自動追尾方式ロラン受信機

箕原喜代美*

加藤増夫*

Auto-Tracking System Loran Receiver

K. Minohara and M. Kato

Abstract

Recently, the Loran Navigation Method which is one of the Radio Navigation Methods used by the ships, has shown rapid prevalence, and ships which are equipped with the Loran Receiver have indicated a tendency of doubling in number, year by year. Consequently, the Loran Receiver began to exhibit a tendency of becoming automatic, of course. In order to meet with this new trend, the writers have made research on the automatic type Loran Receiver for the past few years, and have finally succeeded in completing an Auto-Tracking System for Loran pulse.

The outstanding characteristics of this Auto-Tracking System Loran Receiver compared with the conventional Loran Receiver used hitherto, is the fact that it has the functional circuits shown below:

- (1) Automatic Synchronized Circuit for the signal. (ASC)
- (2) Automatic Gain Control Circuit which controls the signal amplitude of the Master Station and the Slave Station. (AGC)
- (3) Circuit for synchronizing the radiowaves of the Master Station at a fixed position, at all times. (AFC)
- (4) Circuit for tracking the radiowaves of the Slave Station at a fixed position, automatically. (ATC)

Since the above circuits are used, the Loran signals are selected at the left end of the pedestal, automatically, and the wave forms are superimposed immediately. It also gives a digital indication of the Loran time difference, automatically. In addition to the above, if the station selection of the Loran pulse is made, the change in the Loran time difference caused by the movement of the measuring point will be continuously and automatically traced, and indicated.

1. 緒言

最近、船舶における電波航法の一つであるロラン航法が急速に普及し、ロラン受信機を装備する船舶が逐年倍増的ないきおいでその数を増している。これは船舶における運航能率の改善が主目的であり、ロラン受信機を装備することにより船位を直ちに知り得、早急に爾後の行動に移ることができることにある。だが、この高普及率の結果もたらしたものは、運用操作面で、面倒な

* 古野電気株式会社

手数を要しないための自動化¹⁾（その前にトランジスタの実用性が高まるにつれ小型軽量化の問題があつた）である。ロラン受信機は装備しても、それに加えてオペレーターたる人員は増えないわけである。船舶も年々高度化複雑化されているおりから、必然的にロラン受信機も自動化の方向にむかうことになる。このことは航空機にもいえることであり、筆者等は多分にこの方面への適用をも考慮した。

かくの如き傾向に即し、この数年来、ロラン受信機の自動化につき研究を行つてきたが、このたびロラン受信機に対する自動追尾に関して一応の完成をみたので、特にその回路系の特色につき言及し、報告したいと思う。Fig. 1 は自動追尾を可能ならしめる全トランジスタ式ロラン受信機の外観写真であり、以下述べるところはすべて本機に基く。また、本方式のものをここでは便宜上「自動追尾方式ロラン受信機」と名づける。

Fig. 1 自動追尾方式ロラン受信機 外観

2. 概 要

自動追尾方式ロラン受信機の従来のロラン受信機²⁾と対比し、異つている点を挙げると、次に示す如き回路系を前者において含んでいることにある。

- (1) 信号の自動停止回路 (ASC)
- (2) 主局・従局の信号振幅をコントロールする自動感度調整回路 (AGC)
- (3) 主局電波を常に所定位置に停止させる回路 (AFC)
- (4) 従局電波を所定位置で自動的に追尾させる回路 (ATC)

これらの回路系があることにより、一対局のロランパルス電波を捕えてその時間差を測定するに際し、その運用操作は極めて迅速簡単となり、一度ロランパルスを捕えておけば、その後は連続して自動的に時間差を表示させることができる。このことは船なら船の受信するロランパルス電波を船の変位につれ自動的に追尾するので、ロラン航法において時間差を眼で観察しながら操船できるわけで、今までのロラン受信機のように、その都度時間をかけてロラン時間差を測定する必要はない。

