

28. 地震波動の連続観測のための多成分磁気記録法

—第 1 報—

—短周期地震波動 8 成分の磁気記録—

地震研究所 辻 浦 賢

(昭和 37 年 12 月 18 日発表—昭和 38 年 3 月 30 日受理)

§1. はしがき

無終端テープ機構を併用した多成分磁気記録装置は、比較的せまい区域内におかれた多数の地震計 (Seismometer array) の集中記録をおこなうことが可能であることから、各点の地震動の対比により波動の到来方向、みかけの速度、振動面などの各種の情報をもとめる観測装置として近年、さかんに開発されつつあり、すでに 7 素子地震動観測装置¹⁾、および超短波多重遠隔記録地震計装置 RTS-II²⁾ として完成され研究的観測業務に寄与している。しかしながら、この種の装置はすべて真空管方式によつて構成されている。したがつて、携帯性ならびに消費電力の見地からすれば、当然装置のトランジスター化がのぞまれるところであり、また一方地震観測の立場からすれば、できるかぎり多数の情報の蓄積装置がのぞまれるところである。すでにのべた 7 素子観測装置では、 $\frac{1}{2}$ インチはばテープを 7 軌道に分割してもちいており、またわれわれの開発した記録装置では、周波数変調された 3 回線の副搬送波帯を 1 軌道の磁気テープに録音し、 $\frac{1}{4}$ インチはばのテープを 2 軌道として使用することによつて 6 回線の集中録音が可能であつた。

このような多成分磁気録音法による集中記録式観測法をさらに発展させるためにさしあたり、つぎの 3 点を考慮した。

- 1) RTS-I 型無線地震計³⁾ をもふくめた 3 ケ所の 3 成分観測をおこなう。
- 2) テープレコーダー 1 軌道あたりの回線数をふやす。
- 3) 移動用観測装置として装置の小型化、および消費電力の減少をはかる。

1) については磁気録音機機構部として $\frac{1}{4}$ インチはばテープで 3 軌道のものを製作することによつて解決し、2) については将来 1 軌道あたり長周期ないし中周期成分の磁気録音をふくめて合計 6 回線とする計画のもとに、その予備的資料をうるため、あたらしく 3 回線のを設計し製作した。3) にはたいしては装置全体のトランジスター化をおこなうことによつて小型化、ならびに消費電力の節約をはかつた。

1) S. OMOTE and Y. YAMAZAKI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **35** (1957), 595-612.

2) S. MIYAMURA and M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **35** (1957), 381-394, *ibid.* **37** (1959), 193-206.

3) S. MIYAMURA and M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **33** (1955), 725-731.

以上の目的にしたがつて装置の設計をおこない、1961年のはじめにこれを従来の無線地震計用端局装置としてあたらしい3軌道の無終端磁気テープ併用の遅延式磁気記録装置の試作を完成した。この装置はまた、遠隔記録用としての無線部をのぞけば移動用の波動相関記録装置として随時の観測に使用することも可能である。この例として1961年8月、北美濃地震の余震観測にもちいその実用性を立証した^{4),5)}。その後無線部端局装置として筑波一東京の送受信所に設備し、筑波山を中心とした近地地震の観測装置としてもちい、その結果についてもすでに報告済みである⁶⁾。したがって本論においては、地震波動の多成分磁気記録装置としてかんがえられるいくつかの方法についての優劣の検討と、本装置の設計基準、ならびに構造、および特性等についての概要をのべ、将来なお研究開発すべき問題について報告する。

§2. 録音(記録)方式の決定

現在もつとも一般的な磁気録音法としては、音声周波数帯の直接磁気録音法がある。しかしながら地震波動の磁気録音をはじめとして、機械的振動の録音および医学的現象の磁気録音は音声信号とことなつたおおくの問題をふくんでいる。すなわちこれらは一般に信号の周波数範囲は直流までふくめた超低周波成分(ELF)^{*1}をもつこと、また波形の忠実な再生が要求されることである。したがって通常の音声にたいしてもちいられている直接録音方式では再生ヘッドの微分特性のため超低周波帯の再生に限度があり、またその特性の補償もなかなか困難である。そこでこれをおこなうためには補償なしで平坦特性のえられる特殊ヘッドをもちいなくてはならない。したがってうえにのべた情報の磁気録音法として一般にもちいられているものとしてFM,^{*2} PWM (PPM),^{*3} PCM^{*4} などの変調方式による録音法がかんがえられる。また、本題の目的とする情報の多成分録音にたいしては、第1の方法として、はばのひろいテープをもちい多層構造をもつたヘッドを使用する方法があり、チャンネル間の漏話、SN比に対する要求のゆるす範囲内でうすくすることが可能である。現用では $\frac{1}{4}$ インチはばで3トラック、 $\frac{1}{2}$ インチはばで7トラック、1インチはばで14-16トラックのものもちいられている。しかしこの方式では多成分録音にしたがつてテープはばがひろくなり、したがって長期間の連続観測に際しては、テープその他の経常費が高価となるため、われわれの場合は適当でない。そこで情報の多成分録音法としてかんがえられる第2の方法として、周波数分割ならびに時分割による多重化方式の両者がかんがえ

4) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, H. MATUMOTO and S. ANDŌ, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **39** (1961), 895-908.

5) K. AKI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40** (1962), 371-389.

6) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, M. TSUJURA and H. MATUMOTO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40** (1962), 885-897.

*1) E. L. F.: Extremely low frequency, i.e. 0~30 c/s.

*2) F. M.: Frequency modulation.

*3) P. W. M. (PPM): Pulse width modulation (Pulse phase (position) modulation).

*4) P. C. M.: Pulse code modulation.

られる。以下これらの方式について説明し、あわせてその優劣を比較する。まず Fig. 1 に 7.5 インチ/秒のテープ速度における各種録音方式による録音可能な周波数帯域をしめした。

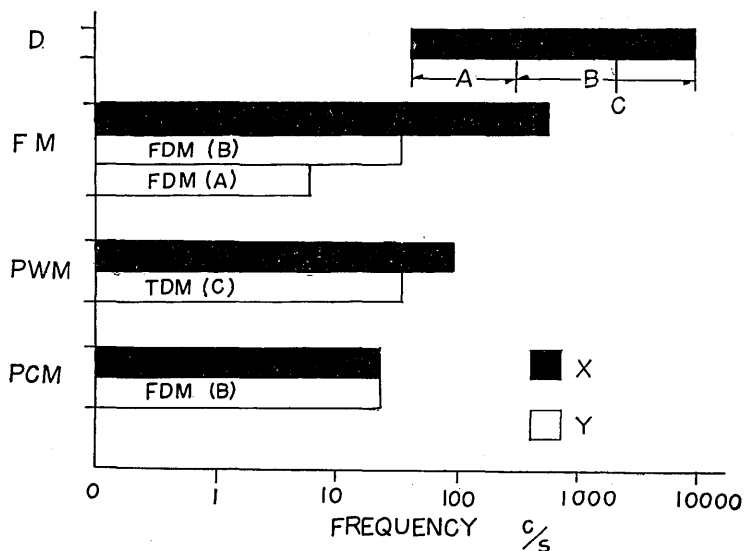


Fig. 1. Frequency band allotment for various recording systems with a recording tape speed of 7.5 inches per second.

- D : Direct recording system.
 FM : Frequency modulation recording system.
 FDM (A), (B): Frequency division multiplex system by use of frequency band (A) or (B).
 PWM : Pulse width modulation recording system.
 TDM : Time division multiplex system.
 PCM : Pulse code modulation recording system.
 X : Single channel.
 Y : Multi-channel.

1. 直接録音

これは一般にもちいられている交流バイヤス方式によつて音声周波数の録音にもちいられているものであり、7.5 インチ/秒のテープ速度で標準の低域、高域補償をおこなえば、50c/sから 10 kc/s までの周波数帯域にわたつて、ほぼ平坦な録音が可能である。その他すでのべたごとく、特殊ヘッドによる超低周波帯の直接録音法⁷⁾がある。これはテープに記録された信号の残留磁束に比例した電圧をとりだすもので、任意の低速度で再生できる利点をもっているが、SN 比はあまりよくないようである。

7) L. W. FERBER, *I. R. E., Nat. Conv. Rec.*, 6 (1958), 279-291.

2. 変調方式による方法

a. A. M.

変調方式のなかでかんがえられるものとして AM^{*3)} 方式がある。これは録音周波数帯域をせまくすることが可能である。したがって多成分録音にたいし利点をもっているが、変調にともなう雑音がおおきく、あまりもちいられない方式である、したがってここでは割愛することにした。

b. F. M.

音声周波数帯域内のある周波数を副搬送波として、この周波数変調によつて、超低周波帯の磁気録音をおこなうもので交調歪すくなく、直流のレスポンスをもっている点において、超長周期をふくめた地震波動の録音に適している方法である。しかしテープ速度の変動 (wow, flutter) が直接、雑音となつてあらわれる。したがつてこの影響を軽減するため、高級なテープ機構をもちいると同時に周波数変調における周波数偏移をある程度おおきく (数 10%) とすることが必要である。多成分録音法としては、Fig. 1. の FDM (A, B) にしめしたごとく、周波数分割による多重化方式がかんがえられ、もつとも一般に使用されている方法である。これを時分割方式 (TDM) と比較した場合特性、機構等に一長一短があり、どちらが有利かはきめかねる。しかし周波数分割方式は多重化にともなう回路素子として、帯域濾波器によつてチャンネル分離が可能であり、これは時分割方式によるチャンネル分離のための時限回路にくらべて、回路構成が容易であり、またパルス性雑音にたいする誤動作につい。したがつて今回の装置もこの方式にしたがうこととした。図にしめす FDM (B) は短周期の多重化に、また FDM (A) は長周期成分の多重化磁気録音用の各副搬送波として音声周波数帯域の周波数配分をおこなつた。

c. P. W. M.

すでによく知られているごとくパルスはば変調方式 (PWM) は、Fig. 2 にしめすごとく一定周期の矩形波のはばを信号によつて変調する方式であり、矩形波の搬送波はバイアス

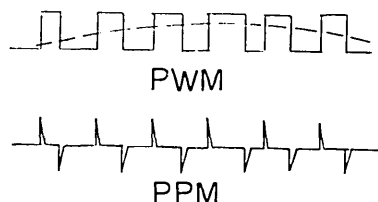


Fig. 2. General system of pulse width modulation and pulse position modulation.

