

富士継電器式自動計算機

FACOM-100 (Fuji Automatic Computer)

営業部 高田 重雄
技術部 赤羽 二郎

1. 緒 言

新鋭科学の探究、工業技術水準の向上、事務能率の増進など、凡ゆる近代生活の発展に対して、数値計算なるものが、如何に重要な役割を果しつつあるかは、最近急速に各方面から認められるようになってきた。殊に、それらの基礎となるべき数理的諸調査、統計には、常に複雑、長大なる高級計算を限られたる時間内に完結し、而もその結果が絶対正確に求められることが必要となる。

かような要求に対して出現したのが所謂「考える機械」(Thinking machine)と呼ばれる自動計算機であつて、特に第二次世界大戦以後、欧米諸国において相次いで発達し、事務処理や製造工業や国防技術等に亘る広い分野において、従来は人力の限界を超える範囲として不可能視されていた問題を可能ならしめたのである。

これらは構成機器によつて電子管式、継電器或は電動機構等種々なるものがおこなわれているが、一方その演算方式によつて、次の二つに区別される。



第1図 自動計算機室

a) 相似型計算機 (Analogue Computer)

計算すべき数量を長さ、角度、抵抗、電流のような連続的の物理量に変換して、グラフ式に求めんとするもの

b) 計数型計算機 (Digital Computer)

直接数値そのものを計算の対象として取扱うもの

今回当社で完成した自動計算機は、電磁継電器の回路動作を利用した、計数型計算機である。本機は継電器の有する巧妙にして迅速な、回路制御の性能を高度に駆使して、極めて短時間のうちに、数値の加減乗除および開平等の基礎的演算を電気的に行うと同時に、更に連続した高級演算を多数繰返し、総合的結果を直ちに印刷し得るものである。場合によつては表示器面上に、その数値を随時現わすこともできる。

即ち電鍵盤によつて計算数式の数値、記号、演算命令事項をテープ上に符号化して穿孔すれば、その後は継電器の動作によつて所要の計算を行い、印刷、表示に至るまでの操作を、凡て自動式に行うことができる。

本機に分類装置を附加すれば各種の統計及び製表を行うことができ、従つて数理的解析、物理化学現象、工業技術上の諸問題はもとより、経済、労務、生産方面の事務的諸調査に至るものをも、迅速且正確に処理することができる。

2. 機 能

1. 計 算 方 式

本機は所謂 Floating point system を採用している大型万能計算機であり、取扱う数値の範囲は、正負の 99 桁の整数から小数以下 99 桁までのものに対して、有効数字 8 桁の四則及び開平の演算を行うことができる。之を実際には次のように表現して計算を行う。

$$\text{例} \quad -5560 = -5.5600000 \times 10^3$$

$$0.08751 = 8.7510000 \times 10^{-2}$$

上記例の左側のように数値その儘にて計算する方法を Fixed point system と云い、この方法が便利な場合には之に適當する計算機を設計することができる。

2. 演 算 の 速 度

継電器式計算機の演算を行う速さは、之に使用する継電器の動作時間と継電器数によつて決定されるが、その継電器の回路方式によつても非常に異なる。本機に使用した継電器の動作時間は、約 0.01 秒であるが、前記の 8 桁の数値及び 2 桁の指数の計算に要する時間は次の通りである。

加 減 算	0.3 秒~0.4 秒
乗 算	0.3 秒~2.0 秒
除算及び開平算	0.5 秒~6.0 秒

本計算機によつて各種の数値計算を行う速さは、人手により電動計算機等を用いた場合の、40~100 倍程度である。

3. 確認方法ならびに二次試験

計算機の生命は、計算した結果が絶対正確であり、之に信頼をおけることでなければならない。本機においては計算の確認方法として、check 回路が設けられ、一つの演算毎に間違いなく計算が行われたことを確認して、次の演算に移行してゆくようになってい

