

自動交換回路の解析

田島喜平太* 江森五郎**

Analysis of Automatic Telephone Exchange Circuits

By Kiheida Tajima and Gorō Emori
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The purpose for which the circuits of automatic telephone exchanges are designed is to realize an expected connection automatically. Hitherto, study of these circuits has depended on the general rules which have been piled up through researchers' experience. Recently, however, both at home and abroad, it has become possible to analyse relay circuit which includes automatic telephone exchange circuit theoretically.

In this paper, the writers describes numbers of relays, switches and the like, of which automatic telephone exchange circuit consists, and how to spare the relay contacts, theoretically.

〔I〕 緒 言

自動交換回路の目的は或る原因を加えた場合に、予期された接続結果を得るという一語に尽きる。従つてこれを実現し習得するためには定跡のようなものが考えられ、これを理解のための方法としていた。所が最近に至つて我国及び外国で自動交換回路を含めた継電器回路の理論的解析が行われるようになり、その理論的習得の道が開けて来た。こゝでは自動交換回路網に必要とする素子、即ちスイッチ及び継電器の数を先づ論じ、次に継電器接点の節約に就いて論じている。

〔II〕 自動交換回路網に就いて

自動交換回路網の主目的はその回路網に含まれる如何なる加入者の対をも結合させることである。従つて交換回路網はどの加入者の間に通話が行われているかを何等かの形で記憶せねばならぬ。このような回路網を作成するに当つてそれを構成する素子即ち継電器、上昇回転形スイッチ、クロスバースイッチ等の数を十分に使えば割合簡単に作成出来るであろう。併し乍ら更に少い数の構成素子では交換回路網を完成し得ぬかを吟味することに

よつて、もつと能率よく素子をゆかせ得るような経済的な交換網の作成は不可能でない。こうして最小の素子を用いた交換網を求めることは C. E. Shannon 氏等により行われて来た。

(1) 交換回路網の接続容量に就いて

任意の N 箇の加入者を含んだ交換回路網で最大何箇の同時通話を行い得るかということは、最も安全性を考えれば、 $N/2$ 箇ということになる。併し乍らトラフィック理論の説く所では、或る程度の呼損率を許容することによつて同時通話数 S を決定し得る。その交換回路網が最大 S 箇の同時通話を収容するためには、下記の接続容量を持たねばならぬ。

$$M = \log_2 \sum_0^S \frac{N!}{2^m m! (N-2m)!} \quad \text{bit}$$

或いは別の考え方により

$$M = \log_2 \sum_0^S \frac{N!}{m! (N-2m)!} \quad \text{bit}$$

従つて適当な素子を駆使してこれだけの接続容量を有するようにすれば、最小素子による最も能率のよい交換が可能である。

* ** 日立製作所戸塚工場

(2) 素子の接続容量に就いて

1 箇の継電器はそのアーマチュアに就いて考えれば、静か動かの2つの位置を有する。従つて一般に N 箇の継電器の荷い得る接続容量は N ビットと考えられている。又100ポイントの上昇回転形スイッチの接続容量は2デシマルディジットと考えられ、 10×10 ポイントのクロスバースイッチの接続容量は10デシマルディジットと考えられている。これにより交換回路網より要求される接続容量とマッチさせることが原則である。

所が継電器の接続容量を考慮する時はその静止の場合も考えているが、これを考えに入れてよいか疑問である。即ち全継電器静止という条件は上昇回転形スイッチの静止位置、クロスバースイッチの不動作状態に相当し、この後の2者では静止は接続容量として考えに入れられておらぬ。従つてもし全継電器静止の場合を削除すると N 箇の継電器は N ビットの接続容量を持ち得ないで、 $\log_2(2^N - 1)$ ビットを有することになる。逆にもし静止状態も考えに入れるならば上昇回転形スイッチ(100ポイント)は $\log_{10} 101$ デシマルディジットの接続容量を有し、又 10×10 ポイントのクロスバースイッチに於ても、 $\log_{10} 11$ デシマルディジットの接続容量を有すると考えて思想統一をはかるべきである。

一般に交換網内部の接続は呼が発生してから接続を開始し、予め接続してあるということが許容されぬならば、静止ということを削除した解釈を行うべきであろう。普通の交換回路網ではこの考え方によつた方が妥当であると考えられる。一方A形自動交換機に於けるラインスイッチ回路を考える時は、これは静止の位置が不定位でその位置も接続に利用されている。この場合は静止を考える必要がある。又A形自動交換機に於けるスイッチングセレクト等を見ると、これは明かに静止状態も利用されておる。従つてこれは当然 $\log_{10} 101$ デシマルディジットの接続容量を有すると考えても差支えない。

(3) 実際の交換回路網の接続容量に就いて

前記1項により作成すべき交換回路網でも、2項に述べた如く素子の平常状態の利用により、必要素子数は変動する。併し単位を見れば分るように、余り大した変動は考えられない。所が実際には1項により作成された交換回路網はShannon氏が指摘されたように

- (a) 各素子は莫大な接点を要する。
- (b) 各々の呼の発生に際し、各素子の接点は位置を変えねばならず、その結果素子は短命となり又通話を妨害する。
- (c) 素子の誤動作は交換を完全に不能にする。

という欠陥を有し、実用上は問題がある。

そこで S の同時通話を行わせたいならば、 S 箇の接続

回路を考えてしまう。この場合加入者総数を N とすると必要とする通信の総量は $S \log_2 N(N-1)$ ビットとなる。従つて S 箇の接続回路は各々 $\log_2 N(N-1)$ ビットの接続容量が要求される。この場合静止状態を考えると、考えないことは、それが S 倍となつて表われるのだから、交換網全体の素子の箇数に対し大きな影響を与える場合もあろう。従つて交換回路網の作成に際し、上記の点を忘れてはならぬ。こうして各々に接続容量を分離させた交換は実際の交換に近く、こうすれば交換回路網の作成には最小限何箇の素子を必要とするかは自ら判明するであろう。

