

# PLL ICを使用した簡易型DC記録用アダプタの試作

古賀和利\*・橋本 基\*\*・香田政彦\*\*・森近治彦\*\*\*  
三池秀敏\*/高浪五男\*・蛭名良雄\*

## A Construction of Adaptors Recording and Reproducing the DC Signal by Using Phase Locked Loop IC

Kazutoshi KOGA, Hajime HASHIMOTO, Masahiko KOHDA, Haruhiko MORICHKA,  
Hidetoshi MIIKE, Itsuo TAKANAMI and Yoshio EBINA

### Abstract

The frequency modulator and demodulator of the DC signal were made by using phase locked loop IC. The usual audio tape-recorder connected with the adaptors could record and reproduce the DC signal as like the instrumentation tape-recorder. The drift, distortion ratio, and the linearity of the output of the recorder were measured. The ratio of the signal to noise (S/N), output noise and the output voltage of the recorder were 55dB, 1mV, and 0.6V r.m.s., respectively. These values were similar to those of the instrumentation tape-recorder.

### 1. まえがき

直流から数百 Hz のような非常に遅い電気信号を、長時間記録する装置として、すでにデータレコーダがあり市販されている。この種のデータレコーダは入力信号が数チャンネル、あるいはそれ以上のチャンネルを対象としており、現在の所非常に高価である。実際問題として、対象とする現象によっては、これほど多くの入力チャンネルを必要としない場合も多い。

一方我々は、上記のデータレコーダに比較して10～20%のコストでオーディオ用テープレコーダを簡単に入手することができる。この程度のテープレコーダは周波数特性もよく、数十 Hz～40KHz まで平坦な特性を持っており、ワウフラッタも十分小さい。しかし、このオーディオ用テープレコーダそのままでは、我々が対象としているような遅い現象を記録することはできない。そこでゆっくりとしたアナログ信号で10KHz～30KHz 程度の搬送波を周波数変調し、その変調波を復調できるアダプタがあれば、これらをオーディオ

用テープレコーダに付加することによってデータレコーダに改造することができる。本報告では、この周波数変復調アダプタを市販の PLL(phase locked loop) IC を用いて試作し、実際に使用した例を述べる。

アダプタを作る場合、周波数変調、復調を如何に行うかが問題である。PLL は、この種の回路として適当であり<sup>1)</sup>、現在 IC 化され安価に入手できる。ここでは入手しやすい三菱 M51361P の PLL-IC を用いることにする<sup>2)</sup>。この IC を周波数変復調に用いた試作回路を 2 に述べる。3 では、試作したアダプタの電気的諸特性の測定結果を報告する。これらの測定結果から、試作した改造テープレコーダは普通に用いられているデータレコーダの諸特性とほぼ同じか、それ以上の性能を持つことがわかる。4 では、改造テープレコーダを実際の測定に利用した例について述べている。改造テープレコーダに入力する原信号波形と出力波形を比較するとほとんど同じで、この簡易型周波数変復調アダプタは十分使用可能なことがわかる。

