

Tr-PP, Power Amplifier の低温における歪特性

長 谷 川 博 一*

藤 島 豊**
村 井 国 昭***

Distorsion Characteristics of Tr-PP, Power Amplifier by Low Temperature

Hirokazu HASEGAWA

Yutaka FUJISHIMA

Kuniaki MURAI

要 旨

低温試験用フリーザーを用いて、Tr-PP Power Amp が低温で、歪特性にどのように変化を与えるか実験し検討した。

1. 緒 言

トランジスタを始め半導体を応用した装置は、一般にその特性が温度によって著しく影響をうける。これは、基体となっている半導体の電気的特性が温度によって変化するためである。

今、北海道のような冬期低温地区においては $-20^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ の低温状態は、普通であり、ときには -38°C 前後まで温度が下がることもある。そのような状態の中でメーカーの指示どりの動作温度範囲を維持することは、困難である。私達は、Tr-PP-Power Amp を使用してこのような低温範囲の中で、Amp がどのような特性を示すか歪の面で実験をおこない考察した。

2. トランジスタの温度依存性と歪

本実験で使用した Amp において、低温特性に影響を与える最大の素子は、プッシュプルに使用しているトランジスタである。

2-1 トランジスタの温度依存性

従来の理論によるとトランジスタのエミッタ部又はコレクタ部に加わる電圧 V と流れる電流 I と

の間には、

$$I = A \{ \exp(\alpha \cdot V) - 1 \} \quad (1)$$

ただし A , α は共に電圧電流によらぬ定数、ここで A は使用する半導体の種類、自由電子正孔等の数に比例する。普通の使用状態では温度依存性は主に自由電子または正孔の数に比例しており

$$A \propto \exp(-\Delta E/kT) \quad (2)$$

また α は理論的には、

$$\alpha = e/kT \quad (3)$$

ただし ΔE : 活性エネルギー定数, T : 絶対温度
 k : ボルツマン定数, e : 電子電荷

V を一定とすると電流は温度と共に変化し、その変化率は大きい。電圧 V を変化させると、電圧が低い場合は、 A による変化が大きくなるが電圧が次第に高くなると(1)式は、

$$I = A \exp(\alpha V) \propto \exp\left(\frac{-\Delta E - eV}{kT}\right) \quad (4)$$

となり温度依存性が減る。

2-2 トランジスタの周波数特性

トランジスタの周波数特性をきめるのは、主にベース・エミッタ間の正孔の拡散時間に基づく等

* 助手 電気工学科

** 助 手 電気工学科

*** 助教授 電気工学科

価的な容量である。この容量をPとすると

$$P \propto (e/kT)^2 D^{-1} \quad (5)$$

ただしD：正孔の拡散係数

一般にDは移動度 μ に比例する。しかし μ は

$$\mu = \mu_0 T^{-3/2} \quad (6)$$

ただし μ_0 ：定数

の形で表わされるので $(e/kT)^2$ と D^{-1} が打消し合ってこの容量は温度によって大きな変化を示さず、周波数特性はあまり温度に影響されないと表わされる。

E_1 を基本波電圧の実効値、 E_3 、 E_5 …を各高調波の実効値と考えると第n次の高調波歪率は、

$$Dn = \left/ \frac{E_n}{E_1} \right/ \times 100 \quad (\%) \quad (7)$$

また総合歪率Dは

$$D = \frac{\sqrt{E_3^2 + E_5^2 + \dots}}{E_1} \times 100 = \sqrt{D_3^2 + D_5^2 + \dots} \quad (8)$$

と表わされ、歪は電圧によって左右される。

2-3 プッシュプル動作の歪

Ampが理想的なものであれば入力波形と出力波形は、同じでなければならない。しかし実際のAmpには歪が存在する。本実験においては、CR発振器より単一周波数の正弦波を入力させていることより、主に非直線歪について考える。そうするとプッシュプル動作の時は、偶数次の高調波歪は打ち消し合っていると考えてよい。

