

TR-A-0034

聴覚実験用ヘッドフォンアンプシステム

平原 達也

Tatsuya Hirahara

1988. 9. 19

A T R 視聴覚機構研究所

----- 目 次 -----

1. はじめに	1
2. ヘッドフォンアンプシステムの構成	2
2-1 全体の構成	2
2-2 分配・制御部の構成	6
2-3 増幅部の構成	6
3. ヘッドフォンアンプシステムの性能	11
3-1 概 要	11
3-2 出力レベル	11
3-3 S/Nおよび残留雑音レベル	11
3-4 高調波歪率および混変調歪率	11
3-5 クロストーク	11
3-6 周波数特性	11
4. まとめ	12

1. はじめに

本稿では、聴覚研究室における様々な音響信号聴取実験のために試作したヘッドフォンアンプシステムについて述べる。

聴覚の心理物理実験・心理実験を行うためには、素性の知れた音響刺激装置が不可欠である。音響刺激装置は、テープレコーダやDATといった各種の録音再生装置やD/Aコンバータを持つワークステーションなどの刺激信号源、スピーカーまたはヘッドフォンなどの電気・音響変換を行うトランスデューサ、これら両者の間のインピーダンス変換とレベル変換を行うとともに、トランスデューサを駆動するための電力増幅を行う増幅系の3つに大きく分けられる。(Fig.1)

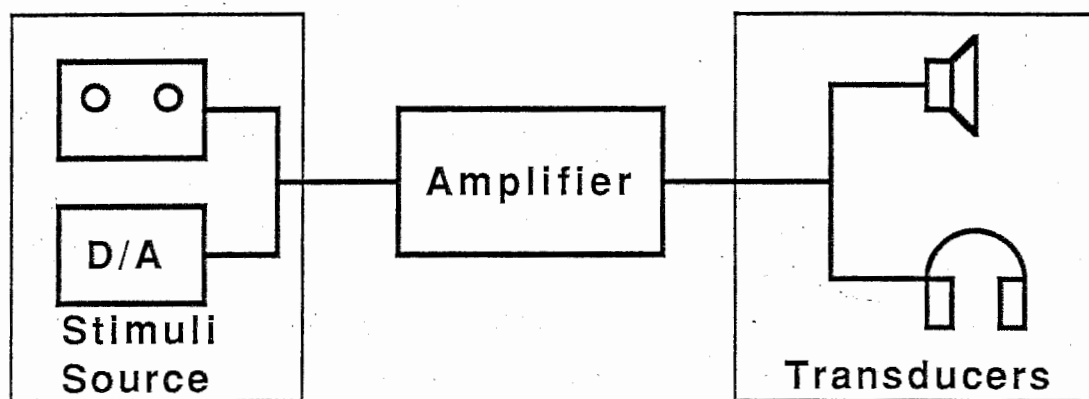


Fig.1 聴取実験システムの構成

多くの場合、この増幅系として市販のオーディオアンプまたはヘッドフォンアンプが用いられている。市販のオーディオアンプの周波数特性、高調波歪特性、混変調歪特性、安定性などは、近年のオーディオ技術の進歩により、いずれも十分な性能が得られており、ある程度以上の価格のセットであれば、スピーカーを用いる聴覚実験システムの増幅系として問題なく使用できる。しかし、ヘッドフォンを用いる聴覚実験システムにこれらを用いる場合には、以下に示すようないくつかの問題点がある。

1. ヘッドフォン端子がアンプに1つしかないので、何人かの被験者に対して同時に刺激音を呈示する場合には、被験者の数だけアンプが必要になる。
2. 数十W～数百Wの出力があるプリメインまたはパワーアンプをヘッドフォンアンプとして用いるには出力が大きすぎるし、不用な回路も多く組み込まれているために筐体も大きい。
3. 入力レベルがオーディオ機器用に設定されているために $\pm 10V$ P-P というD/A変換器の出力を直接入力できない場合がある。
4. 左右のチャンネル間のセパレーションが不十分でクロストークが多い。
5. 残留雑音レベルが十分低くないものが多い。

市販ヘッドフォンアンプの中にあつてSTAX社のヘッドフォンアンプは上記の問題点の多くをクリアしている。しかし、それらは、同社の静電型ヘッドフォン（STAXではEar Speakerと呼んでいる）専用であつて、バイアス用の直流電圧がアンプの出力に重畳されているために、通常の電磁型ヘッドフォンを使用できない。

そこで、今回は、聴覚研究室における電磁型ヘッドフォンを用いる聴覚実験系の標準システムを構築することを目的として、上述した問題点を解決するヘッドフォンアンプシステムを設計し、試作した。なお、本来は増幅系だけではなく刺激信号源及びトランスデューサを含めた全体の実験系について論じなければならないが、問題が大きくなりすぎるので、他のものについては別稿で検討することとする。

2. ヘッドフォンアンプシステムの構成

2-1 全体の構成

多数の被験者に同時に刺激音を呈示するヘッドフォンシステムの構成としては Fig.2 に示されるような2つの方法がある。ひとつは、アンプを共用してヘッドフォン端子を多数並列に設置する方法であり (Fig.2 (a)) 他の一つは、分配器と各ヘッドフォンごとに専用のアンプを設置する方法である。(Fig.2 (b)) 本装置では、被験者が個々に受聴レベルを設定することができるように、後者の構成を採用し、同時に4人の被験者が受聴できるようにした。

本装置は、Fig.3 に示されるように分配・制御部と増幅器1~4から構成され、同図に示した各部は各々別個の筐体に格納される。Table 1 に本装置全体の主な仕様を示す。Fig.4 に本システムの概観図を示す。

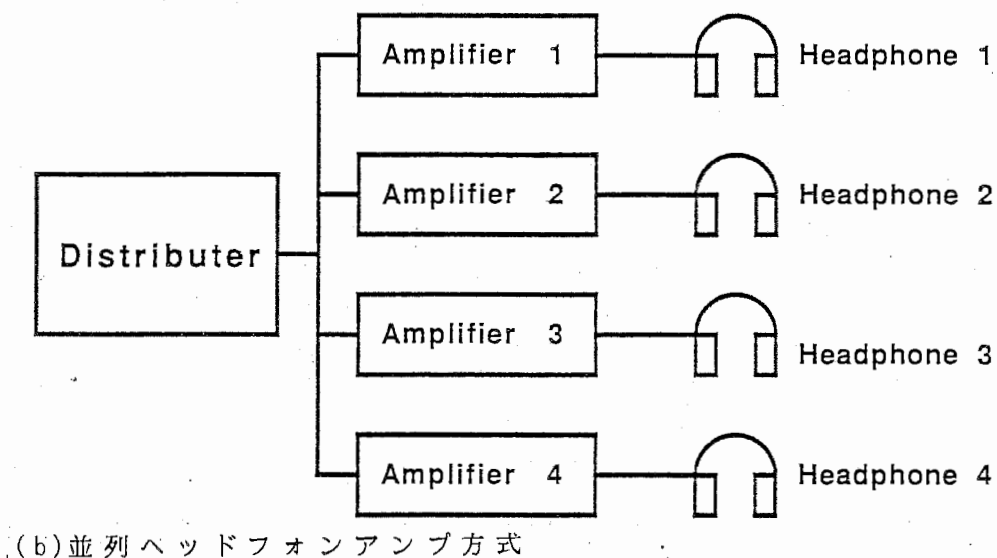
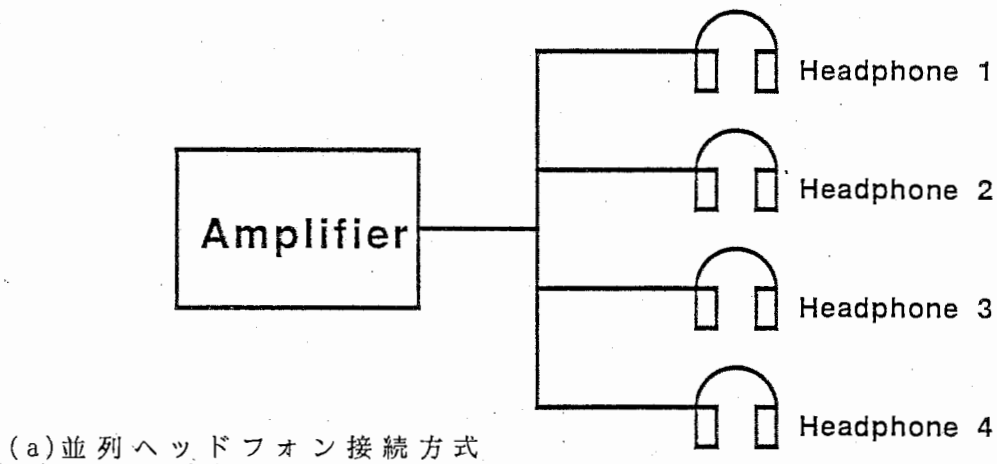


Fig.2 ヘッドフォンアンプシステムの構成法。

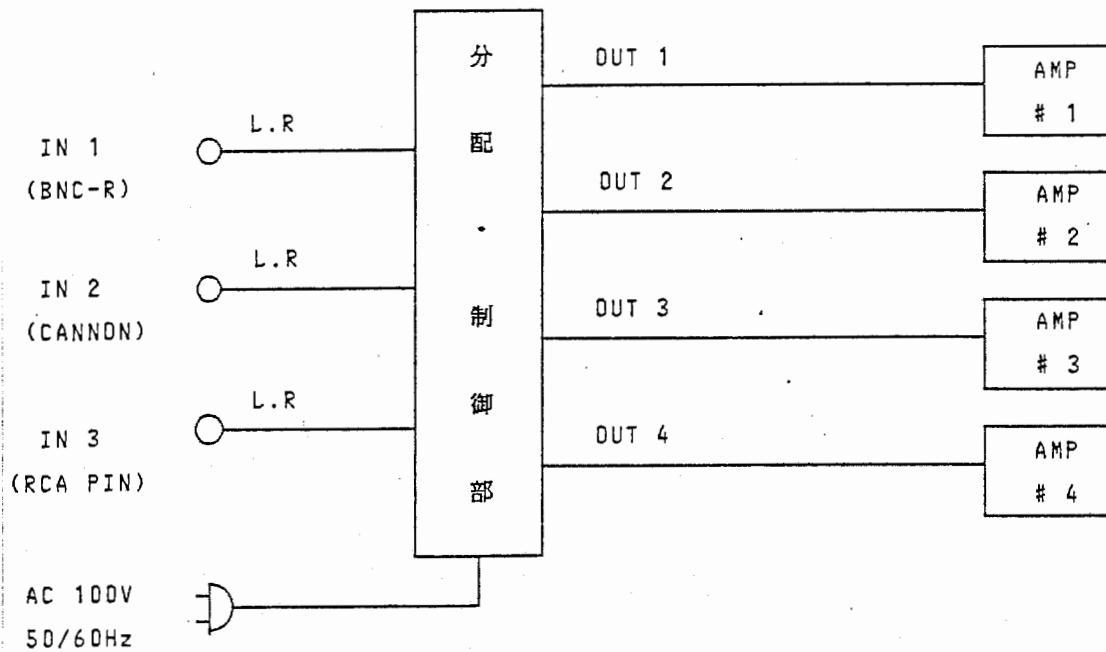


Fig.3 試作したヘッドフォンアンプシステム全体のブロックダイアグラム

項目	規格	備考
高調波歪率	0.01% 以下	
混変調歪率	0.01% 以下	1KHz+1.5KHz
残留雑音	60 μ V 以下	
チャンネル間 クロストーク	-70dB 以下	R-L間及び各ch間のクロストーク
チャンネル間偏差	0.1dB 以内	
周波数特性	20Hz~20KHz +0dB~-1dB	
S/N比	100dB 以上	

Table 1 試作したヘッドフォンアンプシステムの仕様

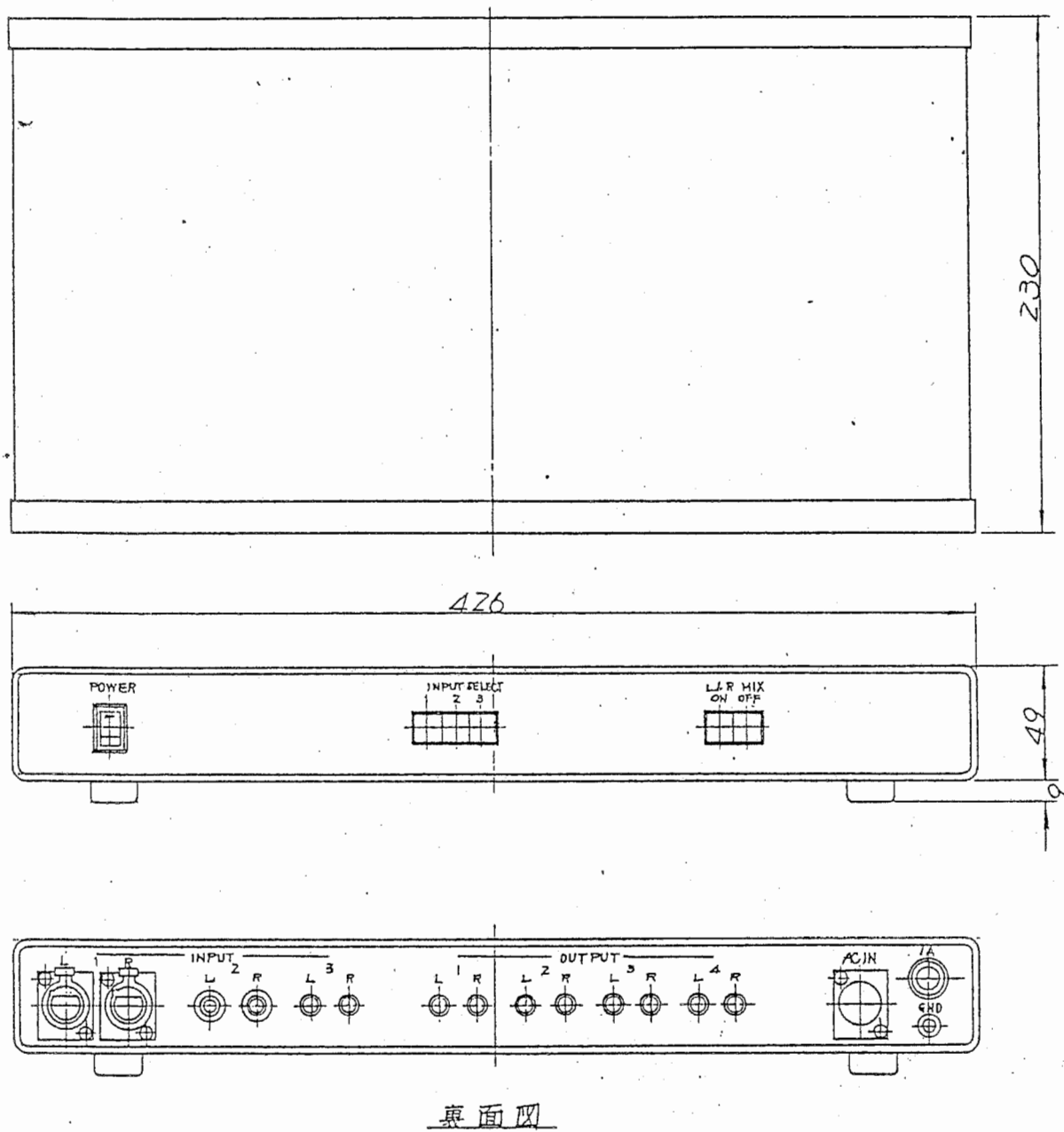


Fig.4 (a)ヘッドフォンアンプシステムの概観図 (分配・制御部)