次に、操作面の手順の上で如何程簡易化するかを述べる。一般にロラン受信機でロランパルスの時間差を測定するには次の順序に従う。

- (1) 選局を行う。
 - (2) CRT 上に受信信号が現われるように感度・平衡のボリュームを操作する。
 - (3) ペデスタル上、左端に主・従それぞれのパルスが乗るように移動操作を行う。
 - (4) 掃引速度を切換え、受信信号を拡大する。
 - (5) 正確にペデスタル左端に来ているかを確認する。
 - (6) 掃引速度をさらに切換えて信号を拡大し、主局・従局の信号強度を同一にして重合する。
- 本方式のものは可能な限り自動化しようとするもので、その操作の行程は次の如くである。

- (1) 選局を行う。
- (2) CRT 上に受信信号が現われているかどうか確かめる。

その後の操作は自動化されているので、この操作だけでロラン時間差を読みとることができ、

一度ロランパルスを測定しておけば、その後は自動的にパルスを追尾し、常にロラン時間差を表示できる。ロラン受信機を利用する上において、ロラン位置の線を略々横断して運航する場合の所謂コース航法³⁾で特に活用できると思う。

また、ロラン受信機で時間差を測定するには、CRT上で主局・従局のパルス信号を重合し、その時に表示される従局遅延回路の遅延量をロラン時間差として知ろうとするのであるが、その操作は人間の眼によって、パルス波形を監視しながら行わねばならない。従って、その操作には熟練を要するので、ロラン時間差の読みとりには個人差を生じることがしばしば起る。これらの操作を自動化すれば、熟練の度合（特に空間波測定⁴⁾において）による測定についての個人差がなくなるわけである。

3. 回路系

本方式ロラン受信機の構成をブロックダイアグラムで示せば Fig. 2 の如くである。自動制御系の考え方をもって構成してあるが、サーボメカニズムによる方式でなく、すべてを電子回路系による方式に拠った。サーボメカニズムによる解析は大沢・飯塚・岡田諸氏が行っている⁵⁾。以下、電子回路系による主な回路につき、その動作を説明する。

Fig. 2 自動追尾方式ロラン受信機 ブロックダイアグラム

3.1 ASC 回路

ASC 回路は操作の初期において、主局パルスを所定位置（主局ペDESTAL左端）に移動させるに際し、ロランパルスの移動がペDESTAL左端で自動的に停止する回路である。Fig. 3 はその回路系統図、Fig. 4 はその動作を示す波形図である。その動作は、Fig. 3 において、基準発振器より分周回路を経てロランパルスの周期と同周期の矩形波（周期 T ）を取り出すのであるが、この分周回路の分周比を僅かにずらし、矩形波の長さを伸縮し、ロランパルスに対しその相対関係を移動させるものである。Fig. 3 において、ASC 回路はB端子に入力がなく、A端子に入力があれば、C端子に出力を生じ、A端子に入力があり、B端子にも入力があれば、C端子には出力を生じない。この出力で分周回路の分周比を変えて移動操作を行う。このようにして Fig. 4 (a) の波形の (A) の位置にロランパルスMが近づき、同時に重なり合うようになると、ASC 回路の端子Bに入力が生じ、従って端子Cに出力を生じなくなる。故に分周回路の分周比はもとの状態に戻り、矩形波の周期とロランパルスの周期が同一になるために、以後出力端子に出力の生じることがなくなる。

Fig. 3 ASC 回路系統図

Fig. 4 ASC 動作波形図

ロランパルスのペデスタル左端に停止するまでの移動に要する最大の時間 t は、

$$t = \frac{T}{\Delta T} \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{T^2}{2} = \frac{T^2}{2\Delta T} \quad (3.1.1)$$

T ロランパルスの繰り返し周期

ΔT ASC 回路出力により、 T の伸縮される時間

今、 $T=30\text{ms}$ 、 $\Delta T=30\mu\text{s}$ とすれば、(3.1.1) 式より、移動に要する時間 $t=15\text{sec}$ 以内となる。