これを実際の場合で考えて見ると、先程の N 加入者の交換回路網で S 箇の同時通話を考えると1項による場合は継電器を利用したとすれば、静止状態を削除するのではないのでは箇数は異つても僅か1箇である。又上昇回転形スイッチやクロスバースイッチを使えば異なることは先づあるまい。所が本項で述べたような交換回路網を考えると継電器の場合は S 箇の相違を生ずる可能性が多く、又上昇回転形スイッチやクロスバースイッチを用いても、 S 箇の相違が生ずる機会がふえる。

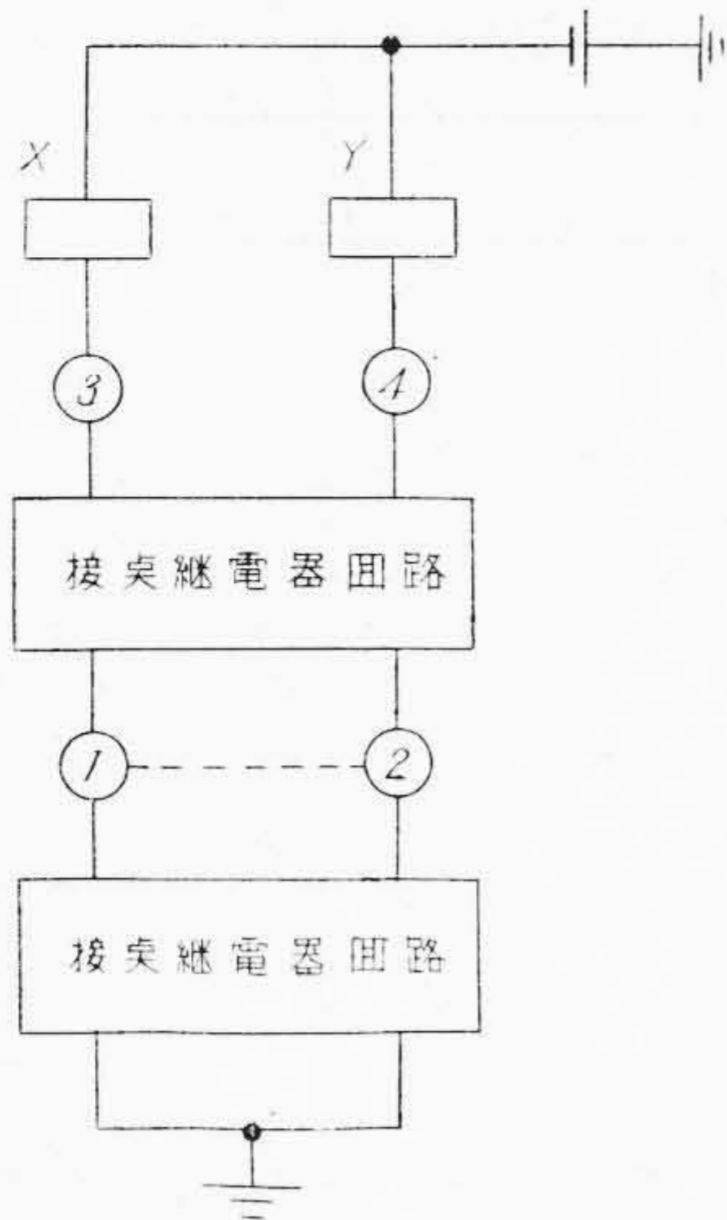
[III] 継電器回路網に就いて

継電器回路網を作成する場合には要求された条件に合致することが先決であるが、これに次いでその内部素子、即ち継電器数及び接点数の節約をはかるのは当然のことである。継電器数の節約は既に方々で述べられている。こゝでは接点数の節約の一手段としての接点の共用化を主として述べる。

(1) 継電器回路網のインピーダンス函数による表示

継電器回路網のインピーダンス函数の表示に就いては色々の方式があるが、次の方式による。即ち或る継電器巻線 F の動態インピーダンスを F で表わし、それにより駆動される接点 f の動態インピーダンスを f で表わし、 F の値は通電時は1であり切断時は0である*と規定する。又 f の値は接触時は1であり、開放時は0であると規定する。なお反対条件はこれに \sim を追加する。従つて f は動作接点を、 $\sim f$ は開放接点を表わす。又直列接続は \cdot で並列接続は \vee で表わす。従つて A 継電器の動作接点 a と B 継電器の開放接点 $\sim b$ が直列に接続された場合の2端子インピーダンスは $a \cdot \sim b$ で並列接続の場合の2端子インピーダンスは $a \vee \sim b$ で表わされる。又或る条件 A が成立すると必ず或る条件 B が成立する時は、 $A \rightarrow B$ で表わし条件 A と条件 B が対等に成立する時は $A \leftrightarrow B$ で表わす。