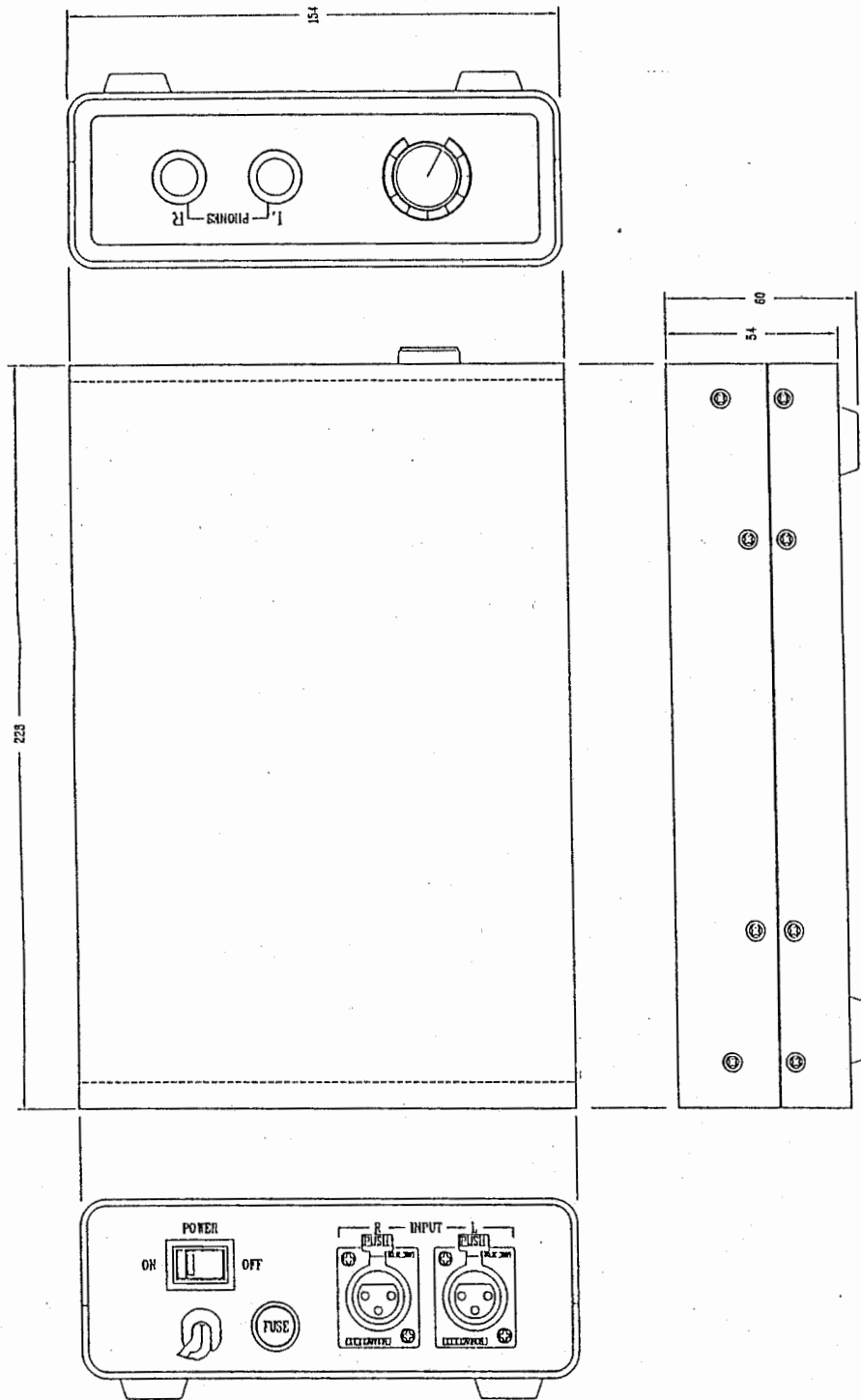


Fig.4 (b)ヘッドフォンアンプシステムの概観図 (増幅部)

2-2 分配・制御部の構成

分配・制御部のブロックダイアグラムをFig.5に、回路図をFig.6に示す。本部の機能は以下の3点である。

- ① 3種類の入力レベルの異なる信号のうち1つをスイッチで選択する。
- ② 各入力信号に対してモノラル・ステレオの切り替えを行う。
- ③ 4台の増幅器へ入力信号を分配する。

ここで、3種類の入力信号レベルとは、D/A変換器出力レベルの $\pm 10V$ P-P、プロの音響機器の標準出力レベルである $+4dBm$ ($0dBm = 100mW/600\Omega$)、民生用オーディオ機器の標準出力レベルである $-10dBs$ ($0dBs = 1Vrms$) の3つである。これらの信号に対する入力インピーダンスはそれぞれ、 $50k\Omega$ 不平衡、 600Ω 平衡、 $10k\Omega$ 不平衡とし、コネクタはそれぞれ、BNC-R (絶縁型)、キャノン XLR3-11C、RCA ピンジャックとした。(Table 2) また、 $-10dBs$ の入力系は、DATの最大出力レベル ($1.75Vrms = \pm 2.47V$ P-P) にも対応できるようにレベル配分を決定した。

回路構成は以下のとおりである。各入力端子に入力された信号は、まず、レベル調整用のアッテネータを経てヘッドアンプに入力される。 600Ω 平衡入力はトランスによって平衡-不平衡変換された後にレベルを調整し、ヘッドアンプに入力される。次に、リレーによって選択されたヘッドアンプの出力信号は、R L独立のバッファアンプ、それと並列に接続されたRとLのミキサーアンプの両者へ導かれる。これらのアンプの出力は、リレーによってステレオ・モノラルいずれかの出力が選択され、4つの出力端子へ分配される。何れの入力信号に対しても、分配・制御部の出力レベルは $890mVrms$ である。また、R Lいずれか一方のチャンネルにだけ入力信号を加えた場合、モノラルポジション (RとLを加算するモード) ではステレオポジション (RとLを独立に扱うモード) と比較して出力信号レベルは電圧比で $-6dB$ 低くなる。

2-3 増幅部の構成

増幅部のブロックダイアグラムをFig.7に、回路図をFig.8に示す。本部の機能は分配・制御部の出力信号を増幅し、ヘッドフォンを駆動することにある。また、ヘッドフォンの出力レベルは連続的に変化できるようにしてある。ヘッドフォン端子の出力インピーダンスは 8Ω 、最大出力は $100mW$ 、ヘッドフォンジャックは110号プラグとした。(Table 3)

回路構成は非常に単純である。入力信号は音量調整用のアッテネータを経て、オペアンプとコンプリメンタリトランジスタで構成される電力増幅器に導かれ、その出力がヘッドフォン端子に接続されている。

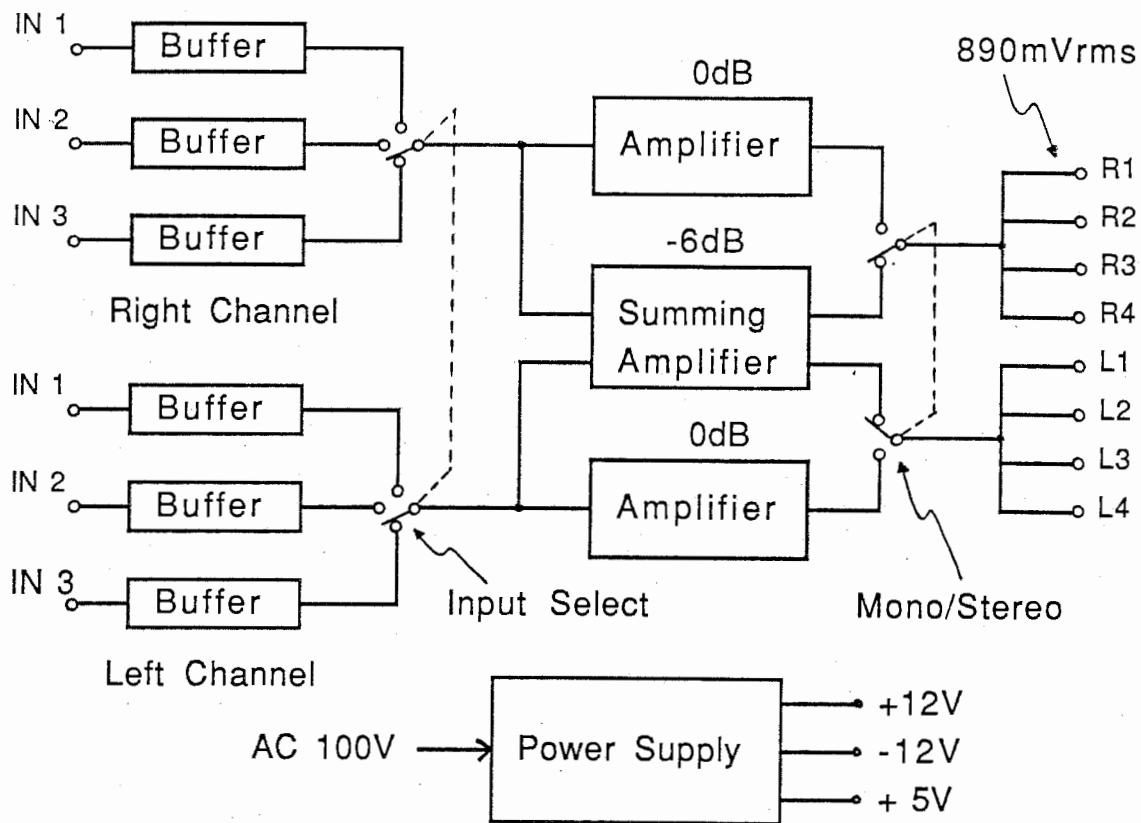
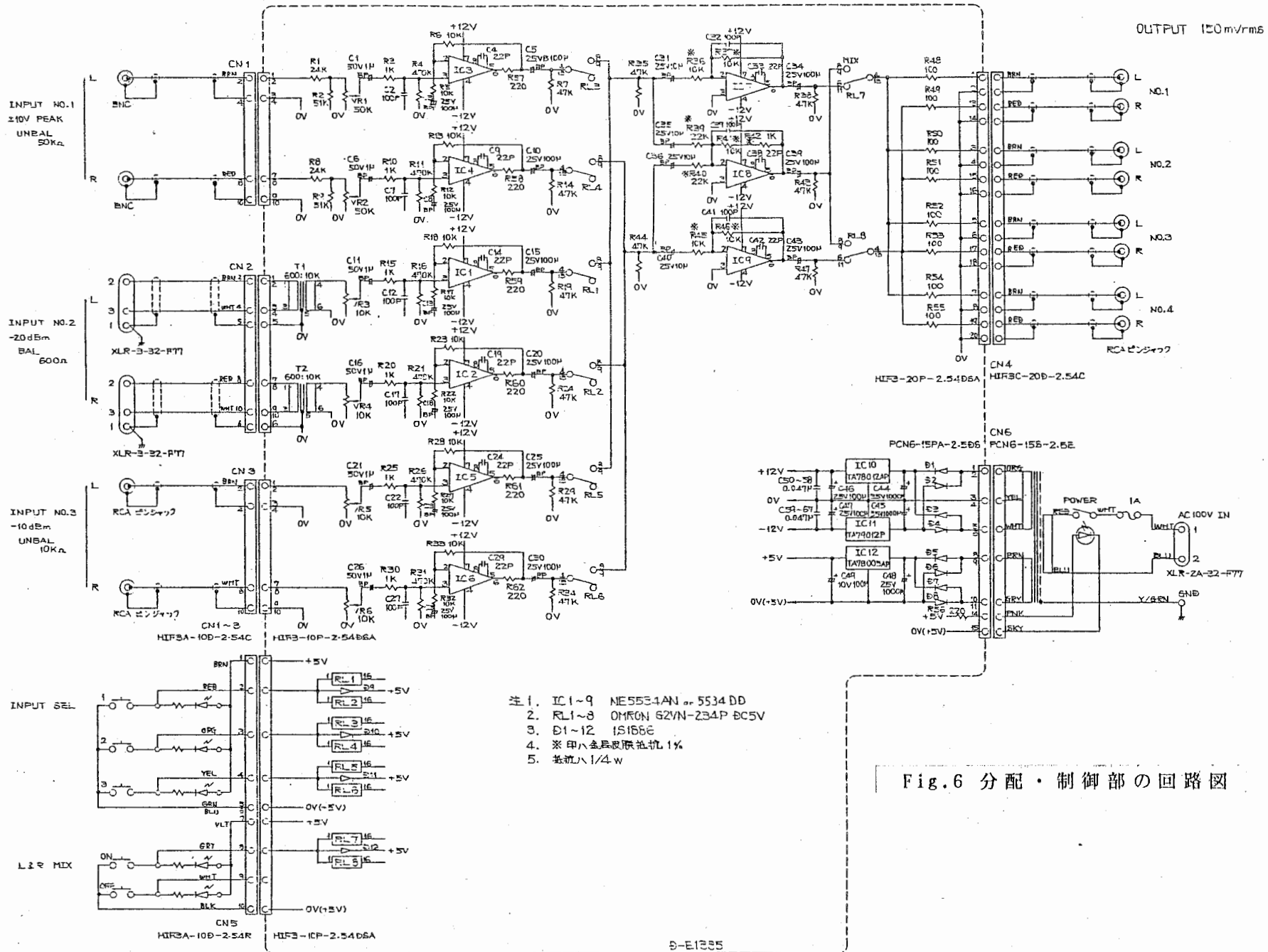


Fig.5 分配・制御部のブロックダイアグラム

端子名	入力インピーダンス	入力レベル	コネクタ形式
INPUT 1	50K Ω 不平衡	$\pm 12V_{p-p}$ max	BNC-R (絶縁形)
INPUT 2	600 Ω 平衡	+4dBm	キャノン XLR3-11C
INPUT 3	50K Ω 不平衡 1 $^{\circ}$	-10dBs	RCAピンジャック

Table 2 分配・制御部の入力信号条件



OUTPUT 150mVrms

INPUT NO.1
±10V PEAK
UNBAL 50KΩ

INPUT NO.2
-20dBm
BAL 600Ω

INPUT NO.3
-10dBm
UNBAL 10KΩ

INPUT SEL

L & R MIX

- 注1. IC1~9 NE5534AN or 5534 DD
- 2. RL1~8 OMRON G2VN-234P BC5V
- 3. D1~12 1S166E
- 4. * 甲八金品 炭素抵抗 1%
- 5. 基抗 1/4-w