停止を行うにあたり、 S/N が問題になるが、実験では、連続雑音で $S/N=2$ 以上あれば、確実に動作し、パルス状の雑音であれば、 S/N はもっと不良でも動作するが、停止回路がパルスノイズのため断片的に動作し、移動速度が遅くなることがある。従局側においても同様の操作を行うが、この場合には、その移動する範囲を狭くすることができる。

3.2 AGC 回路

AGC 回路⁶⁾ ではロランパルスが常に CRT 上で一定の振幅になるようにロランパルスと基準パルスとを比較して、その差に相当するシグナルを増幅し、これを増幅電源として動作させ AGC を行っている。

Fig.5 はこの回路の原理を示す饋還回路⁷⁾ ダイアグラムである。入力電圧 $\dot{V}_i = V_i \varepsilon^{j\omega t}$ に対し、出力電圧 $\dot{V}_o$ は $(\theta - \theta' = \phi$ とし、

Fig. 5 饋還回路系統図

$$\dot{V}_o = \frac{A_o V_i \varepsilon^{j(\omega t + \theta)}}{1 - A_o \beta \varepsilon^{j\phi}} \quad (3.2.1)$$

$$\text{増幅度 } \dot{A} = \frac{A_o \varepsilon^{j\theta}}{1 - A_o \beta \varepsilon^{j\phi}} \quad (3.2.2)$$

パルスをサンプリングし、パルスの高さに応じた出力を直流電圧として取り出し、この電圧を β 倍増幅して A_o をコントロールする如く負饋還を行えば、周波数・位相に無関係となり、

$$V_o = \frac{A_o V_i}{1 + A_o \beta} \quad (3.2.3)$$

$$A = \frac{A_o}{1 + A_o \beta} \quad (3.2.4)$$

ここで β を非常に大きな値にとれば、(3.2.4)

(3.2.3) 式において、

$$A = \frac{A_o}{A_o \beta} = \frac{1}{\beta} \quad (3.2.5)$$

$$V_o = \frac{V_i}{\beta} \quad (3.2.6)$$

このことから、負饋還回路の特性を β 回路の入力電圧 V_o に対し、出力電圧が Fig. 6 に示す如く、ある値以上の入力電圧に対し出力が出るようにしておけば、入力電圧 V_i に対し V_o は決められた値までは A_o の増幅度で振幅が増加し、一定値になれば、それ以上は

Fig. 6 負饋還回路入出力特性

Fig. 7 AGC回路系統図

Fig. 8 AGC動作波形図

振幅が増えない。Fig. 7 は AGC 回路の一般系統図であり、Fig. 8 はその動作波形図を示す。

AGC 電圧の検出は Fig. 8 に示す如く、ロランパルスを送り、この出力をフィルターに通し、直流としてこの電圧を用いて受信回路をコントロールしている。また、その上、サンプリング信号はロランパルスとノイズの成分を最も良く分離できる値にしなければならない。

このようにして AGC を行うのであるが、さらに主局・従局のシグナルのレベルに応じてバランスをとらなければならない。このため AGC 回路は実際には Fig. 9 の如き系統図のものを採用している。

3.3 AFC 回路

AFC 回路⁹⁾ は主局パルスを主局ペデスタル上にロックしておくための回路である。この回路はロランパルスと比較パルスの位置関係により、AFC 電圧を検出し、これにより得られた電圧で発振回路の周波数をコントロールしている。AFC 電圧検出のためには差動型のものを採用し、

Fig. 9 本方式AGC回路系統図

Fig. 10 AFC動作波形図

AFC 電圧をより大きな値として得られるようにし、またその AFC 電圧の動作波形の変化域を急峻にして、AFC の行われる動作点を正確安定に決める如く組み立ててある。Fig. 10 は AFC 回路の動作波形図を示す。