今、入力に正弦波電圧 e_{in} を加えると

$$e_{in} = E \sin \omega t \quad (7)$$

出力電圧 e_{out} は、

$$\begin{aligned} e_{out} &= \alpha_1 E \sin \omega t + \alpha_3 (E \sin \omega t)^3 \\ &\quad + \alpha_5 (E \sin \omega t)^5 + \dots \\ &= \left[\alpha_1 E + \frac{3}{4} \alpha_3 E^3 + \dots \right] \sin \omega t \\ &\quad - \left[\frac{\alpha_3}{4} E^3 + \dots \right] \sin 3\omega t + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

ただし $\alpha_1 \alpha_3 \dots$ はトランジスタで定まる定数

$$\text{ここで } \left[\alpha_1 E + \frac{3}{4} \alpha_3 E^3 + \dots \right] = E_1,$$

$$\left[\frac{\alpha_3}{4} E^3 + \frac{5}{16} \alpha_5 E^5 + \dots \right] = E_3$$

…………… 等におくと e_{out} は

$$e_{out} = E_1 \sin \omega t - E_3 \sin 3\omega t + \dots \quad (9)$$

3. 実験装置及び方法

3-1 実験装置

1. B級プッシュプル電力増幅器

本実験に使用したAmpは図-1に示すような回路になっている。PP-Ampとしては基本的な回路である。常温においては、低周波数20Hz~80Hzで第3高調波とおもわれる歪が数10%あらわれているが、しかしながら常温に対して低温時の歪特性の比較が容易になるためこの装置を使用した。なおこのAmpに接続される負荷抵抗の最適値は、19 Ω である。

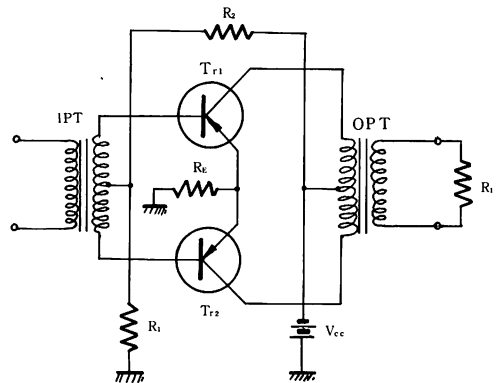


図-1 Tr-PP-Power Ampの回路

2. 低温試験用フリーザ

本実験で使用したフリーザは、有効内容積72ℓ、完全密閉形往復動力冷凍サイクル、圧縮機出力600W、入力電圧100Vである。性能は外気30℃/無負荷/日光直射なしで-40℃~+30℃±3℃であり、連続可変温度で使用できる。

3-2 実験方法

測定回路は、図-2のブロック線図に示す。最適負荷抵抗(19 Ω)、入力電圧(正弦波電圧100mV, 200mV)共に一定で周波数を20Hz~20KHzまで測定し、歪率計により出力歪を測定した。測定温度は、常温(22℃)、-10℃、-20℃、-39℃の4点で測定した。なお試験用Ampは、24時間冷却後その状態で20分エージングした後実験をおこなった。

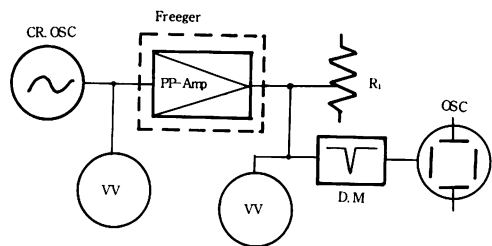


図-2 測定回路のブロック線図

4. 実験結果および考察

4-1 実験結果

表-1 は、入力電圧 V_{in} が 200 mV 一定にしたときの各温度における出力電圧 V_{out} と電圧増幅

率 A_v を測定した結果である。
表-2 は、同様に入力電圧 V_{in} を 100 mV に一定にして測定した結果である。
表-3 は、各温度における周波数に対する歪率を測定した結果である。

4-2 考察

図-3、図-4 から明らかなように温度が下るほど増幅率 A_v は、減少している。また低温になるほど、低い周波数において、増幅率の変化幅が狭くなっていることがわかる。次に入力電圧が少ない方が周波数特性の変化幅が狭くなっている、平坦化されている。
歪率を検討すると図-5、図-6 でわかるよう

表-1 各温度における周波数特性 ($V_{in}=200\text{mV}$)