* この表示は一応アドミッタンスに似ているが、これを動態インピーダンスとして表わす。



第1図 继电器回路網の2点間の接続

Fig.1. Connection between Two Points in Relay Network

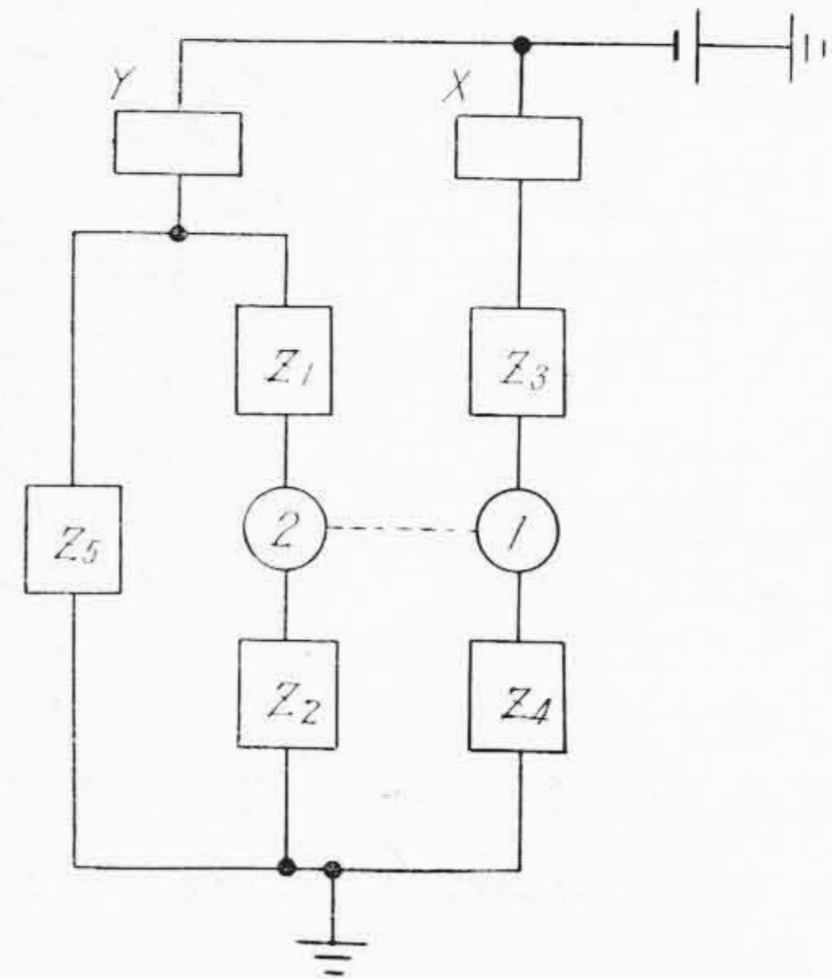
(2) 继电器回路網中の任意の2点間を接続しても继电器動態に影響を与えぬための条件

我々は一般の電気回路網中で、等電位の2点は導体で接続しても何等回路に影響を与えぬことを知っている。これと同じようなことが继电器回路網に就いてもいえないであろうか。このことに対する解析を行つて見る。第1図に於て继电器回路網中の任意の点①、②を選ぶ。继电器巻線 X, Y が図の如く電池に結ばれているとし、その電池側に非ざる点を③、④で表わす。①、③間の2端子インピーダンスを Z_{13} 、②、③間の2端子インピーダンスを Z_{23} 、①、④間を Z_{14} 、②、④間を Z_{24} 、①と地気間を Z_{1G} 、②と地気間を Z_{2G} で表わす。この時①、②間を接続すると、新たに X 巻線に対し $Z_{31} \cdot Z_{2G} \vee Z_{32} \cdot Z_{1G}$ のインピーダンスが附加され、 Y 巻線に対しては、 $Z_{41} \cdot Z_{2G} \vee Z_{42} \cdot Z_{1G}$ が附加される。従つてこの附加によつて X, Y の動態に変化を生ぜぬためには、

$$Z_{31} \cdot Z_{2G} \vee Z_{32} \cdot Z_{1G} \rightarrow X \dots \dots \dots (1)$$

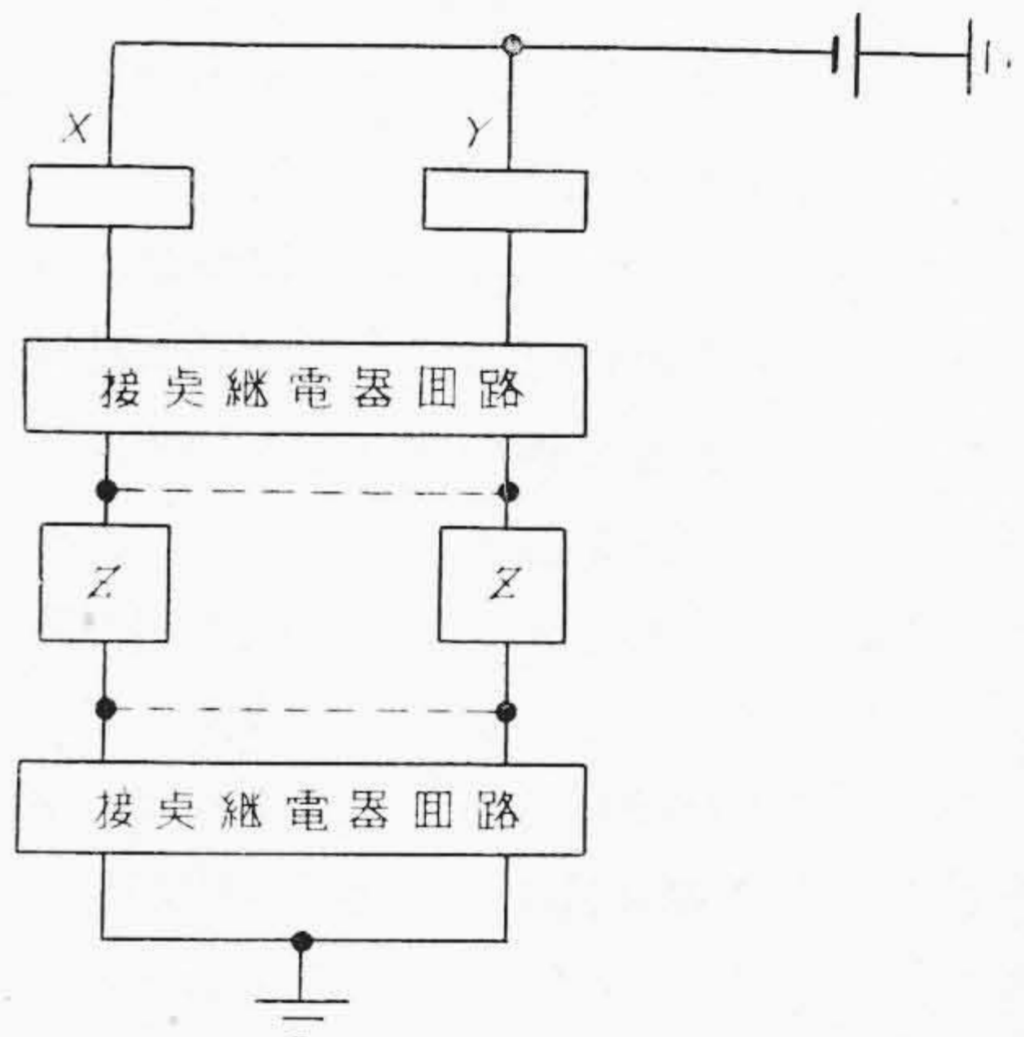
$$Z_{41} \cdot Z_{2G} \vee Z_{42} \cdot Z_{1G} \rightarrow Y \dots \dots \dots (2)$$