Fig.6 分配・制御部の回路図

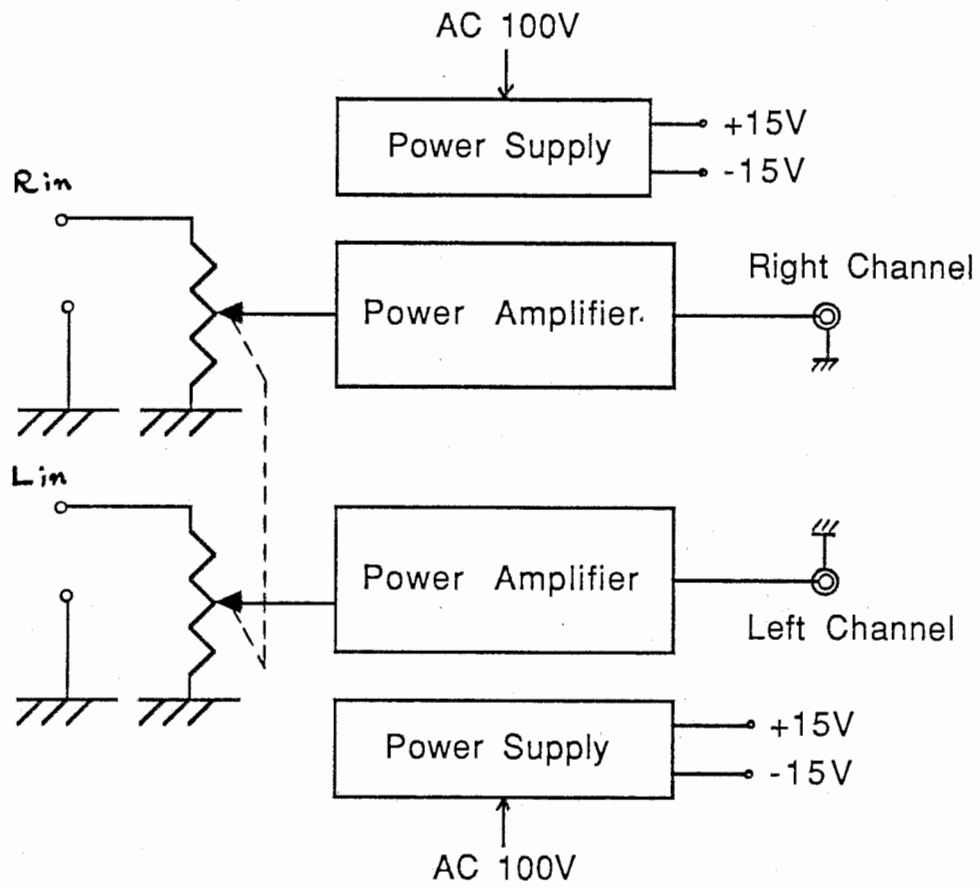


Fig.7 増幅部のブロックダイアグラム

出力インピーダンス	出力レベル	コネクタ形式
8 Ω	0~100mW 連続可変	110号プラグ

Table 3 増幅部の出力信号条件

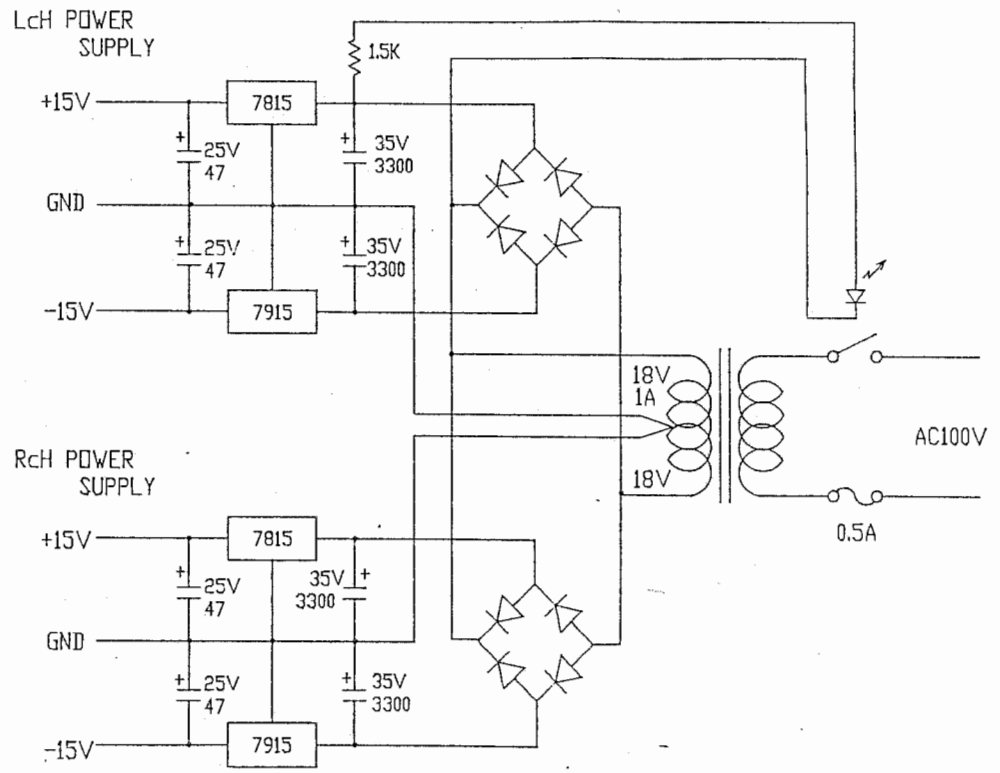
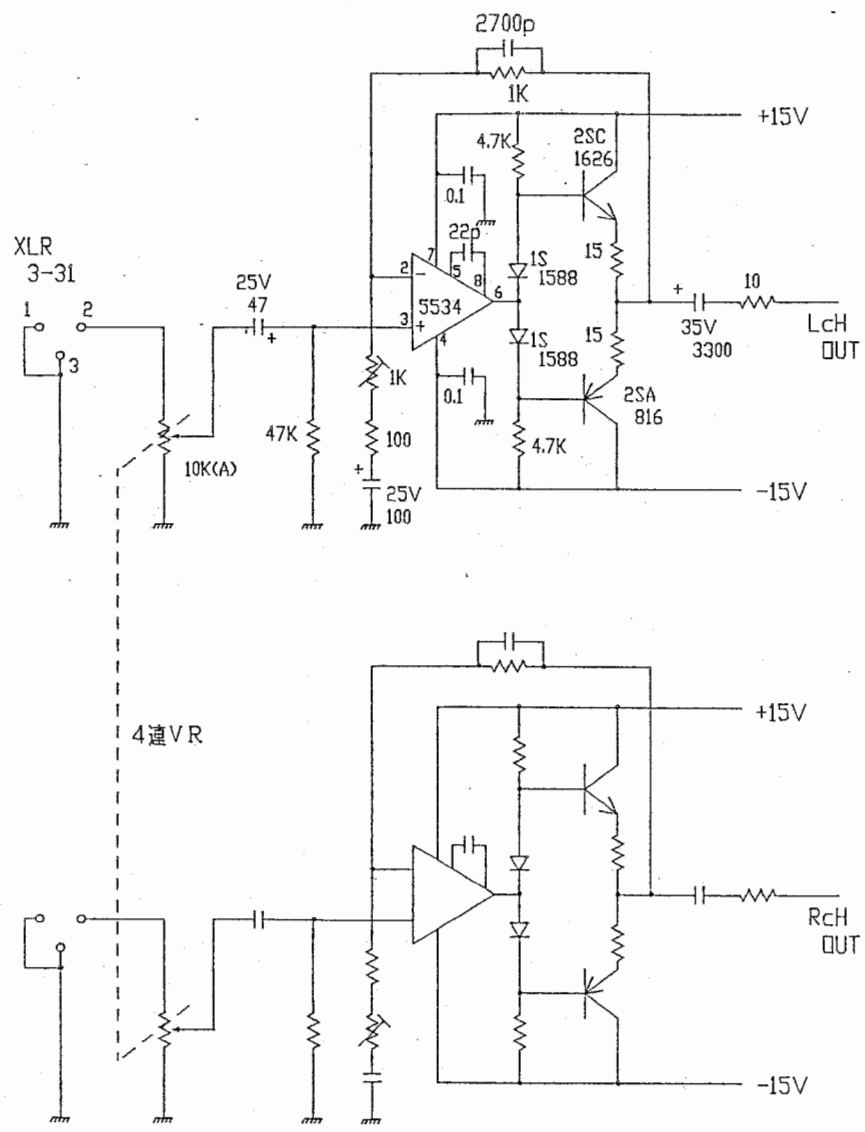


Fig.8 増幅部の回路図

3. ヘッドフォンアンプシステムの性能

3-1 概要

分配・制御部と増幅部を接続したヘッドフォンアンプシステム全体の諸特性を Table 4~7に示す。測定系は Fig.9 に示すとおりである。Table 4 は、 $\pm 10V$ P-P の入力端子から増幅部のヘッドフォン端子までの特性を4台の増幅器ごとに測定した結果である。同様にして、Table 5 は $+4dBm$ の入力端子から増幅器1のヘッドフォン端子まで、Table 6は $-10dBs$ の入力端子から増幅器1のヘッドフォン端子までの特性を測定した結果である。Table 7は増幅器1に関する各入力系間クロストークを測定した結果である。これらの特性は増幅器のボリュームを右側に回しきった状態、すなわち最大利得状態で測定した結果である。

以下に $\pm 10V$ P-P の入力系の結果について述べる。他の入力系では、S/N が低くなっている他は、 $\pm 10V$ P-P の入力系と大きな差異は認められない。

3-2 出力レベル

出力レベルは 8Ω 抵抗負荷で $890mV_{rms}$ 、すなわち $100mW$ で、各増幅器間の偏差は認められない。Fig.10は、 $\pm 10V$ P-P の入力端子に $\pm 10V$ P-P の振幅を持つ $1kHz$ の正弦波信号を入力した場合に、音量調整用のボリューム変化にともなうヘッドフォン端子における出力電圧の変化を描いたものである。ただし、増幅器1のRチャンネルを使用し、ヘッドフォン端子は 8Ω の抵抗負荷で終端した場合の結果である。この関係図と、使用するヘッドフォンの入力電圧-出力音圧関係図を用いることによって、ボリューム位置に対応する出力音圧を知ることができる。

3-3 S/Nおよび残留雑音レベル

S/Nは、 $110.6\sim 115.3dB$ で各増幅器間に多少のバラツキはあるが低い値に抑えられている。これに伴って、残留雑音レベルも $20\sim 33\mu V_{rms}$ と低いレベルを保っている。

3-4 高調波歪率および混変調歪率

高調波歪率は各周波数において $0.006\sim 0.009\%$ で、デシベル換算では $-84dB$ 程度に抑えられている。また $1kHz+1.5kHz$ の2信号音に対する混変調歪率も 0.005% ($-86dB$) と十分に低い。

3-5 クロストーク

R L間のクロストークは、 $100Hz$ で $88\sim 94dB$ 、 $20kHz$ で $71\sim 76dB$ と低い周波数ほど分離度は良好である。各チャンネル、各増幅器によってクロストーク値にバラツキが認められるが、要求仕様の $-70dB$ はかろうじてクリアしている。

入力系間のクロストークも、低い周波数ほど少ない。

3-6 周波数特性

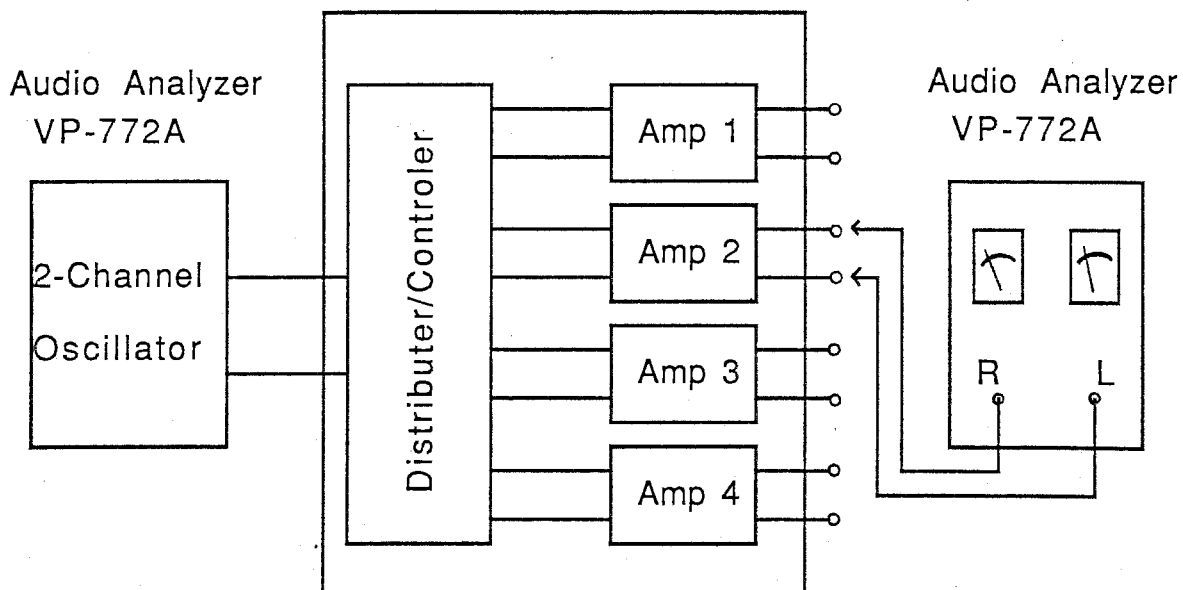
Fig.11~Fig.23は各入力端子からヘッドフォン出力端子までの静的な周波数特性を測定した結果である。Fig.11は測定系自身の周波数特性である。各チャンネル、各増幅器ともに、 $20Hz$ から $20kHz$ まで $\pm 0.8dB$ 以内に特性は納まっている。 $+4dBm$ の入力系の周波数特性が最も悪いが、これは、入力端子に挿入されている

平衡 - 不平衡変換トランスの影響である。

Fig. 24・25は、インパルス法によってシステムのダイナミックな周波数特性を測定した結果である。測定系のブロックダイアグラムをFig. 26に示す。Fig. 24は $\pm 10\text{V}$ P-Pの入力端子に $10\mu\text{sec}$ 、 $+10\text{V}$ のインパルスを入力して求めた伝達特性、Fig. 25は -10dBs の入力端子に $10\mu\text{sec}$ 、 $+200\text{mV}$ のインパルスを入力して求めた伝達特性である。いずれも、増幅器1のRチャンネルに 8Ω の抵抗負荷を接続した場合の伝達特性である。両図に示されるように、純音を用いた静的な周波数特性と同様に、振幅・位相とも平坦な特性が得られている。

4. まとめ

以上、本稿では、試作した電磁形ヘッドフォン用のヘッドフォンアンプシステムの構成とその特性について述べるとともに、本ヘッドフォンアンプシステムが所定の性能を満たしたシステムであることを示した。今後は、このシステムに用いる電磁形ヘッドフォンについての検討を進め、その諸特性を明らかにすることによって、各種の音響刺激を用いる聴取実験を安心して実行できるようにする予定である。



Measuring Conditions

Input Level Input 1 12V p-p, Input 2 +4dBm, Input 3 -10dBs
 Outputs of Headphone amplifier are terminated with 8ohm resistors