### 2. 試作回路

試作した周波数変復調アダプタのブロックダイアグラムを Fig.1 に示す。ここで用いる OP アンプによる

\* 電気工学科  
\*\* 電気工学科学生  
\*\*\* 大学院電気工学専攻

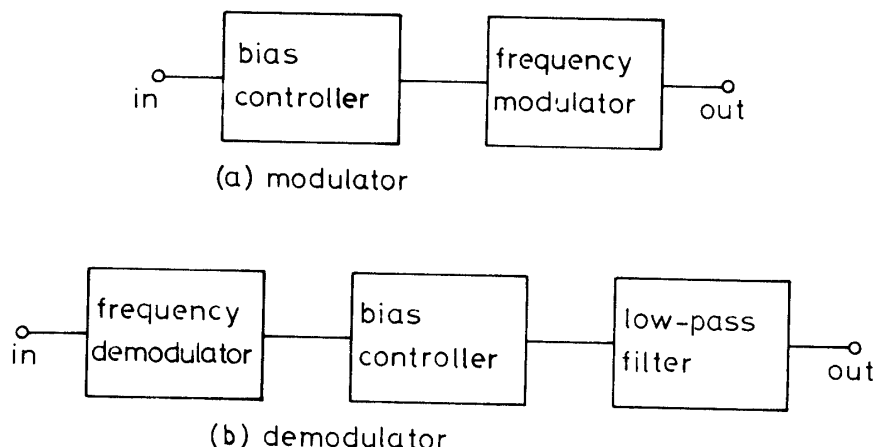


Fig. 1 Internal organization of the constructed adaptor

アクティブフィルタ回路はすでに知られた普通の回路であり<sup>3)</sup>。また周波数変復調に用いているPLL回路はすでにIC化され市販されているので、これらの回路についてここであらためて説明する必要がないようにみえる。しかし、実際回路を組み立てていく場合直流を含む信号を取り扱うため、各部の結合には十分な配慮が必要となる。また変復調器の中心周波数を決定するためには、テープレコーダおよびテープの周波数特性、PLL-ICのロックレンジ等<sup>2)</sup>を考慮する必要がある。したがって、これらの回路について以下簡単に述べる。

2.1 周波数変調器及び復調器とバイアス調整

Fig. 2にPLLの原理図<sup>1)</sup>、Fig. 3に使用したPLL-ICのブロックダイアグラム<sup>2)</sup>を示す。このPLL-ICで周波数変調を行なう場合は、VCO (voltage controlled oscillator) だけを用いる。VCOを制御する差信号電圧  $V_d$  を入力電圧として (ICの7ピンに) 加えれば、VCO出力周波数  $f_o'$  が周波数変調出力として (ICの4ピンより) 得られる。結局ここで入力信号電圧が数十KHzの周波数の方形波出力に変換される。この周波数はオーディオ用テープレコーダで十分記録できるものである。一方周波数復調器はテープレコーダからの出力、すなわち  $V_d$  によって周波数変調された  $f_o'$  を入力信号として (ICの3ピンに) 加え、PLLのループ (ICの7ピン) より差信号電圧  $V_d$  を取り出せば、復調出力であるもとのアナログ信号電圧が得られる。

周波数変復調の原理は上記の通りであるが、このPLL-ICの7ピンには約+12.5Vの直流バイアス電圧がかかっている。そこで変調器においては入力信号の

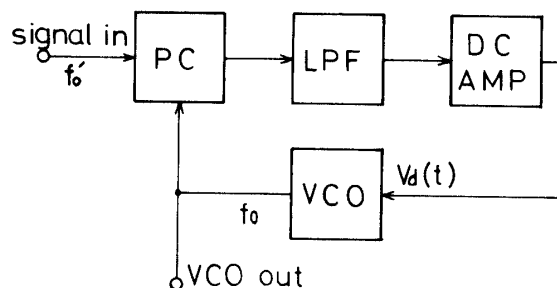
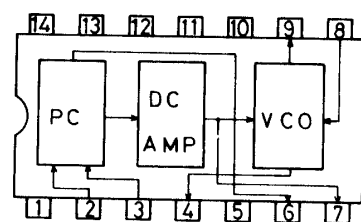


Fig. 2 Block diagram of phase locked loop, PC: Phase comparator, LPF: Low pass filter, DC AMP: DC amplifier, VCO: Voltage controlled oscillator,  $f_s$ : The frequency of the input signal,  $f_o$ : The free running frequency of VCO, and  $V_d$ : Error Voltage.



- 1 :- Vcc
- 2 :input
- 3 :input
- 4 :vco output
- 5 :phase comparator
- 6 :reference output
- 7 :vco control voltage
- 8 :timing resistor
- 9 :timing capacitor
- 10 :+ Vcc
- 11
- 12 } NC
- 13 } NC
- 14 }

Fig. 3 Connection diagram of phase locked loop IC.

