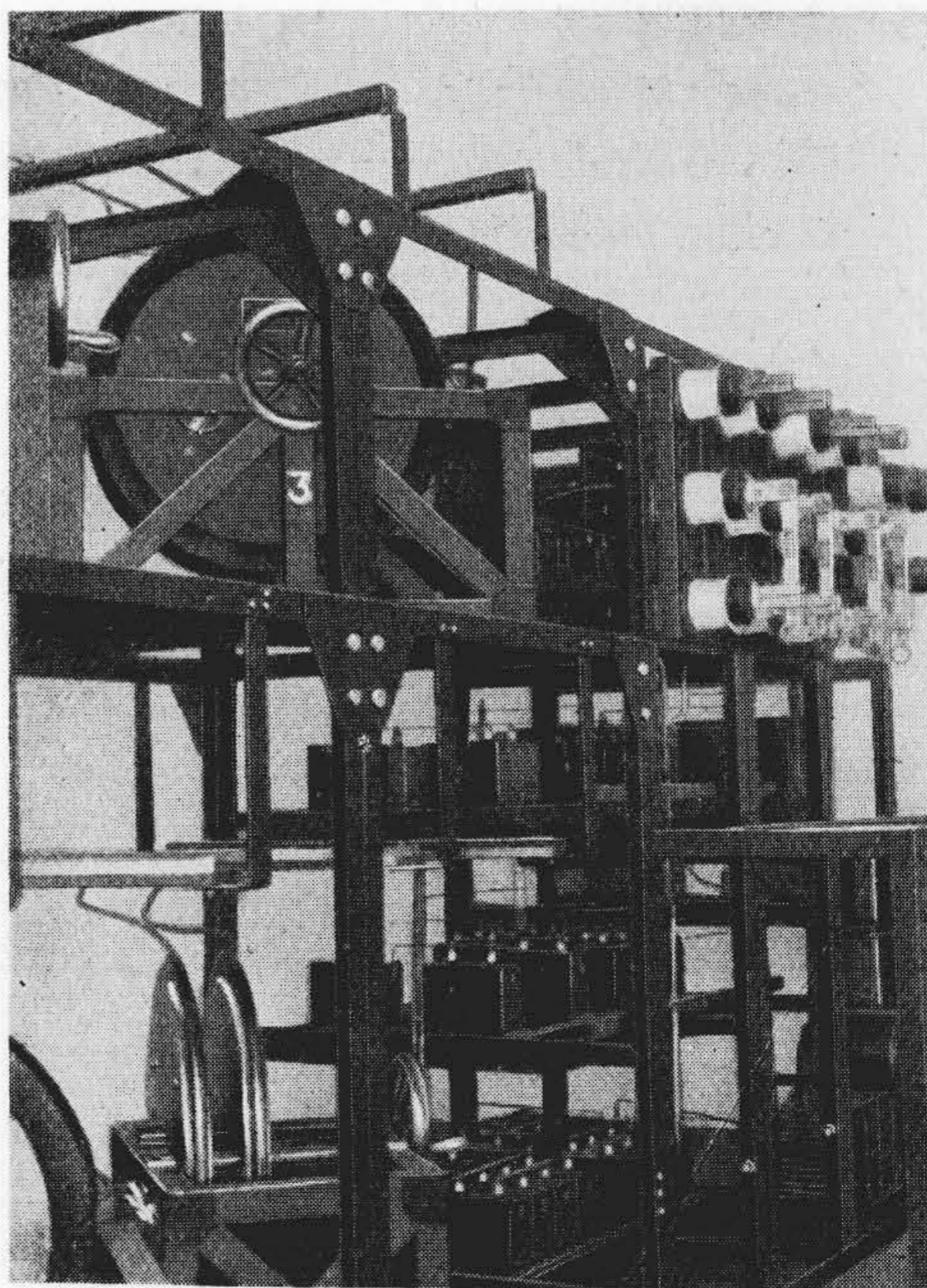
定格周波數 50 〰

b) 共振線輪

共振線輪と、これと直列に接続される蓄電器とは、その調波に對して完全に共振させる必要があり、周波数の±4%の變動と、蓄電器の容量偏差±10%を充分に補償し得る様、そのインダクタンスを自由に、又微細に調整出来るものでなければならない。