る。障害があつて演算に誤を生じたときは、自動的にこの部分を破算して再度演算を行い、その結果が正しいときは計算は続行される。若し二回目も演算が間違つた時は直ちにその所で動作が停止して、警報を発生する。従つて計算の結果が出れば間違いがないという確信が得られる。又故障が発生して停止した場合においても、それ迄に計算した結果には影響がない。故にこの障害を修復除去すれば、そのまま計算を続行させることができる。

4. 印 刷

本機にて計算した結果、或は計算の途上における計算値は、適時これを取り出して自動的に印刷することができる。印刷は一行に 60 字を適当に分割し、任意の表にして毎秒 2 行の速さで一行づつ同時に印刷を行う。本機では現在一行を四部分に分けて、その一つを次のように印刷している。

例 -55600000 +03 (-5.56×10^3 をあらはす)
 (数值部) (指数部)

5. 寿 命

計算機の寿命は、主要機器である継電器の耐久力によつて決定される。本機には通信用継電器を計算機に適合するよう改良した特に長寿命の継電器を使用しており、之は数億回の動作に堪えるものである。

6. 動作の監視

本機は次の場合に警報を発する。

- a. 障害による停止
- b. 可熔片の熔断
- c. 計算不能を生じた場合

即ち スケールオーバー、又は $\frac{0}{0}$, $\frac{a}{0}$ [$a \neq 0$] の場合

- d. 運 転 終 了

運転停止の原因は主として、継電器接点の接触不良、断線等であるが、この場合は操作台の監視ランプが点火して、その障害箇所を明示する故迅速且容易に修理を行うことができる。

本機は継電器を使用しているから、電子管計算機における真空管の安定確保の困難等もなく動作が安定しており、保守上の取扱いが容易である。又部品の取換えもないので、維持費が非常に安く経済的である。

3. 機器の構成と内容

本機は大別すると、テープ作成台、操作台、穿孔機及び読取機、継電器架、印刷機及び表示

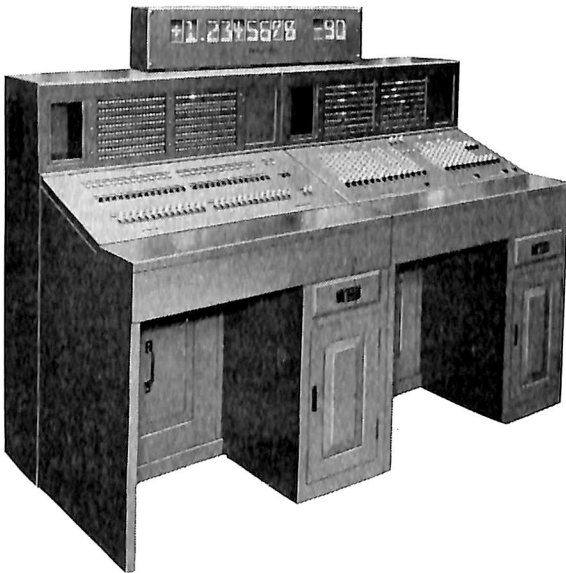
器、並びに電源装置等に分けられるが、各部は更に次のような機器から成立っている。

テープ作成台	1	継電器架	
操作台	1	制御継電器架	4
穿孔機及び読取機		演算継電器架	5
テープ作成用穿孔機	1	記憶継電器架	4
記憶用穿孔機	3	印刷機及び表示器	
数値用読取機	3	同時印刷機	1
命令用読取機	5	光数字盤	1
複写用読取機	1	電源装置	

1. テープ作成台（第2図右）

本台は命令および数値の両テープを作成するに必要な電鍵、押釦等を備えたものである。これには数値を穿孔するための数字符号および8桁の数字釦、2桁の指数釦、各種の命令を与える被演算数、演算数、結果数、演算記号、印刷用釦その他各種の操作電鍵を含んでいる。