0レベルを12.5Vまでシフトアップし、逆に復調器においてはシフトダウンする必要がある。このため変調器では前段に MOS-FET (3SK44) のソース接地増

幅器を用い、復調器では後段に NPN トランジスタ (2 SC 458) のエミッタホロア回路を用いている。PLL-IC の 7 ピンより見た内部抵抗は  $3.6k\Omega$  と小さいためこのピンを入力信号で駆動するには MOS-FET の出力抵抗、すなわち Fig.4(a) の  $R_3$  を十分小さくする必要がある。しかし、あまり小さな値にすると今度はバイアス電流が大きくなり熱ドリフトが大きくなる。したがって、ここでは  $R_3=270\Omega$  とした。このため、この FET 段で約 2 倍の利得があり、これが本アダプタ全体の利得となっている。一方エミッタホロアの回路ではエミッタの所にツェナーダイオードを用いて、この部分で約 12V の直流電圧を得、残り約 0.5V を  $VR_5$  で調整し出力を 0 レベルに引き下げている。また、エミッタホロアとしたために出力インピーダンスは十分小さくなり、後段のアクティブフィルタを十分駆動できる。

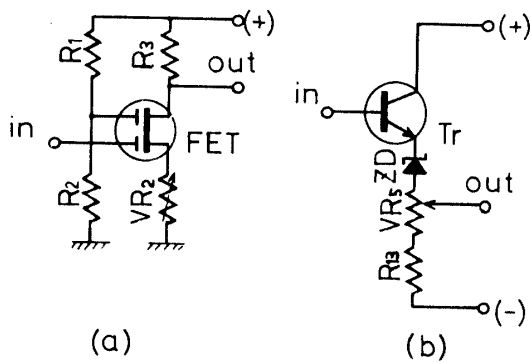


Fig. 4 Bias control circuit. (a) Emitter ground amplifier (b) Source follower

アダプタの周波数変復調器の中心周波数  $f_0$  は、IC のピン番号 8-10 間の抵抗値  $R$  とピン番号 9-アース間の容量値  $C$  によって次式で決定される<sup>2)</sup>。

$$f_0 = 1/4RC \text{ (Hz)} \quad (1)$$

また、この PLL-IC は中心周波数  $f_0$  から約  $\pm 60\%$  の周波数変化に対して追従 (ロックレンジ) し復調可能である。このロックレンジを有効に利用するためには、 $f_0$  から  $\pm 60\%$  の周波数のロックレンジがテープレコーダ及びテープの帯域幅におさまるよう  $f_0$  を決定しなければならない。また、データレコーダとしてより広い帯域幅を得るためには  $f_0$  を大きくしなければならない。したがって使用するテープレコーダ及びテープの最大カットオフ周波数を  $f_{max}$  とすると、おおよそ

$$f_0 = f_{max}/1.6 \text{ (Hz)} \quad (2)$$

とすればよい。Fig. 5 の周波数特性よりテープレコー

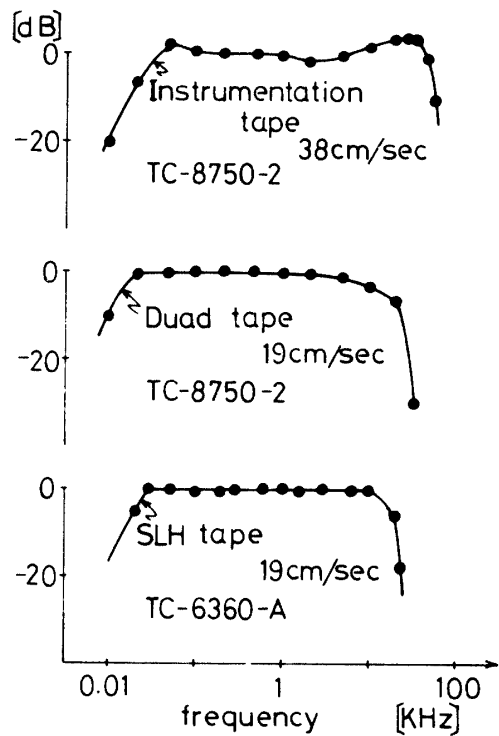


Fig. 5 The frequency characteristics of the magnetic recording tape. Filled circles are the measured points, and the solid curves are smoothly drawn by connecting the measured points.