周波数 $f[\text{Hz}]$	22℃		-10℃		-20℃		-39℃	
	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$
20	1.92	19.6	1.60	18.1	1.55	17.8	1.44	17.1
40	3.43	24.7	2.93	23.3	2.70	22.6	2.19	20.8
60	4.68	27.4	3.69	25.3	3.06	23.7	2.31	21.3
80	5.60	28.9	3.87	25.8	3.16	24.0	2.28	21.1
10×10	6.00	29.5	3.86	25.7	3.16	24.0	2.29	21.2
20×10	6.10	29.7	3.96	25.9	3.27	24.3	2.37	21.5
50×10	6.30	30.0	4.10	26.2	3.33	24.5	2.45	21.8
10×10 ²	6.30	30.0	4.22	26.5	3.39	24.6	2.51	22.0
20×10 ²	6.40	30.1	4.38	26.8	3.48	24.8	2.60	22.3
50×10 ²	6.45	30.2	4.50	27.0	3.64	25.2	2.75	22.8
10×10 ³	6.45	30.2	4.59	27.2	3.77	25.5	2.86	23.1
20×10 ³	6.40	30.1	4.76	27.5	3.87	25.8	2.88	23.2

表-2 各温度における周波数特性 ($V_{in}=100\text{mV}$)

周波数 $f[\text{Hz}]$	22℃		-10℃		-20℃		-39℃	
	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$	$V_{out}(\text{v})$	$A_v(\text{dB})$
20	1.62	24.2	1.40	22.9	1.31	22.3	1.07	20.6
40	2.38	27.5	1.94	25.8	1.74	24.8	1.27	22.1
60	2.60	28.3	2.13	26.6	1.85	25.3	1.33	22.5
80	2.75	28.8	2.16	26.7	1.87	25.4	1.35	22.6
10×10	2.87	29.2	2.18	26.8	1.89	25.5	1.37	22.7
20×10	3.22	30.2	2.29	27.2	1.89	25.5	1.39	22.9
50×10	3.45	30.8	2.37	27.5	1.92	25.6	1.45	23.2
10×10 ²	3.52	30.9	2.47	27.9	1.97	25.9	1.51	23.6
20×10 ²	3.60	31.1	2.57	28.2	2.02	26.1	1.51	23.6
50×10 ²	3.60	31.1	2.65	28.5	2.14	26.6	1.52	23.6
10×10 ³	3.62	31.2	2.67	28.5	2.19	26.8	1.51	23.6
20×10 ³	3.59	31.1	2.71	28.7	2.23	27.0	1.47	23.3

表-3 各温度における歪一周波数特性

周波数 f [Hz]	22℃		-10℃		-20℃		-39℃	
	Vin=100mV	Vin=200mV	Vin=100mV	Vin=200mV	Vin=100mV	Vin=200mV	Vin=100mV	Vin=200mV
	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)	歪率(%)
20	53	62	34	53	24	45	13	30
40	40	44	19	24	98×10^{-1}	12	46×10^{-1}	48×10^{-1}
60	31	24	14	71×10^{-1}	60×10^{-1}	44×10^{-1}	27×10^{-1}	36×10^{-1}
80	28	12	73×10^{-1}	45×10^{-1}	40×10^{-1}	41×10^{-1}	22×10^{-1}	37×10^{-1}
10×10	24	87×10^{-1}	51×10^{-1}	42×10^{-1}	28×10^{-1}	41×10^{-1}	21×10^{-1}	37×10^{-1}
20×10	18	41×10^{-1}	19×10^{-1}	41×10^{-1}	17×10^{-1}	43×10^{-1}	18×10^{-1}	37×10^{-1}
50×10	26×10^{-1}	37×10^{-1}	15×10^{-1}	43×10^{-1}	16×10^{-1}	42×10^{-1}	18×10^{-1}	36×10^{-1}
10×10^2	10×10^{-1}	36×10^{-1}	13×10^{-1}	42×10^{-1}	15×10^{-1}	41×10^{-1}	17×10^{-1}	36×10^{-1}
20×10^2	12×10^{-1}	35×10^{-1}	13×10^{-1}	40×10^{-1}	15×10^{-1}	41×10^{-1}	17×10^{-1}	36×10^{-1}
50×10^2	12×10^{-1}	35×10^{-1}	14×10^{-1}	40×10^{-1}	15×10^{-1}	40×10^{-1}	17×10^{-1}	35×10^{-1}
10×10^3	11×10^{-1}	34×10^{-1}	13×10^{-1}	37×10^{-1}	15×10^{-1}	39×10^{-1}	17×10^{-1}	35×10^{-1}
20×10^3	9×10^{-1}	27×10^{-1}	10×10^{-1}	32×10^{-1}	12×10^{-1}	34×10^{-1}	15×10^{-1}	32×10^{-1}