可變インダクタンスを得るためには、色々の方法が考えられるが、構造が簡單で然も調整が極めて容易な方法として、我々は次の様な方式を用いた。即ち、直列に接続した2箇の圓板狀線輪を同一軸上に對向せしめたときそのインダクタンスは、線輪の自己インダクタンスと、2箇の平行線輪の相互インダクタンスの和として與えられる。故に、線輪間の距離を變化させて、その相互インダクタンスを變え、或る範圍内において自由にそのインダクタンスを調整することが出来る。

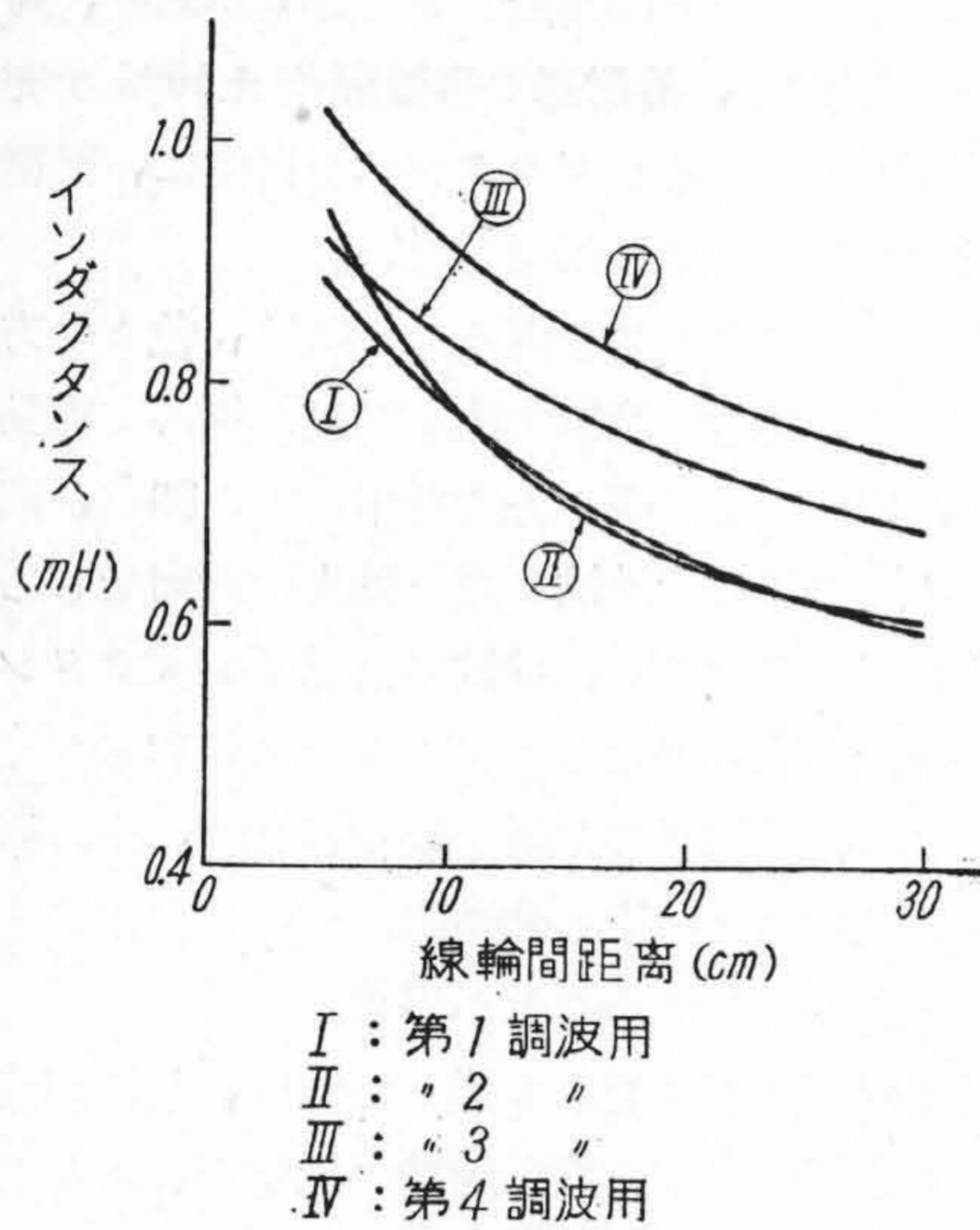
濾波装置の性能は前にも述べた様に、共振回路の實効抵抗に反比例する故、共振線輪の抵抗を、可及的小にするため、電線の斷面積を大にしなければならないが、高周波電流のため、表皮作用の影響があり、單に斷面積を増すだけではその効果が減ずる。この影響を除くため線輪を形成する電線には徑の小さい絶緣線を撚つたものを



