

## 電気2領域におけるバイアス回路の研究

小室 一比古\*

（1988年9月12日受理）

### Bias Circuits in the Electric Region II of Technology Education

Kazuhiko KOMURO\*

（Received September 12, 1988）

#### はじめに

近年、半導体素子の発展がめざましく、極超集積回路が汎用部品として扱われている。しかし、それらの基になるものはトランジスタであり、今日の電子技術の進歩に大きく貢献している。

初期のトランジスタではゲルマニウムがその素材として使用されていた。ゲルマニウムトランジスタは、コレクタ遮断電流が大きいため、回路の簡単な固定バイアス回路では温度変化に対して不安定な動作を示す。そこで回路を安定に動作させるため、各種バイアス回路が考え出され、中でも電流帰還バイアス回路は、回路が複雑になった上に電力損失も多くなるが、温度変化に対する安定度が高いので、安定度を要求される回路に多用されている。しかし現在では、コレクタ遮断電流が極めて少ないシリコントランジスタが主流となっており、簡単な回路では固定バイアス回路が使用されているのが現状である。

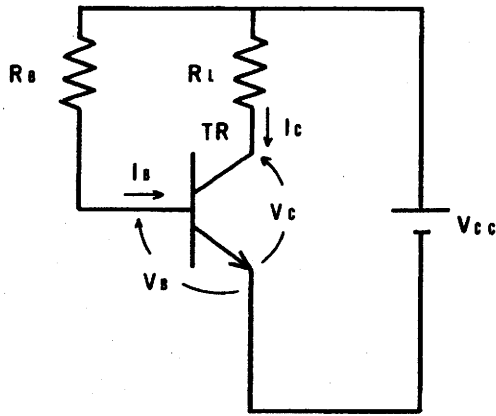
中学校技術・家庭科の学習内容に電気2領域としてトランジスタ回路の学習が組まれている。指導要領及び指導書ではトランジスタの学習は定量的に扱わず、回路についても回路要素の働きを知る程度の学習をさせるとなっている。また教科書においては、固定バイアス回路を基礎学習としながらも、安定化回路として電流帰還バイアス回路を記載し、回路要素の働きを知る学習内容になっている。

トランジスタ内部における電子の流れを学習せずに、単なる電流のみでトランジスタの動作原理を学習させる指導内容において、部品の点数多く回路が複雑で、高い電圧の電源が必要な上に電力損失が大きく、動作原理が複雑な電流帰還バイアス回路の理解を学習者に求めることには問題が多いと考えられる。回路に流れる電流の意味を理解しなければ、回路要素の働きを理解したことにもならず、単に「知る」だけの技術科教育になろう。そこで本研究では、上記の二つのバイアス回路の温度に対する安定度を実験から探究し、中学校で扱う増幅回路は固定バイアス回路のみで良いことを検証しようとするものである。

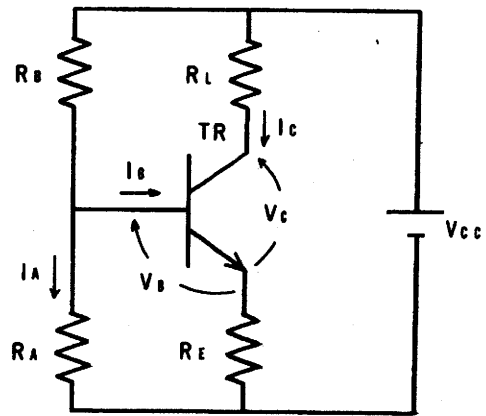
\*茨城大学教育学部技術科。

## 研究 方法

中学校で扱う増幅回路に使用されるトランジスタは2~3石までであることから、実験対象回路は低歪と安定度の要求される初段に使用される抵抗負荷増幅回路を扱うこととした。第1図に固定バイアス回路を、第2図に電流帰還バイアス回路を示す。両回路における記号は、 $V_{CC}$ が電源電圧、 $V_C$ がコレクタ電圧、 $V_B$ がベース電圧、 $I_C$ がコレクタ電流、 $I_B$ がベース電流、 $R$ がそれぞれの抵抗を意味する。第2図の回路における $I_A$ はブリーダ電流である。