①、②の条件が成立すればよい。この条件が成立すれば①、②間を結んでも差支ない。继电器巻線の数がふえた場合にも①及び②点から巻線側地気側を見たインピーダンスを考え、その合成が附加された場合に従前どおりの继电器の動作条件と背反せねば、①、②を結んで差支ない。一方(1)、(2)式を解いて両式の成立するための条件を求めると、次の2つの条件を得る。この条件の何れか1つを常に満足するような继电器回路網であればよい。又或る時刻に条件 a から b に移つて差支ない。



第2図 继电器回路網の2点間の接続の一例

Fig.2. An Example of Connection between Two Points in Relay Network



第3図 同一2端子インピーダンスの両端の接続

Fig.3. Connection of Equivalent Two Terminal Impedances at Both Sides

(a) $Z_{1G} \rightarrow 0, Z_{2G} \rightarrow (Z_{32} \vee \sim Z_{31})(Z_{42} \vee \sim Z_{41})$

(b) $Z_{1G} \rightarrow 1, Z_{2G} \rightarrow \sim Z_{41} \cdot Z_{42} \vee \sim Z_{31} \cdot Z_{32}$

例えば一例として第2図の回路で①、②間を結んで差支ないかということは、

$$Z_{31} \rightarrow Z_3 \dots \dots \dots (3)$$

$$Z_{32} \rightarrow 0 \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_{41} \rightarrow 0 \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_{42} \rightarrow Z_1 \dots \dots \dots (6)$$

$$Z_{1G} \rightarrow Z_4 \dots \dots \dots (7)$$

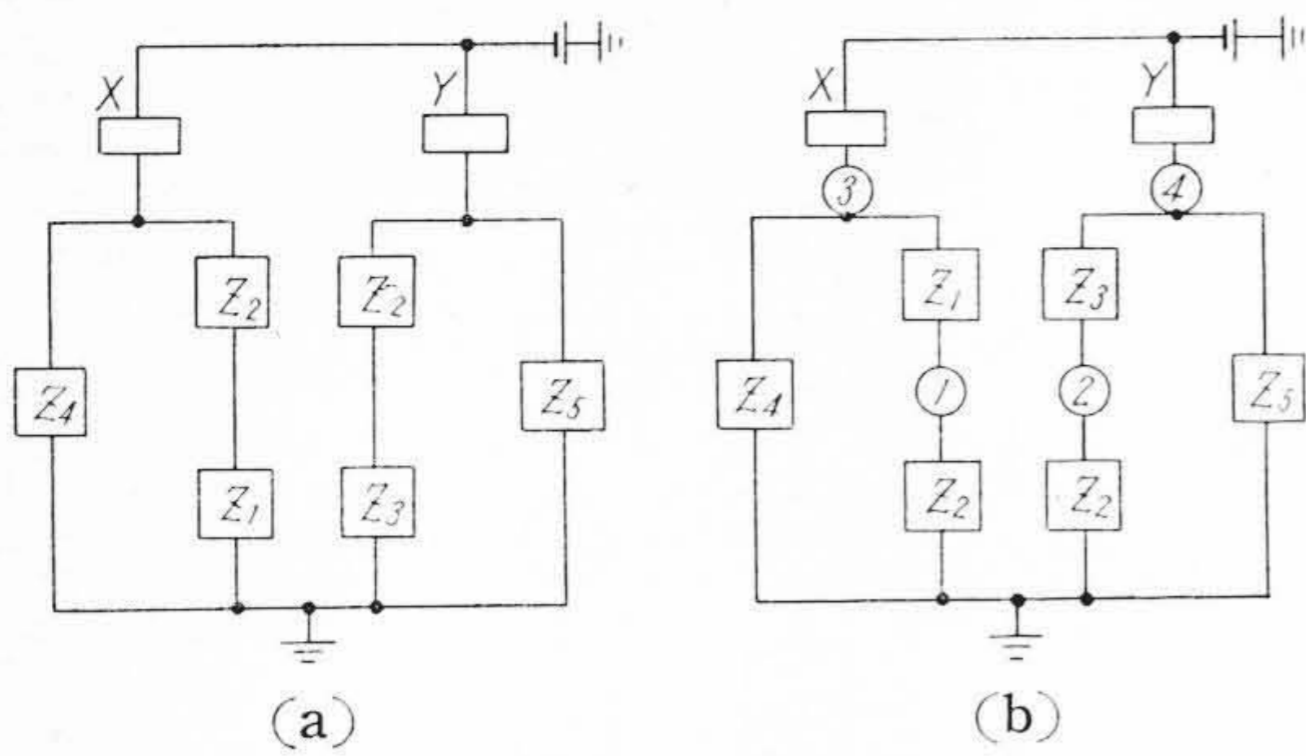
$$Z_{2G} \rightarrow Z_1 \cdot Z_5 \vee Z_2 \dots \dots \dots (8)$$