第3圖 共振線輪及び共振蓄電器
Fig. 3 Air Core Reactor & Condenser
for Resonance Circuit.

使用している。

その構造は、第3圖の寫眞に示してあるが、強磁性材料は一切使用していない。インダクタンスの調整は、把手によつて極めて軽く變化せしめ得るので非常に取扱に便利である。第4圖にその特性を示してある。



第4圖 共振線輪特性曲線
Fig. 4 Characteristic Curve of Air Core Reactor for Resonance Circuit.

c) 共振蓄電器

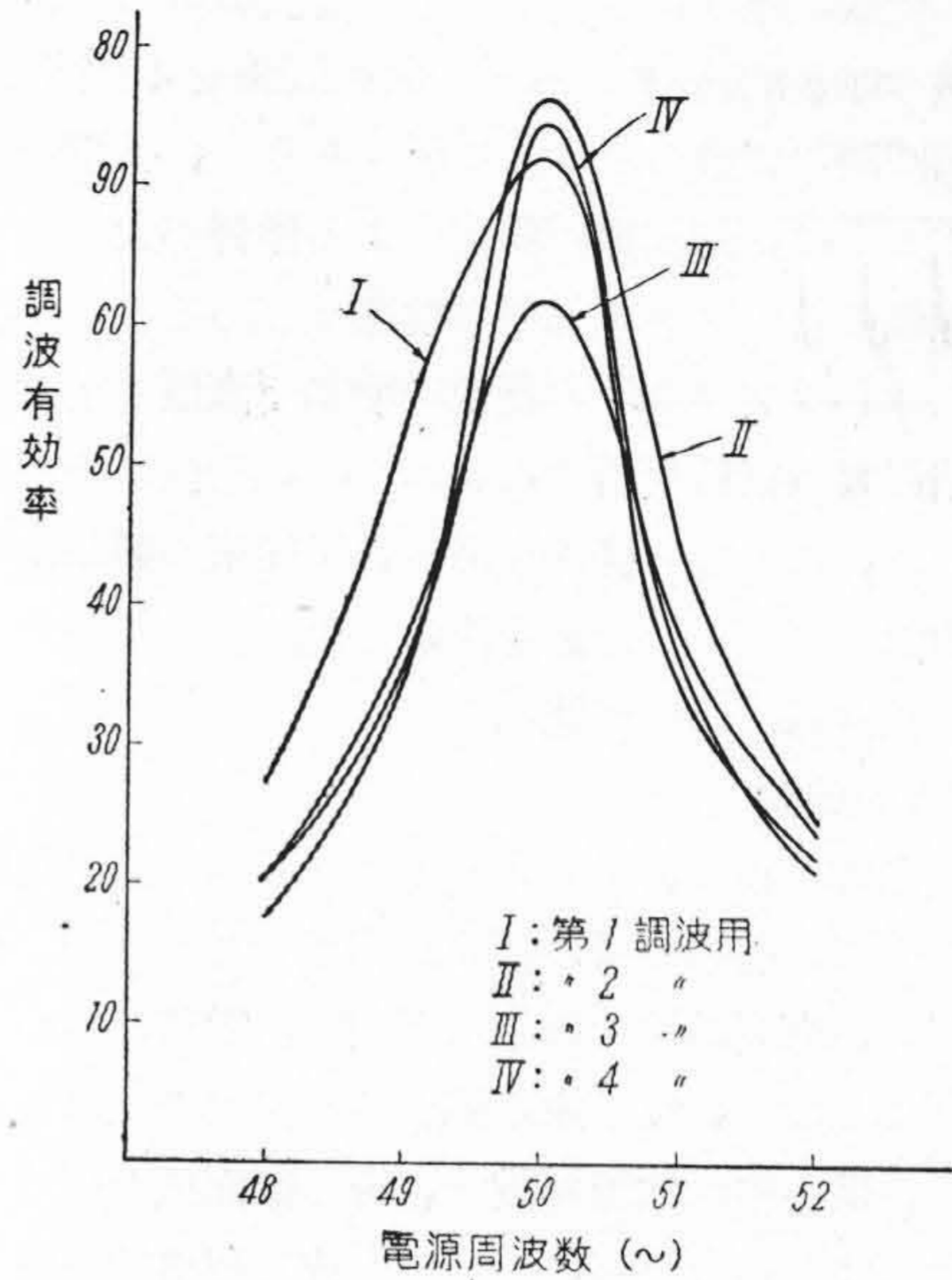
各回路の蓄電器容量は前述したが、1箇の容量 $10 \mu F$ のものを、夫々組合せて使用し、この蓄電器群は第3圖に示す様に、各回路毎に鐵枠中に組込み、その接續には總て平銅を用いて接觸抵抗を出来るだけ小さくしてある。