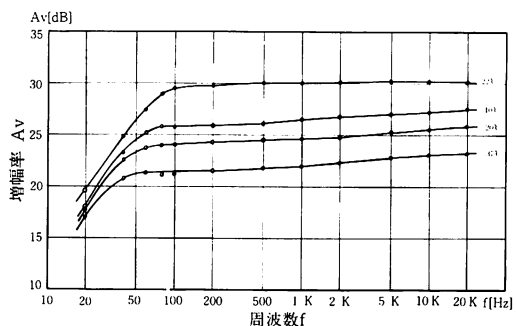


図-3 入力電圧 200 mV の周波数特性

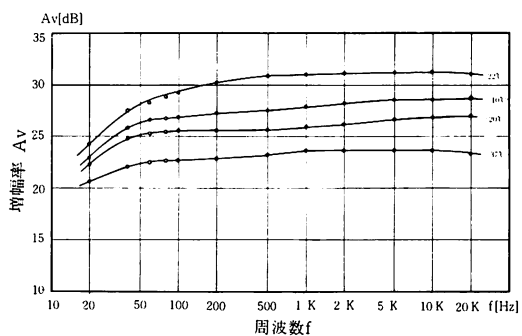


図-4 入力電圧 100 mV の周波数特性

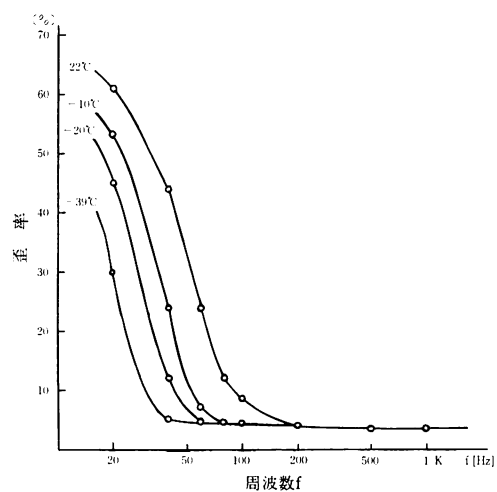


図-5 歪一周波数特性 (入力電圧 200 mV)

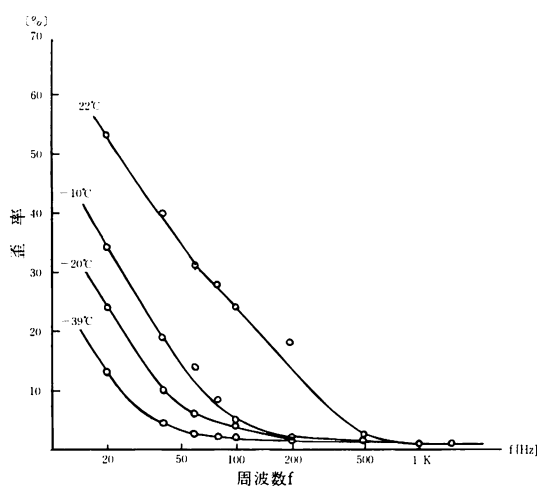


図-6 歪一周波数特性 (入力電圧 100 mV)