Fig.9 測定系のブロックダイアグラム

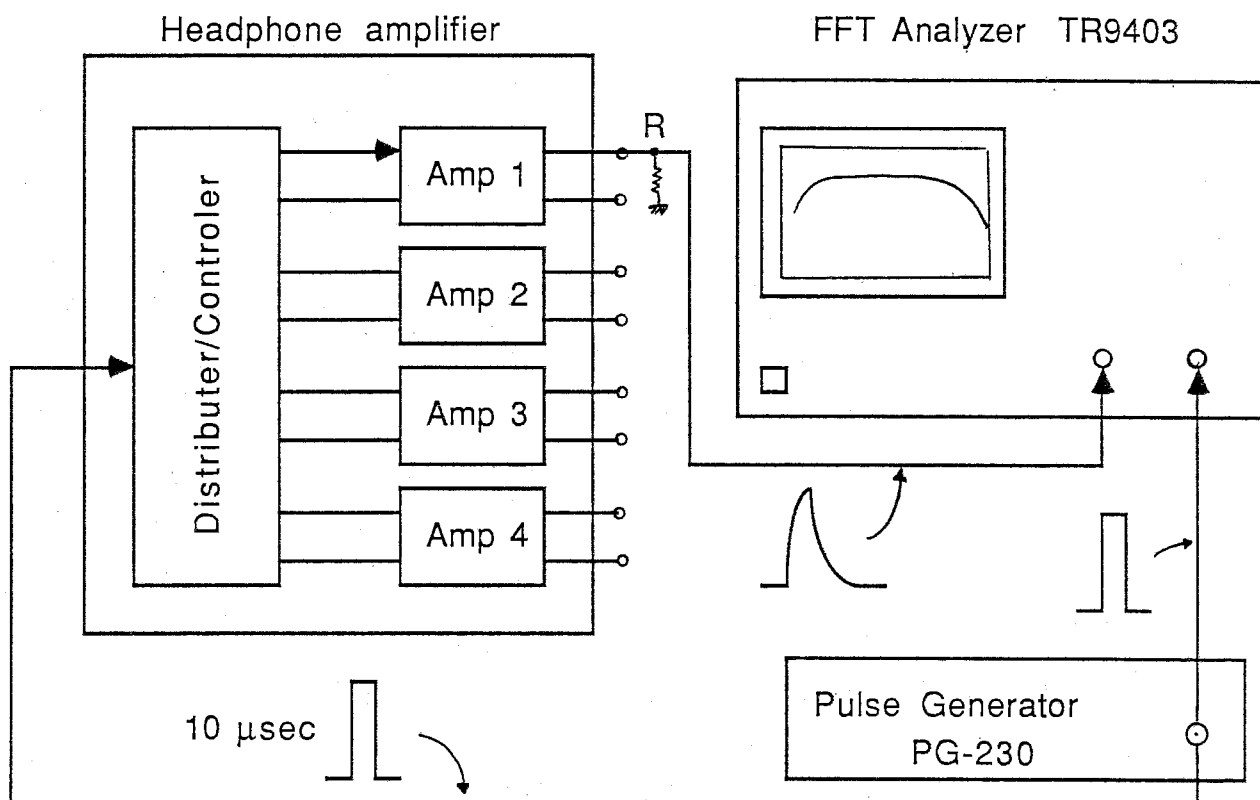


Fig.26 インパルス法による伝達特性測定系のブロック図

Volume Scale vs Output Level

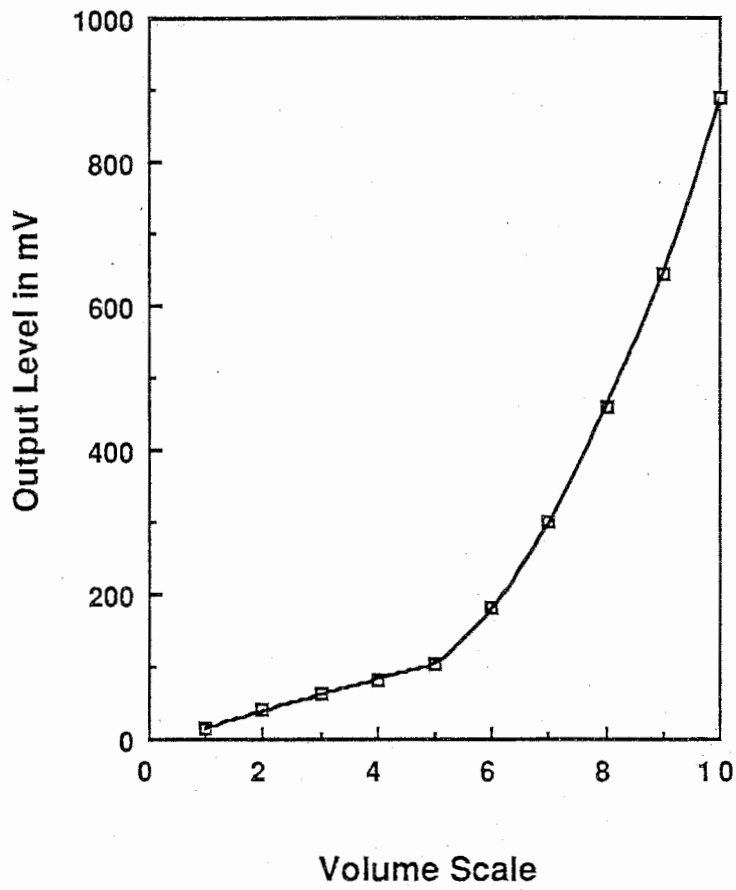


Fig.10 音量調整ボリュームの目盛りと出力電圧の関係
(±10V P-P 入力系 増幅器1 Rチャンネル 8Ω抵抗負荷時)

検査項目		NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
I. INPUT 1 ($\pm 10\text{VP-P}$)					
1) 出力レベル 100mW (890mV)					
Lch (mV)		890	890	890	890
Rch (mV)		890	890	890	890
2) S/N					
Lch (dB)		110,6	111,4	111,6	111,5
Rch (dB)		112,0	115,0	115,3	115,2
3) 残留雑音					
Lch (μV)		33	20	20	23
Rch (μV)		25	20	24	30
4. 高調波歪率 (%)					
Lch 100Hz		0,006	0,006	0,007	0,006
1KHz		0,007	0,007	0,007	0,006
10KHz		0,008	0,007	0,008	0,007
20KHz		0,008	0,009	0,009	0,008
Rch 100Hz		0,007	0,007	0,007	0,007
1KHz		0,007	0,007	0,007	0,007
10KHz		0,008	0,008	0,008	0,008
20KHz		0,009	0,009	0,009	0,009
5. 混変調歪率 (%)					
Lch		0,004	0,004	0,004	0,004
Rch		0,005	0,004	0,005	0,005
6. チャンネル間クロストーク (dB)					
L→R 100Hz		90	94	94	93
1KHz		89	90	90	90
10KHz		75	75	75	75
20KHz		72	72	71	71
R→L 100Hz		88	90	92	92
1KHz		88	88	90	90
10KHz		81	77	80	80
20KHz		75	72	76	75

Table 4 $\pm 10\text{V P-P}$ 入力端子 - > 増幅器 1 ~ 4 の諸特性

検査項目		NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
II. INPUT 2 (+4 dBm)					
1) 出力レベル 100mW (890mV)					
Lch	(mV)	890			
Rch	(mV)	890			
2) S/N 比					
Lch	(dB)	94,3			
Rch	(dB)	96,2			
3) 残留雑音					
Lch	(dB)	30			
Rch	(dB)	30			
4) 高調波歪率 (%)					
Lch	100Hz	0,008			
	1KHz	0,008			
	10KHz	0,009			
	20KHz	0,009			
Rch	100Hz	0,008			
	1KHz	0,008			
	10KHz	0,009			
	20KHz	0,009			
5) 混変調歪率 (%)					
Lch		0,006			
Rch		0,006			
6) チャンネル間クロストーク (dB)					
L→R	100Hz	88			
	1KHz	88			
	10KHz	86			
	20KHz	81			
R→L	100Hz	83			
	1KHz	83			
	10KHz	81			
	20KHz	80			

Table 5 +4dBm 入力端子 - > 増幅器 1 の諸特性

検査項目		NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	
Ⅲ. INPUT 3 (-10dBs)						
1) 出力レベル 100mW (890mV)						
Lch	(mV)	890				
Rch	(mV)	890				
2) S/N 比						
Lch	(dB)	75,3				
Rch	(dB)	75,2				
3) 残留雑音						
Lch	(dB)	40				
Rch	(dB)	33				
4) 高調波歪率 (%)						
Lch	100Hz	0,007				
	1KHz	0,008				
	10KHz	0,009				
	20KHz	0,010				
	Rch	100Hz	0,008			
		1KHz	0,008			
		10KHz	0,009			
		20KHz	0,010			
5) 混交調歪率 (%)						
Lch		0,006				
Rch		0,006				
6) チャンネル間クロストーク (dB)						
L→R	100Hz	87				
	1KHz	87				
	10KHz	83				
	20KHz	80				
R→L	100Hz	85				
	1KHz	85				
	10KHz	82				
	20KHz	79				

Table 6 -10dBs 入力端子 -> 増幅器 1 の諸特性

検査項目		NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
IV. ソース間クロストーク (dB)					
1) INPUT1→INPUT2					
Lch	100Hz	87			
	1kHz	87			
	10kHz	86			
	20kHz	83			
Rch	100Hz	88			
	1kHz	88			
	10kHz	83			
	20kHz	79			
2) INPUT1→INPUT3					
Lch	100Hz	85			
	1kHz	85			
	10kHz	84			
	20kHz	82			
Rch	100Hz	86			
	1kHz	85			
	10kHz	80			
	20kHz	77			
3) INPUT2→INPUT1					
Lch	100Hz	86			
	1kHz	86			
	10kHz	85			
	20kHz	83			
Rch	100Hz	87			
	1kHz	87			
	10kHz	87			
	20kHz	87			
4) INPUT2→INPUT3					
Lch	100Hz	84			
	1kHz	84			
	10kHz	84			
	20kHz	83			
Rch	100Hz	86			
	1kHz	86			
	10kHz	85			
	20kHz	80			
5) INPUT3→INPUT1					
Lch	100Hz	86			
	1kHz	85			
	10kHz	84			
	20kHz	83			
Rch	100Hz	86			
	1kHz	85			
	10kHz	82			
	20kHz	79			
6) INPUT3→INPUT2					
Lch	100Hz	85			
	1kHz	86			
	10kHz	80			
	20kHz	77			
Rch	100Hz	86			
	1kHz	85			
	10kHz	80			
	20kHz	75			

Table 7 増幅器1 に関する各入力系間のクロストーク

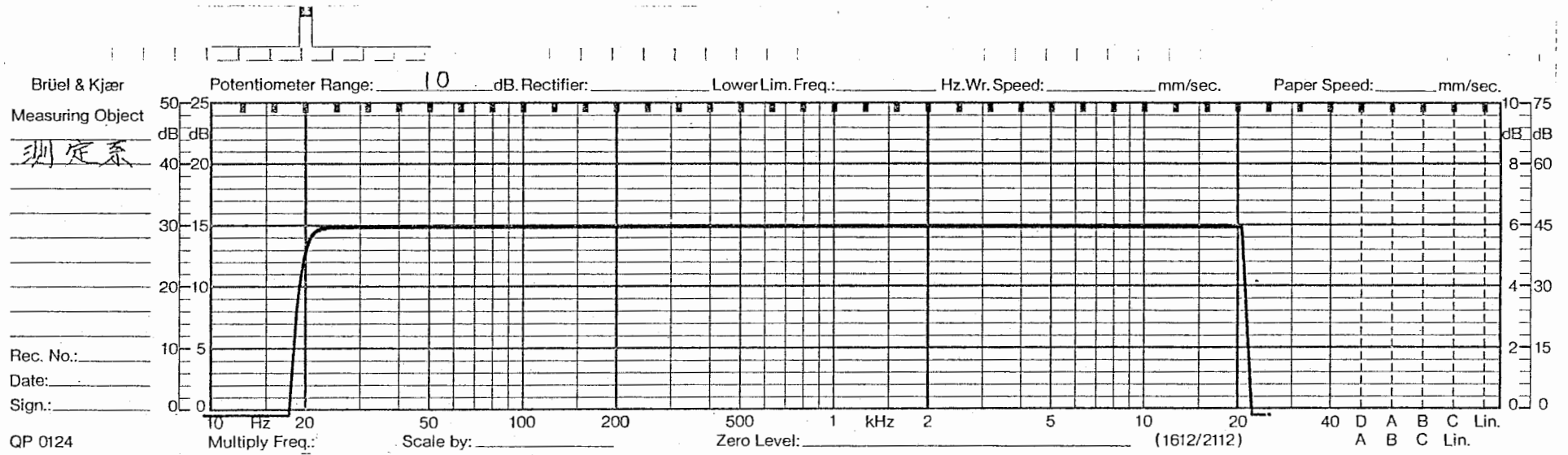
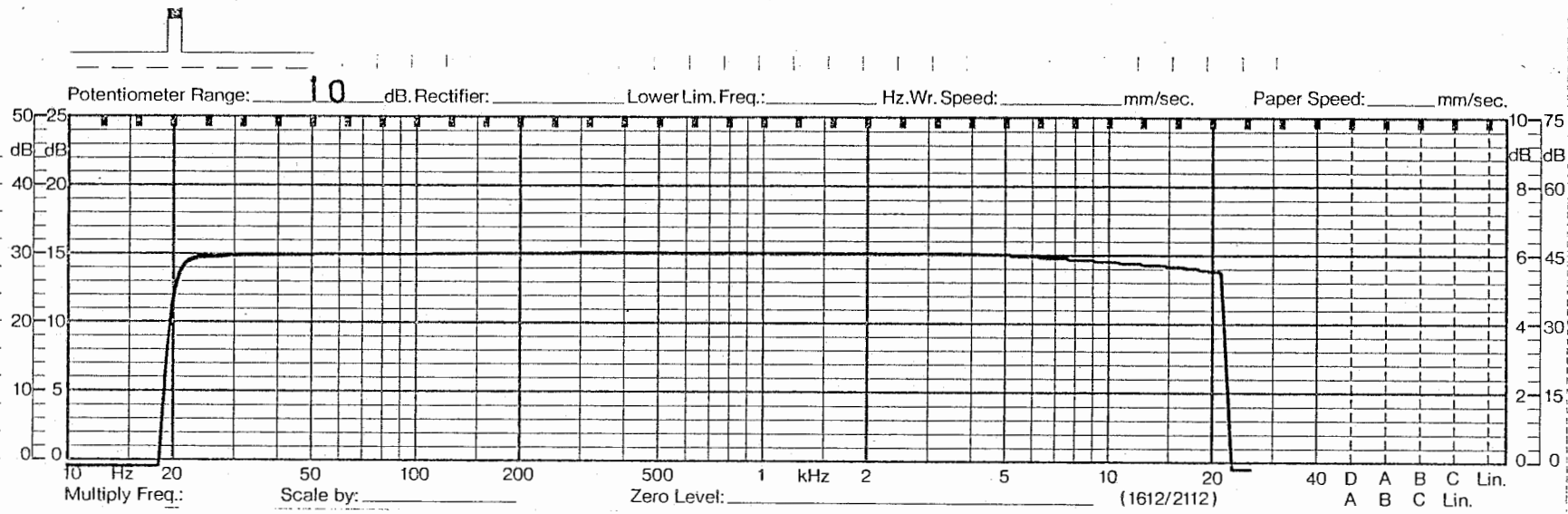