[IV] 濾波装置の特性

本装置の特性を計算によつて求めた結果を第1表に示す。この表に示した値は、仕様書で規定してある電壓を濾波装置のみを接續したときの出力電壓で除した値であつて、いわゆる假想的調波低減率であるけれども、この値は實際の低減率より小さい値となる。故に我々はこの

第1表 假想的調波低減率 (計算によるもの)
Table. 1 Calculated Data of Wave Filter.

調波次數	實效抵抗 (Ω)	假想的調波低減率				
		基準周波數 52 \sim	51 \sim	50 \sim	49 \sim	48 \sim
1	0.0366	21.8	34.1	72.0	53.3	27.1
2	0.0741	24.9	44.0	76.3	34.4	20.6
3	0.1371	23.65	37.5	62.0	37.15	20.0
4	0.1527	21.4	36.1	74.1	35.0	17.95



第5圖 調波低減率曲線
Fig. 5 Characteristic Curve of Wave Filter.

値を設計の基準とした。この第1表の結果を圖で表わしたものが第5圖であり、設計値としては充分仕様を満足している。

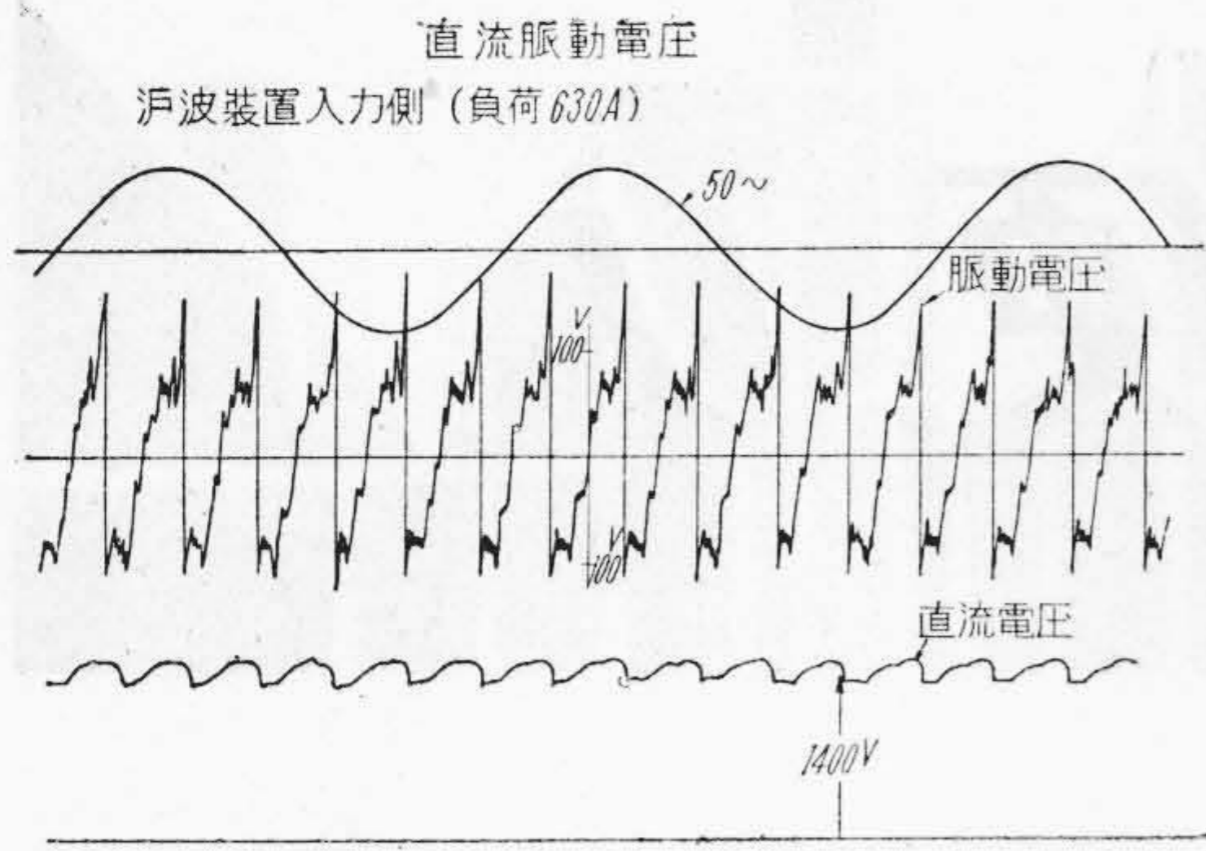
然し、實負荷状態において、濾波装置の調波低減率を測定することは、装置の關係上工場では不可能であるから、工場試験としては減衰振動法により求めた實效抵抗を用いて、假想的低減率を計算したが、これは現地の測定結果より見て参考程度に過ぎないものであることが明らかになつた。

