

1: 目的

トランジスタの電流増幅作用、及び固定バイアス時の増幅作用について理解する。

2: 理論

2. 1: 原理

半導体(ゲルマニウム、ケイ素など)に少量の不純物を加えると、電子の数が不安定になる。各原子の最外殻の電子が余ったり、足りなくなったりするのだ。これを「電子」「正孔」と区別し、加える不純物により電子が「余る」か、「足りなくなる」かする。たとえば燐や砒素を加えた場合、電子が余り、アルミニウムやガリウムを加えると、電子が足りなくなる。それぞれ「余る」状態を「n型半導体」、「足りなくなる」状態を「p型半導体」と呼ぶ。

n型、p型をどちらかで「サンドイッチ」すると、トランジスタが出来る。それぞれ真中の「具」と「パン」の違いにより「nnp型」「pnp型」に分かれる。

動作原理は単純で、真中の「具」の部分とどちらかの「パン」の部分に電流を流すと、電子の流れが起こり、具の部分と他方の「パン」の部分も電流が流れるようになる、というものだ。

これを式にあらわすと、

$$I_c = h_{FE} \times I_b$$

となる。

この式はベース電流 I_b とコレクタ電流 I_c 、そして直流電流増幅率 h_{FE} をの関係式である。

2. 2: トランジスタの増幅ひずみ

「増幅回路」とは、入力信号の波形をなるべく崩さずに振幅を上げるようにするのが望ましい。しかし、トランジスタを増幅回路として使用した時、必ずしも入力信号の波形と同じ波形が増幅されて出力されるとは限らない。増幅ひずみが現れる原因は、入力信号の電圧が高い場合、入力周波数が高い場合等が挙げられる。

入力信号の電圧が高い場合、トランジスタ内の電子が飽和状態を起こし、波が潰れてしまう状態が起きる。この現象はトランジスタの入出力特性と、入力信号の大きさを照らし合わせることで再現できる。

入力周波数が高い場合、トランジスタが追いついていけなくなり、波が滑らかになってしまう。この現象を「トランジスタの周波数応答」と言う。

3. 実験

実験は、3種類を2回に分けて行った。以下に実験に使用した機材、及び条件を示す。

3.1:トランジスタ電流増幅回路(1999/04/14 3.4 時限 曇 気温:25°C 湿度:43%)			
テストキットボックス	Dengineer	アナログ実験パーツ	#13
電流計(入力側)	SHIMADZU	TYPE MPM CLASS 0.5	2211-15
電流計(出力側)	SHIMADZU	TYPE MPM CLASS 0.5	2604-04
電源	CUSTOM	CPS-1850	8031001
3.2/3.3:固定・電流帰還型バイアス増幅回路(1999/04/23 3.4 時限 晴 気温:25°C 湿度:43%)			
テストキットボックス	Dengineer	アナログ実験パーツ	#13
オシロスコープ	IWATSU	SS-7602	52598227
ファンクションジェネレーター	IWATSU	FG-330	22275666
電源	Dengineer	DSP-515	A383434
電流計	SHIMADZU	TYPE MPM CLASS 0.5	2604-04