従つて(1)、(2)式の成立する条件は

$$\sim Z_1 \vee \sim Z_3 \vee \sim Z_5 \vee Z_2 \rightarrow 1 \dots \dots \dots (9)$$

$$\sim Z_4 \vee \sim Z_1 \vee Z_5 \vee Z_2 \rightarrow 1 \dots \dots \dots (10)$$

特別な場合として恒等的に上記の連立方程式が成立する



第4図 継電器回路網の変換
Fig.4. Transfer of Relay Network

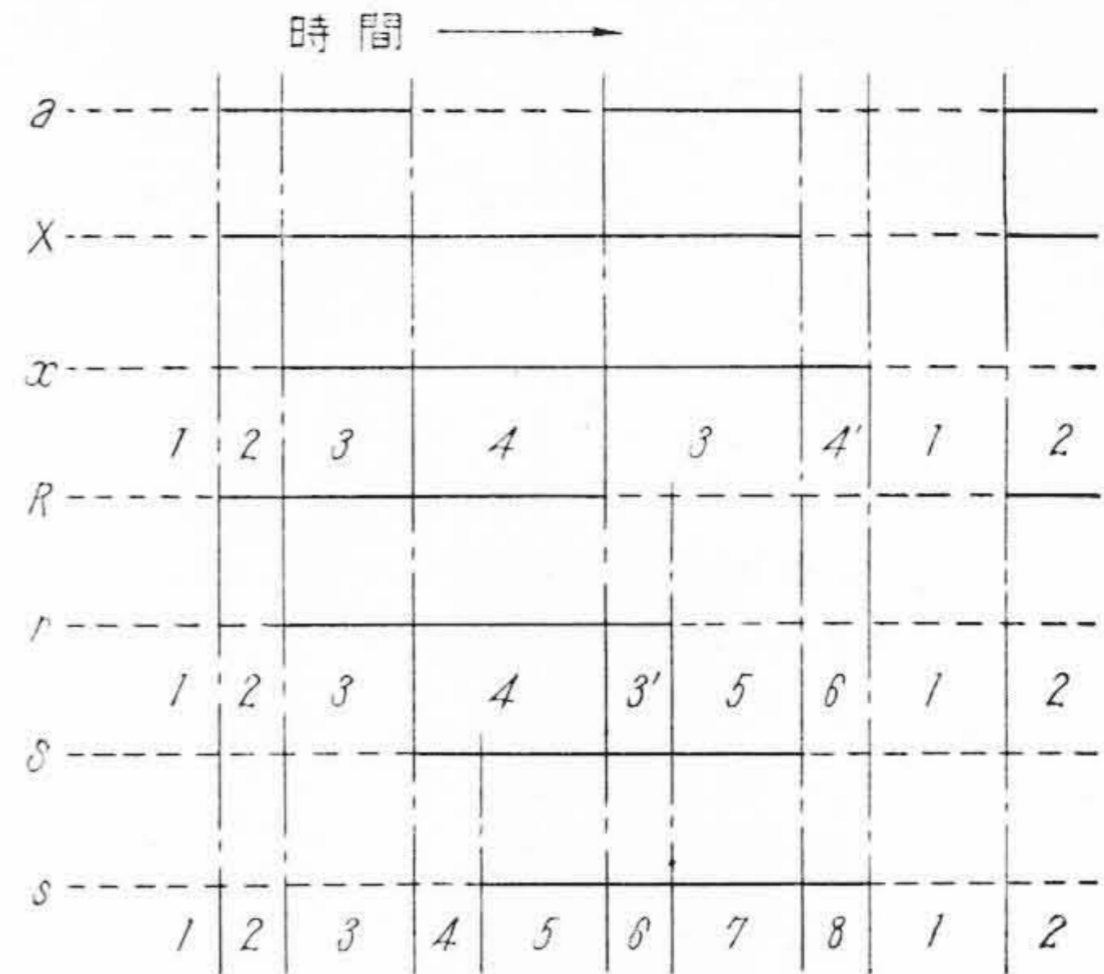
ためには $Z_1 \leftrightarrow Z_2$ であればよく、これは継電器回路網の動態に無関係となる。

(3) 接点共用化の条件

前項で任意の2点間を接続し得る条件が求めたが、第3図に示すように、回路網中の或る2端子インピーダンスで同じものが2つあつた時、その両端をともに接続してもよい条件が求めれば、この2端子インピーダンスは共用して差支ない。即ち前項の変換を2回行つて得た4箇の連立方程式を解けばよい。又直列に接続されたインピーダンスはこれを交換の法則によつて、何れの点に移しても差支ないことが証明されている。従つて回路網中に同じ2端子インピーダンスが2箇あつた時は、出来るだけその2端子インピーダンスを置換して、この置換のみでその一端を接続可能のようになれば、更に簡単に解き得る。例えば第4図(a)の如き継電器回路網では、2端子インピーダンス Z_2 の共用化を考えるのは面倒であるが、第4図(b)の如く変化すれば、比較的楽に考え得る。この時は、