次に、現地試験については、去る2月19日より、3月6日に亘り、日本國有鐵道施設局電力試験室によつて調波低減率、及び有効率の測定が行われた。第2表にその結果を示すが、10% 負荷において綜合低減率は 75.5 綜合有効率は 95.0 という數値になつていて、前述の有

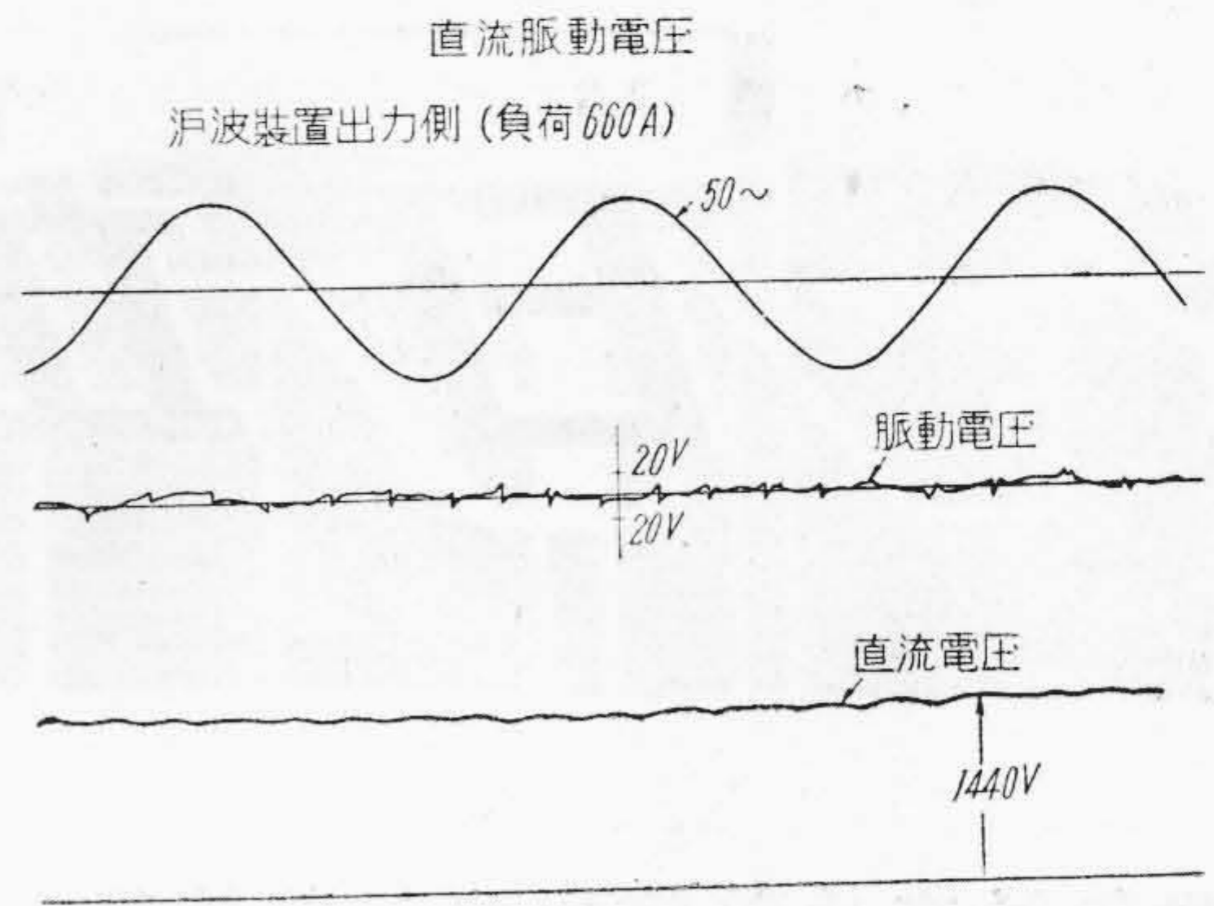
第2表 調波低減率
(國鐵施設局電力試験室測定による)