をもちいなくても直接、録音が可能である。再生は直流再生をした波形の平均値をとればもとの信号をとりだすことができる。また Fig. 2 のごとく位相 (位置) を信号で変調 (PPM) し、両極性のパルスにして録音をおこなうことも可能である。そして録音信号帯域は、Fig. 1 にしめしたごとく搬送波を 800 c/s とすると、大体 100 c/s まで録音が可能である。この両者を称して、一般に PTM といわれているが、どちらにしても回路的には大差がないので、ここでは PWM 方式について若干の解説をくわえたい。

*3) A. M.: Amplitude modulation.

すなわちこの方式においても磁気録音における一般的な3種の雑音。1) 振巾。2) 変調。3) wow, flutter 等による雑音が生じる。しかし振巾、変調による雑音のさけられるわりあいは、FM方式とほぼ同様であるが直線性、波形歪、SN比等にたいしてはもつともすぐれている。またFM方式にくらべテープ速度の変動が雑音に変換される率はちいさい。したがって普通のテープ機構部をもちいても45db程度のSN比がえられる特徴をもっている。くわしい計算は文献⁸⁾を参照されたい。

本方式における多重化の方法としては、すでにのべたごとく、時分割方式がかんがえられ、Fig. 1のTDM(C)にしめしたごとく、音声周波数帯のある周波数をPWMのくりかえし周波数にえらび、チャンネル数に応じたサンプリング周波数を信号で変調する方式である。この図はくりかえし周波数を2.5kcとし、6チャンネルの多重をおこなうばあいについて計算したものである。本方式による多重化装置としては、すでに2軌道のテープに5チャンネル多重情報蓄積装置⁹⁾、および8チャンネルの装置¹⁰⁾(テープ速度15インチ/秒)のものが開発されている。いずれも1軌道は自己の回線・分離選択のための同期信号用としてつかわれている。また時限回路として、ダイオードマドリック方式をもちいた7チャンネルの多重遠隔記録装置¹¹⁾、および15チャンネル装置¹²⁾等開発されているが、いずれも回路構成が相当複雑であり、これをテレメーターにもちいたばあいは、パルス性雑音によつて同期がみだされ、誤働作あるいは雑音となるおそれがある。したがってわれわれの実験室において製作するばあいは、筆者の経験から、さきにのべたFM方式の方がはるかに容易であり、確実性があるものとかんがえられる。

d. P. C. M.

いままでのべた各方式はアナログ方式といわれるもので、測定された量をそのまま連続的な量として記録する方式であつた。これにたいし本方式は、アナログーデジタル変換器をつかつて信号電圧をパルス符号、あるいは特定周波数に変換して録音する方式¹³⁾であり、テープはデジタル信号として記録される。また再生はデジタルーアナログ変換器をつかつて復調するか、あるいはデジタル信号のまま、つぎに接続される機器(電子計算器の入力回路、デジタルプリンター等)に直接くわえることができる。この方式におけるひずみ、SN比等は録音系には関係せずもつぱらA-D変換器、あるいはD-A変換器の精度によつてきまり、もつとも確実なデータの録音が可能である。しかし本方式につかわれる変換器は相当高価であり、回路自体も複雑となる。また利用しうる周波数範囲も他の方式に比し、せまい等の欠点をもっているが、長周期地震波動を対象としたdigital seismographとして、もつとも有効な手段である。したがって現在、本方式によるultra-long period

8) H. S. BLACK, Modulation Theory, D. Van Nostland Co., Inc. 1953.

9) 藤岡・野村・田代・山本 生産研究 10 (1958), 125-126.

10) 藤岡・野村・山本 生産研究 12 (1960), 350-355.

11) G. NEWSTEAD and P. A. WATT, Nature 186 (1960), 704-705.

12) 猪瀬博 生産研究 8 (1956), 265-272.

13) P. KNIGHT, Trans. I. R. E., TRC-3 (1957), 1-15.

digital seismograph の試作をすすめている。

§3. FM 多重化方式

以上各種記録方式について優劣を比較した結果、回路構成、チャンネル数、周波数帯域等を考慮し、周波数分割による FM 方式に決定した。Fig. 3 はこの方式の系統図をしめす。Fig. 3 a は録音系、Fig. 3 b は再生系をしめす。装置は当初の目的として、RTS の端局装置として設計試作したものである。しかし図中の高周波部分をのぞけば、移動用波動相関測定装置として使用することも可能であり、このばあい BPF でしめす帯域濾波器は 1 個で録音、再生に共用することも可能である。設計にあたって副搬送波の中心周波数をいかに選定すべきかは測定すべきデータ数できめられ基本的には副搬送波の高調波相互間の結合波による Cross modulation が最小になる副搬送波の選定をおこなう必要がある。1 例として米国では多年航空機やロケットの遠隔測定の研究の結果 Table 1 にしめすごとき副搬送波を標準として推薦している¹⁴⁾。しかしわれわれの観測装置としては無終端テープをふくむ 2 台のテープレコーダーが直列に結合されている関係で、wow, flutter の影響がはなはだおおい。したがって RDB 標準をそのまま使用することは SN 比の点で不可能であり、各周波数偏移は出来るかぎりおおいとる必要がある。そこで信号周波数(短周期地震波動)の上限を 50 c/s の誘導をさけるため 40 c/s とすると、副搬送波の下限は 400 c/s となり、上限は直接録音方式の項で説明したごとく、テープレコーダの特性によつて決定される 10 kc/s となる。このあいだに一応、3 回線以上の多重化をおこなう計画のもとに試作したのが Fig. 3 である。

まず PU でしめす可動線輪型地震計の出力を松本英照¹⁵⁾が試作したトランジスタ増巾器(ELF₁)にくわえる。そしてこの出力を MOD でしめす FM 変調器にくわえ周波数変調をおこない所定の周波数偏移 20~25% をうる。そしてこの出力は BPF でしめす帯域濾波器にくわえられる。BPF は自己のチャンネルの伝送帯域巾を制限すると同時に、FM 変調器出力矩形波を正弦波になおす効果をもっている。各帯域濾波器の出力正弦波は混合され、RTS 高周波部、あるいは直接、増巾器をとおつてテープレコーダーの録音ヘッドにくわえられる。ここで RTS-1 は 60 Mc 帯であり、その副搬送波の上限は 3 kc でおさえられている。したがって信号回線を 2 チャンネルとし、タイムマーク用として 1 チャンネルをもうけることにした。

一方、受信された電波は受信機によつて検波され、もとの変調された副搬送周波帯がとりだされ MT-AMP₁ でしめす高域補償特性をもつた磁気テープ増巾器によつて増巾され、エンドレステープレコーダーに録音される。そしてテープの再生ヘッドをとおして、つぎの磁気テープ増巾器(MT-AMP₂)にくわえられ、保存用テープに接続される。

保存用テープレコーダーは常時は停止状態にある。一方、受信機からの出力の一部は BPF でしめす帯域濾波器、および DEM でしめす復調器によつて 1 成分の信号波がとりだ

14) NICHOLS and RAUGH, Radio Telemetry, 2nd Ed., App. 12 and 14, Wiley, 1956.

15) H. MATUMOTO, Bull. Earthq. Res. Inst., 38 (1960), 345-354.

BLOCK DIAGRAM OF NINE CHANNEL
TRIGGERED MAGNETIC RECORDING SYSTEM

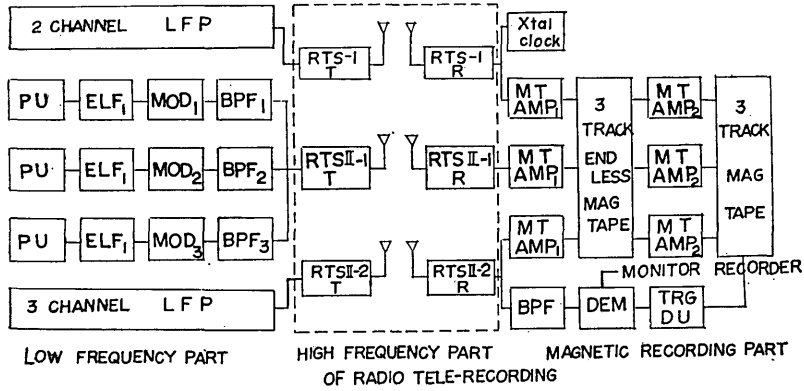


Fig. 3 a. Schematic diagram of the instrumentation.

BLOCK DIAGRAM OF PLAYBACK SYSTEM

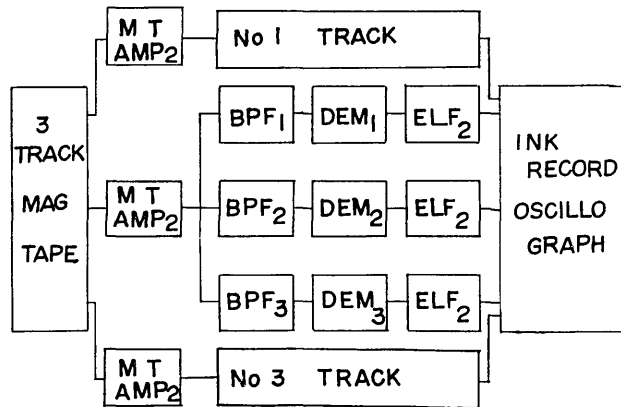


Fig. 3 b. Schematic diagram of the instrumentation.

- PU : Pick-up or seismometer.
- ELFI : Extremely low frequency amplifier, i.e. 3-30 c/s.
- MOD : Modulator.
- BPF : Band pass filter.
- RTS : Radio tele-recording seismograph.
- MT AMP: Magnetic tape amplifier.
- DEM : Demodulator.
- TRG DU : Trigger delay unit.