Fig. 10 において、(a) 図の如き入力電圧がある。この電圧を (b) 図の如き波形に変換し、Fig. 11 に示す T_{r1} ・ T_{r2} のベース入力とする。(b) 図において、入力電圧 a の区間では、Fig. 11 における T_{r1} が完全導通となり、入力電圧 b の区間では、同じく Fig. 11 における T_{r2} が完全導通となる。このような状態において、(c) 図に示す如き幅の狭いパルスを T_{r3} ・ T_{r4} に入れてゲートを行えば、その出力は (b) 図に示す如きものとなる。これをさらに増幅して直流に変え、この電圧で AFC を行うわけである。かくの如く、AFC 電圧検出のためにはロランパルスを (a) 図の如く成形し、これと検出パルスとにより、検出パルスが a の部分に来た時、出力が $\oplus$ 、b の部分に来た時、 $\ominus$ の出力が得られるようにしてあるので、この時、(b) 図に示す入力電圧を大きくすればする程、検出電圧の波形の変化域を急峻にすることができる。

3・4 ATC 回路

本方式ロラン受信機回路系の主目的は ATC 回路にあり、ASC・AGC・AFC 回路はこの機能を充分に果たすための補助装置といってもよい。ATC 回路は従局パルスと比較パルスとにより移動パルスを作り、これにより比較パルスの位置と従局ロランパルスの位置のずれを補正しながら自動的に従局パル

Fig. 12 自動追尾回路波形図

Fig. 11 AFC電圧検出回路図

スを追尾するものである。Fig. 12 は波形によってその原理、Fig. 13 はその回路系統図をそれぞれ示すもので、従局パルスの左半分に比較パルスが位置する際には比較パルスを右に移動させる如き出力を得、右半分の点に比較パルスが来れば、これを左に移動させる如き出力を得、このようにして丁度ロランパルスの中央に比較パルスが来れば、両者とも

Fig. 13 ATC回路系統図

出力がなくなり移動を停止するので、これが常に受信点における主局に対する従局パルスの遅延量の変化に自動的に追従していることになる。この回路系統図が Fig. 13 において示すものであり、AFC 回路において述べたと略々同じ差動型により動作させるものである。

次に、この追尾回路の追尾速度を考えてみる。

この回路では、比較パルスとロランパルスの位置のずれは、ロランパルスの繰り返し 1c 毎に $1\mu\text{s}$ づつの時間差を移動させ得るので、 20c/s で $20\mu\text{s}$ 、 25c/s で $25\mu\text{s}$ 、 $33\frac{1}{3}\text{c/s}$ で $33\frac{1}{3}\mu\text{s}$ までの追尾可能である。測定点の移動にともなう時間差の変化の割合 t_R は Fig. 14 においても見る如く、

$$t_R = v \cos \theta \cdot T_o \dots\dots\dots (3.4.1)$$

ここで、 T_o はロラン位置の線間の最短距離で、単位距離当りの時間差 (μs) の変化量であり、その値は主局・従局を結ぶ線上において最も大きく、 150m 当り $1\mu\text{s}$ である。しかも、変化の割合は、前述の如く、繰り返し 20c/s につき $20\mu\text{s}$ 追尾可能である。従って、追尾できる速度は、 $20\text{c/s} \times 150\text{m} = 3000\text{m/s}$ 、すなわち、毎秒 3km の速度で移動するものにも追尾可能であるといえる。

Fig. 14 時間差変化説明図

4. 実 験

Fig. 15・16・17・18 は本方式ロラン受信機を使用し、各操作状態における受信信号を CRT 測定切換「3」において、 10sec 間隔でうつした写真である。受信信号は 2HO の空間波、受信点は東京都内である。

Fig. 15 は AFC を ON、AGC・ATC を OFF にした状態で、これを見てわかるように、信号の高さ・leading edge とともに相当に変動している。これは空間波を受信していることに起因する。従来のロラン受信機では、この波形を常に leading edge が一致する如く、平衡・時間差微調・利得ボリュームを調整して時間差読みとりのために苦労したものである。

Fig. 16 は AFC・ATC を ON、AGC を OFF にした状態である。ATC を ON にすれば leading edge はほとんど合致しているが、波形の高さが相当に変動している。この状態では、時間差の読みとりは時間差微調を行うことなく読めるが、波形の高さによって時間差に誤差を含むので、常に主局・従局の波形が一定になる如く平衡調整を行わなければならない。