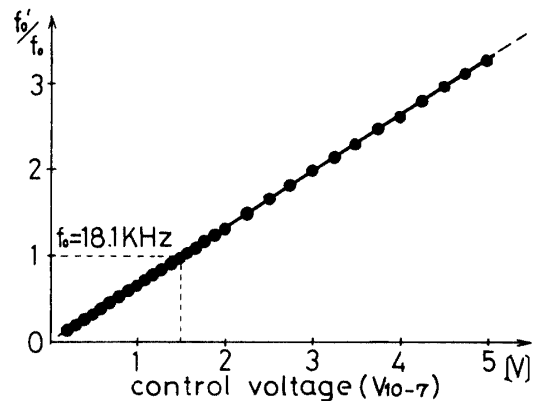


Fig. 6 Free running frequency against the VCO. Control voltage  $f_0$  is the running frequency of vanishing input signal. Filled circles are the measured points and the straight line is drawn by connecting points.

ダ及びテープの  $f_{max}$  を見てみると、ソニー TC 8750-2 (テープ速度 38cm/sec) と計測用テープの組合わせで約 50KHz, 同じく TC8750-2(テープ速度 19cm/sec) と Duad テープで 30 KHz, TC 6360(テープ速度 19cm/sec) で 15 KHz である。これにより(2)式を使って  $f_0$  を求めると、それぞれの場合の中心周波数は 31 KHz,

18KHz, 9KHz 程度となる. またこのときの変調器最大入力電圧は Fig.6 より約  $1.6V_{p-p}$  (実効値に換算して  $560mV_{r.m.s}$ ) となる. 言い換えると, 最大入力電

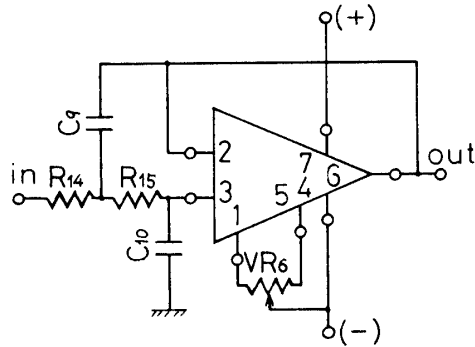


Fig.7 Low pass active filter.