Table 1. Frequency division of FM-FM tele-metering system by Research and Development Board for Guided Missiles (R. D. B.) in U. S. A.¹⁴⁾

ch.	fl	fc	fu	Δf	fs	fd
1	370	400	330	± 7.5	6	30
2	518	560	602	± 7.5	8	40
3	675	730	785	± 7.5	11	55
4	888	960	1,032	± 7.5	14	70
5	1,202	1,300	1,398	± 7.5	20	100
6	1,572	1,700	1,828	± 7.5	25	125
7	1,127	2,300	2,473	± 7.5	35	175
8	2,775	3,000	3,225	± 7.5	45	255
9	3,607	3,900	4,193	± 7.5	60	300
10	4,995	5,400	5,805	± 7.5	80	400
11	6,799	7,350	7,901	± 7.5	110	550
12	9,712	10,500	11,288	± 7.5	160	800
13	13,412	14,500	15,588	± 7.5	220	1,100
14	20,530	22,000	23,650	± 7.5	330	1,650
15	27,750	30,000	32,250	± 7.5	450	2,250
16	37,000	40,000	43,000	± 7.5	600	3,000
17	48,560	52,500	56,440	± 7.5	790	3,950
18	64,750	70,000	75,250	± 7.5	1,050	5,250
A	18,700	22,000	25,300	± 15	660	3,300
B	25,500	30,000	34,500	± 15	900	4,500
C	34,000	40,000	46,000	± 15	1,200	6,000
D	44,620	52,500	60,500	± 15	1,600	8,000
E	59,500	70,000	80,500	± 15	2,100	10,500

され適当なおおきさの信号がきたときのみ TRG でしめすトリガー装置がはたらき保存用テープレコーダーの運転が開始され、トリガー装置でさだめられた一定時間だけ運転を続け信号がためこまれる。したがってエンドレステープ1周に要する時間は、対象とする地震、たとえば近地地震、遠地地震等によつてテープのながさがきまり、普通われわれがおこなっている近地地震の観測においてはエンドレステープ1周に要する時間を40秒とし、ためこみの時間を60秒~90秒としてつかつている。したがつてたとえば地震波動のSでトリガーされたとしてもS-P 40秒までの地震はすべて初動から完全にテープにためこまれる。

一方、再生は同図 (b) にしめすごとく、保存テープにためこまれた副搬送波は、磁気テープ増巾器 (MT-AMP₂) をとらして BPF にくわえられ、各チャンネル別に分離し、復調器をとおして ELF₂ 増巾器にくわえ、インクがきオッシュログフを励振する。一方、多成分インクがきオッシュログフの記録紙速度は 1~250 mm/s の間で可変であり、地震波動のスペクトラムに応じた適当な速度で再生、記録する方法がもちいられている。テープレコー

ダーはすべて3軌道であり、したがって現在設備されている RTS 系地震計の出力はすべて録音され、タイムマーク用の1チャンネルをふくめて、9成分の信号の磁気記録が可能である。

FM 方式による多重磁気録音装置としてはすでに開発したわれわれの RTS 装置をはじめ RDB 周波数配分による5チャンネルのカッパーロケットテレメタリング装置¹⁶⁾、および医学方面での利用を目的とした6チャンネルの多重磁気記録装置¹⁷⁾があり、ともに良好な結果をえている。

§4. 設計基準

すでにのべたごとく、信号周波数の上限を 40 c/s とし、回線数を 3 以上、SN 比 40 db 以上、テープ速度 7.5 インチ/秒、wow, 0.2% 以下を設計基準とした。まず FM 方式における SN 比は、 $W = \text{wow}$, $f_s = \text{信号周波数}$, $f_c = \text{副搬送波}$, $\Delta f_c = \text{副搬送波周波数偏移}$ とすると、

$$\frac{S}{N} = \frac{1}{W \cdot f_s^{1/2}} \cdot \frac{\Delta f_c}{f_c}$$

であらわされ、雑音の大部分は wow, flutter による影響である。したがって wow, flutter にたいする補償はいずれ別途にかんがえることにするが W のスペクトルが磁気録音系の帯域で大体平坦であるとする、SN 比は $\Delta f_c / f_c$ に比例する。したがって SN 比を改善するためには $\Delta f_c / f_c$ をできるかぎりおおきくすることがのぞましい。しかし $\Delta f_c / f_c$ とチャンネル数とは反比例の関係にあり、またチャンネル分離のための帯域濾波器の高級さにも関係し、 $\Delta f_c / f_c$ に比例して多素子をもつた帯域濾波器を設計しなければならない。以上の条件から $\Delta f_c / f_c$ を 20~25% とした。また SN 比を改善する他の条件として副搬送周波数の最大偏移と測定信号の最高周波数の比がおおきいことがのぞましい。この点から第1チャンネルの副搬送周波数を 620 c/s とした。(RDB 標準によるとこの比として5を推奨している)

以上の基準にしたがつて、設計をおこない周波数配分をおこなったのが Table 2 であり、その基本的設計基準を Fig. 4 にしめす。すなわち隣接チャンネルにたいする漏話は、次章

Table 2. Constant of frequency division of 3 channels in frequency deviation of ±20% and ±25%.

Ch.	f_c	f_o	$\pm \Delta f$	B	f_l	f_u	
1	0.62	0.594	0.124	0.35	0.445	0.795	$\Delta f = \pm 20\%$
2	2.6	2.53	0.52	1.2	2.0	3.2	
3	7.5	7.3	1.5	3.4	5.8	9.2	
1	0.62	0.581	0.155	0.434	0.403	0.837	$\Delta f = \pm 25\%$
2	2.6	2.48	0.65	1.49	1.85	3.35	
3	7.5	7.2	1.88	4.24	5.38	9.64	

$B, f = Kc$

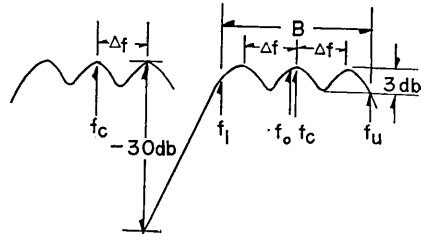


Fig. 4. Theoretical transmission characteristic between each channel.

16) 野村民也 生産研究 9 (1957), 19-21.

17) 坂本・高木・斎藤・石渡 電気通信学会全国大会 (1959年9月).

でのべる帯域濾波器の Cut off 特性, および再生回路の振巾特性によつて決定される. したがつて Fig. 4 にしめすごとく録音, 再生系をつうじて自チャンネルの側帯波は最大変調度における振巾にたいして -3 db までのものをとおすことにし, 最大変調度における隣接チャンネルの Carrier level にたいしてはそれぞれ 30 db 以上の loss をあたえている.

§5. 帯域濾波器

すでに第 3 章でのべたごとく FM 多重方式においては, 自己のチャンネルの伝送路間, および他回線間への妨害をふせぐため, また伝送の目的上不要の側帯波をのぞくため録音帯域濾波器が使用され, その特性は自己チャンネルの通過帯域巾および漏話として隣接チャンネルにあたえる妨害の許容限度から決定される. また再生帯域濾波器は混合された伝送路から自己のチャンネルを分離・選択するためもちいられる. すなわす帯域濾波器は, ある特定の周波数帯のみを通過させる電気回路であり, 一般に 4 端子回路網によつて構成され, インダクタンス, 容量, 抵抗, 真空管等多数の素子がふくまれる. ここにのべる帯域濾波器は, インダクタンス, および容量によつて構成され, その特性は Fig. 4 にしめしたごとく伝送帯域 3 db の波状特性をもつ Tschebyscheff 3 次による濾波器である.

一般に振巾波状特性をもつ帯域濾波器の減衰特性は, 通過帯域両端の周波数を f_l, f_u とすると中心角周波数 ω_0 は

$$\begin{aligned}\omega_0^2 &= \omega_l \cdot \omega_u, \\ \Omega &= \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}, \\ \Omega_b &= \frac{\omega_u - \omega_l}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega_b}{\omega_0} = \frac{B}{f_0},\end{aligned}$$

B は通過帯域巾をしめし波状忠実度に関する. 本質的には Δf = 最大周波数偏移, f_s = 変調信号最高周波数とすると $B = 2(\Delta f + f_s)$ で約 96% の忠実度をうることができる.

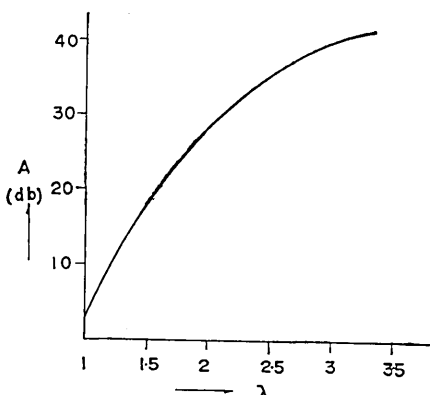


Fig. 5. Loss characteristics of the band pass filter.

$$\lambda = \frac{\Omega}{\Omega_b} \text{ とすると}$$

減衰特性 A は

$$A^2 = (\alpha^2 - 1) [\cos h(n \cos h^{-1} \lambda)]^2 + 1$$

にてあらわされる. 波状特性 $\alpha = 3$ db, 次数 $n = 3$ とすると, 減衰特性は Fig. 5 のごとくである. これはおなじ次数の振巾平坦特性をもつ濾波器にくらべはるかに良好である. たとえばおなじ減衰をあたえるためには振巾平坦特性では $n = 5$ を必要とする, Fig. 6 にえられた回路をしめし

Table 3. Constant of each element of band pass filters for 3 channels in frequency deviation of $\pm 20\%$ and $\pm 25\%$.

Ch.	L ₁	L ₂	C ₁	C ₂	
1	1145	167	0.0625	0.428	$\Delta f = \pm 20\%$
2	335	319	0.012	0.124	
3	117.5	10.7	0.004	0.046	
1	926	216	0.081	0.348	$\Delta f = \pm 25\%$
2	267	41	0.015	0.11	
3	95	13.8	0.005	0.035	

$L = \text{mH} \quad C = \mu\text{F}$

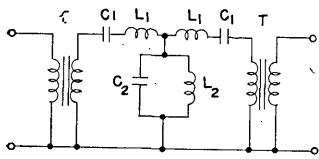


Fig. 6. Elemental circuit of the band pass filter.