$$Z_{31} \leftrightarrow Z_1 \dots\dots\dots(11)$$

$$Z_{42} \leftrightarrow Z_3 \dots\dots\dots(12)$$



第5図 継電器動態
Fig.5. Operating Condition of Relays

$$Z_{16} \leftrightarrow Z_2 \vee Z_1 \cdot Z_4 \dots\dots\dots(13)$$

$$Z_{26} \leftrightarrow Z_2 \vee Z_3 \cdot Z_5 \dots\dots\dots(14)$$

となるから、①, ②間を接続すると考えて、方程式を解くと、

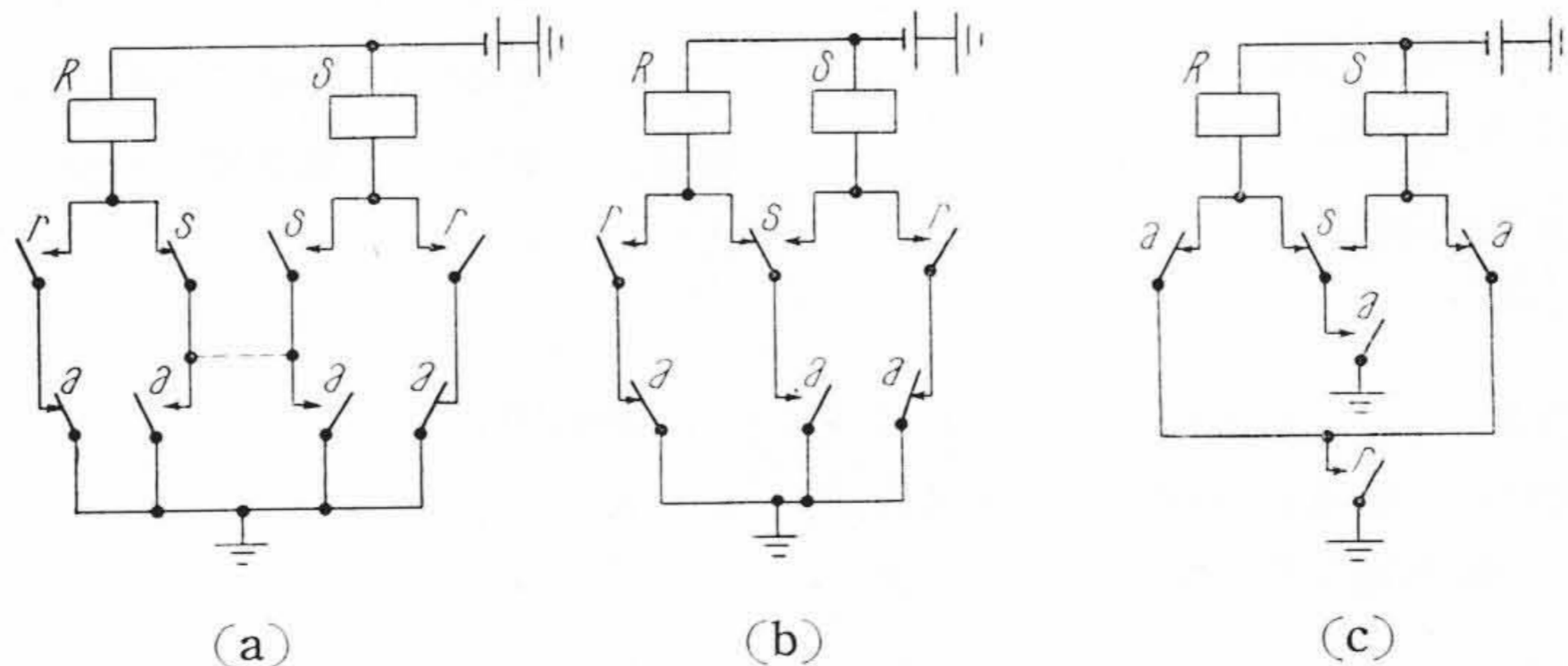
$$\sim Z_1 \vee Z_2 \vee \sim Z_3 \vee Z_4 \vee \sim Z_5 \leftrightarrow 1 \dots\dots\dots(15)$$

$$\sim Z_1 \vee Z_2 \vee \sim Z_3 \vee \sim Z_4 \vee Z_5 \leftrightarrow 1 \dots\dots\dots(16)$$

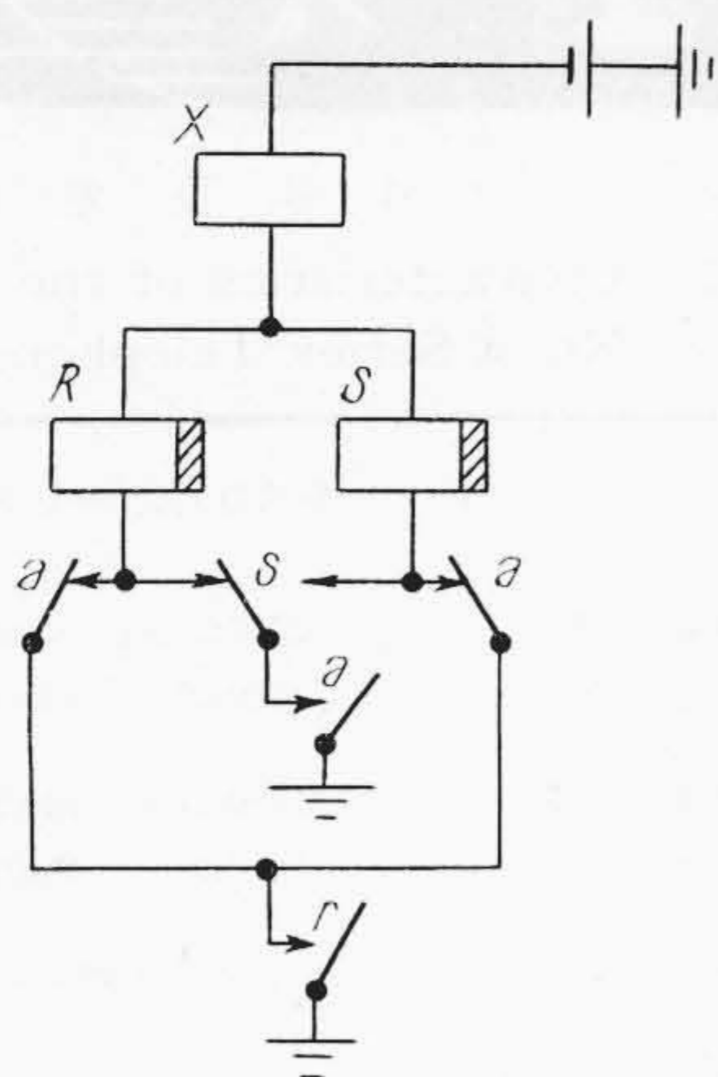
(15), (16)の連立方程式が成立すれば、 Z_2 というインピーダンスは共用可能である。もし $Z_4 \leftrightarrow Z_5$ なる条件が成立するならば、上記の条件は恒等的に成立する。