Fig.11 周波数特性測定系自身の周波数特性

Brüel & Kjær
 Measuring Object
INPUT 1
LL
 Rec. No.:
 Date:
 Sign.:
 QP 0124



Brüel & Kjær
 Measuring Object
INPUT 1
IR
 Rec. No.:
 Date:
 Sign.:
 QP 0124

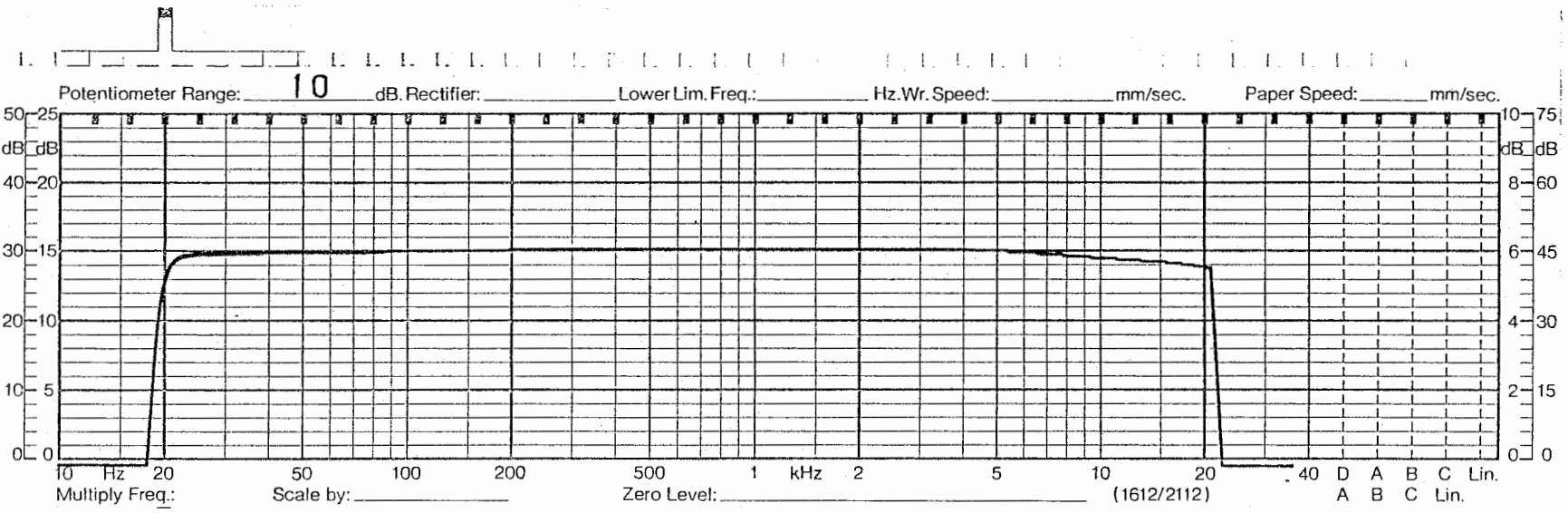


Fig.12 ±10V P-P 入力端子 -> 増幅器 1 の周波数特性

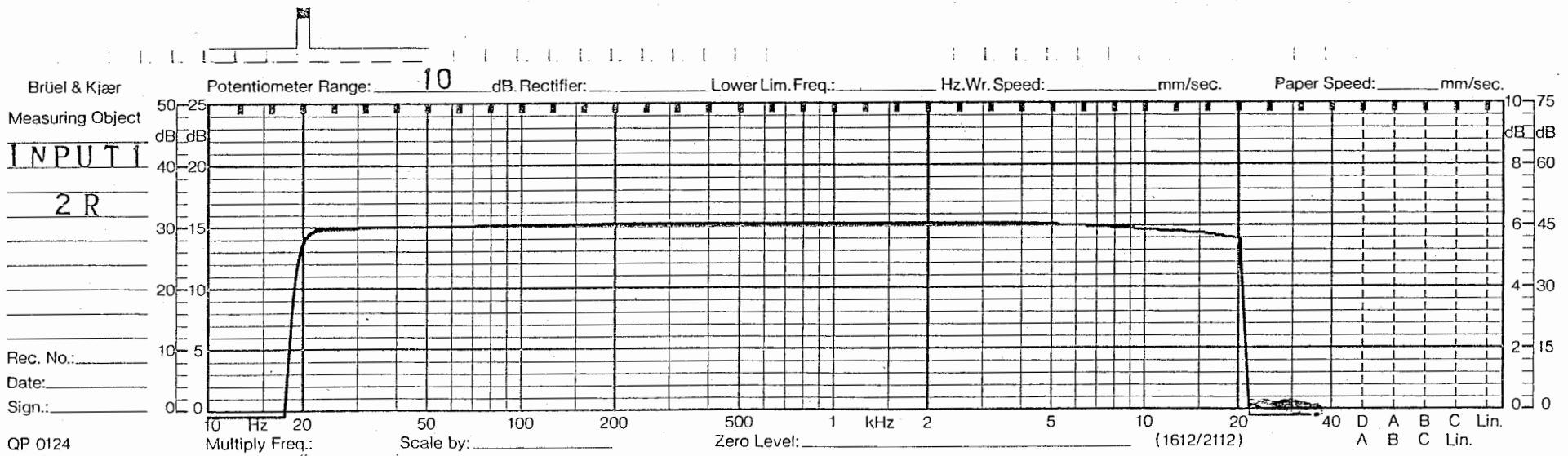
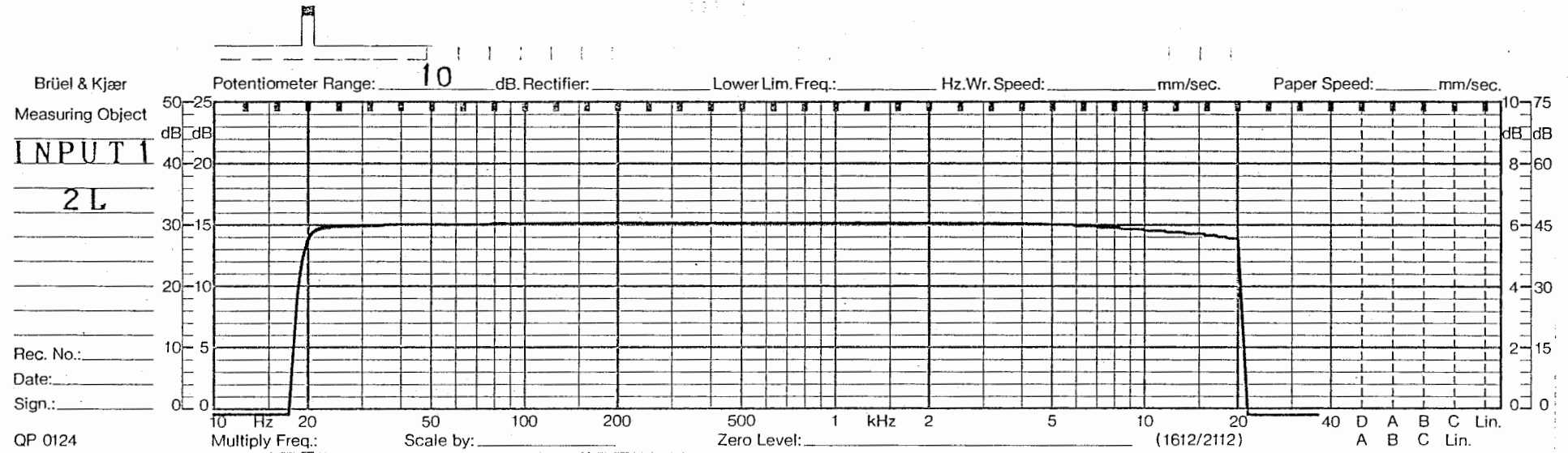
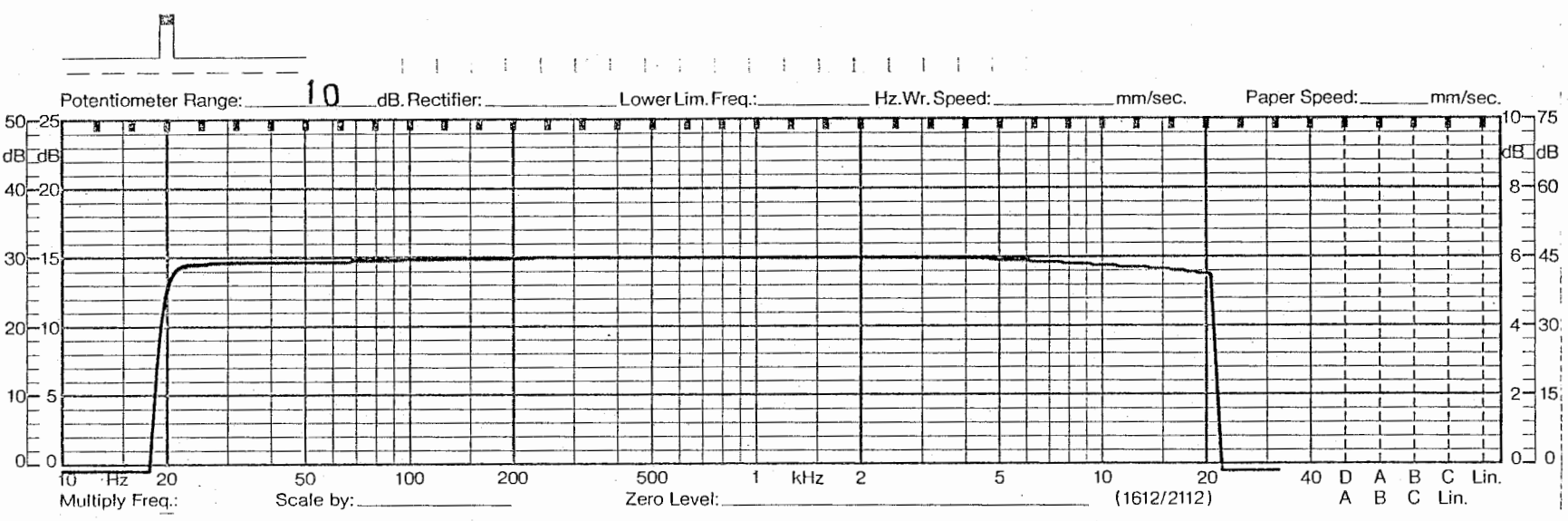


Fig.13 ±10V P-P 入力端子 -> 増幅器 2 の周波数特性

22

Brüel & Kjær
 Measuring Object
INPUT 1
3 L
 Rec. No.:
 Date:
 Sign.:
 QP 0124



Brüel & Kjær
 Measuring Object
INPUT 1
3 R
 Rec. No.:
 Date:
 Sign.:
 QP 0124

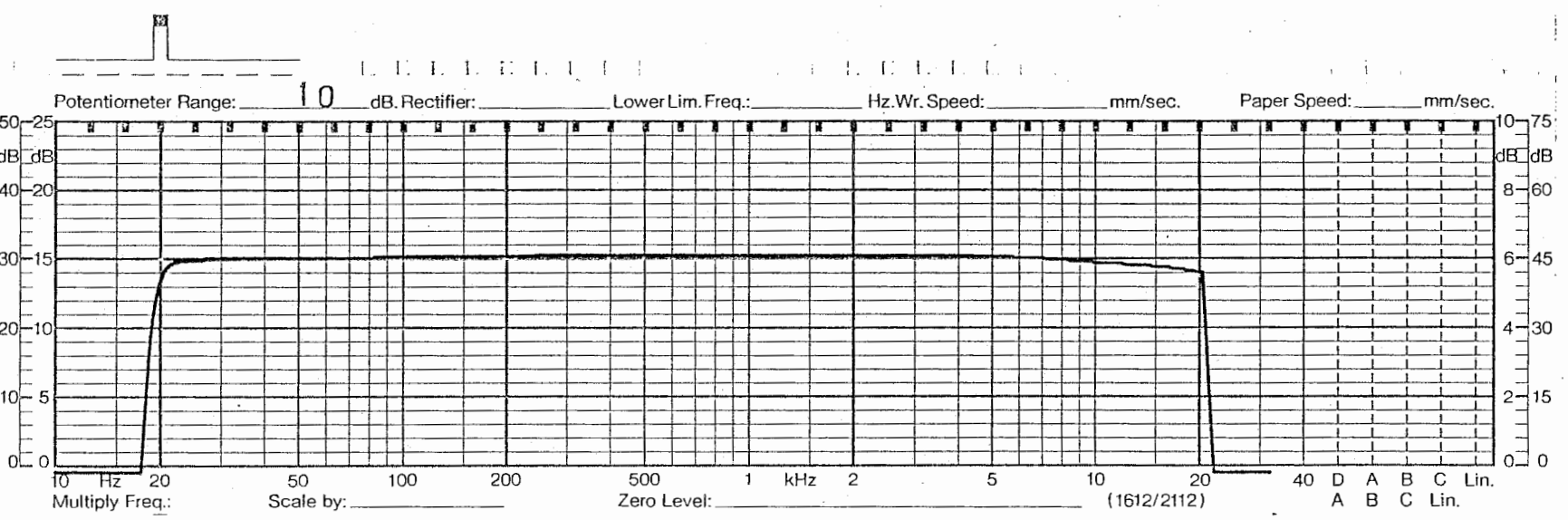


Fig.14 ±10V P-P 入力端子 -> 増幅器 3 の周波数特性

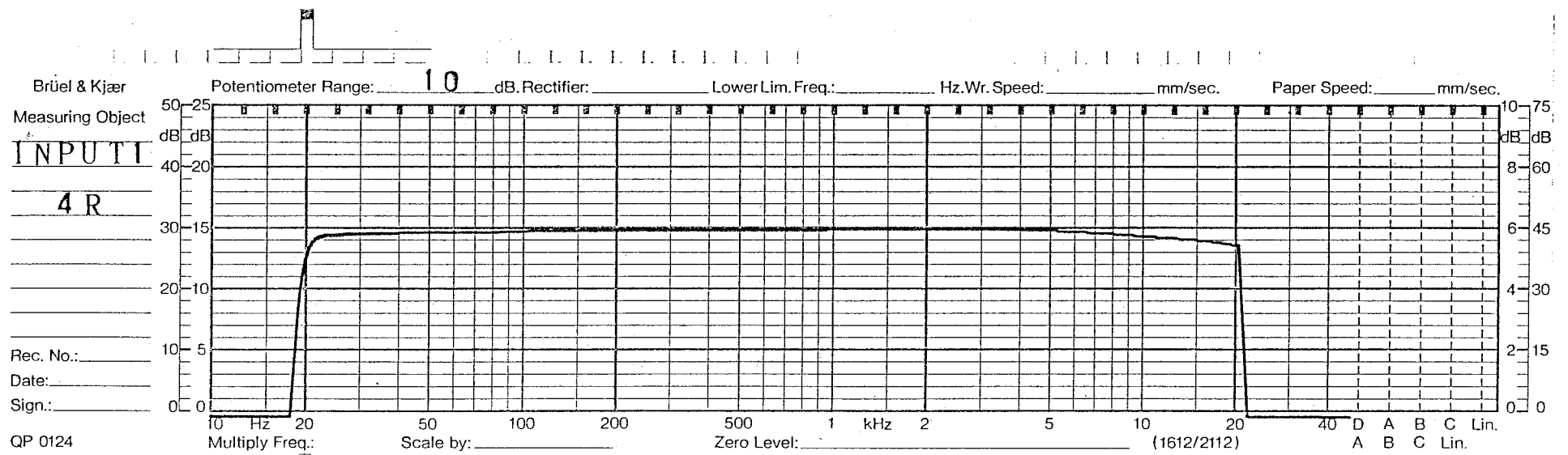
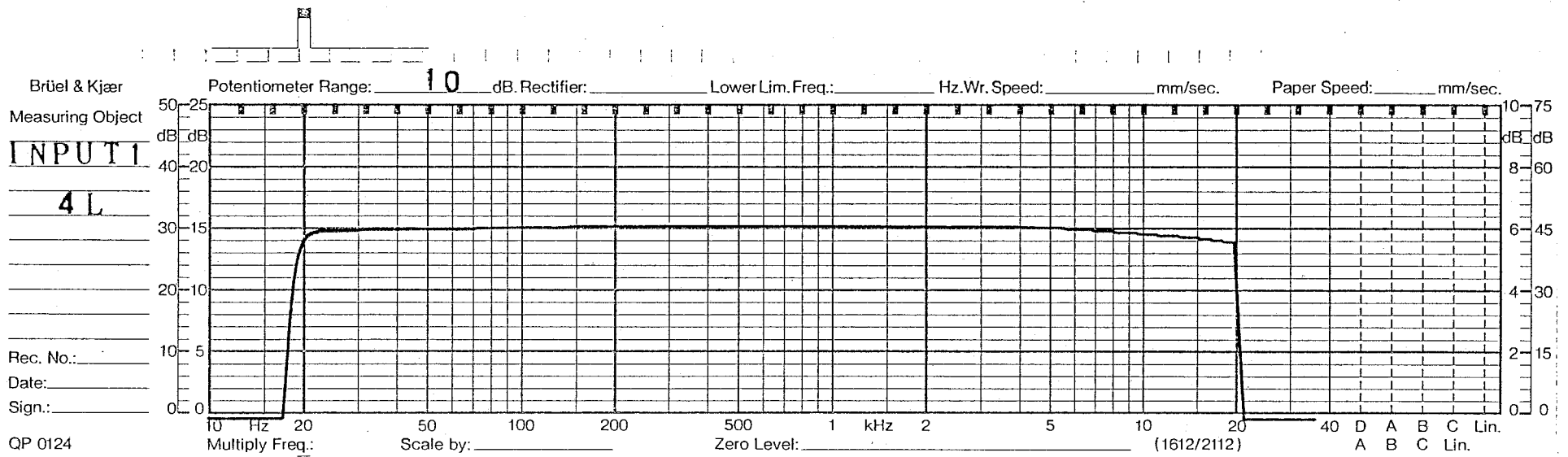