各素子の値を Table 3 にしめた。この濾波器は $\Omega=2$ で約 30 db の loss をあたえることが可能であり、実際の測定結果を Fig. 7 a., b. にしめす。Fig. 7 a は周波数偏移 $\Delta f_c = \pm 20\%$ のものであり、同 Fig. 7 b は $\Delta f_c = \pm 25\%$ のものである。ともに隣接チャンネルにたいして 30 db 以上の loss をあたえている。そしてこの図はまた、 $\Delta f_c = \pm 20\%$ とするならば、さらに 1 チャンネルの増設が可能であることをしめしている。濾波器の素子であるインダクタンスには $\mu_0=3,000$, 1 ターンあたり $200 \mu\text{H}$ のインダクタンスを有するトロイダルコアを使用し、コンデンサーにはマイカをもちいた。たかい周波数でよくなっている特性は、インダクタンス素子として同一特性をもつフェライトコアにまいたため周波数によつて Q が若干変化した結果である。

§ 6. 変調器

周波数変調をおこなう簡単な方法として Multi-vibrator, phantastron 等の方式がある。

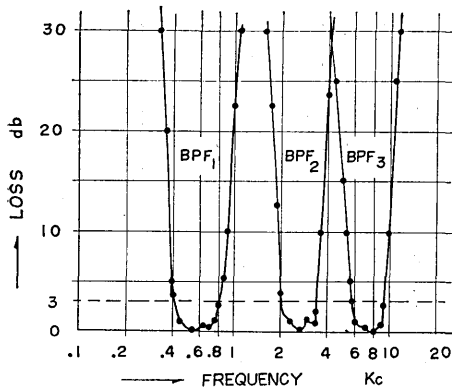


Fig. 7a. Cut-off characteristics of the band pass filters for the 1st, 2nd, and 3rd channels in $\pm 20\%$ frequency deviation.

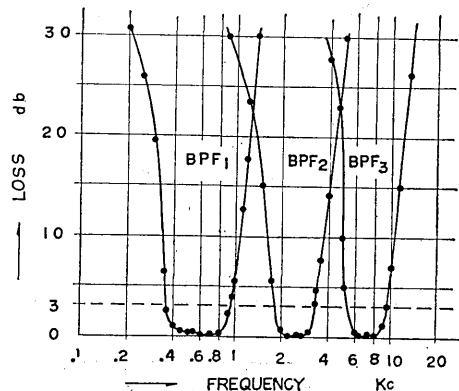


Fig. 7b. Cut-off characteristics of the band pass filters for the 1st, 2nd, and 3rd channels in $\pm 25\%$ frequency deviation.

Fig. 8 は Multi-vibrator 方式のものをしめす。トランジスタをもちいると真空管方式のごとく、直線性のすぐれた変調器はえられにくい、図にしめすダイオード D: SD-34, 2個をいれることによつてこれを解決した。この方式の発振周波数は

$$f = \frac{1}{2\tau} \cdot \frac{1}{\log|x/(x-1)|},$$

$$\tau = R \cdot C, \quad x = \frac{E_b}{E_e},$$

であらわされ、 E_b として入力信号をあたえることによつて、ほぼ直線的な周波数変調をおこなうことができる。実際の測定値を Fig. 9 にしめす。測定は入力信号のかわりに VR でしめす可変抵抗器の変化によつて

Fig. 8. Circuit diagram of the modulator.

所定の E_b をあたえ、Tr 1 のエミッターにはいつている $2\text{ k}\Omega$ の VR の調整により中心周波数を決定した。実際問題として、この回路は周囲温度の変化によつてトランジスタの I_{e_0} が変化し、若干発振周波数の変動が生じる。たとえば Tr 1, 2, 3. として 2SB-112 をもちいたところ 10°C から 40°C にたいして 3% の変動があつた。しかし Tr 1, 2, 3. として通信用トランジスタ 2SB-102, あるいは高周波用トランジスタ 2SA-155 をもちいたところおなじ温度変化にたいして約 1.5% 以下にすることができた。いずれにしてもこの問題は大変重要であり、いずれ別途に解決しなければならない。

以上の方式にしたがつて地震計、およびその増巾器 (ELF₁) をのぞいた実際の回路を

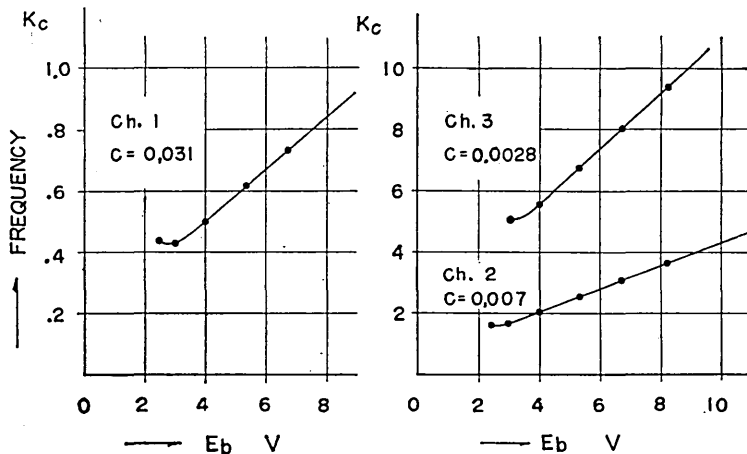


Fig. 9. Frequency modulation characteristics of the 3 channels.

Fig. 10 にしめす。変調器の発振周波数をきめる C 、および帯域濾波器の各素子の定数をのぞいては各チャンネルにすべて共通である。変調器からの出力は Tr_4 のエミッター接続による High impedance 回路によつてうけ、変調器にあたえる影響をなくした。この出力は帯域濾波器により正弦波になおされ、 Tr_6 をとおつて各チャンネルの信号が混合される。そしてこれらの出力は送信高周波部の変調器に、あるいは直接、録音用増巾器にくわえられる。電源は別に交流 100 V 変圧器二次低圧側からゼナーダイオードをもちいた安定回路によりあたえられる。

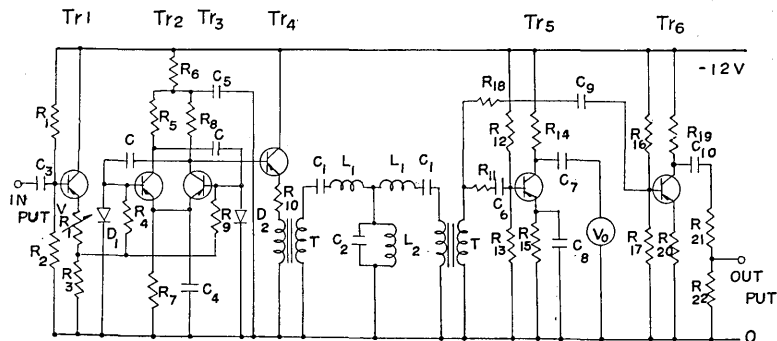


Fig. 10. Circuit diagram of the low frequency part without pick-up and ELF 1 amplifier in Fig. 3a.

$R_1, R_2, R_4, R_9.$	100 k Ω	$R_{20}.$	250 Ω
$R_3, R_5, R_8.$	10 k Ω	$R_{22}.$	500 k Ω
$R_6.$	3 k Ω	VR 1.	2 k Ω
$R_7.$	1 k Ω	$C_3, C_4.$	200 μ F
$R_{10}, R_{11}, R_{13}, R_{14}, R_{17}.$	5 k Ω	$C_5, C_6, C_7, C_8, C_9.$	30 μ F
$R_{12}, R_{16}, R_{21}.$	50 k Ω	$C_{10}.$	0.01 μ F
$R_{15}.$	500 Ω	Tr 1, Tr 2, Tr 3, Tr 4.	2SB-101
$R_{18}.$	2 k Ω	Tr 5, Tr 6.	2SB-112
$R_{19}.$	2.5 k Ω		

§7. 復調器

テープに録音された副搬送波は再生ヘッドをとおして再生増巾器(後述)により増巾され出力電圧 0 db として復調器にくわえられる。FM 録音に対する復調器としては Fig. 11a にしめす Pulse Counter 型の復調器がある。BPF により分離された自チャンネルの

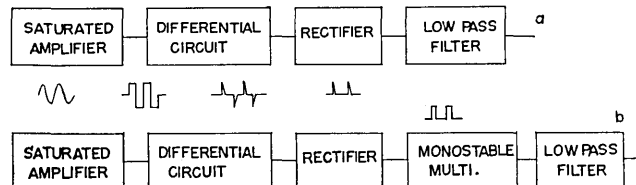


Fig. 11. Block diagrams of two typical demodulators in frequency modulation system.

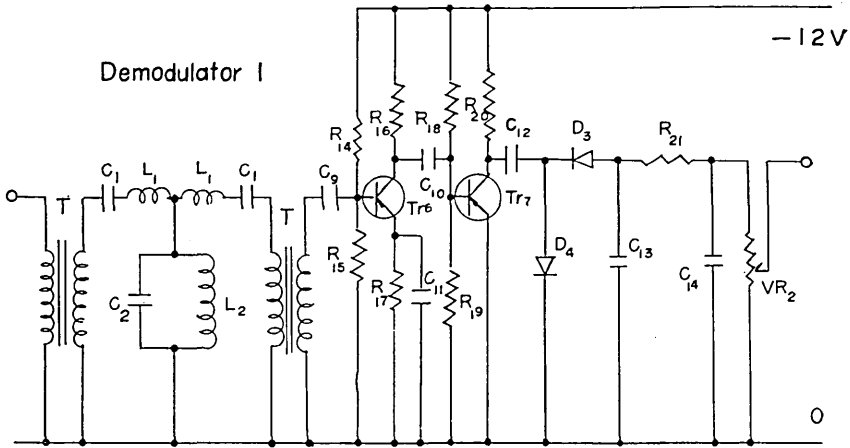


Fig. 12. Circuit diagram of demodulator No 1.