(4) その実際の応用に就いて

与えられた開閉特性を持つ a を与え、継電器 X の励磁電流を第5図のように変化させる回路では、(但し大文字は継電器を、小文字はその接点を表わし、実線が動作に、点線が不動作に対応する) 全時域に亘りこの条件を満足させる回路を得るために、更に R, S の補助継電器を要する。こうして得る方程式は、



第6図 (a) 接点共用化前の回路
(b) 接点共用化を施した回路(その1)
(c) 接点共用化を施した回路(その2)
Fig.6. (a) Relay Network before Simplifying Equivalent Contacts
(b) Simplified Relay Network (1st Stage)
(c) Simplified Relay Network (2nd Stage)



第7図 綜 合 回 路
Fig.7. Combined Relay Network

$$R \rightarrow a \cdot \sim s \vee \sim a \cdot r \dots\dots\dots(17)$$

$$S \rightarrow a \cdot s \vee \sim a \cdot r \dots\dots\dots(18)$$

$$X \rightarrow R \vee S \dots\dots\dots(19)$$

(17), (18)式に対応する回路は第6図となる。この場合、*a* 接点の動作に順序があることを考えて、*S*, *R* 継電器は多少緩復旧であることを要する。この図を見ると $\sim a \cdot r$ は両者とも共通である。従つて前項の条件より考えて、点線の位置は結んで差支ない。(*a* の共用化)

次に $\sim s$ と *s* を一緒にして第6図(b)を得る。これで $\sim a$ の共用化条件を考える。 $\sim a$ の共用化条件を考えると

$$\sim r \vee \sim a \vee \sim s \rightarrow 1 \dots\dots\dots(20)$$

$$\sim r \vee \sim a \vee s \rightarrow 1 \dots\dots\dots(21)$$

上式はこの継電器回路網の動態では常に真理ではあり得ない。よつて $\sim a$ の共用化は出来ない。そこで $\sim a$ と *r* の順序を入替えて *r* の共用化をはかると、この共用化の条件は、

$$a \vee \sim a \vee s \vee r \rightarrow 1 \dots\dots\dots(22)$$

$$a \vee \sim a \vee s \rightarrow 1 \dots\dots\dots(23)$$

(22), (23)両式は常に真理であり得る。従つて *r* の共用化は可能で最終的に第6図(c)の回路を得る。従つて *X* 巻線を附加して第7図を得る。このように接点の共用化を考えて行くと、成る種の継電器回路では最簡のものが得られる。但し同一継電器の接点であつても、同時に接触し開放するとは限らぬから注意を要する。

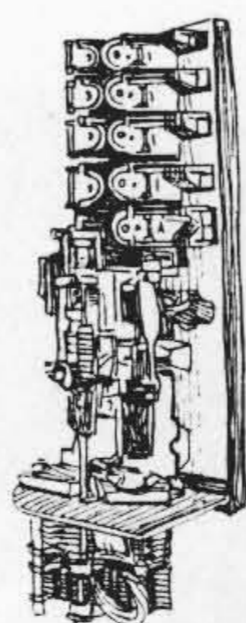
[IV] 結 言

以上自動交換機の回路の解析に当つて、最小素子交換及び継電器接点に就いて述べた。本方面の研究は最近に至り著しい進歩を遂げ、交換機回路よりも寧ろ計算器回路に駆使されている。併し交換機回路も当然理論的に解析せねば進歩は望めない。本論文は未だ中途の段階であり、幾多の不備を含んでいるので大方の叱正を得れば幸である。

最後に種々御指導を賜つた通産省電気試験所、後藤所長、日立製作所戸塚工場、渡辺副工場長に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 後藤： 通信工学を理解するための数学(1~36頁)
- (2) A. E. Ritchie: E.E. Nov. 1949, P. 974
- (3) C.E. Shannon: B.S.T.J. July, 1950, P. 343





日立4号型電話機 Hitachi No. 4 Series Telephones

4号型電話機は日本電信電話公社の熱心な指導のもとに日立製作所ほか数社が協同して研究完成した世界的水準の電話機であり、特に日立製4号型電話機は日立製作所が技術を総合して製造している優秀品である。

日立4号型電話機の特長

- (1) この電話機の開発以来公社と協力して研究を行った後量産設計の上でいちじるしい進歩を遂げている。
- (2) 磁性材料、絶縁材料、電線等性能を支配する主要材料はすべて日立製作所で製造する優良品を使用しており、特に電話機の性能を大きく左右する送話器炭素粉は日立製作所が多年の研究によつて完成したものである。
- (3) インジェクションモールド、ダイカスト等最新の製造設備に加え、精密な機械加工によつて精度高く、均一な部品を製造し、これを空気調整した近代的な組立工場に組立てている。
- (4) 厳密な部品検査を行うは勿論、組立途中に於て専用の試験装置によつて確実な検査を行い、これ等の結果は完全な品質管理組織によつて管理されている。