3. 1:トランジスタ電流増幅回路

3. 1. . 1:回路の組み立て

1:トランジスタのコレクタ側に $0.1 \mu\text{F}$ のコンデンサを挟み、GND に接続、さらに電流計を挟み、+5V を供給する

2:トランジスタのエミッタ側を GND に接続

3:トランジスタのベース側を電流計を挟み、 $10\text{k}\Omega$ の可変抵抗に接続

4:可変抵抗の片方の足を GND に接続、もう片方の足を $27\text{k}\Omega$ の抵抗を挟み、+5V に接続

3. 1. . 2:回路の初期設定

1:可変抵抗をまわし、ベースに印加する電圧を 0V に設定する

2:被測定用トランジスタを回路に接続する

3:可変抵抗を回し、各ベース電流の値に対するコレクタ電流を測定する。

3. 2: 固定バイアス増幅回路

3. 2. 1: 回路の組み立て

1: トランジスタのコレクタ側に、 $10\mu\text{F}$ の電解コンデンサの+側を接続し、シンクロスコープにつなぐ

2: トランジスタのコレクタ側に 330Ω の抵抗を經由し、+15Vに接続

3: トランジスタのベース側に、 $10\mu\text{F}$ のコンデンサの+側を接続し、FGに接続する

4: トランジスタのベース側に $500\text{k}\Omega$ の可変抵抗を接続、更に $100\text{k}\Omega$ の抵抗を接続し、電流計を介して+15Vに接続する。

5: FG、シンクロスコープ、及びトランジスタのエミッタ側をGNDに接続する。

3. 2. 2: 回路の初期設定

1: ファンクションジェネレーターの出力をシンクロスコープに接続する。

2: サイン波、周波数 1KHz を選択し、振幅が 0...100mVpp になるように設定する。

3: 設定終了後は出力電圧を 0V にしておく。

3. 2. . 3: 実験内容

1: 可変抵抗を回し、バイアス電流を $25\mu\text{A}$ にする

2: ファンクションジェネレーターの電圧可変観測ポイント(20mVpp,50mVpp,100mVpp)での波形を観察する

3: バイアス電流を $50\mu\text{A}$ 、 $75\mu\text{A}$ 、 $100\mu\text{A}$ 、 $125\mu\text{A}$ に設定し、波形を観察する。

3. 3: 電流帰還型バイアス回路

3. 3. . 1: 回路の組み立て

1: トランジスタのコレクタ側に $10\mu\text{F}$ の電解コンデンサの+側を接続、コンデンサの-側をシンクロスコープに接続する

2: トランジスタのコレクタ側に $3.3\text{k}\Omega$ の抵抗を挟み、+15V に接続する

3: トランジスタのエミッタ側に $10\mu\text{F}$ の電解コンデンサと $1\text{k}\Omega$ の抵抗を並列につなぎ、他方をグラウンドに接続する