Fig.15 $\pm 10V$ P-P 入力端子 \rightarrow 増幅器 4 の周波数特性

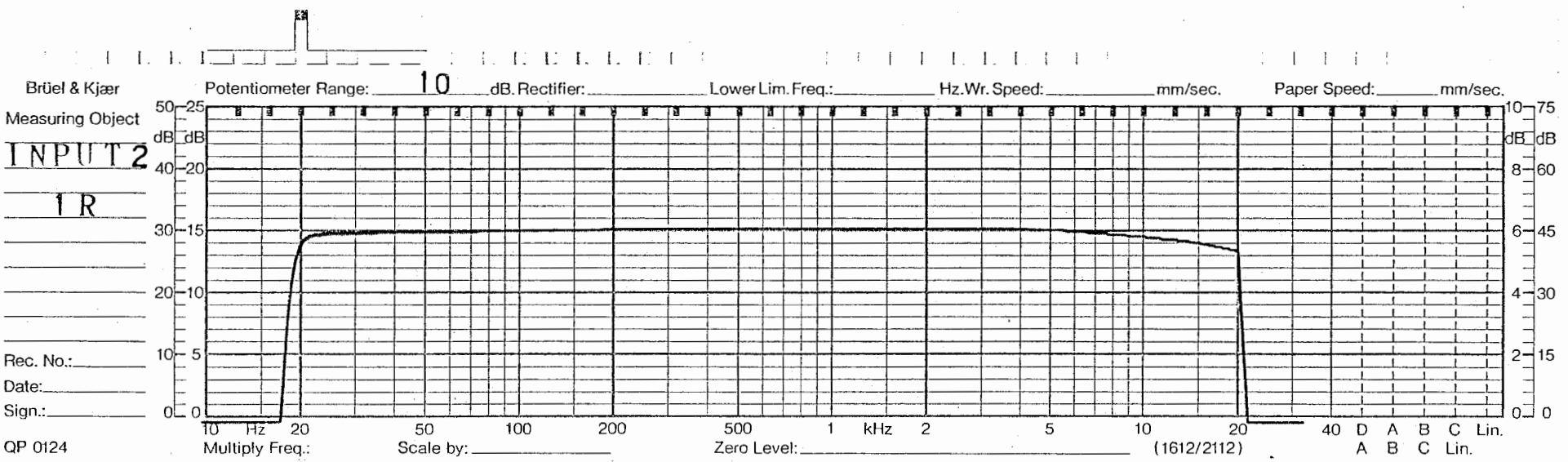
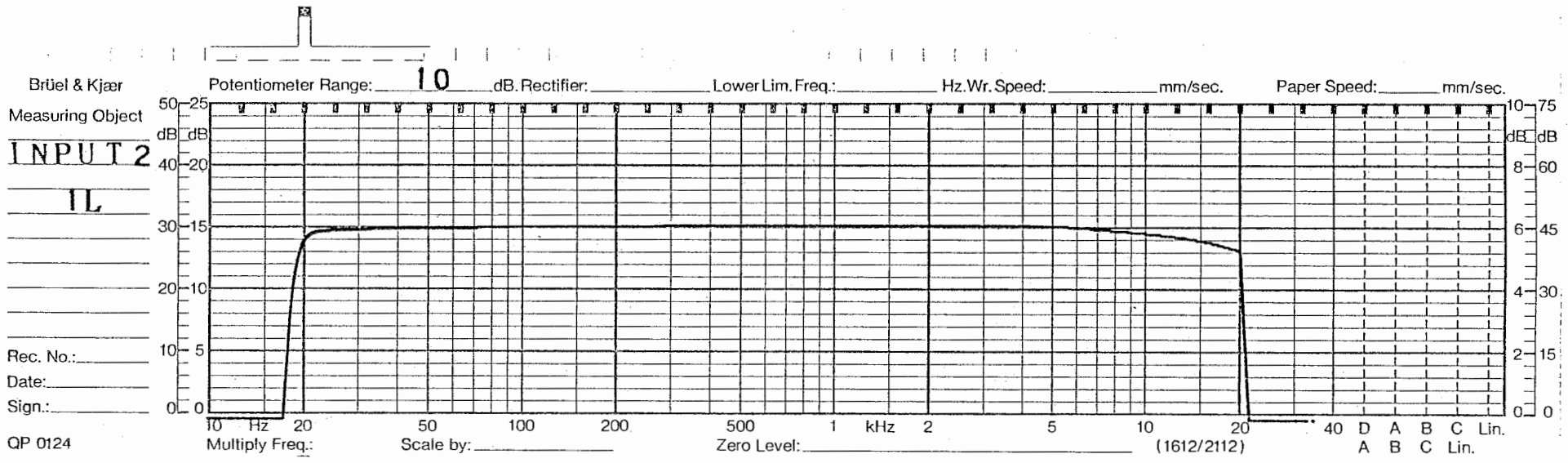


Fig. 16 +4dBm 入力端子 -> 増幅器 1 の周波数特性

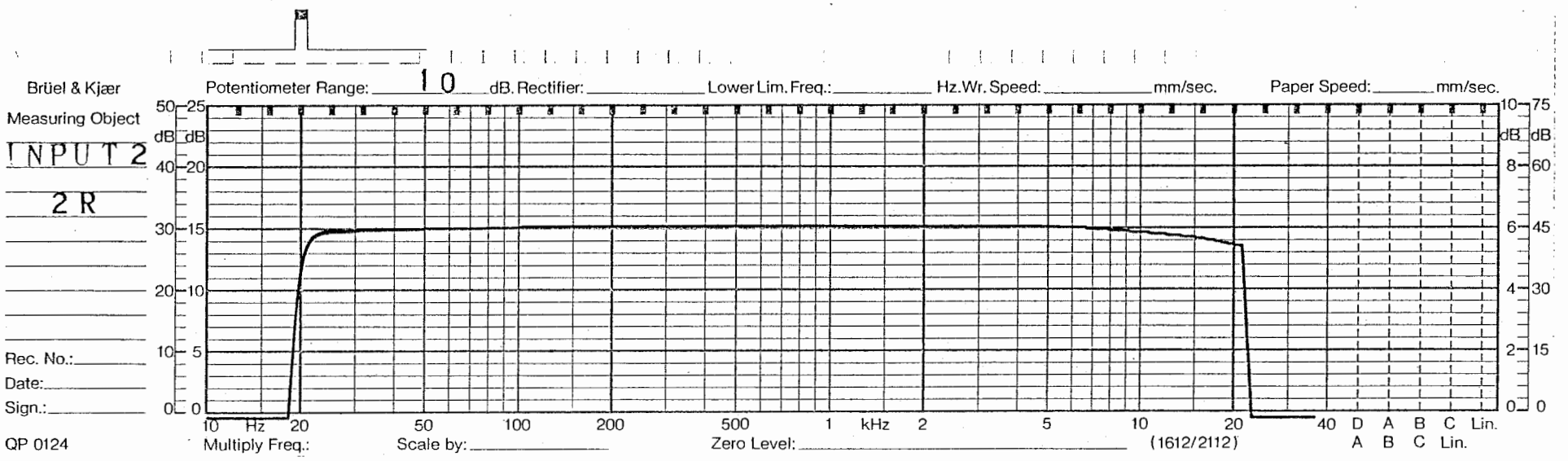
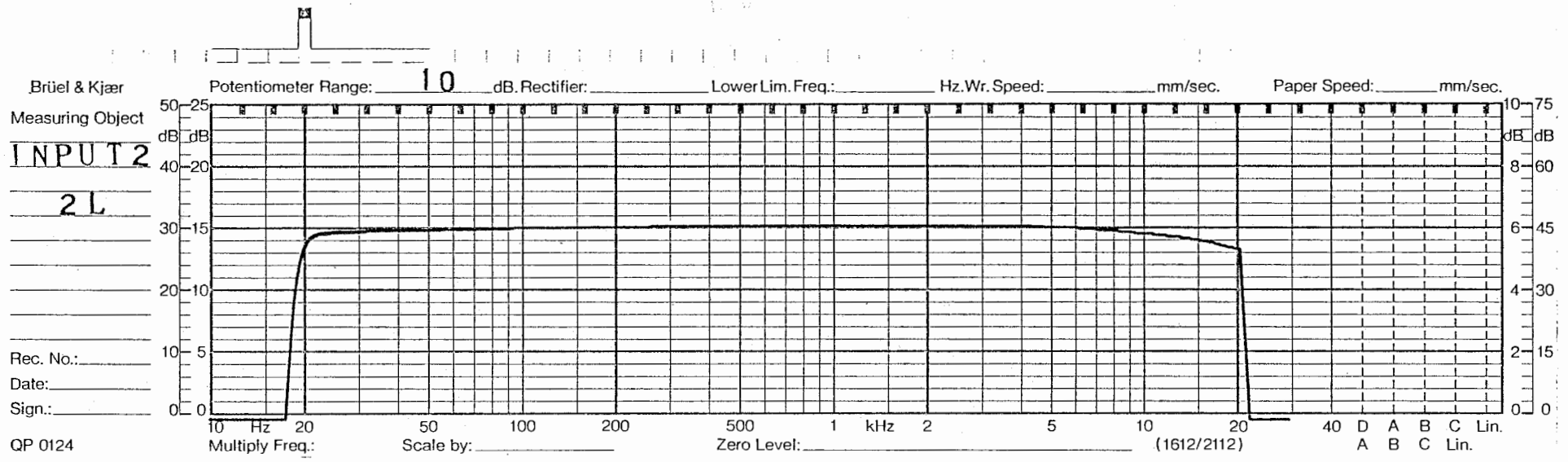


Fig.17 +4dBm 入力端子 -> 増幅器 2 の周波数特性

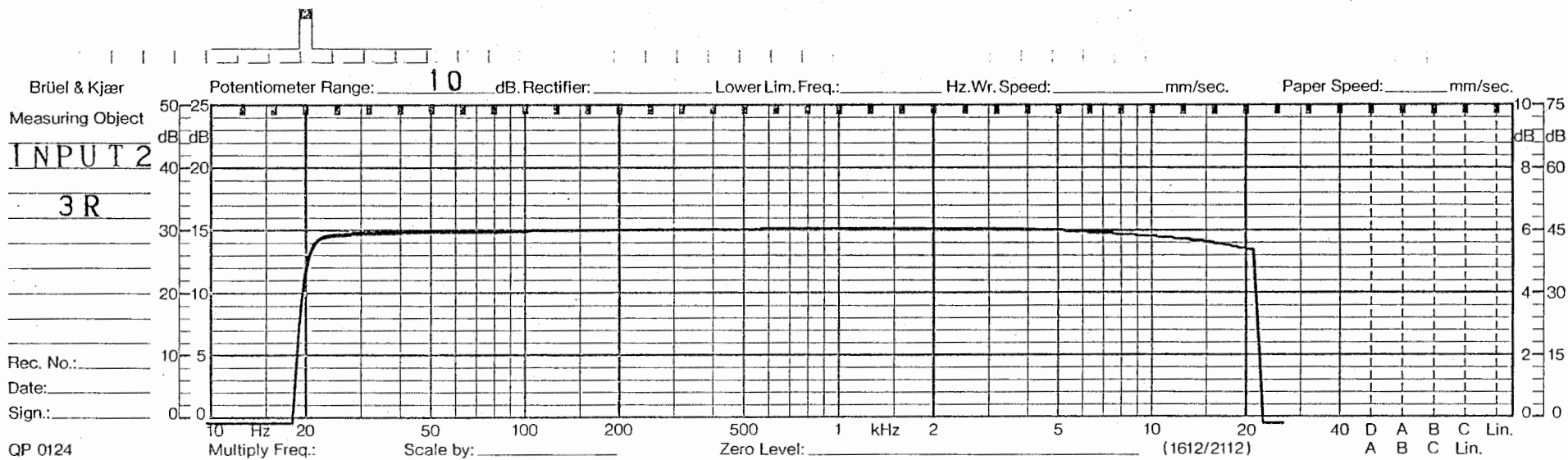
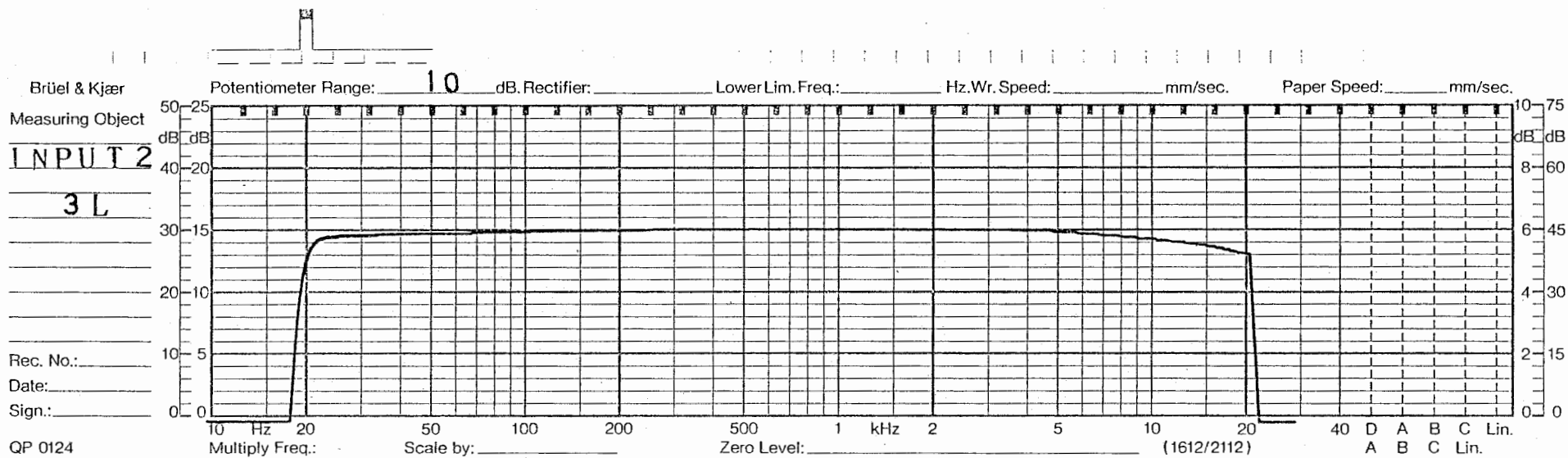