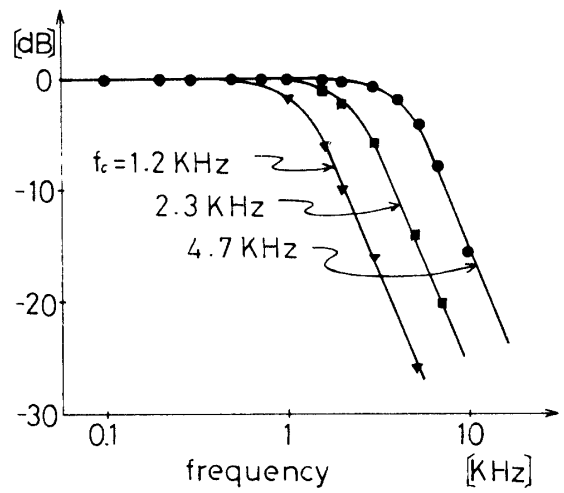
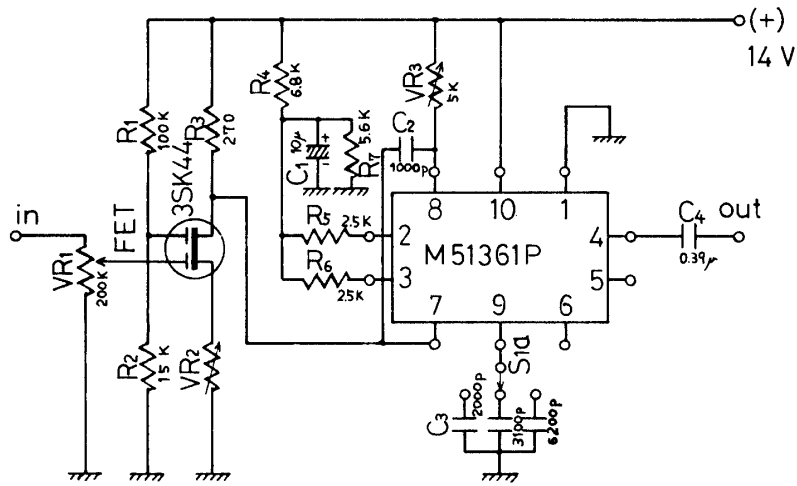
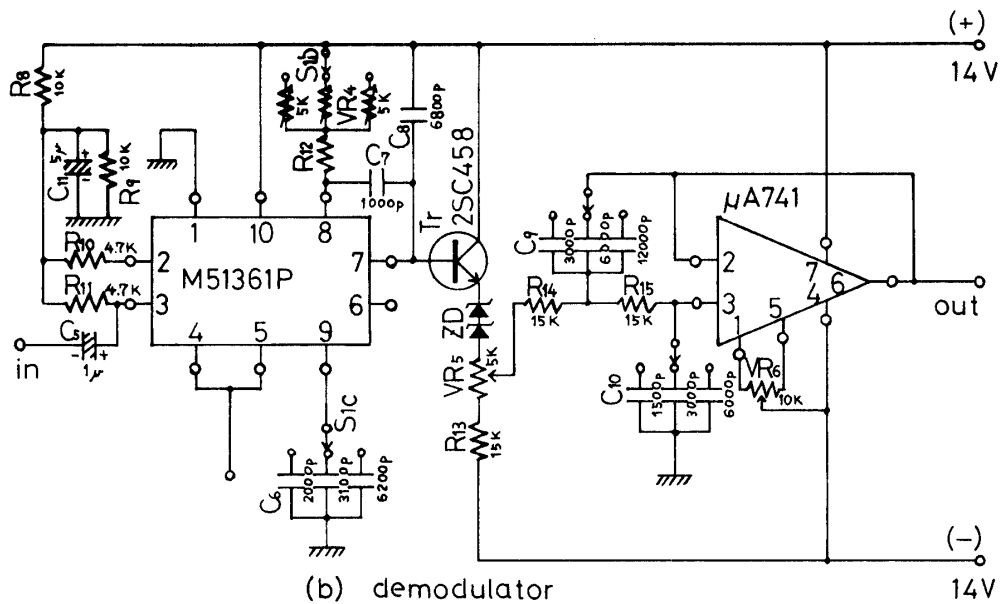


Fig.8 Frequency characteristics of low pass active filter.  $f_c$  is the observed cutoff frequency



(a) modulator



(b) demodulator

Fig.9 Equivalent circuit of the constructed adaptors.  $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$  and  $S_{1c}$  are rotary switches.

圧はPLL-ICのロックレンジで決定される。

本アダプタにおいては周波数特性の異なるテープレコーダ及びテープを対象としたため、各々の周波数特性に最適な中心周波数 $f_0$ をスイッチ $S_1$ により31KHz、18KHz、9KHzの3種類を選べるようにした。

## 2.2 L.P.F (Low Pass Filter)

搬送波(中心周波数 $f_c$ )をろ波するためにローパスのCRフィルタとOPアンプによるアクティブフィルタを設けた。CRフィルタはPLL-IC内部出力抵抗(3.6k $\Omega$ )と外付のコンデンサCによって構成し、カットオフ周波数を約6KHzに設定している。

一方OPアンプによるアクティブフィルタは変調部の $f_0$ の3段階の切り換えに応じてカットオフ周波数も3段階に切り換えられるようにした。Fig. 7にアクティブフィルタの基本回路を示す<sup>3)</sup>。 $R_{14}=R_{15}=R$ とし $C_{10}=1/2 C_9$ としたときのカットオフ周波数 $f_c$ は

$$f_c=1/\sqrt{2} \pi C_9 R \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

で表わされる。本フィルタにおいては、カットオフ周波数を5KHz、2KHz、1KHzとして設計した。このアクティブフィルタの周波数特性を実測した結果、Fig. 8に示すようになった。これを見ると、カットオフ周波数はそれぞれ4.7KHz、2.3KHz、1.2KHzとなっており、ほぼ設計値どおりとなった。またカットオフ周波数以上の周波数では12dB/octと良好な減衰特性を示している。このフィルタの周波数特性が本アダプタの周波数特性となる。