R_{14} .	50 k Ω	R_{15}, R_{21} .	100 k Ω	C_{12}	250 pF
R_{15} .	5 k Ω	VR 2.	100 k Ω	C_{13}, C_{14} .	0.2 μ F
R_{16}, R_{19}, R_{20} .	10 k Ω	C_9, C_{10} .	1 μ F	Tr 6, Tr 7.	2SB-112
R_{17} .	1 k Ω	C_{11} .	30 μ F	D_3, D_4 .	SD-34

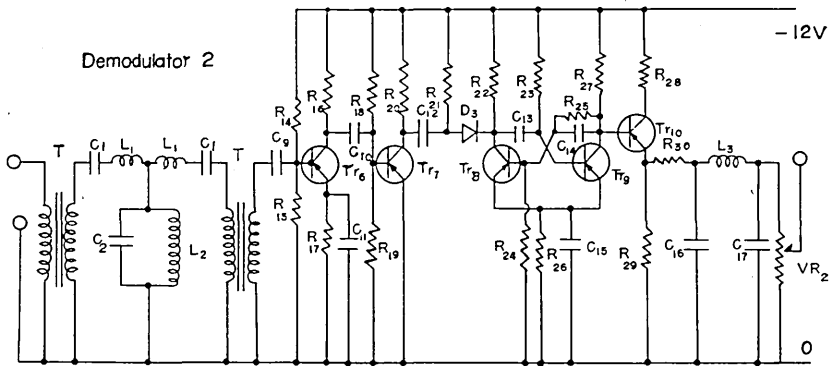


Fig. 13. Circuit diagram of demodulator No 2.

R_{14}, R_{18}, R_{21} .	50 k Ω	C_9, C_{10} .	1 μ F
R_{15} .	15 k Ω	C_{11}, C_{15} .	10 μ F
R_{16}, R_{20} .	10 k Ω	C_{12} .	0.003 μ F
R_{17} .	2 k Ω	C_{13} .	0.01 μ F
$R_{19}, R_{22}, R_{25}, R_{27}, R_{30}$.	5 k Ω	C_{14} .	100 pF
R_{23}, R_{24} .	30 k Ω	C_{16}, C_{17} .	0.2 μ F
R_{26} .	1 k Ω	L_3 .	5 H
R_{28} .	300 Ω	Tr 6, Tr 7, Tr 8, Tr 9, Tr 10.	2SB-112
R_{29} .	20 k Ω	D_3 .	SD-12 B
VR 2.	50 k Ω		

出力波形はリミッターをかねた飽和増巾器により矩形波になおされ、微分回路、整流回路、低域濾波器をとおすことによつて原波形が再現される。また同図 b にしめすごとく途中に単安定回路を挿入し、一定のはばをもつたパルスに変換し低域濾波器にとおすこともできる。単安定回路のパルスはばは普通、周期の 1/5 程度にえらばれる。また LC をもちいた低域濾波器の Cut off 周波数は理論的にはサンプリング周波数の 1/2 とすることによつて原波形が再現されるわけであるが、実際には理想的な Cut off 特性はのぞめない。したがつて Cut off 周波数を、 $f_c=150$ c/s とし、定 K 型 1 区間の低域濾波器を設計した。もちいた L, C の各値は

$$L = \frac{R}{\pi f_c}, \quad C = \frac{1}{\pi f_c \cdot R}$$

により $L=5$ H, $C=0.2$ μ F をえた。

実際にもちいた回路を Fig. 12, 13 にしめす。Fig. 12 は Fig. 11a にたいするものであり、Fig. 13 は Fig. 11b にたいするものである。入力の帯域濾波器は各チャンネルを

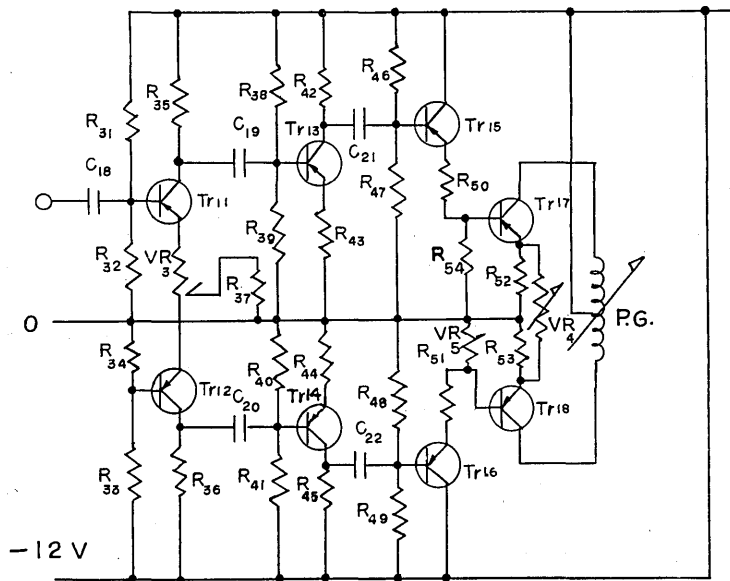


Fig. 14. Circuit diagram of ELF 2 amplifier in Fig. 3b.

$R_{31}, R_{33}.$	70 k Ω	$R_{50}, R_{51}.$	5 Ω
$R_{32}, R_{34}.$	50 k Ω	$R_{52}, R_{53}.$	10 Ω
$R_{35}, R_{36}.$	3 k Ω	VR 3, VR 4.	50 Ω
$R_{37}, R_{54}.$	1 k Ω	VR 5.	2 k Ω
$R_{38}, R_{41}, R_{47}, R_{48}.$	100 k Ω	$C_{18}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22}.$	200 μ F
$R_{39}, R_{40}.$	30 k Ω	Tr 1, Tr 12.	2SB-102
$R_{42}, R_{45}.$	2 k Ω	Tr 13, Tr 14, Tr 15, Tr 16	2SB-112
$R_{43}, R_{44}.$	500 Ω	Tr 17, Tr 18.	2SB-240
$R_{46}, R_{49}.$	500 k Ω		

分離するためのものであり、各素子のあたいは変調器にもちいたものとおなじである。

Fig. 14 は復調器 Fig. 13 のあとにつづく増巾器の回路をしめす。復調器 No. 1 につづくものとしては復調電圧微弱なためインクがき検流計を励振する Tr 15, 16 および Tr 17, 18 の回路を S. Darlington の提案による複合接続¹⁸⁾とした増巾率のたかい回路をもちいなければならない。

§ 8. 磁気録音用増巾器

磁気録音用増巾器は一般にもちいられている低周波増巾器とことなり、1,000 c/s 附近の中音部を基準として、周波数によって特性の異なるいろいろな等化(補償)回路をふくめた高利得の増巾器であり、特に録音帯域巾は多重化方式における基準周波数帯域となるばかりでなく、Fig. 3 の MT-AMP₂ でしめすごとく録音、再生を同時におこなわなければならない特殊な使用法もかねているので、その設計にあたって種々な点を考慮しなければならない。

すでにのべたごとく録音・再生系をつうじて平坦な周波数特性をうるため等化回路が必要である。まず定石的等化法として録音時には高音部を、再生時には低音部を補強する方法がとられ、その等化特性は磁気ヘッド、録音体の性能、速度等によっておおきく変化するが、大体 7.5 インチ/秒のテープ速度にたいする標準等化特性としては、Fig. 15 A, B

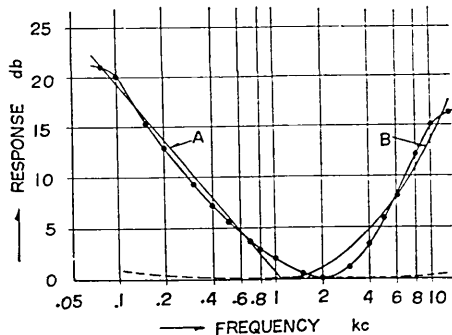


Fig. 15. The equalizing (compensation) characteristic of the magnetic tape amplifier.

A: Low frequency standard equalizing characteristic for play-back amplifier.

B: High frequency standard equalizing characteristic for recording amplifier.

補償回路は C_8 , L_1 による共振周波数を 10 kc/s とした高音補償回路、および C_{12} , L_2 による共振周波数 100 c/s にえらんだ低音補償回路、および Tr 2 のコレクター—ベース間に負饋還をほどこす回路によつて所定の補償をおこなっている。えられた実際の特性を Fig. 15 にしめた。

にしめすごとき特性が必要である。これにそつて設計をおこなつた実際の回路を Fig. 16 にしめす。まず Fig. 3a にしめした MT-AMP₁ としては、受信高周波部の出力 0 db がそのままはいるので増巾器の利得はひくく高音部の補償をおこなうだけで充分であり、Fig. 16 HL (High level) 端子からくわえ、出力 0 db とし録音ヘッドにくわえる。

一方、再生ヘッドの出カレベルは -70db_m 程度であり、これを再生しながら録音する MT-AMP₂ にたいしては低音、高音の補償を同時におこなわなければならない。したがつて増巾器の無補償時の総利得は 100 db 程度必要である。実際の

18) 川上正光 電子回路 V 共立全書(東京, 1958), 160.

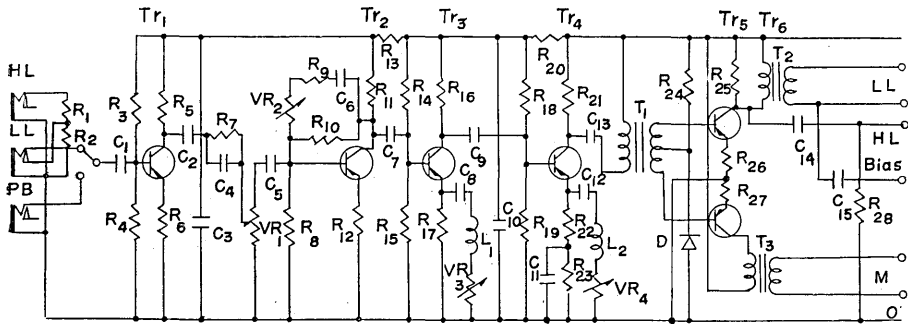


Fig. 16. Circuit diagram of magnetic tape amplifier.