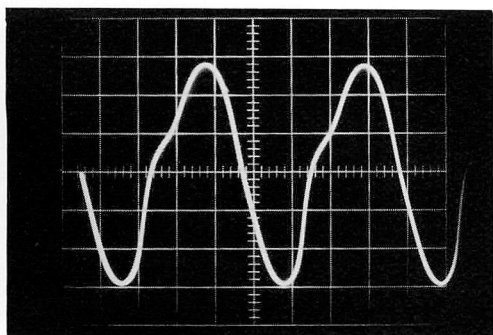


写真-1 22°C 80HZ
0.3V/cm
3 mS

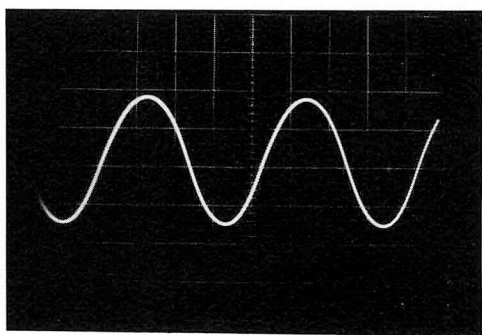


写真-3 -20°C 80HZ
0.3V/cm
3 mS

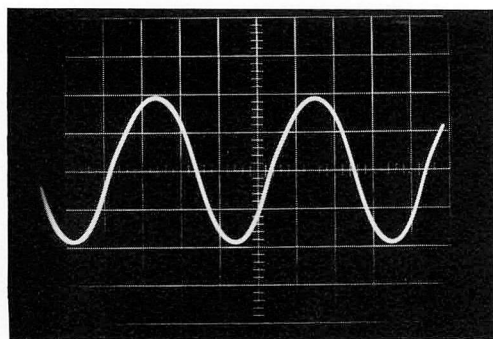


写真-2 -10°C 80HZ
0.3V/cm
3 mS

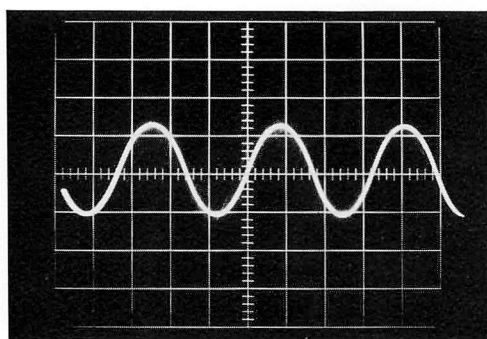


写真-4 -39°C 80HZ
0.30V/cm
3 mS

に 200 Hz 程度までの低周波数では、明らかに軽減されている。低周波数においては、増幅率が同じであれば低温であるほど歪率は小さくなっている。

写真-1、写真-2、写真-3、写真-4は、入力電圧 200 mV、周波数 80 Hz における各温度での出力波形である。写真-1では、第3高調波歪とおもわれる歪が含まれている。しかしその後の写真で明らかのように温度が下るほど歪が少なくなっていくのがわかる。-39°Cではほぼ正弦波となっているのが観測できる。

5. 結 言

以上の結果より低温中では、歪が軽減されることが判明した。ただしそのことに比較して増幅率は、減少している。しかし特に歪の多い低周波数（たとえば入力電圧 200 mV 20 Hz で 22°C と -39°C では、32%歪減少、増幅率 2.5 dB 減少）においては、かなりの軽減となり、より平坦化された周波数特性が得られるという利点が考えられる。今

回の実験は、シンプルで基本的な回路で特性を調べた。しかし実際の Amp においては、コンデンサー等の素子が低温中どのように動作するか未知な面も多い。それらの特性は、今後の課題としたい。

参 考 文 献

- (1) 岡野守：増幅回路の基礎，啓学出版
- (2) 武末数馬：パワーアンプ設計と製作（下），ラジオ技術社
- (3) 米国半導体電子工学教育委員会編：トランジスタの特性と性能限界，産業図書
- (4) 伴野正美：トランジスタの温度特性，電通学会第 39 巻 4 号
- (5) 上妻・府川：トランジスタ特性周波数の温度依存性・電通学会第 49 巻 9 号

（昭和 53 年 11 月 30 日受理）

1. The first part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and it is important to understand its development over time. The paper then discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general.

2. The second part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general. It is noted that the English language has a long and rich history, and it is important to understand its development over time. The paper then discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general.

3. The third part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general. It is noted that the English language has a long and rich history, and it is important to understand its development over time. The paper then discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general.

4. The fourth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general. It is noted that the English language has a long and rich history, and it is important to understand its development over time. The paper then discusses the importance of the study of the history of the English language in the context of the study of the English language in general.