Fig.18 +4dBm. 入力端子 -> 増幅器 3 の周波数特性

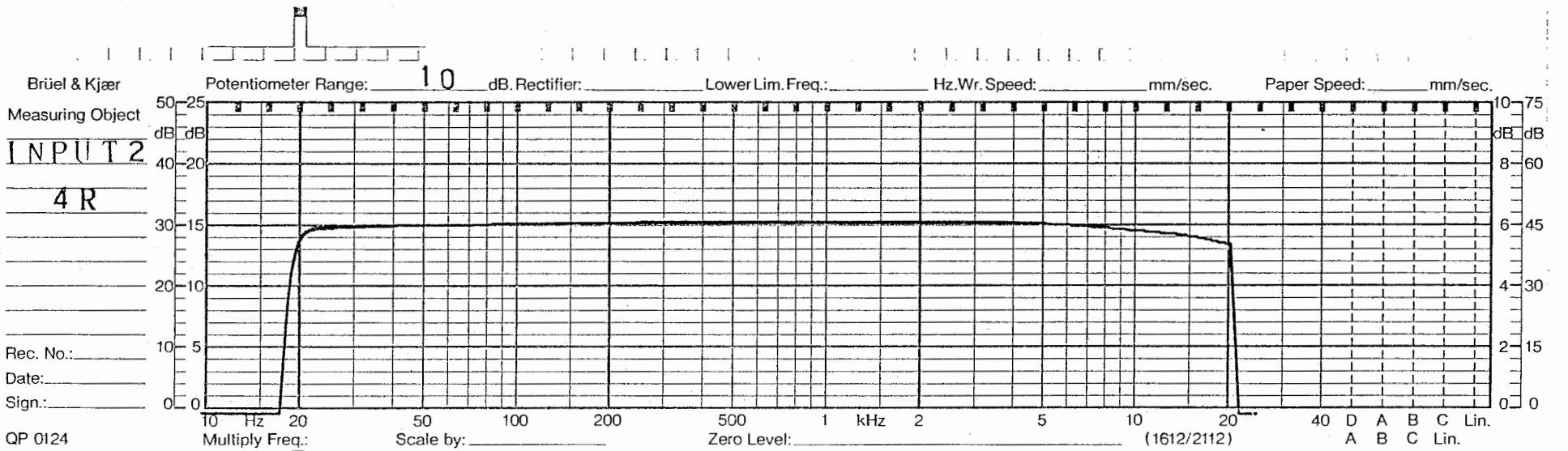
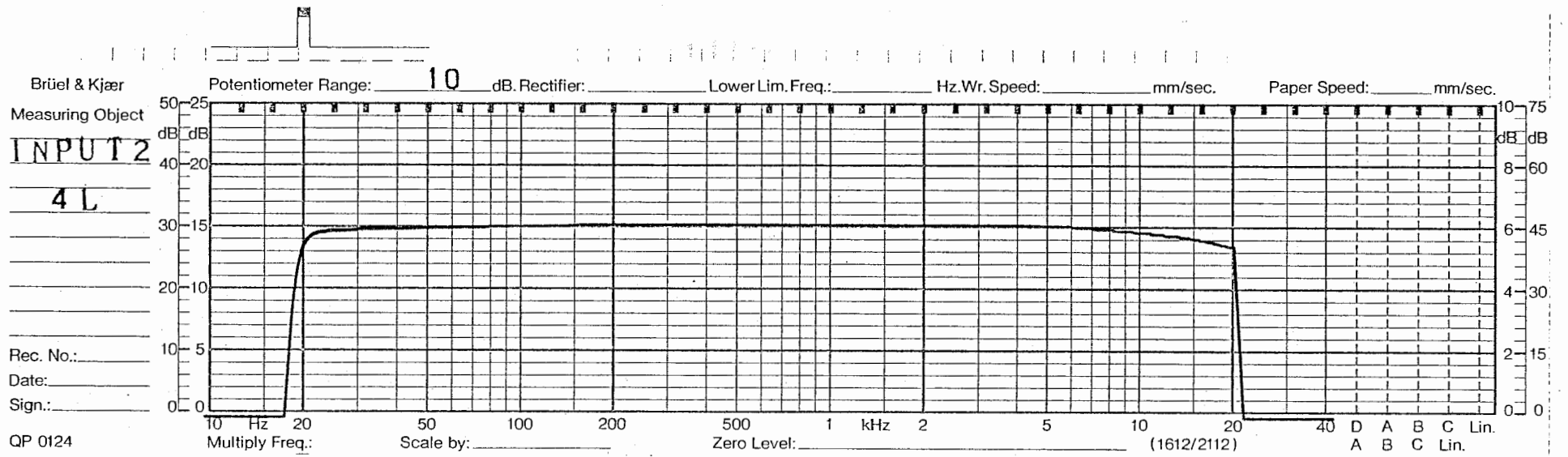


Fig.19 +4dBm 入力端子 -> 増幅器 4 の周波数特性

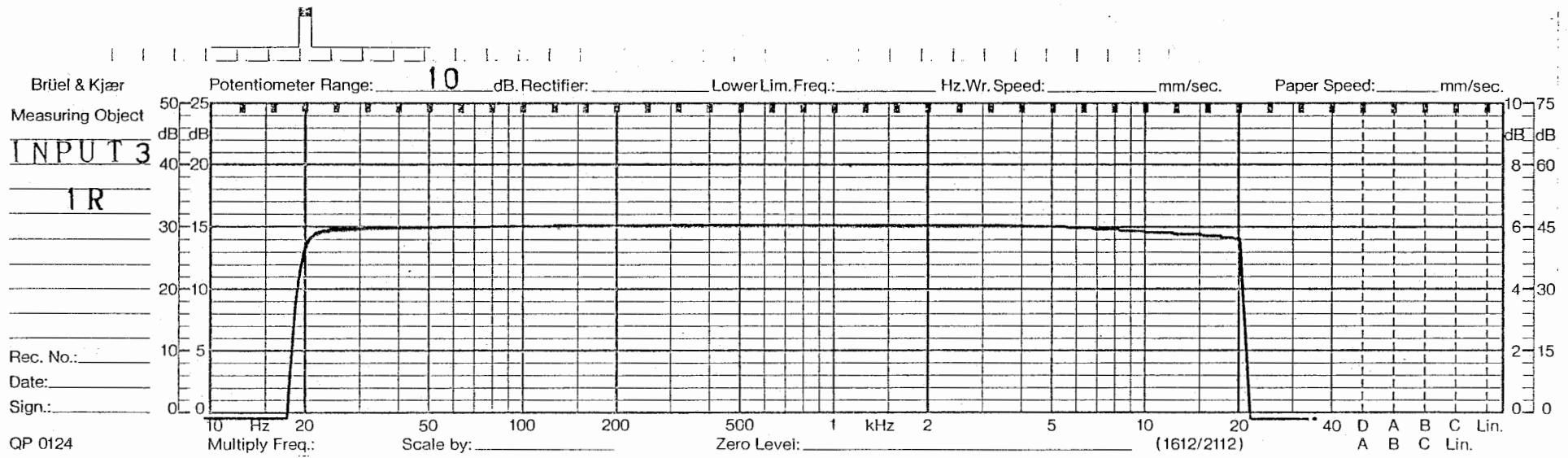
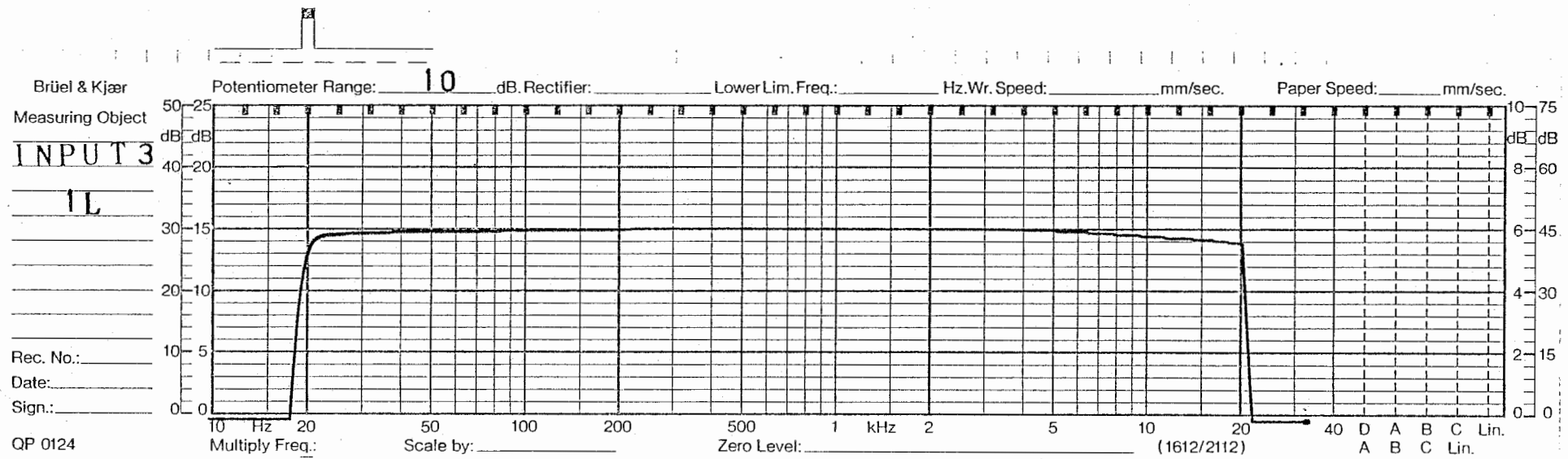


Fig. 20 -10dBs 入力端子 -> 増幅器 1 の周波数特性

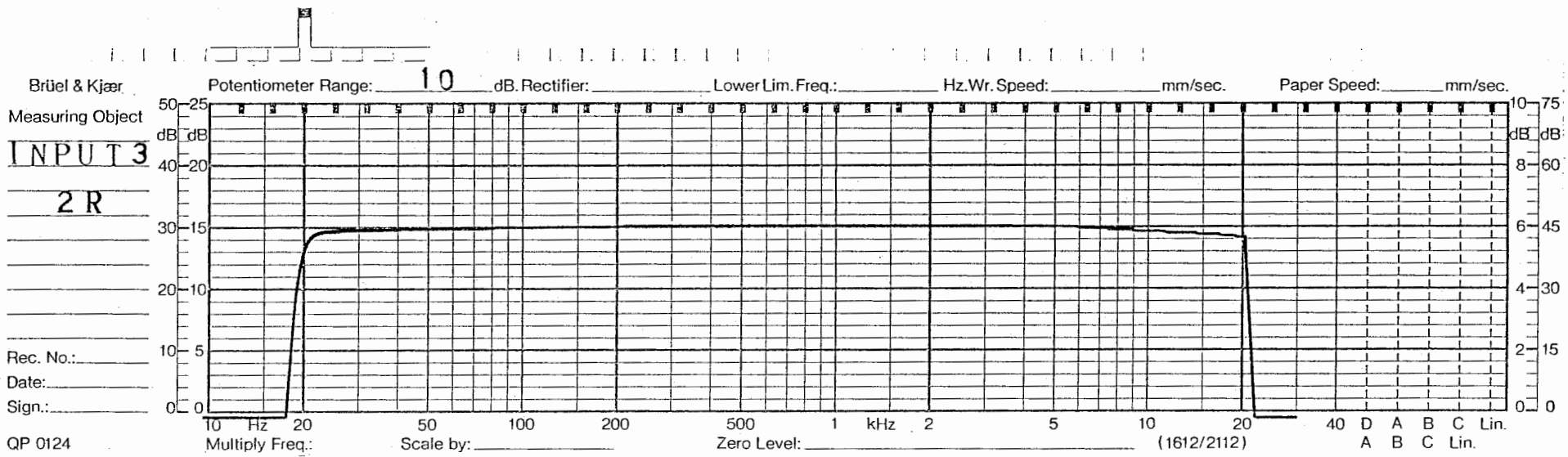
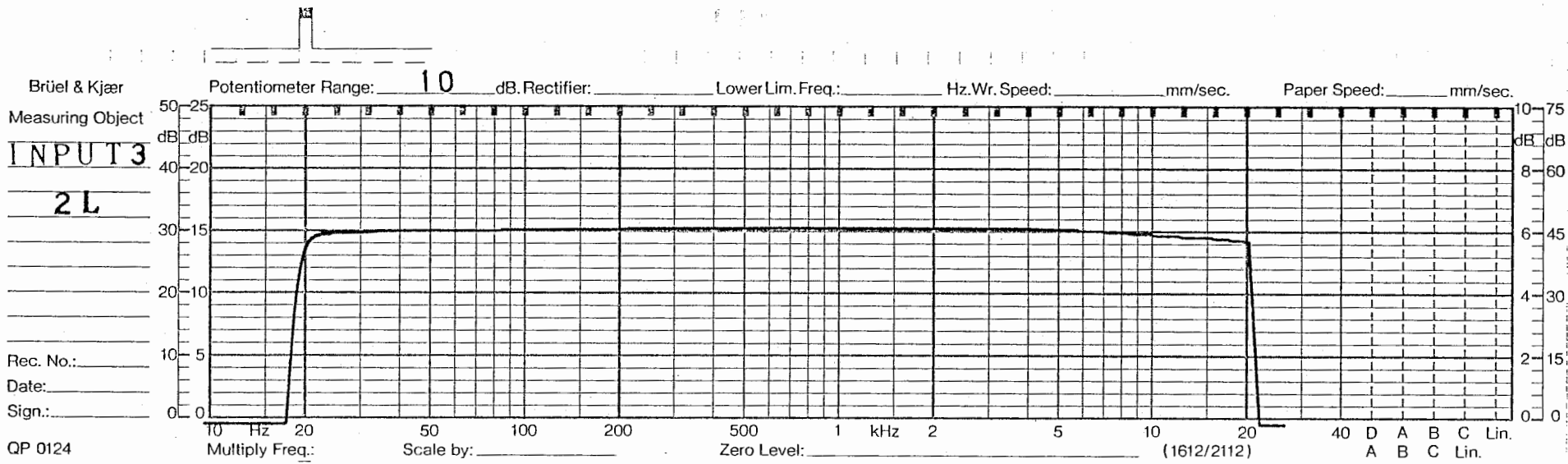


Fig. 21 -10dBs 入力端子 -> 増幅器 2 の周波数特性

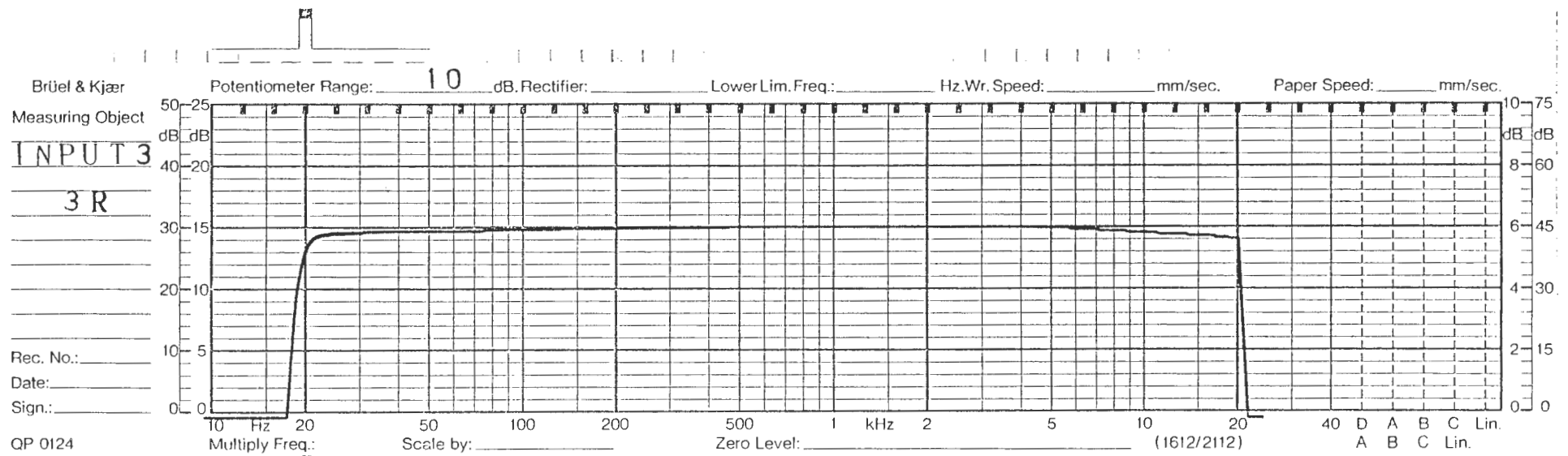
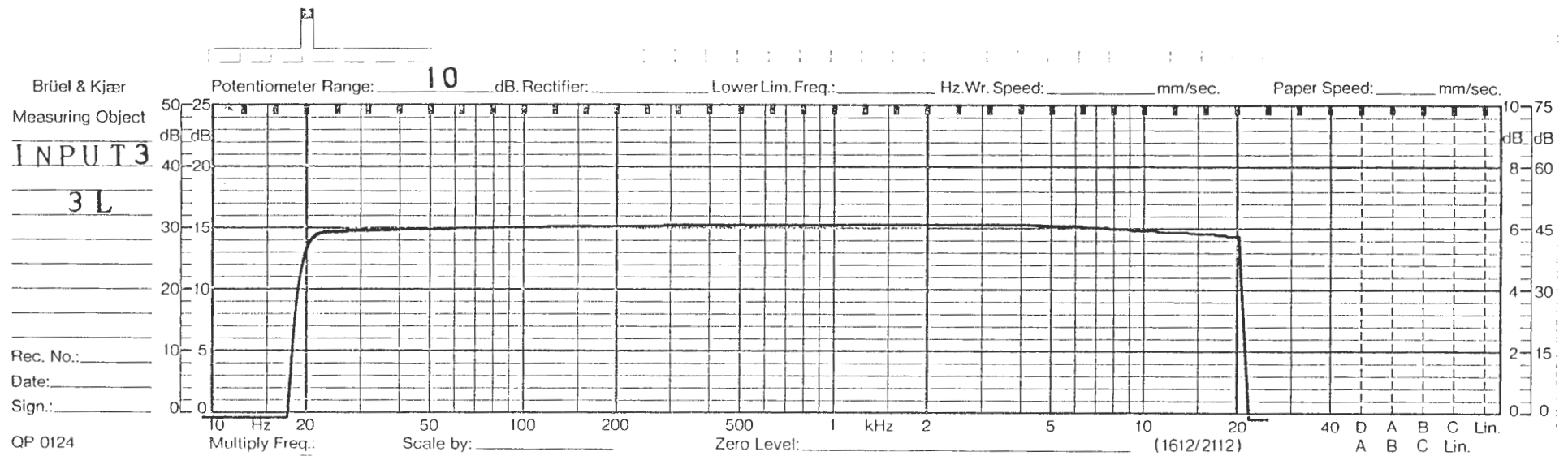