R_1, R_{18}, R_{28} .	100 k Ω	VR 1, VR 2.	10 k Ω
$R_2, R_{13}, R_{20}, R_{25}$.	1 k Ω	VR 3.	2 k Ω
R_3 .	250 k Ω	VR 4.	1 k Ω
$R_4, R_{11}, R_{15}, R_{19}$.	10 k Ω	$C_1, C_2, C_5, C_7, C_9, C_{12}, C_{13}, C_{14}$.	30 μ F
R_5, R_7, R_{16} .	5 k Ω	C_3, C_{10}, C_{11} .	100 μ F
R_6, R_{12}, R_{22} .	100 Ω	C_4, C_{15} .	0.002 μ F
R_8 .	28 k Ω	C_6 .	0.05 μ F
R_9, R_{17} .	2 k Ω	C_8 .	0.02 μ F
R_{10} .	50 k Ω	L_1 .	10 mH
R_{14} .	130 k Ω	L_2 .	100 mH
R_{21}, R_{24} .	3 k Ω	Tr 1, Tr 2, Tr 3, Tr 4.	2SB-32
R_{23} .	500 Ω	Tr 5, Tr 6.	2SB-164
R_{26}, R_{27} .	30 Ω	D	KV-1

テープ録音のための高周波バイアスはトランジスター 2SB-105 の push pull 発振器によりあたえ、消去は高周波 (70 kc) 大出力をうる適当なトランジスターがないため直流消去法を採用した。

§ 9. 遅延トリガー装置

無終端磁気テープにたくわえられた地震波動は、テープ1周の終端にある再生ヘッドをとおして保存テープに接続されている。保存テープは常時は停止状態にあり、適当なおおきさの地震波動が到来したときのみトリガー装置が働作し、保存テープのモーターを起動する。したがって地震波動の S でトリガー装置がスタートしたとしてもテープ1周に要する時間以内の S-P の地震はすべて初動から記録される。この間の操作を Fig. 17 にしめす。まず RTS の受信機で受信された副搬送波帯の中、BPF により適当な1チャンネルの副搬送波が選択分離され、つぎの DEM で検波され、トリガー装置にはいる。この装置は適当なおおきさの地震、たとえば、ELF₁ 増巾器の入力換算電圧 50 μ V 以上、数サイクル以上の波動が 0.3 秒以上つづいたとき働作を開始し、約 90 秒のうちに自動的に停止

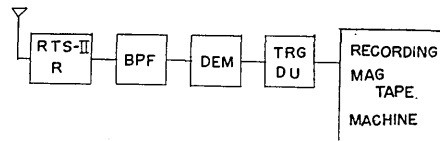


Fig. 17. Block diagram of control unit to operate for the recording magnetic tape by trigger system.

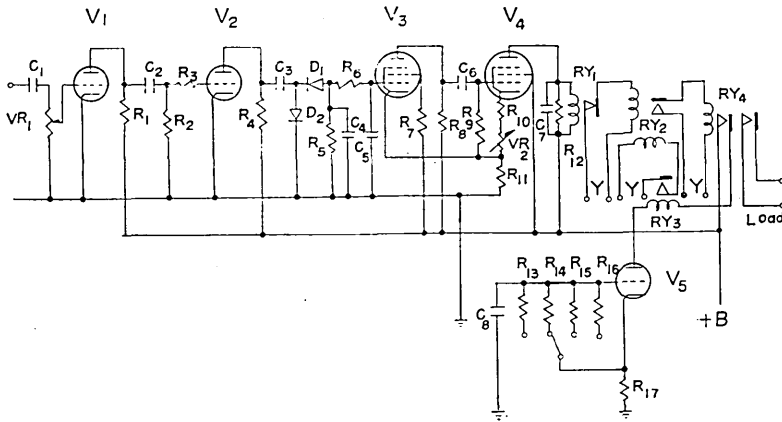


Fig. 18. Trigger circuit diagram.

$R_1, R_2, R_3.$	100 k Ω	$R_{11}.$	1.5 k Ω	$C_5.$	20 μ F
$R_3.$	500 k Ω	$R_{12}.$	3 k Ω	$C_6, C_8.$	4 μ F
$R_4.$	50 k Ω	$R_{13}.$	3 M Ω	VR 1.	250 k Ω
$R_5.$	1 M Ω	$R_{15}.$	8 M Ω	VR 2.	10 k Ω
$R_6.$	60 k Ω	$R_{16}.$	11 M Ω	V 1, V 2.	6SN7
$R_7.$	150 k Ω	$R_{17}.$	5 k Ω	V 3, V 4.	6AR5
$R_9, R_{14}.$	5 M Ω	$C_1, C_2, C_3, C_7.$	0.5 μ F	V 5.	6C4
$R_{10}.$	500 Ω	$C_4.$	1 μ F	D 1, D 2.	SD-34

させる装置であり、動作時間は対象とする地震によつて適当な時間をえらべるよう 45 秒から 160 秒のあいだで調整が可能である。この間の操作は Fig. 18 の $R_{13} \sim R_{16}$ のきりかえによつてなされる。この装置としてすでに文献 1 の装置をはじめ、従来からいろいろな方式^{19), 20)} のものが試作され実用されている。ここにのべたものは雑微動のおおきい都市での使用にたいしてはミススタートのため使用不可能とおもわれるが、筑波—東京間の遠隔地震計による観測のトリガー遅延装置として数年来良好な結果をえている。

§ 10. 総合特性

Fig. 19 は超低周波発振器により、地震波に相当する ELF 正弦波電圧を変調器入力端より、電圧一定とし周波数をかえておくりこみ、テープレコーダーによる磁気録音をえたのち、再生増巾器 (ELF₂) の出力端に接続されたインクがき Pen writer の振巾をよみとつたものをしめす。

Fig. 20 はおなじ方法にしたがつて入力周波数 10 c/s を一定とし入力電圧をかえたときの出力電圧特性をしめす。利得の調整は復調器の可変抵抗器 VR₂ によつておこなわれ、地震波動の大小にかかわらず適当な振巾で記録することができる。また各チャンネル間の位相差については、前置増巾器 (ELF₁) をふくめた装置の製作にあつて、抵抗、容量、トランジスター等の各定数にたいして $\pm 3\%$ 以内のものを選択使用することによつて ± 5

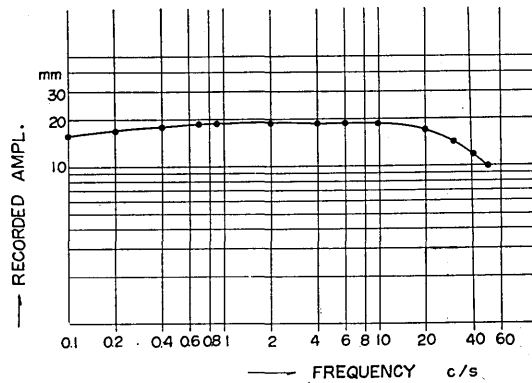


Fig. 19. Amplitude-frequency characteristics of the modulator and demodulator with magnetic recording part.

Abscissa: Frequency of modulator input (1 volt constant) from standard oscillator.

度以内におさえている。

Fig. 21 の A は地震計をふくめた装置全体の倍率特性をしめす。もちいた地震計振子の周期を 1 秒, 減衰定数 $h=2$ とした。比較のために Fig. 21 の B に直結式電磁地震計 HES ($T_0=1$ sec, $T_g=0.2$ sec) の倍率特性をしめした。

Fig. 22 にテープの 1トラックにはいるべき 3チャンネル間の漏話ならびに雑音のテ

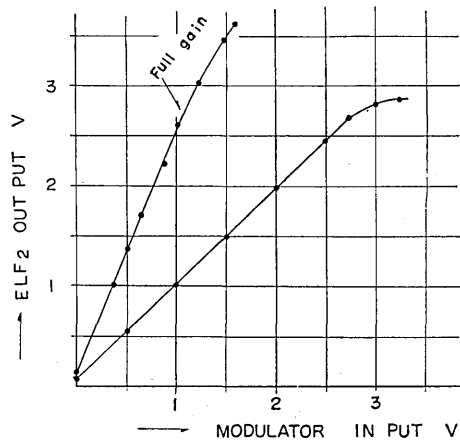


Fig. 20. Level characteristics of the modulator and demodulator with magnetic recording part.

Abscissa: Voltage of modulator input (10 cycles constant) from ELF standard oscillator.

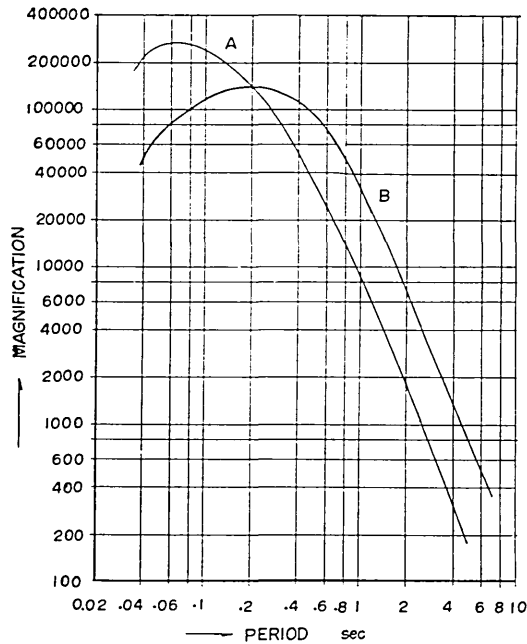


Fig. 21. Magnification of instrument (from the seismometer to the pen galvanometer inclusive) is indicated by Curve A. Curve B is the magnification of HES type electromagnetic seismograph ($T_0=1$ sec, $T_g=0.2$ sec) at Tsukuba.