4: トランジスタのベース側に $15\text{k}\Omega$ の抵抗を挟み、+15V に接続する

5: トランジスタのベース側に $4.7\text{k}\Omega$ の抵抗を挟み、グラウンドに接続する

6: トランジスタのベース側に $10\mu\text{F}$ の電解コンデンサを挟み、FG に接続する

7: FG、およびシンクロスコープの他方をグラウンドに接続する

3. 3. 2: 回路の初期設定

1: FG の出力をオシロスコープに接続する

2: Sin 波、1KHz、出力心服を $1\sim 500[\text{mVpp}]$ になるように FG を調整する

3: 設定終了後は出力電圧を $0[\text{V}]$ とする

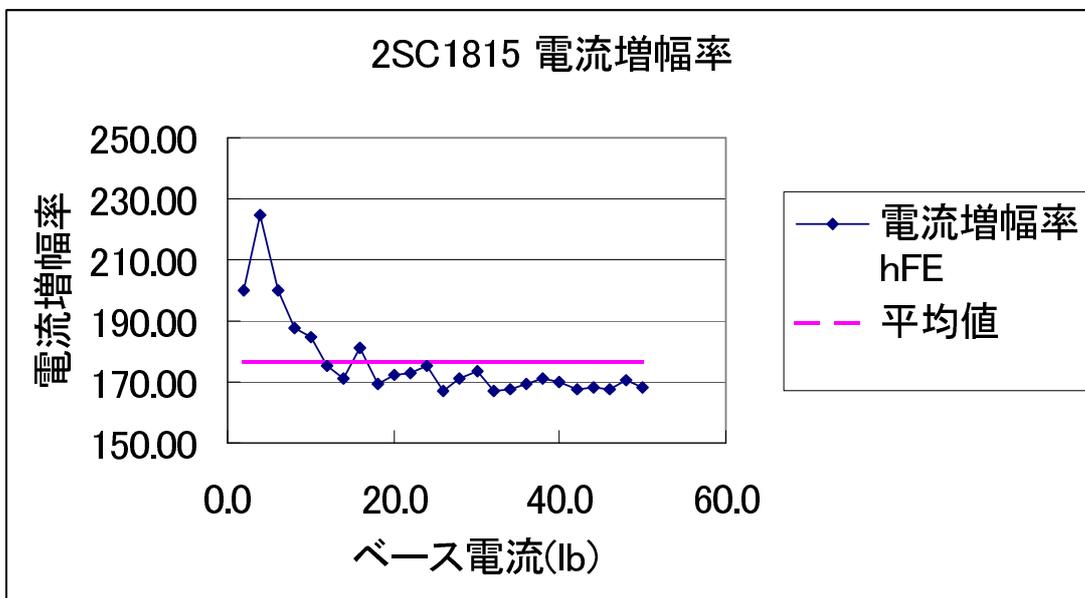
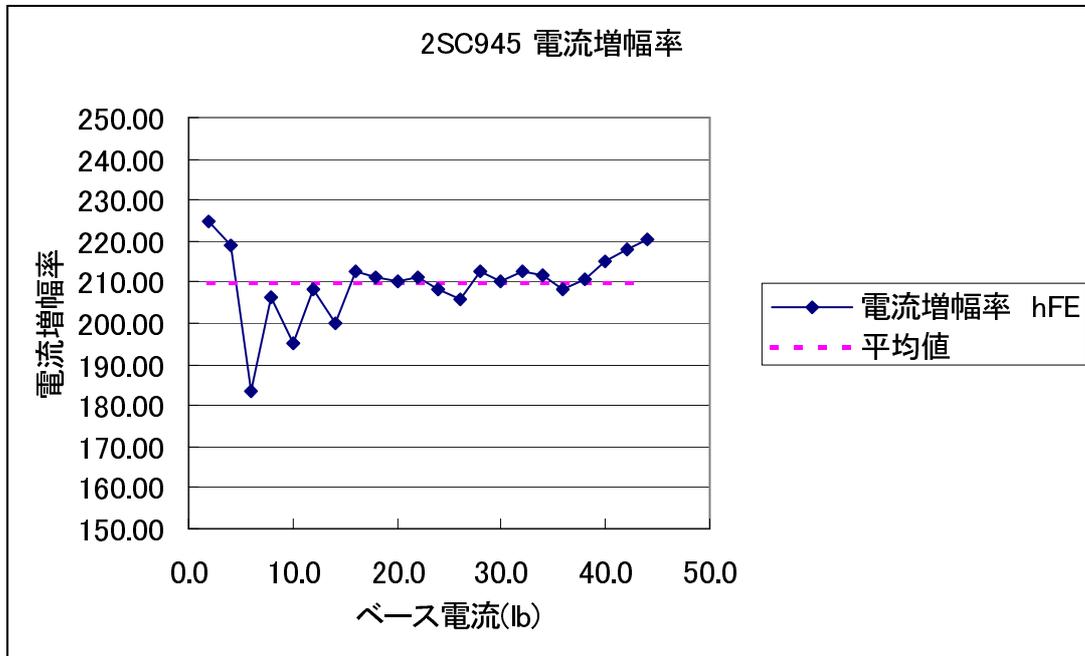
3. 3. . 3: 実験内容

1: FG の出力を $1[\text{KHz}]$ に設定、電圧を可変し観測ポイント ($1/10/20/30/40/50\text{mVpp}$) での出力波形を観測する

2: FG の出力電圧を 20mVpp に設定、周波数を可変し観測ポイント ($100/1\text{K}/10\text{K}/100\text{kHz}$) での波形を観測する。