以上の回路を組み合わせるることによって、周波数変復調アダプタが構成される。Fig. 9に全回路図を示す。

## 3. 調整及び特性

### 3.1 調整

まず、使用前の段階として各部の調整をする必要がある。その順序を以下に示す。

#### 3.1.1 変調部

1) MOS-FETを変調器から切り離してPLL-ICの入力(4ピン)をコンデンサでショートしスイッチ $S_1$ を最大中心周波数(31KHz)にし $VR_3$ を調整して31KHzに合わせる。

2) MOS-FETを変調器につなぎ、ゲートIをショートし、1)で合わせた中心周波数(31KHz)になるように $VR_2$ を調整する。

#### 3.1.2 復調部

3) PLL-ICの入力をショートしてトランジスタ

のエミッタ電圧(アクティブフィルタ入力電圧)を0にするよう $VR_5$ を調整する。

4) OPアンプをトランジスタのエミッタから切り離して、アクティブフィルタの入力をショートし $VR_6$ を調整して出力のオフセットをとる。

5) OPアンプをトランジスタのエミッタにつなぎ変調部出力と復調部入力を直接結線し、変調部入力をショートしたとき、復調部出力が0になるようにそれぞれの中心周波数において $VR_4$ を調整する。

## 3.2 特性

特性測定に使用したテープレコーダは、ソニーのTC 8750-2、テープは計測用テープである。特性として最初に無信号時における変復調部の総合ドリフトをみてみよう。ここではアダプタをテープレコーダに接続し、普通の使用状態で測定したドリフトを問題にする。変調部の入力をショートし、変調部出力をテープレコーダに入力して、テープレコーダの出力を復調部に入力する。この復調部の出力をペンレコーダで記録する。記録例をFig. 10に示す。これによると、無信号時における総合ドリフトは電源投入30分後では5mVと大きい、1時間位経過してICの温度が安定すると0.5mV以下になり、その後はほとんど変化はみられない。これは市販のデータレコーダのカタログデータ<sup>4)</sup>(電源投入5分後1時間で15mV以下)と比較しても良い性能である。

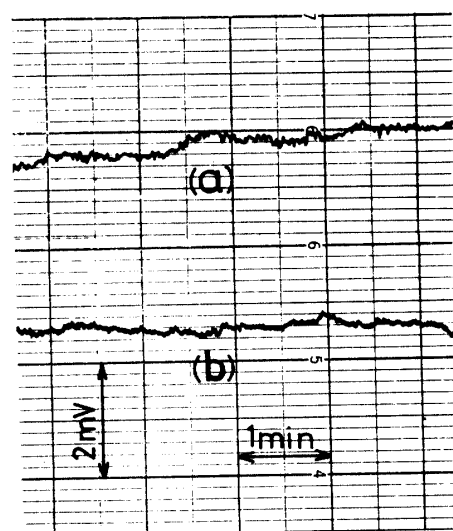


Fig. 10 Drift characteristics (a) about 3 minutes after turn on. (b) about 30 minutes after turn on.

次に入出力関係(直線性)をみてみよう。Fig. 11にその結果を示した。これは、入力に100Hzの正弦波を

用い、中心周波数を 31KHz, アクティブフィルタのカットオフ周波数を 1KHzにしたときの測定結果である。図から入力電圧が 300mV<sub>r.m.s</sub> まで直線関係を保っていることがわかる。この直線の傾きはアダプタ全体の利得を表わしており、2.1 中で述べている利得の約 2 倍と一致する。

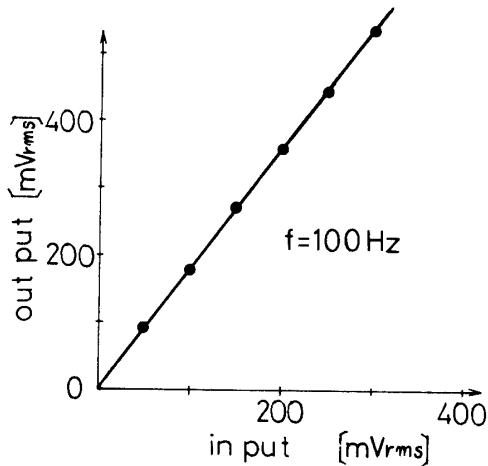


Fig. 11 Reproduced output voltage against to the input signal through the recorder. Filled circles are the measured points and the straight line is drawn by connecting the points.