スト結果をしめす。まず No. 1 チャンネルに超低周波発振器により周波数 5 c/s. 電圧 $50 \mu\text{V}$ 一定の正弦波電圧をあたえる。この間他チャンネルは地震計の moving coil の内部抵抗に相当する抵抗 $1.5 \text{ k}\Omega$ で短絡される。この方法を順次 No. 2, No. 3 チャンネルにきりかえ、それぞれ漏話ならびに伝送系の雑音を測定したものである。Fig. 22 をみてあきらかなごとく漏話はほとんどみとめられず、また $50 \mu\text{V}-40 \text{ mm}$ の感度における雑音は大体各チャンネルとも $1 \mu\text{V}$ 以下である。もちろんこの試験にはテープレコーダーはふくまれていない。したがってつぎにしめす実際の記録における雑音の大部分はテープレコーダーの wow, flutter に起因するものである。

Fig. 23 はあたらしく設置した無線地震計による地震観測網をしめす。筑波山には震研筑波山支所を基点(地震計 No. 1 V, No. 1 H)とし、その周辺にスパン約 500 m をもつ 3 点観測網をつくり、これをそれぞれ RTS-I, RTS-II-1 送信機により東京むけ送信する。一方 RTS-II-2 は埼玉県堂平山山頂、東京天文台内に設置しその周辺にそれぞれスパン約 400 m をもつ 3 点観測網をつくり東京むけ送信している。東京受信記録所は東大病院 9 階

19) 友田好文 地震 **5** (1952), 28.

20) 山崎良雄 地震 **13** (1960), 194-195.

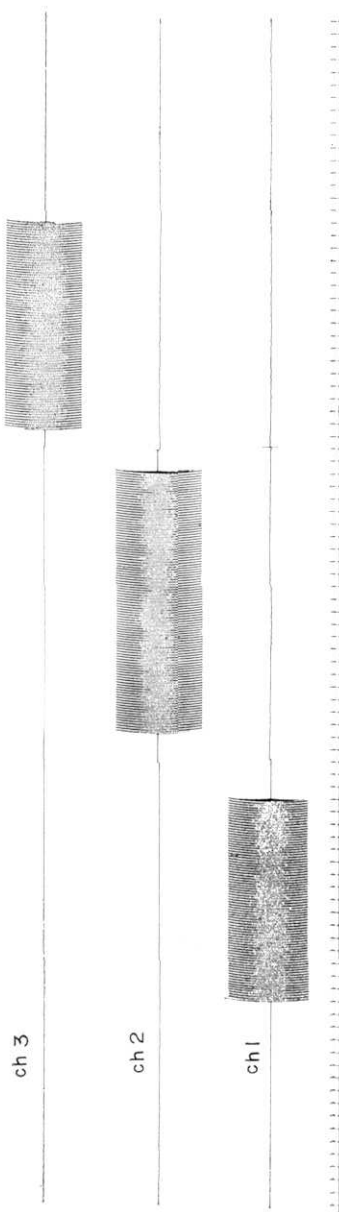


Fig. 22. Cross talk and noise tests between the 3 channels. No leakage oscillation is seen on the channels except that loaded by signal of $50 \mu\text{V}$, 5 cycles from ELF standard test oscillator.

にあり、すでにのべた装置により連続観測をおこなっている。点線でしめす千葉県茂原観測点は現在筑波山に設置中の RTS-I を移動し、あたらしく無線地震計による大三角形観測網をつくるための予定点である。

Fig. 24 は筑波、堂平観測点の受信所におけるモニター記録の 1 例であり、Fig. 25 はテープレコーダーにためこまれた記録をそれぞれことなつた記録紙速度で再生した場合の記録をすめす。

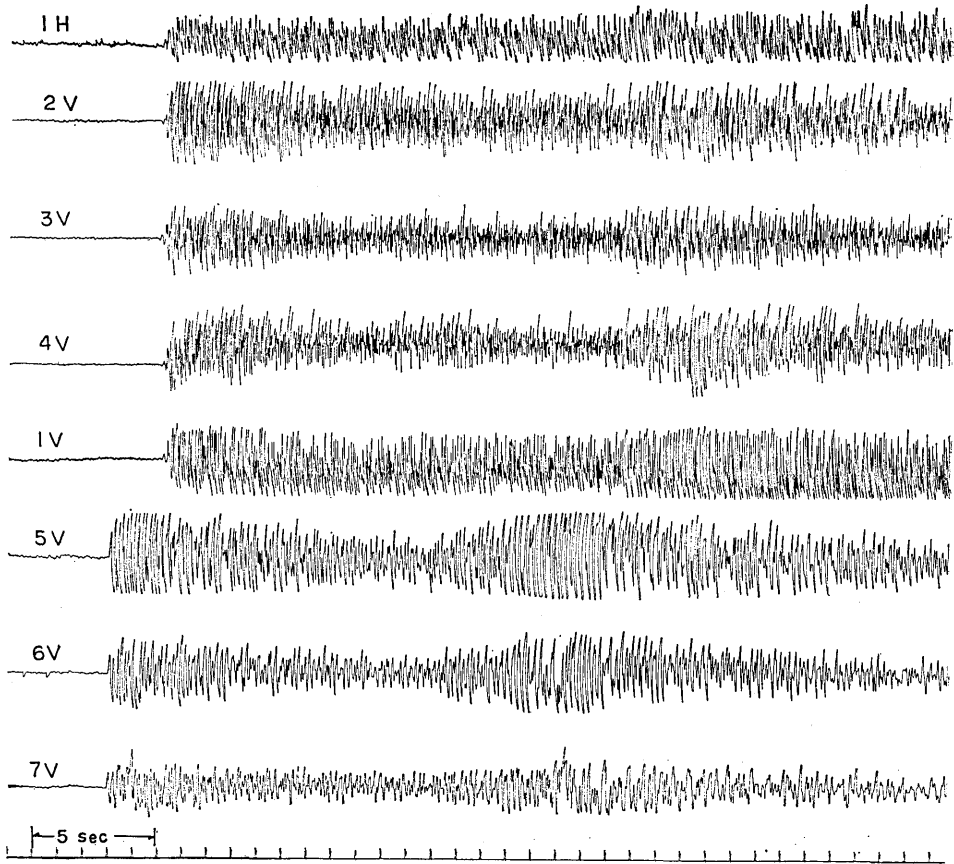


Fig. 25. A. An example of magnetic records of an after-shock reproduced at paper speed of 10mm/sec.

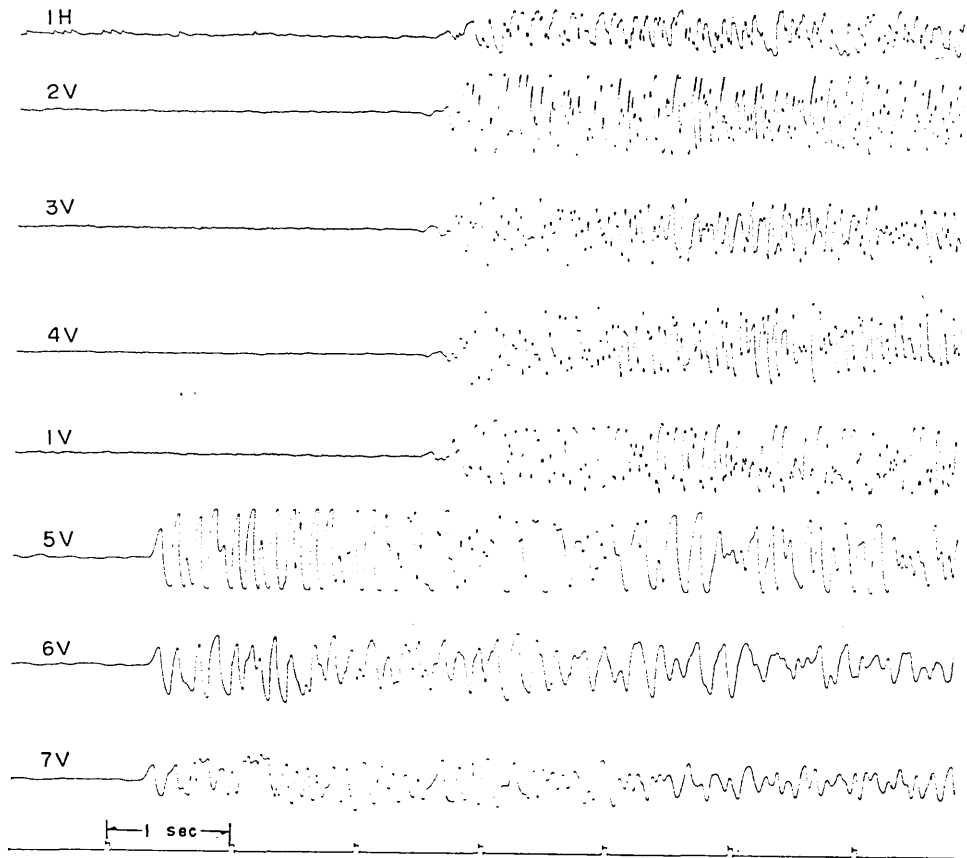


Fig. 25.B. An example of magnetic records of an after-shock reproduced at paper speed of 50 mm/sec.

§ 11. 結 語

以上 FM 方式による多成分磁気記録装置としてテープ 1 軌道あたり 3 チャンネル多重方式についての概要をのべた。これによつて RTS 系無線地震計によつて観測された 3 ケ所の地震波動を同時に同一記録紙上に記録することが可能となつた。また移動用観測装置としての小型化および消費電力の節約にたいしても、従来真空管によつて構成せられていた端局装置をすべてトランジスター化することに成功した。完成された本装置について検討の結果、周波数偏移を $\pm 20\%$ におさえるならばさらに 1 チャンネルの増設をおこないテープ 1 軌道あたり短周期 4 チャンネルの多重化が可能である。また本方式の欠点とする wow, flutter による雑音を除去するための補償回路を附加することも、のこされた問題であり、すでに補償回路をつけることによつて 10~20 db SN 比の改善がおこなわれている

装置もある²¹⁾。また長周期地震波動の磁気録音化も将来開発すべき問題であり、筆者はこの目的のためすでに長周期地震計^{22), 23)}の開発をおこない現在その試作をすすめている。

§ 12. 謝 辞

装置の開発にあたり御指導、御激励をたまわつた研究室主任宮村助教授にあつく御礼もうしあげる。また設計にさいし種々と御教示をたまわつた前東大電気工学科、高周波研究室の石渡裕政氏にふかく感謝するとともに、製作に従事された岩井電気株式会社の川本正二氏の御協力に感謝したい。宮村研究室松本英照氏には装置の調整ならびに実用面でたえず御協力をえた。附記して感謝する次第である。

21) J. T. MULLIN, *I. R. E. Nat. Conv. Rec.*, Pt. 1 (1953), 57-63.