4: 実験結果

4. 1: 実験により得られた hFE 特性`

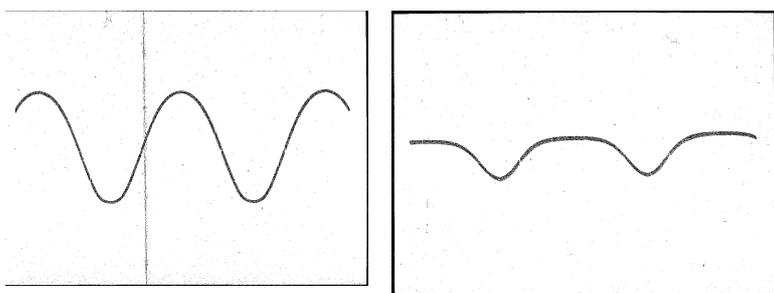


4. 2: 実際の波形

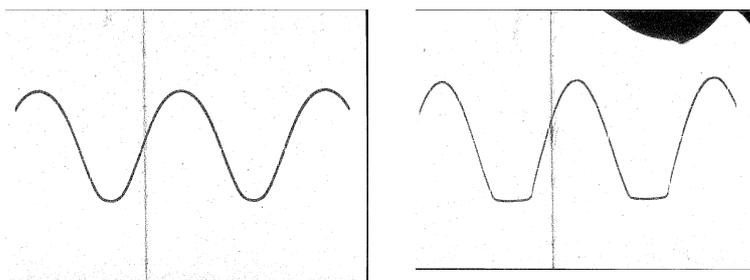
各種実験で得られた実際の波形を下に示す。

左に示すのが増幅の元になる信号である。

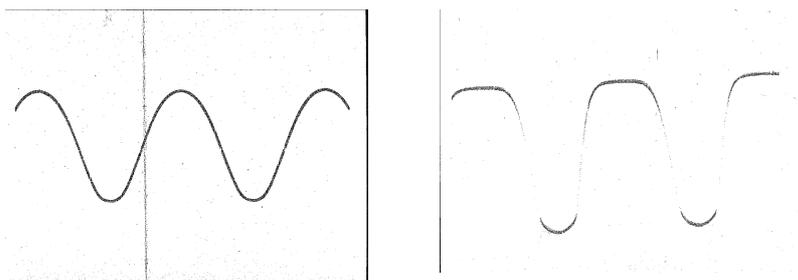
バイアス側の電流が小さいと、下のようになる。



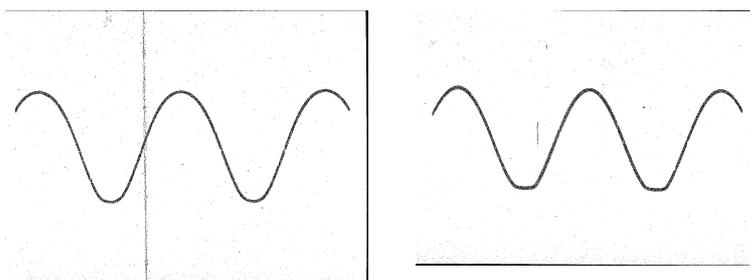
入力側の電流が大きいと、下のようになる。



バイアス側が小さく、かつ入力側の電流が大きいと、下のようになる。



入力側の周波数が高いと、下のようになる。



5: 考察

トランジスタは、バイアス側に十分な電流をかけ、更に入力側の電流があまり大きくない状態で初めて線形な増幅作用を示す。

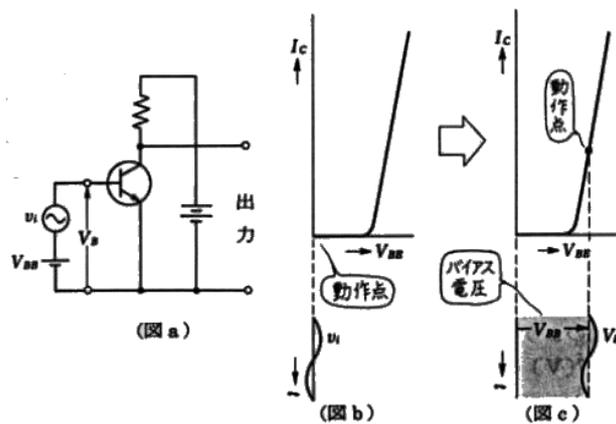
これはトランジスタの I_c - V_{BE} 特性図を照らし合わせてみれば分かることで、バイアス側に十分な電流をかけないとグラフ左側で波が引っかかってしまい、高い電流がながれない。