数値用鍵盤には現在各桁毎に0~9の10個の押釦を備える、所謂 Full key 式を採用しているが、この他に用途によつては0~9の押釦1組のみを使用した Ten key 式のものもある。



第2図 操作台、テープ作成台および数値表示器

2. 操作台（第2図左）

本台は計算装置の運転開始、停止、或いは復旧の操作を行うための電鍵、押釦類および特に継電器の動作状況を監視するため、多数の表示ランプを使用している。

3. 穿孔機および読取機

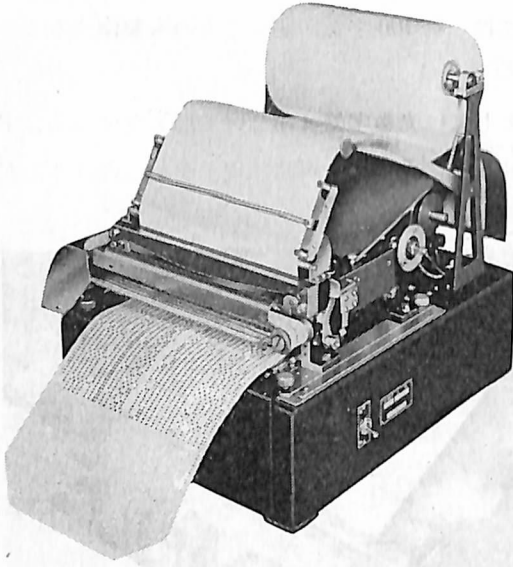
（第3図、第4図）

これは印刷電信機のテープ穿孔機及び読取機に似た原理と、構造を有するもので、通常の電信機の6単位のを、特に能率を増大するよう60単位に改めたものである。之には数値用としては広巾の紙テープを用い、又命令用のものは繰返し使用するために、耐久