Fig.22 -10dBs 入力端子 -> 増幅器 3 の周波数特性

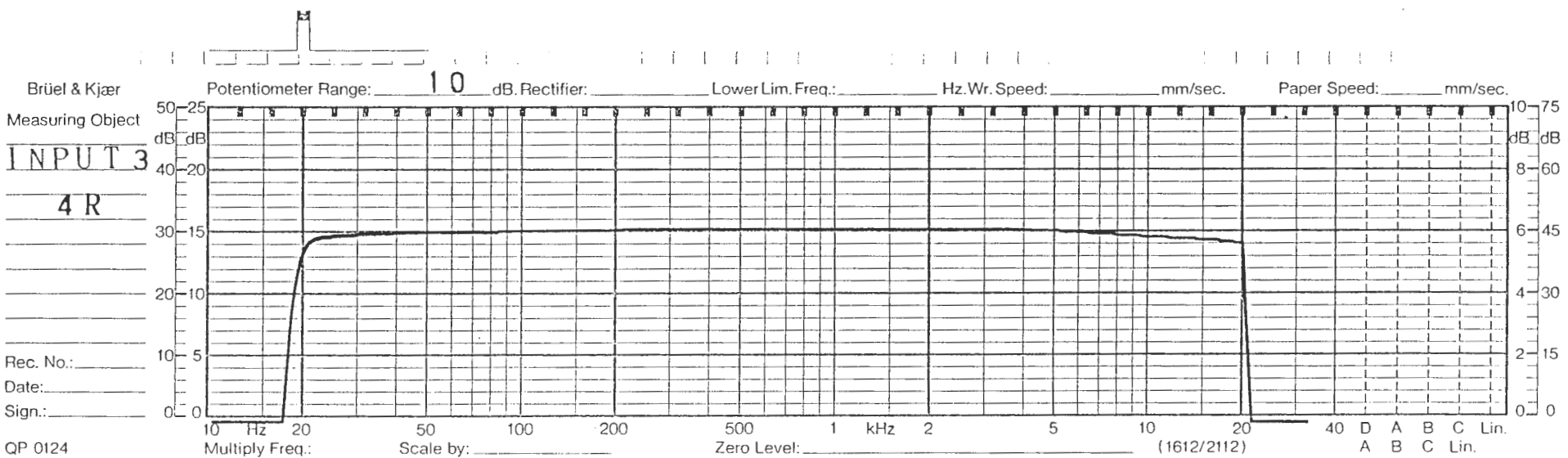
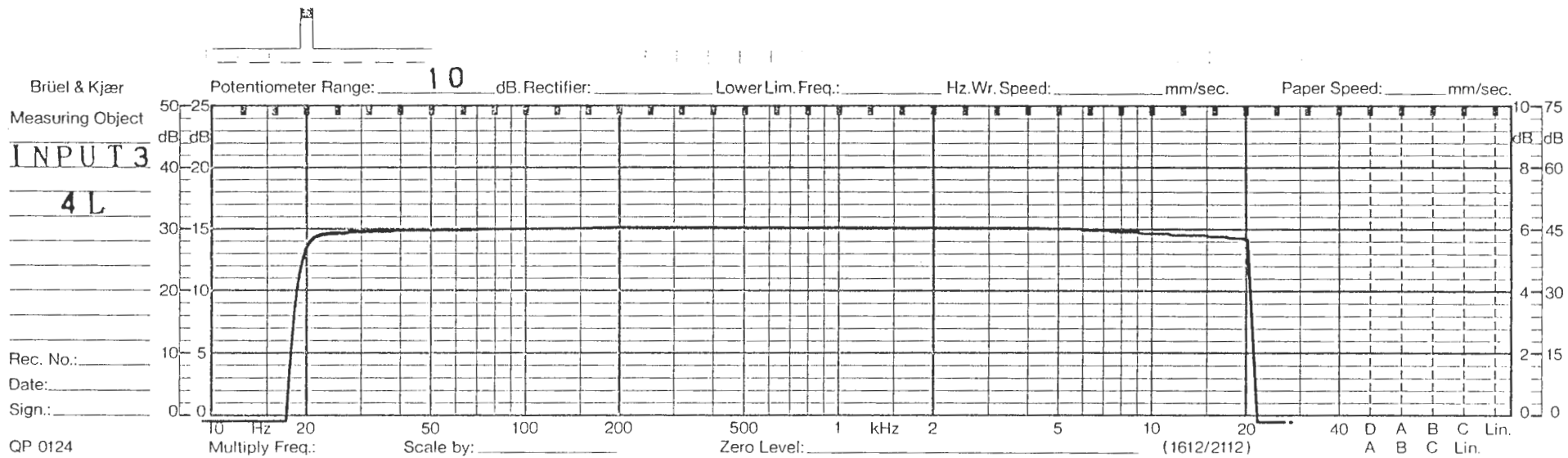


Fig.23 -10dBs 入力端子 -> 増幅器 4 の周波数特性

** TR9403 DIGITAL SPECTRUM ANALYZER **
 **** MFD BY ADVANTEST ****

10μ
 10V
 #1 AMP1R

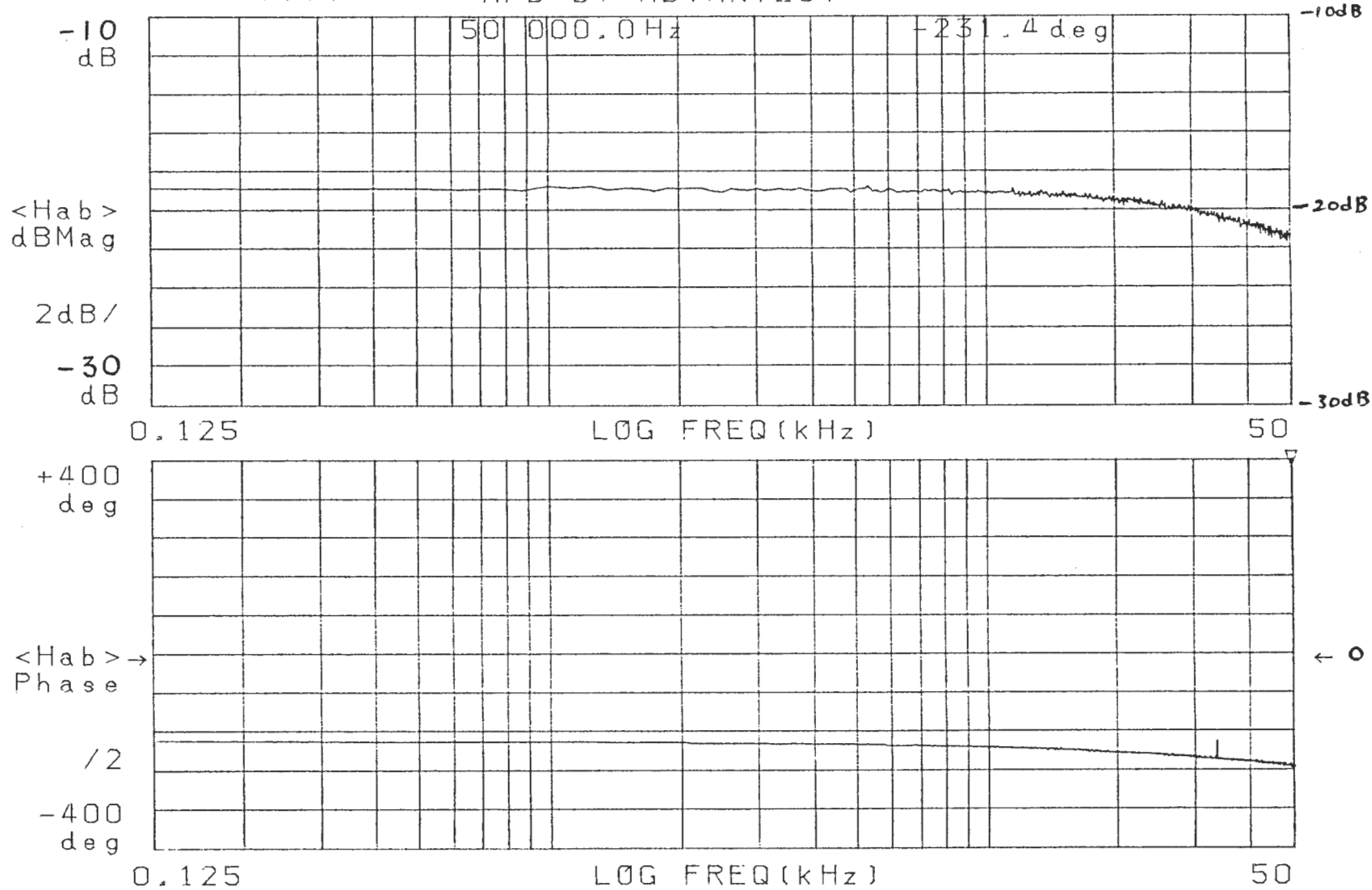


Fig.24 ±10V P-P 入力端子→増幅器1の伝達特性 (インパルス法による)
 (Rチャンネル、8Ω抵抗負荷接続時)

10 μ sec -IL
 0.2 V
 #3 AMP1 R

** TR9403 DIGITAL SPECTRUM ANALYZER **
 **** MFD BY ADVANTEST ****

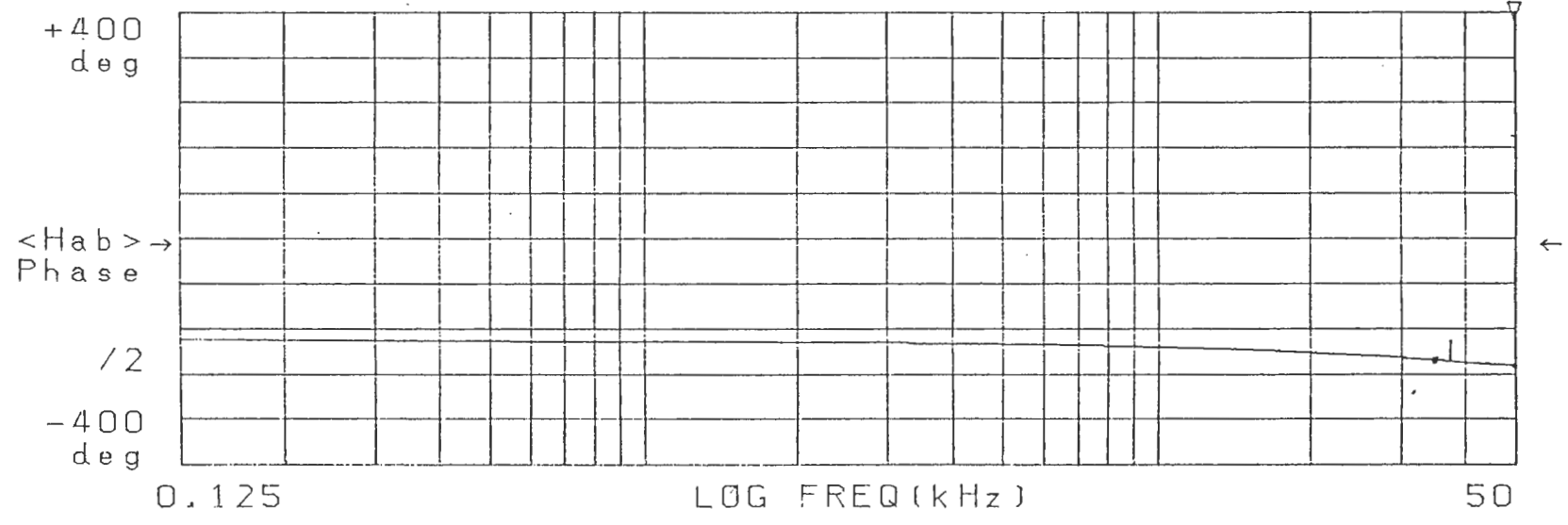
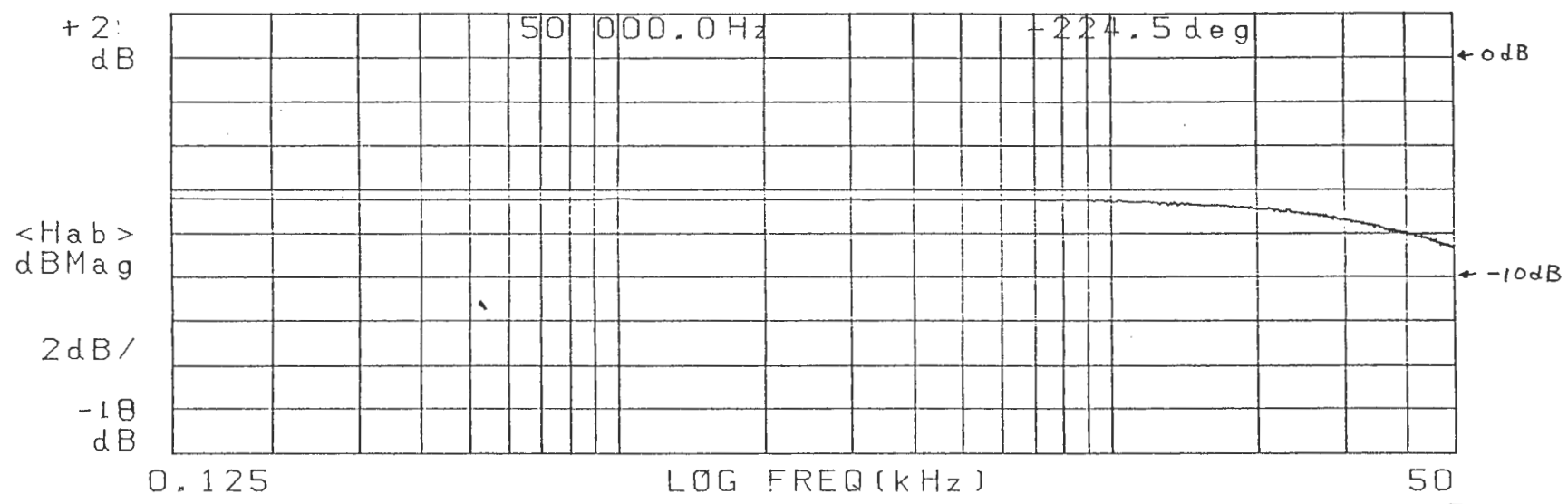


Fig.25 -10dBs 入力端子 -> 増幅器1の伝達特性 (インパルス法による)
 (Rチャンネル、8 Ω 抵抗負荷接続時)