日立4号型電話機の種類

ダイヤルを有する4号A自動式、ダイヤルを有しない4号C共電式、手廻り発電機を廻わして呼出信号を送出する4号M磁石式があり、4号A自動式、4号C共電式電話機には標準黒色のほかにうすねず、ぞうげ、わかくさ、えんじの各色の美しい色彩電話機がある。

日立4号型電話機の性能

第1表に示す通り感度すこぶるよく、肉声そのままの明瞭な通話ができる。

第1表 日立4号型電話機
Table 1. Characteristics of the Hitachi No. 4 Series Telephones

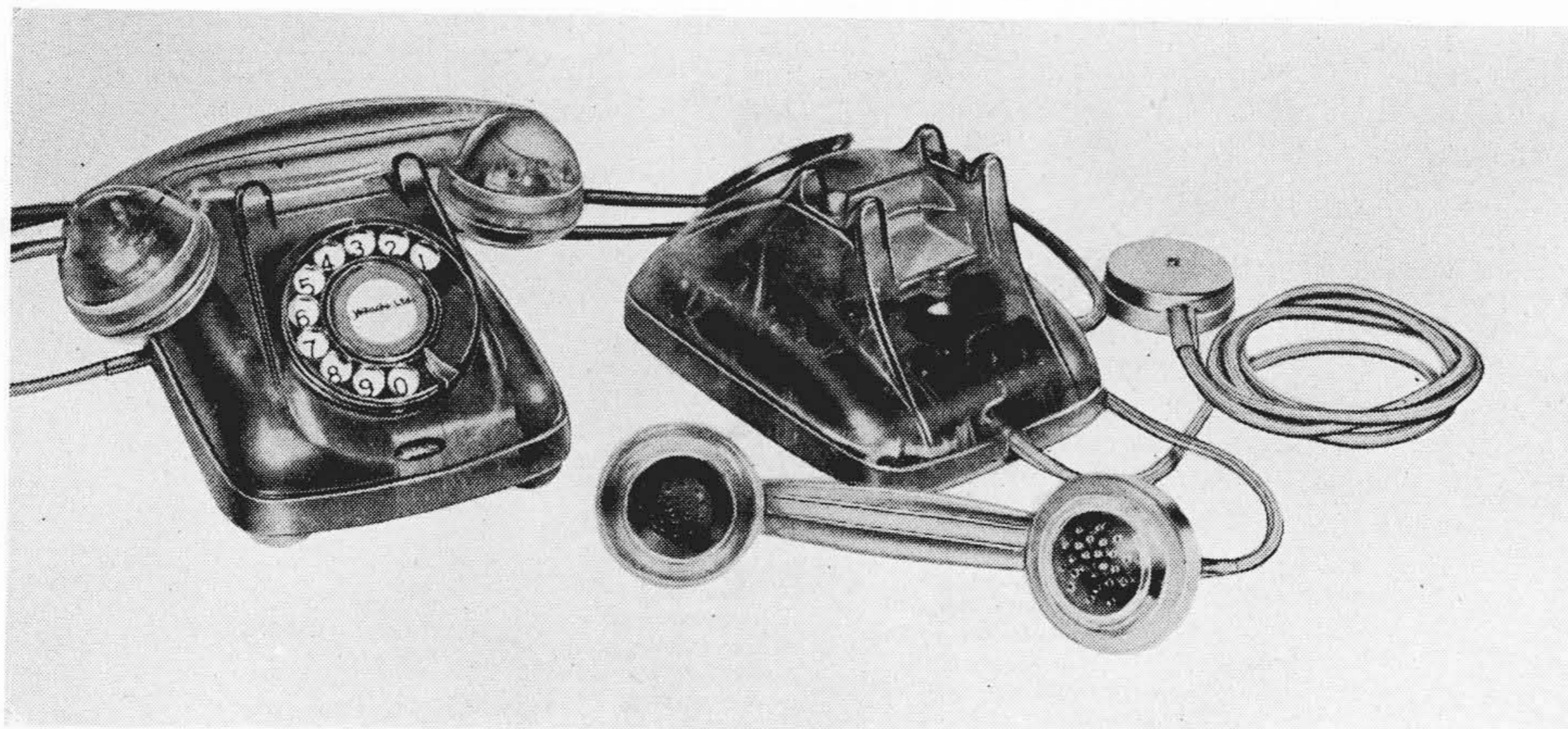
部 品	項 目	4-A自動式	4-C共電式	4-M磁石式
送 話 器	感度 (300~)	-57db以上	-57db以上	-57db以上
	偏差 (300~2,500~)	10db以下	10db以下	10db以下
受 話 器	感度 (1,000~)	60db以上	60db以上	60db以上
	偏差 (300~2,500~)	10db以下	10db以下	10db以下
磁石電鈴	音 量	80ホン以上	80ホン以上	80ホン以上
磁石発電機	出 力	—	—	0.9 W以上
ダイヤル	インパルス速度	10±1 imp/sec	—	—



第1図 日立4号M磁石式電話機
Fig. 1. Hitachi No. 4-M Magneto Telephone Set

寄附電話制度

従来加入者は電話局が取付けてくれた電話機を他の電話機と取換えることができなかつたが、最近自分で電話機を購入して、これを電話局へ寄附手続きすれば、最新型の感度よく、美しい4号A、4号C電話機を使用できることになつた。



第2図 日立4号A自動式電話機 (内部を示すため透明モールドを使用)
Fig. 2. Hitachi No. 4-A Automatic Telephone Set with Transparent Mold to Show the Interior