第1図 固定バイアス回路



第2図 電流帰還バイアス回路

トランジスタが電流制御素子であることから、回路の中で変化の大きく出るコレクタ電流を測定対象とした。次に実験方法と回路条件を示す。

1. 供試トランジスタは、シリコントランジスタについては現行の教科書で扱われているもの2種類(2SC735 2SC1815)、ゲルマニウムトランジスタについては過去の教科書で扱われたもの2種類(2SB54 2SB56)を各10個体用いた。ゲルマニウムトランジスタとシリコントランジスタを各2種類にしたのは、同半導体ではほぼ同等の特性を持つから多種類の測定は必要ないからである。ここでは、再確認の比較のために2種類を抽出した。
2. 温度に対するコレクタ電流変化率を求めるために、回路周囲温度は $0 \sim 60^{\circ}\text{C}$ とし、 $2^{\circ}\text{C}$ の誤差範囲で $10^{\circ}\text{C}$ 刻みで変化させた。一定温度保持時間は30分とし、その間5分毎に測定した。自己加熱の防止と電流測定の範囲を考慮してコレクタ電流を5mAに設定したので、電源電圧は固定バイアス回路では6V、電流帰還バイアス回路では7.2Vに固定した。

したがって、両回路の各固定抵抗器の抵抗値は負荷抵抗器 $R_A$ のみ両回路とも $600\Omega$ 固定とし、他は次のように設定した。固定バイアス回路においては、 $R_B=150\text{k}\Omega$ (2SC735, 2SB56使用時)・ $220\text{k}\Omega$ (2SC1815)・ $290\text{k}\Omega$ (2SB54)を用いた。電流帰還バイアス回路においては、 $R_B=3.6\text{k}\Omega$ (2SC735)・ $5.0\text{k}\Omega$ (2SC1815)・ $3.9\text{k}\Omega$ (2SB54)・ $2.2\text{k}\Omega$ (2SB56)を、 $R_A=16\text{k}\Omega$ (2SC735, 2SB56)・ $24\text{k}\Omega$ (2SC1815)・ $33\text{k}\Omega$ (2SB54)を、

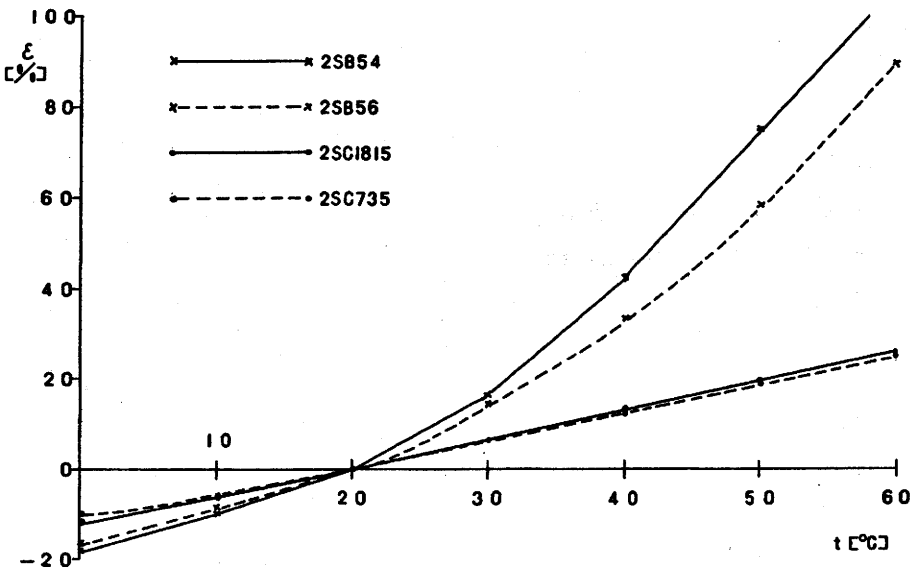
$R_E=120\ \Omega$  (2SB54, 2SB56, 2SC1815) を用いた。

## 結果と考察

### 1. 実験結果より

各トランジスタ10個体の測定値より、8個体の平均値を各規格のトランジスタの測定値とした。その結果より、4規格のトランジスタの固定バイアス回路における「温度変化に対するコレクタ電流の変化」を示したグラフが第3図である。周囲温度 $25^\circ\text{C}$ でトランジスタの規格は決められているが、トランジスタ個々の規格を測定するのではないから、この実験では $20^\circ\text{C}$ を基準にした。