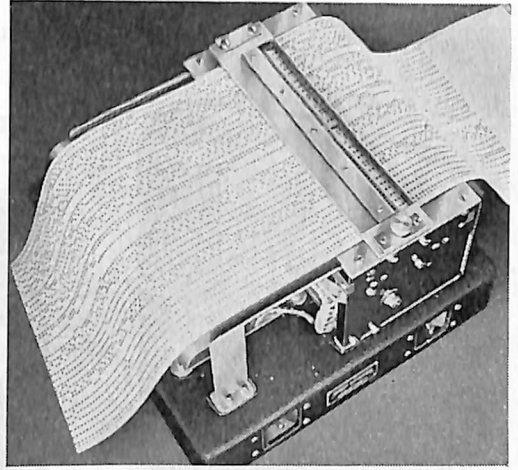
力のある不燃性フィルムを用いている。

4. 継電器架（第5図）

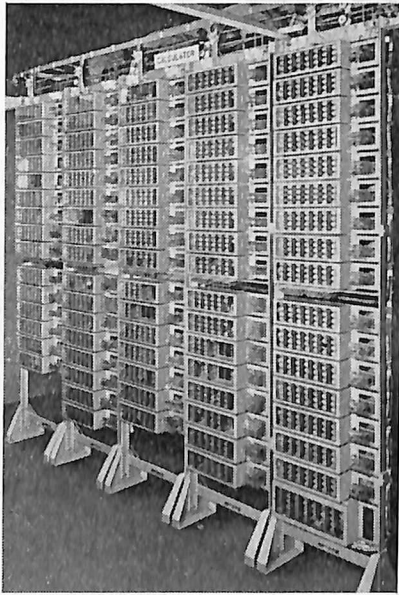
本機の継電器回路は次の三部分に大別される。



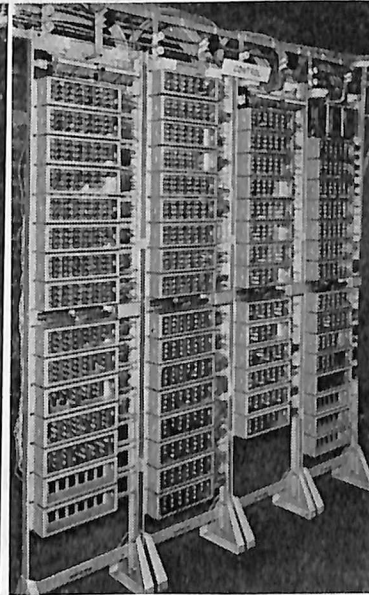
第3図 テ ー プ 穿 孔 機



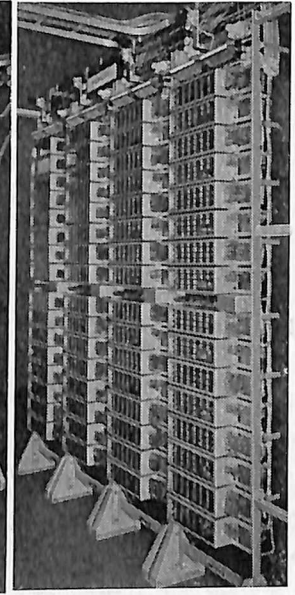
第4図 読 取 機



第5図 演算継電器架(左)



制御継電器架(中)



記憶継電器架(右)

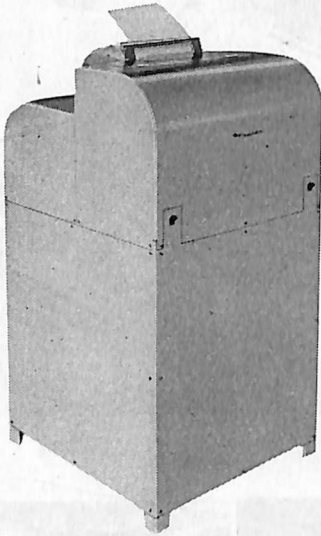
制 御 回 路 演 算 回 路 記 憶 回 路

これらは各回路別に継電器架に装置され、約4,500個の継電器を搭載している。また記憶装置としては、現在一般記憶装置20組、常数記憶装置30組を備えており、必要に応じては更に之を増設することもできる。

5. 印刷機(第6図、第7図)および表示器

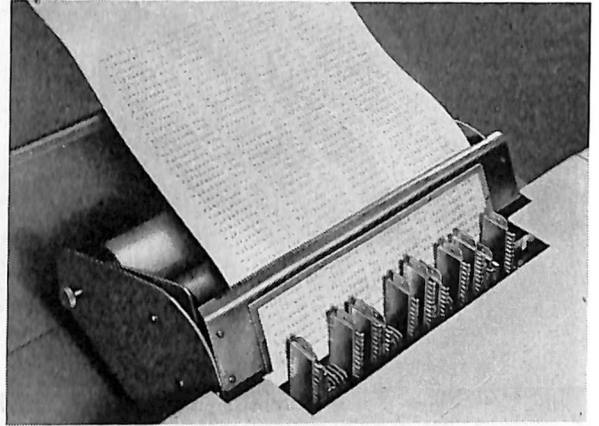
以上計算の結果はこの同時印刷機によつて記録されるが、之は特に印刷能力を大ならしめるよう製作されたものである。即ちこれは各列毎に凡ての数字及記号の活字を備えたもので一行60

字を一齊に印刷し得るものである。尙必要によつては一行 100 字を印刷するものも製作することができる。



第6図 自動印刷機

表示器としては光数字盤（第2図参照）を使用し、字面の組合せ変換によつて、瞬時に現示をおこなうことができる。



第7図 60字同時印刷状況

6. 電源装置

電源としては、継電器の動作用として直流60ボルトのセレン整流器を使用しており、電流は使用状態によつて変動するが、大体 20 アンペア程度である故消費電力は約 1.5 キロワットとなる。