Fig. 17 は AGC・AFC を ON、ATC を OFF にした状態である。この写真でわかるように、信号の高さは AGC によって一定の大きさに保っているが、受信波形が空間波であるために leading edge は一致していない。この状態では、波形の高さは自動的に合致させることができるので、平衡調整を行う必要はないが、leading edge を常に重ね合わす如く時間差微調を行わなければならない。

Fig. 18 は AGC・AFC・ATC を ON にした時の波形である。この写真で見ると、主局・従局ロランパルスの leading edge・波形の高さは常に一致し、刻々の時間差は自動的に表示されるようになる。これが本方式ロラン受信機の最終のかたちである。

Fig. 15. AFCをON, AGC・ATCをOFFにした状態

Fig. 16. AFC・ATCをON, AGCをOFFにした状態

Fig. 17. AGC・AFCをON, ATCをOFFにした状態

Fig. 18. AGC・AFC・ATCをONにした状態

以上の実験写真に示す如く、本方式ロラン受信機においては操作に要する手数を短縮できるのみならず、一度受信したロランパルスは単に時間差を表示するだけでなく、もし二台のセットを使用するならば、局選択のみの操作で、二対局のロラン時間差を刻々表示でき（あるいは Loran plotting board⁹⁾ の如きものに航跡を自動記録させて）、船舶の運航中、船位を常時決定することができる。実際、海上にて二度（いずれも房総沖）行った実験では、自動追尾に関し一応満足すべき結果を得た。願わくば、高速船（あるいは航空機）に装備して、実験を繰り返し行いたいと思っている。

5. 結 言

このたび試作した自動追尾方式ロラン受信機とは、ASC・AGC・AFC・ATC等の回路系を持つことにより、ロラン信号は自動的にペDESTALの左端に停止し、直ちに自動的に波形を重合し、ロラン時間差を自動的に計数表示するとともに、ロランパルスの局選別を行うだけで、測定点の移動にともなうロラン時間差の変化を連続自動的に追尾表示せしめるものであると述べた。また、そのため実験も行い、一応満足すべき結果を得た。

なお、完全なものに近づくことを期するため、

- (1) 主局・従局パルスの自動選別装置
- (2) AGC・AFC・ATCのノイズによる影響の分析
- (3) $1\mu\text{s}$ 以下の読みとりの問題

等あり、近い機会に考究してみたいと思っている。

本研究を行うに当り、古野電気(株)・古野清孝社長、大阪大学・青柳健次博士、東京水産大学

・熊擬武晴先生に絶えざる御指導と御激励をいただいた。また、水産庁・橋本富寿博士、東海区水研・高山重嶺先生、海上保安庁・萩野芳造氏、古野電気(株)・藤原潤一氏・中井直弥氏よりの幾多の御助言を参考にした。ここに深く謝意を表する次第である。 (10/30 1962)

参 考 文 献

- 1) Pierce, Mckenzie and Woodward : Loran, MIT Rad. Lab. Ser., Vol. 4 (1948) p. 108~110
- 2) 第(1)項に同じ p. 345~381
- 3) 加藤 : 漁船に於けるロラン受信機の活用法, 水産科学, Vol. 4, No. 9 (1962) p. 73
- 4) 第(1)項に同じ p. 139~144
- 5) 大沢・飯塚・岡田 : ロラン信号の自動追尾についての一考察, 電気通信学会 (4/23 1962)
- 6) 古橋・熊谷 : 通信と自動制御, 共立出版 K.K. (1955) p. 50~58
- 7) 日本電波協会 : 無線工学ハンドブック, オーム社 (1954) p. 347
- 8) 第(6)項に同じ p. 32~33
- 〃 第(7)項に同じ p. 380
- 9) Greenwood, Holdam and Philips : Electronic Instruments, MIT Rad. Lab. Ser., Vol. 21 (1948) p. 165~171