Table. 2 Test Data of Wave Filter.
(measured by J.N.R.)

調波次數	1	2	3	4	
調波低減率	50 \sim 10%負荷	73.0	100.0	65.0	66.7
	50 \sim 50%負荷	82.3	105.5	83.3	97.2
	調波次數	5	6	7	綜合
調波低減率	50 \sim 10%負荷	19.5	17.0	19.5	75.5
	50 \sim 50%負荷	27.2	26.5	26.5	76.7



第6圖 直流脈動電壓波形 (濾波裝置入力側)
Fig. 6 Wave Form of Ripple Voltage.
(at Input of Wave Filter).



第7圖 直流脈動電壓 (濾波裝置出力側)
Fig. 7 Wave Form of Ripple Voltage.
(at Output of Wave Filter).

効率の方が低減率よりも大であることが裏付けされ、然もその他の結果より見て、本装置の性能が極めて優秀であることが判ると思う。尙参考のため濾波装置の入力側と、出力側の電壓波形をオシログラムにて撮影した結果を、第6圖及び第7圖に示す。

である。今後、鐵道電化の進捗とともに、この種の濾波装置を必要とする場合も多くなることと思われるが、我々としては、今回の結果によつて十分な自信を得、更に改良を加えて要求に應ずる積りである。

最後に、現地測定の詳細なる結果を提供して頂いた日本國有鐵道施設局に感謝の意を表する次第である。

[V] 結 言

以上、茅ヶ崎變電所に納入した濾波装置について、その大要を記したが、實測の結果、非常に良い成績を収めることが出来たのは、我々としても喜びに耐えない次第

參 考 文 獻

- (1) 誘導障害防止委員會報告：電學誌 58 卷 p. 880 昭 13

第 13 卷 日 立 第 4 號

- ◎ 950 耗二重逆轉式分塊壓延機用 4,000 kW イルグナー方式電氣設備に就いて
- ◎ 日立 H 型ダブルチエン
- ◎ 日立殘光性ブラウン管
- ◎ 日立 K 型ホイスト
- ◎ エヤーコンデショナー
- ◎ 3 印長翼型コンベヤチエン

第 13 卷 日 立 第 5 號

- ◎ 沖繩向メタルクラッド
- ◎ 最近の日立印刷機に就て
- ◎ 空飛ぶ電車レールプレッ
- ◎ 裸線一通話路搬送電話端局裝置
- ◎ 新型 200 W 反撥モータ
- ◎ 新型可搬式遠心清淨機

東京都品川区
大井坂下町 2717

日 立 評 論 社

誌代 60 圓 冊 6 圓
半年分 210 圓 冊 35 圓
一年分 420 圓 冊 70 圓