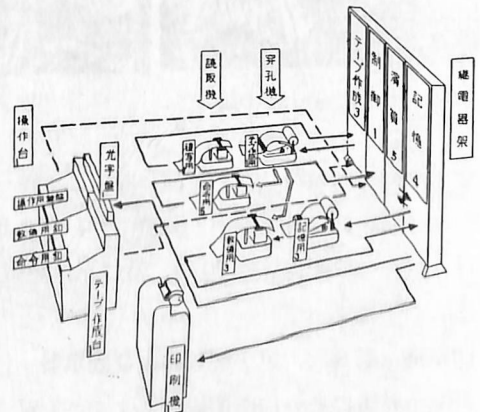
この他に穿孔機と読取機とを運転する電動機用として、直流 100 ボルトを要する。その電力は 1 台について 1/8 馬力である。

4. 使用 方 法

本機を使用して数値計算を行うには、それらの数式の計算順序や方法、記憶装置の使用順序などを合理的に構成して、計算機に指令を与える必要があり、この指令をプログラミング（第9図）と云う。

次にこのプログラミングに従つて、命令を符号化したものをテープ作成台によりテープ上に穿孔する。之を命令テープ（第10図）と云い、一方与えられた数式の数値、指数、符号等を穿孔して数値テープを作る。

命令テープは数式毎に作成されるものである故、同種の問題に対しては、



第8図 動作説明図

数値テープのみを取りかえて、何回でも繰返し使用することができる。

こゝにおいて、命令と数値の二つのテープを夫々の読取機にかけると、継電器装置が動作して指定された順序、方法に従つて必要な演算を行う。演算の結果は直ちに印刷機に導かれて記録せられ、或は光字盤上に現示される。

同一のテープを複製する場合には、複写用の読取機によつて、更に穿孔機を動作させてテープを作る事が出来る。

次に以上の操作を解り易くするために、簡単な実例について説明する。

例 $3,650 \times 12 + 3,650 \div 50 = 43,873$

a) テープ作成台の数値部で押釦操作によつて、次の数値テープを作る。

+ 36500000	+03
+ 12000000	+01
+ 50000000	+01

b) 同作成台の命令部でプログラミングによる次の命令テープを作る。

A	B	C	O	P	(摘 要)
63	00	01	07	000000 数値テープ 63 番の第 1 数値を記憶 1 番に移せ。
01	63	02	03	000000 記憶 1 番の数値に数値テープ 63 番の第 2 数値を乗じて、之を 2 番に記憶せよ。
01	63	03	04	000000 記憶 1 番の数値を数値テープ 63 番の第 3 数値にて除して之を 3 番に記憶せよ。
02	03	15	01	000000 記憶 2 番の数値を記憶 3 番の数値に加えて之を 15 番に記憶せよ。
00	00	00	22	100000 記憶 15 番の数値を印刷機の第 1 位置に印刷せよ。
00	00	00	23	000000 運転を停止せよ。

(註) A列は被演算数の記憶位置
 B列は演算数の記憶位置
 C列は結果数の記憶位置
 O列は命令記号の種別
 P列は印刷の位置を示す

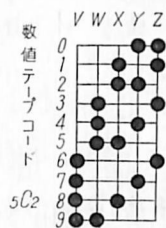
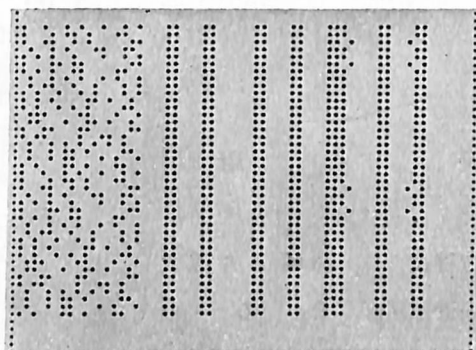
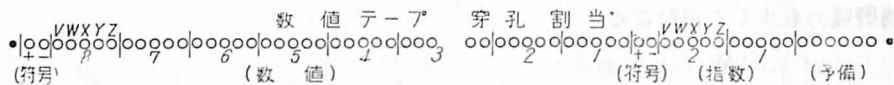
(命令記号の種別)
 07は移動命令
 01は加算命令
 03は乗算命令
 04は除算命令
 22は印刷命令
 23は停止命令