また、復調部出力の波形の歪率をみるため入力信号の周波数を 30Hz, 100Hz, 300Hz にしたときの歪率を歪率計で測定した。その結果を Fig. 12 に示した。図から測定した周波数の範囲では、その最大は 2% で最低は 0.5% 程度である。この値も市販のデータレコーダの値<sup>4)</sup> (20Hz で 0.7% 以下, 全帯域 1.5% 以下) と比較して同じ位であり、この程度の歪率であれば実際の測定においてもほとんど問題はないと思われる。なお Fig. 12 から歪率が最低となる復調部出力電圧があるこ

とがわかる。これを Fig. 11 により変調部入力電圧に換算すると 100mV<sub>r.m.s</sub> となる。したがって実際の測定ではこの値を中心に記録すれば歪が最も少なくなる。すなわち最適変調部入力電圧は 100mV<sub>r.m.s</sub> となる。

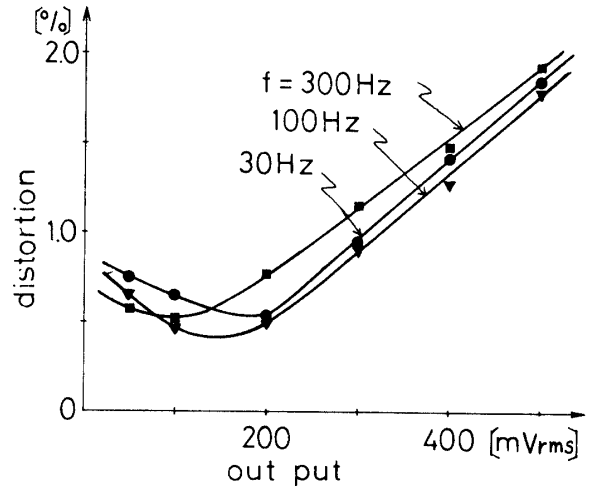


Fig. 12 Distortion ratio of the tape-recorder connected with the adaptors. The input signal is the sinusoidal wave of the frequency  $f$ .

最後に、変調部に入力信号として 100Hz の正弦波を加え、中心周波数を 3 段階に切り換えたとき、各中心周波数における最大出力、残留雑音、S/N 比を市販のデータレコーダの値<sup>4)</sup> と比較して Table.1 に示す。両者のそれぞれの値を比較すると特性にほとんど差はないことがわかる。

#### 4. データレコーダとしての使用例

この節では、アダプタを付加したテープレコーダを実際に使用した例を電気的特性の点からみてみよう。この実験は、液晶に段階電圧を印加し、このとき起こ

Table.1 Characteristics of the tape recorder (TC-8750-2) connected with the adaptors and instrumentation tape recorder (DFR-3415)

|                           | Tape recorder (TC-8750-2) connected with the adaptors |                      |                      | Instrumentation tape recorder (DFR-3415) |
|---------------------------|---|----------------------|----------------------|--|
|                           | 31KHz   | 18KHz                | 9KHz                 |  |
| frequency of carrier wave | 31KHz   | 18KHz                | 9KHz                 | —  |
| frequency characteristics | DC-4.7KHz   | DC-2.3KHz            | DC-1.2KHz            | DC-5.0KHz                                |
| maximum output            | 0.56V <sub>rms</sub>                                  | 0.60V <sub>rms</sub> | 0.55V <sub>rms</sub> | 0.70V <sub>rms</sub>                     |
| distortion                | 0.5—2.0%  |                      |                      | 0.7—1.5%                                 |
| S/N                       | 55dB  | 56dB                 | 55dB                 | 51dB                                     |
| output noise              | within 1.0mV <sub>rms</sub>                           |                      |                      | —  |