22) M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40** (1962), 899-905.

23) M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40** (1962), 907-916.

28. *Multi-Channel Triggered Magnetic Tape Recording for Routine Seismic Observation.*

Part 1.

Eight-channel Magnetic Tape Recording for Short Period Seismic Waves.

By Masaru TSUJIURA,
Earthquake Research Institute.

A Seismograph system for recording seismic waves by means of a triggered magnetic tape recorder was completed some years ago. Since then, earthquake observations by means of this system have been extensively made. As will be shown in the papers^{1),2),3)} the equipment was originally designed and constructed utilizing vacuum tubes; hitherto, transistors were used for the purpose of economizing the expense of power supply and improving the portability of the equipment. For our purpose, it is necessary to have at least a three-component seismograph at one seismological station. In order to get more information on seismic waves, we used a multi-channelled FM carrier magnetic tape recording by frequency-division method in our system. The principal limitation of the FM carrier system derives from variations in the tape motion or the flutter which produce changes in the recorded frequency that in turn manifest in the out-put as noise.

The signal to noise ratio of the system is the ratio of the percentage flutter to percentage deviation for maximum signal. Therefore, the principal objective in the design of this system is to get the widest possible range of frequency deviation for each channel. In the system, the frequency division for sub-carrier frequency is separated into three channels between 0.4 KC and 10 KC, and each sub-carrier frequency modulated $\pm 20\%$ — $\pm 25\%$ by seismic waves which have extreme low frequency spectra. The 25% deviation was found to be the practical limit which is governed by the characteristics of the band pass filter given by the third formula in the theory of Tschebyscheff.

The magnetic tape recorder which has 3 tracks in a 1/4 inch tape width is operated at a tape speed of 7.5 inches per second.

This equipment provides 9 channels for 8 seismic wave signals and one time signal.

The schematic diagram of the recording part is shown in Fig. 3a. The ground motions due to seismic waves are converted into a signal voltage through a pick-up (PU) and the voltage is fed to the amplifier (ELF 1) which has a gain of about 90 db. From there it is led to the frequency modulator (MOD 1). The frequency modulator is a free running multivibrator type as shown in Fig. 8. Its frequency is a linear function of the voltage applied to the base of a transistor in the multivibrator. The output of the modulator is applied to the band pass filter (BPF 1).

The band pass filter is used in order to limit the pass band of the channel and also to make a sine wave from a square wave of output in the modulator. The output signal of band pass filter is applied to the magnetic tape amplifier (MT-AMP 1) directly or to the high frequency part of radio tele-recording equipment RTS-1, or RTS-11^{2),3)}. The output of the magnetic amplifier goes to the recording heads of three tracks of the magnetic tape recorder in which the endless tape in loop goes round continuously. The time of one complete loop is about 40 seconds, and the signal recorded on the tape reaches the

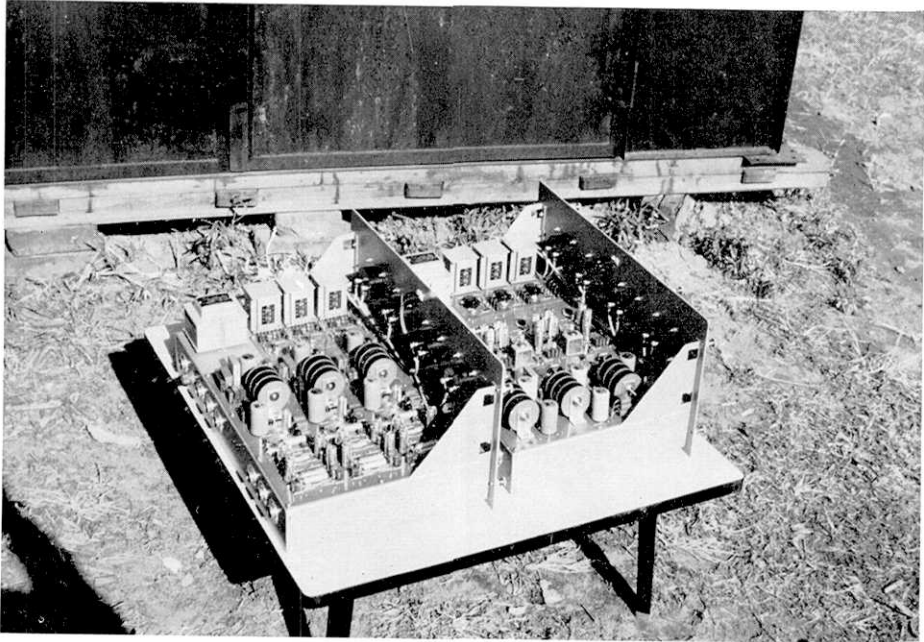


Fig. 26. Appearance of modulator and demodulator.

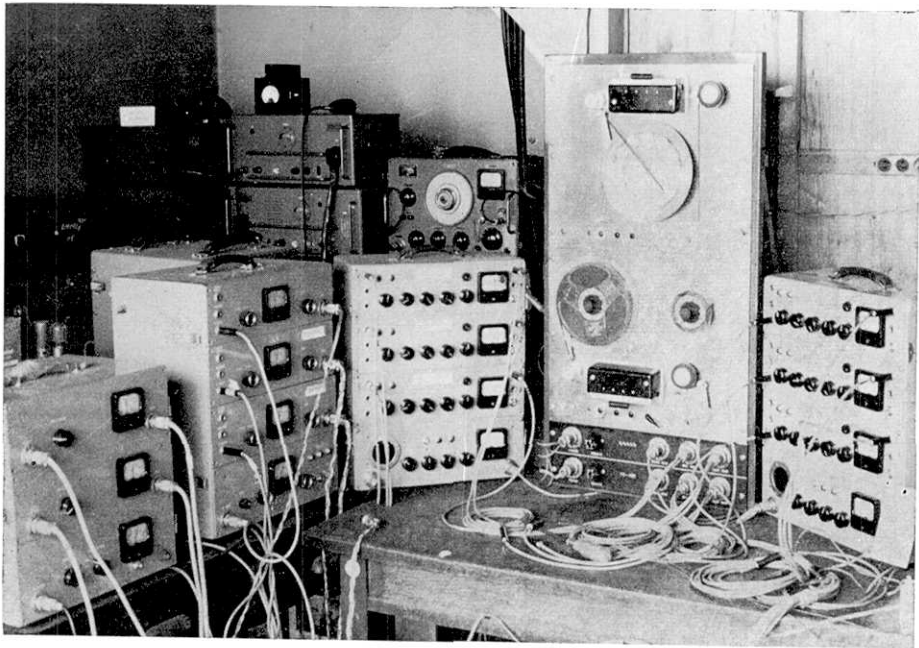


Fig. 27. Appearance of magnetic tape recording part.

play-back head 40 seconds later after having passed over the recording head. This delay time is adjustable between 10~160 sec. The output voltage of the play-back head is applied to the recording head of the recording magnetic tape recorder after passing through another amplifier (MT-AMP 2).

The erasing is done by the D. C. and the bias of recording is given by a current of 70 kc supplied from an oscillator with power transistor. Our system has several additional units, including a trigger delay unit which makes the storing recorder start by seismic signals and stop by the function of the control unit automatically; a monitor drum recorder is used in order to get the absolute time of earthquake motions; and a time marking device by a crystal clock is prepared in order to record the time signals on the magnetic tape recorder. The operating time of the control unit is adjusted from 60 to 120 seconds. The schematic diagram of the play-back system is shown in Fig. 3b. The weak seismic wave signal passing through the play-back head is amplified and applied to the band pass filter which has the effects of separating the mixed three channels. The characteristics of this filter are the same as the recording part.

The output signal from band pass filter is applied to the demodulator (DEM). The signal is then applied to a low pass filter in the last stage of demodulator, by which the sub-carrier is filtered out and the original seismic signal reproduced, and this signal is amplified by amplifier (ELF 2). The amplified seismic signal is applied to the multi-channel ink writing galvanometer of the recording oscillograph. The paper speed of the recording oscillograph is variable from 1 mm to 250 mm per second, and the oscillograph is driven at a proper speed according to the spectrum of seismic signal.

Fig. 4 shows a theoretical transmission characteristic for band pass filter used to separate the three channels in a frequency range of 0.4 kc to 10 kc.

Table 2 shows the constants of frequency division of 3 channels at frequency deviation of +20% and +25%. The rejection of the adjacent channel could be achieved at least 30 db below the carrier attenuation between the upper band of self channel and the lower band of adjacent channel.

Fig. 6 shows an elemental circuit of band pass filter. The core of the inductance is of a toroidal shape made of Ferrite material. Table 3 shows a constant of each element of band pass filters for three channels with the frequency deviation of $\pm 20\%$ and $\pm 25\%$, and Fig. 7a, 7b shows the frequency characteristics of these band pass filters. Fig. 15 and 16 show the amplitude and level characteristics of the modulator and demodulator with magnetic recording part.

Fig. 17 shows the overall characteristics of the equipment, from the seismometer to the pen galvanometer in channel No. 1. The differences in the magnification and phase delay within each channel are reduced to less than 5 percent and ± 5 degrees for the frequency range of 0.5 to 20 cycles.

Fig. 23 shows the cross talk test between the 3 channels excluding the magnetic recording part; no leakage oscillation is seen on the channels other than that loaded by the signal voltage ($50 \mu\text{V}$, 5 cycles) from ELF test oscillator, and also it can be seen that the circuit noise is reduced to less than $1 \mu\text{V}$.

A map of our radio tele-recording seismic net applicable to these equipments is shown in Fig. 23.

The Tsukuba transmitting station has five seismometers. The seismograph system consists of a quadratite net of vertical component seismometers having a span of about 500 meters, and one horizontal component seismometer placed with one of the vertical seismometer. The Dôdaira station consists of a tripartite net of vertical component seismometers having a span of about 400 meters. The receiving station was set up on the ninth story of a building in the medical department of the Tokyo University at Hongo, Tokyo. Fig. 24 shows an example of the monitor drum record for each station. Fig. 25 shows an example of the magnetic record seismograms reproduced by an ink-writing oscillograph with two different paper speeds.