- c) 数値テープ及び命令テープを夫々の読取機にかける。
- d) 操作台の起動電鍵を倒して始動させる。
- e) 命令テープの指定に従つて、本計算機は制御されて演算を行いその結果を印刷し(第12図)之が完了すれば自動的に停止する。

5. 特 長

1. 電磁継電器を使用した計数型計算機であること

動作が安定である継電器を利用して自動的に計算を行い結果を数字で印刷する。



第 11 図 数 値 テー プ と コー ド

2. プログラミングが容易であること

プログラミングは馴れれば誰でも作れる。これによつて得られた命令テープを各種類用意しておけば、どんな計算にでもすぐ応じられる。

3. 演算速度能力の大なること

本計算機によるときは人手を用いる計算の40倍乃至100倍程度に能率を上げることができる。

4. 演算に確認装置を備えていること

計算の結果が常に誤りない事を期するために、演算の各過程毎に正否を照合する装置が施してある。

5. 故障の際でもその発見が容易なこと

監視ランプによつて動作状況が常に監視されている。若し故障のため演算に誤りがあつた時は、繰返し演算を行い、再び障害が起れば動作は停止してその個所がランプにより明示されるから、迅速に原因を究めて之を除去することができる。

6. 障害によつて演算に支障を来さないこと

障害を修復すれば最初から御破算されることなく、その個所から再び演算を続行する。

7. 保守が容易であること

部品の性能が劣化することが殆んどないから保守が容易である。

8. 計算機の寿命が大なること

主要機器である継電器の寿命が、特に大なるよう設計されている。

係 数 表

ステップ	数 値	指 数	摘要
1	+33100000	+00	a_1
2	+18500000	+00	b_1
3	+58000000	-01	c_1
4	-10200000	+00	d_1
5	+86100000	+00	e_1
6	+29000000	-01	a_2
7	+89500000	+00	b_2
8	-13300000	+00	c_2
9	-57100000	+00	d_2
10	+74100000	+00	e_2
11	+82700000	+00	a_3
12	+78200000	+00	b_3
13	-95300000	+00	c_3
14	-62700000	+00	d_3
15	+55000000	+00	e_3
16	-93800000	+00	a_4
17	-14800000	+00	b_4
18	-18200000	+00	c_4
19	-16300000	+00	d_4
20	+68500000	+00	e_4

註：以上を2回繰返す。

9. 消費電力も少くて済むこと

所要電力は約 1.5 kW 程度である。

10. 建設費ならびに維持費が少いこと

工事に便なる構造で建設費が少く、前記の通り部品の取替も殆んどなく、電力費も僅少なので維持費が低廉となる。

6. 応 用

本機は次の各種の数値計算や解析を行うことが出来る。

連立一次方程式 高次代数方程式 微積分方程式
 補 間 法 任意函数の近似展開 そ の 他

原 式 係 数	+33100000 +00	+18500000 +00	+58000000 -01	-10200000 +00
	+86100000 +00			
	+29000000 -01	+89500000 +00	-13300000 +00	-57100000 +00
	+74100000 +00			
消 去 の 途 中	+82700000 +00	+78200000 +00	-95300000 +00	-62700000 +00
	+55000000 +00			
	+93800000 +00	-14800000 +00	-18200000 +00	-16300000 +00
	+68500000 +00			
根	-29088000 +01	+45705000 +00	+18604300 +01	-22030200 +01
	-10584700 +01	+36340900 +01	+12318300 +01	+52999700 +01
	+22251800 +01	+11464600 +01	-41723000 +00	+58088300 +01
		+10087066 +03	+16139378 +02	+17748382 +03
検 査		+43518413 +02	+29261530 +02	+11994608 +03
			-22492696 +05	-43752259 +05
	+17010128 +00	+22290376 +00	+14482891 +00	+19451762 +00
	$x_1 = 1.7010128$	$x_2 = 2.2290376$	$x_3 = 1.4482891$	$x_4 = 1.9451762$
検 査	+86100000 +00	+86099997 +00	+30000000 -07	+00000003
	+74100000 +00	+74099980 +00	+20000000 -06	+00000020
	+55000000 +00	+55000000 +00	+00000000 -99	0
	+68500000 +00	+68499998 +00	+20000000 -07	+00000002