る光透過度の時間的変化を測定するものである。この透過度の変化は、ホトダイオードにより電圧変化に変えられる。この変化はゆっくりしているので、普通のペンレコーダで十分記録できる。ホトダイオードからの出力を2つに分け、一方は直接ペンレコーダに、もう一方はアダプタを通してテープレコーダに入れテープに記録する。使用のテープレコーダは、特性測定に使用したものと同じで、テープは計測用である。MB BA 液晶に 60Hz 50V の電圧を印加したとき、ホトダイオードからの出力は Fig. 13(a) のようになる。アダプタを通して再生したときの同じ現象の同じ部分の記録を同図(b)に示す。この2つの図から、波形の相互関係は両者で完全に対応がついていることがわかる。波の振幅はアダプタを通したほうが約2倍になっており、これは Fig. 11 の入出力関係から予想される値と同じになっている。この使用例からアダプタを付加したテープレコーダでもゆっくりとしたアナログ信号を記録するデータレコーダとして十分使用出来ることがわかった。

PLL IC による簡易型 DC 記録用アダプタ

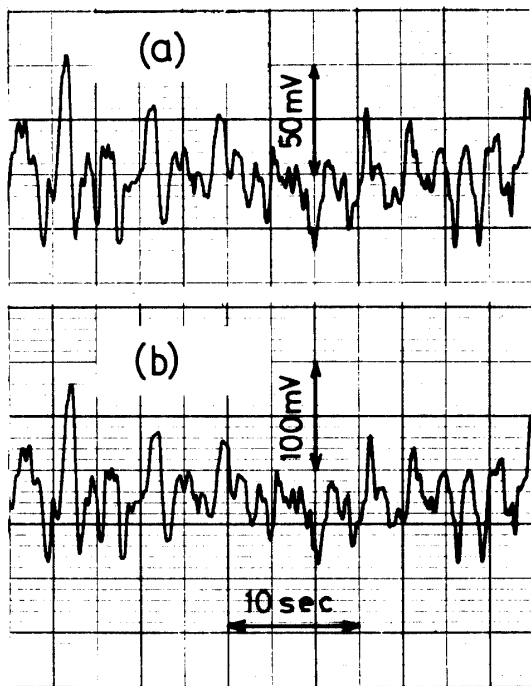


Fig. 13 Example of the original input signal and output signal through the tape-recorder connected with the adaptors.

## 5. むすび

この周波数変復調アダプタは、一般のオーディオ用テープレコーダでゆっくりとしたアナログ信号を記録することを目的に製作した。使用するテープレコーダの周波数特性に差があることを考慮して、変復調アダプタの中心周波数を 31KHz, 18KHz, 9KHz の 3 段階に切り換えるようにした。それぞれの中心周波数で測定した特性を市販のデータレコーダのそれと比較してみるとすべての点で同等あるいは上回っていることを示していた。この結果、一般のオーディオ用テープレコーダでもこのアダプタを付加すれば市販のデータレコーダと同様に、直流から数百 Hz ぐらいの低周波の信号も十分記録出来ることがわかる。現在、このアダプタを付加したテープレコーダは、波形解析等に利用している。

この論文における周波数変復調アダプタは、各部の特性を測定しやすいように変調部と復調部とに分け、それぞれに PLL-IC を用いて製作したため、調整個所がふえる結果となった。調整個所を減らす方法として変調部と復調部の VCO を共通にすることがあげられる。そして PLL-IC 1 個で変調部と復調部を構成するように切り換えスイッチを付ければ、中心周波数は同じものであるから、変復調部の中心周波数を一致させる必要はなくなり調整個所は減る。また、PLL-IC を 1 個しか使用しないためアダプタは更に小型になる。

なお、本器の特性測定に当り、比較のためソニーのデータレコーダの特性試験を行なった。このデータレコーダの使用などに便宜をはかっていただいた、本学生産機械工学科、大草喜太雄教授、北川亮三助教授に深く感謝します。

## 参考文献

- 1) PLL 活用ハンドブック, 誠文堂新光社, (1975), p.8.
- 2) 三菱半導体ハンドブック (集積回路編), 誠文堂新光社, (1976), p.593.
- 3) 岡村太夫: OP アンプ回路の設計, CQ 出版社 (1975) p. 158.
- 4) ソニーデータレコーダカタログ DFR-3415.

(昭和51年10月16日受理)