また、入力電流が高いと、グラフ上方で波が引っかかってしまい、カットオフされてしまう格好になる。

よって、「バイアス電流に適正な値を与えないと正常な増幅は期待できない」と結論づけることができる。

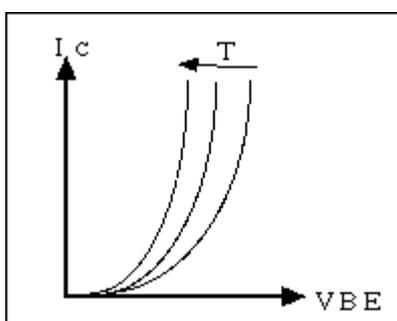
では何故、バイアス電流が必要なのか？

バイアス電流とは、入力信号を「底上げ」する働きを持っており、下図のように「下駄を履かせる」効果を持っている。



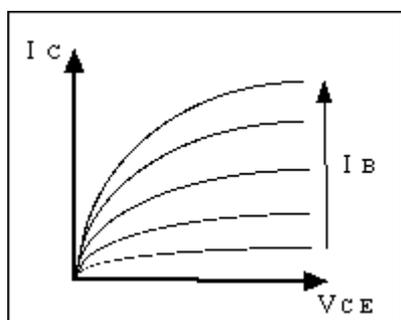
よって、バイアス電流を適正な値にすることにより、 I_c - V_{BE} 特性の始点を右方に移すことができ、結果、安定した増幅作用が期待できる。

I_c - V_{BE} 特性

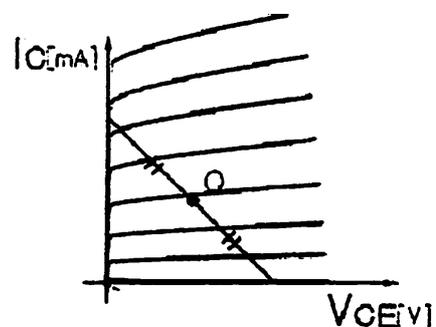


しかし、入力信号が大きすぎると、今度は I_c - V_{CE} 特性の範疇を超えてしまい、カットオフ現象が発生するものだと考えられる。

I_c - V_{CE} 特性

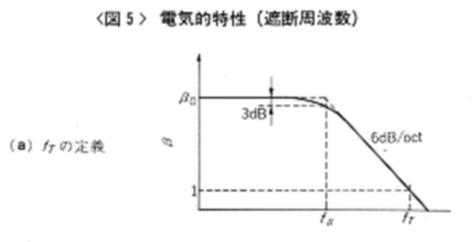


Q 点の定義



つまり、トランジスタを使用するには、適切な Q 点内に増幅元の波が設定されるようにしなければならない。

トランジスタの周波数特性は、下図のようになる。

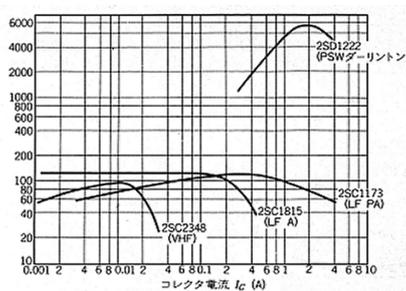


上図によると、ある周波数を境に電流増幅率 β の特性は線形に落ちていく。低周波数のデータより 3dB 値が下がったところを遮断周波数(f_s)と定義される。 f_s の値は、理論的には下表の通りである。