計 算 例

$$\begin{cases}
 3.31 x_1 + 1.85 x_2 + 0.58 x_3 - 1.02 x_4 = 8.61 \\
 0.92 x_1 + 8.95 x_2 - 1.33 x_3 - 5.71 x_4 = 7.41 \\
 8.27 x_1 + 7.82 x_2 - 9.53 x_3 - 6.27 x_4 = 5.50 \\
 9.38 x_1 - 1.48 x_2 - 1.82 x_3 - 1.63 x_4 = 6.85
 \end{cases}$$

4元連立方程式

第12図 印 刷 の 実 際

本装置は一応 12 元連立方程式、或は 10 次方程式までを解き得る能力を有しているが、更に記憶装置を増加すれば、實際上要求される範囲はすべて解くことができる。以上の機能によつて本機は次のような方面に広く応用せられる。

1. 電気回路網の特性計算、設計
2. 天体および気象の観測値計算および数値予報
3. 各種統計的検定ならびに製表
4. 光学機器ならびに音響に関する問題
5. 各種構造物の平衡問題、機械振動、航空機の安定性の問題
6. 会計事務関係

7. 結 言

最近わが国においては計算の自動化をはかるため、欧米方面より種々なる方式の自動計算機が輸入されている。之に対して当社は予てより継電器式自動計算機の試作、研究を進めて来たが、今回ここに実用第 1 号機として本機が完成されるに到つた。

本機は既に運転開始以来、科学研究、諸工業の技術調査、および経済事務関係の諸問題に活用され、實際上多大の実績を収めている。

今後の計算機は益々小型で高速度なることが要求されるが、当社においては更に迅速にして、継電器数の少い新方式の研究を完了している。

今後この自動計算機の活用されることによつて益々多方面の技術の向上、事務能率の増進等重要なる諸問題に貢献されることを希望する。

本装置に関しては東京大学工学部山下研究室ならびに電気試験所数学研究室の御指導御鞭撻を賜つたことを深く感謝すると共に、製作に関して種々御協力下さつた新興製作所に謝意を表す次第である。

特許紹介

特許第 207188 号 (特、公、29-1058 号)

リ ン グ 変 調 器

2 個の入出力変成器と 4 個の金属整流器よりなる所謂リング変調器はその簡単な構造と長期使用に耐える点において真空管変調器に比して著しく有利であり、搬送電話あるいは電信方式等に広く使用されている。

完全な平衡状態を保持して構成された各種変調器は被変調波である搬送電流をその出力側に出現させないものであるが、実際製作し使用されるものにおいては入出力変成器の不平衡、各整流素子の抵抗容量の不均等に基き所謂搬送波の漏洩を来す。

これを防止する手段として平衡用加減抵抗器の使用が簡単で有利であり、最も広く使用されているものがあるが、これによつて各整流素子の容量の不均等に基く漏洩に防止出来ない。この欠点を防止するため平衡用差動蓄電器を使用する方法、あるいは抵抗と蓄電器の並列回路を附加する方法等種々の手段が提案されたが、何れも附加手段に比して著しい効果の期待が得られず、殆んど実施されていない現状である。

第 1 図は公知のリング変調器の回路であり、夫々 2 個の入出力変成器 (T_1) (T_2) の間に 4 個の整流素子 (1)(2)(3)(4) がリング状に接続され、図示の様に各変成器の midpoint 端子に搬送波電源 ($T.E$) が接続され、入力端