2SC1815	80MHz
2SC945	150MHz

よって、実験で使用した上限(100KHz)では電流増幅率の特性は少なくとも 3dB 以内に収まっており、派手な落ち込みは確認できなかったのだと推察される。しかしながら 3dB という値は「特性が 1/2 になる」という事を表しており、1/2 にまでは到達しなくても、少し波が潰れたのは回路の誤差だけではないのだと推察される。

トランジスタの増幅率(HFE)は、本来は下図の様に線形になるはずである。

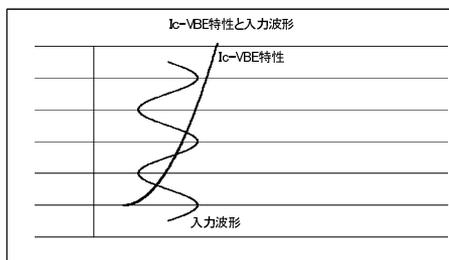
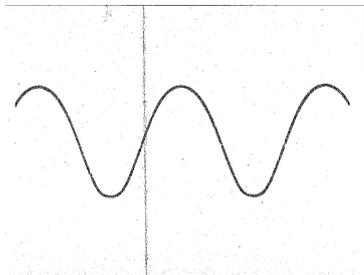


しかし、実験では線形とならなかった。

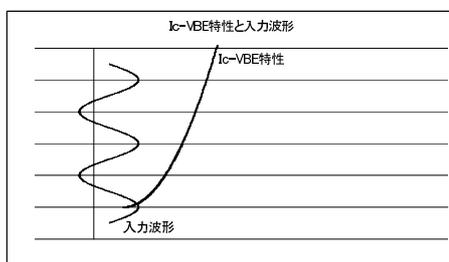
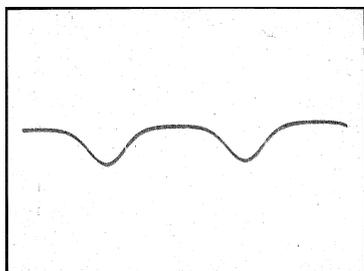
これにはトランジスタの温度を一定に保たなかったことや、各種機械の誤差を考慮しなかったことが原因といえる。

以上の事を踏まえて、今回の実験結果と、大体の特性図と入力波形の相関図を下記に示す。

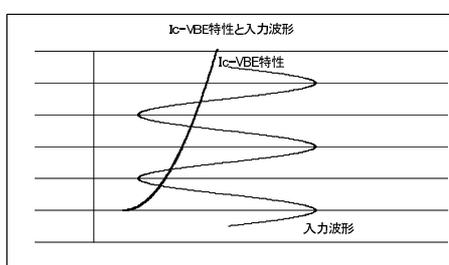
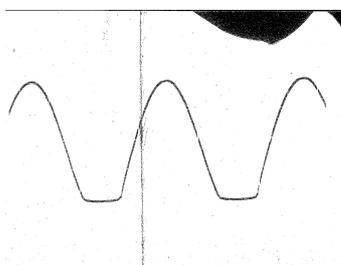
・正常な増幅



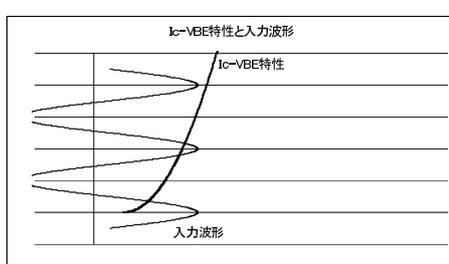
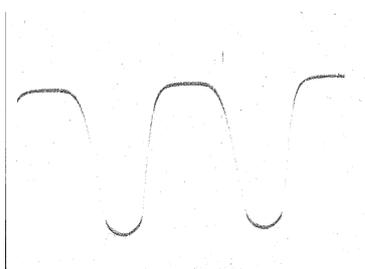
・バイアス電流不足



・入力電流過大



・バイアス電流不足でかつ入力電流過大



6:感想

- ・今回の実験で、トランジスタの電流増幅の仕組みが良く分かった。
- ・どちらかというと、実験中よりも、考察を書いている間に理解した事項が数多い。