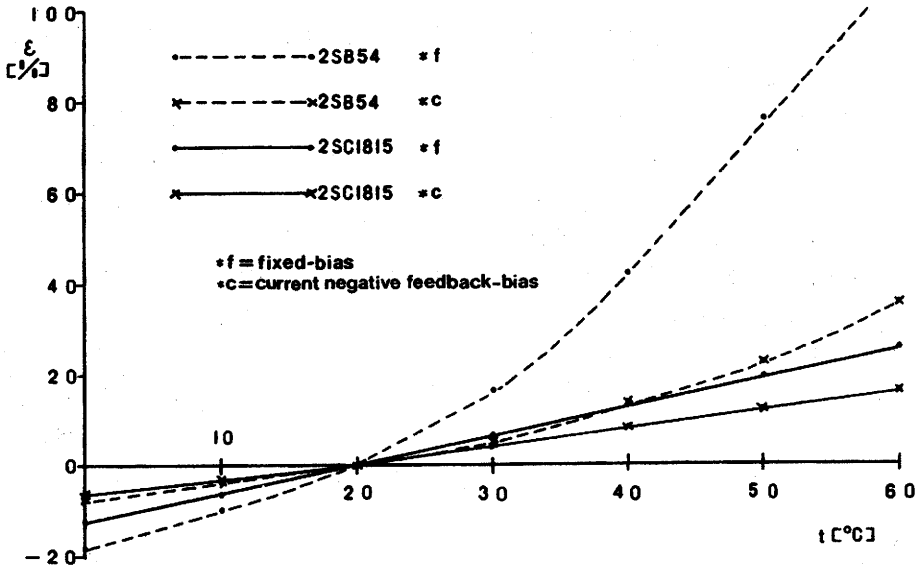
第3図において、2SB54と2SB56のゲルマニウムトランジスタの場合、温度安定度が悪いことが判る。 $\pm 10^\circ\text{C}$ の温度範囲での変化率を比較すると、ゲルマニウムトランジスタの方がシリコントランジスタの約2倍の値を示す。半導体は温度の影響を受けやすい性質があり、特にゲルマニウムの半導体はその性質が顕著に現れることから、ゲルマニウムトランジスタではこのような結果が出たのである。自己加熱の少ないコレクタ電流を与えても周囲温度が高くなると、コレクタ遮断電流(1CBC)の増加も大きくなることも加味されて熱暴走を起こしてしまうため、加速的に変化率が大きくなって行く。シリコントランジスタでは熱の影響を受けにくいので、コレクタ遮断電流の増加も少なく、グラフが示すように、ほぼ直線的に変化率が增加する。



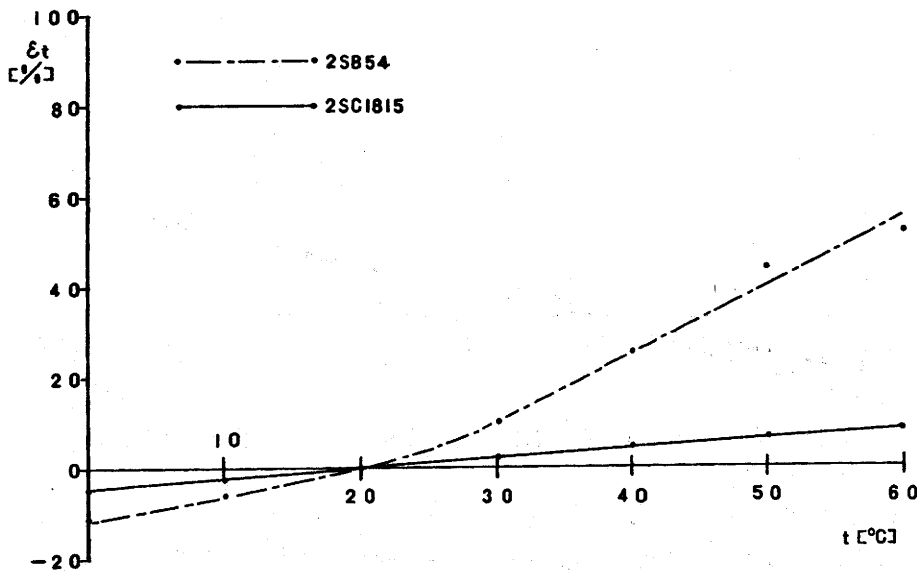
第3図 固定バイアス回路における周囲温度-コレクタ電流の変化率

第3図から、ゲルマニウムトランジスタとシリコントランジスタにおいて変化率の大きい2SB54と2SC1815で、固定バイアス回路と電流帰還バイアス回路における変化率をみたグラフが第4図である。電流帰還バイアス回路にすると温度安定度が良くなることがグラフから理解できる。ゲ

ルマニウムトランジスタの固定バイアス回路では、周囲温度30°Cを越すと熱暴走が起きてしまうが、電流帰還バイアス回路にすると、50°Cを越した所で熱暴走が起き始める。したがって、ゲルマニウムトランジスタを使用するときには電流帰還バイアス回路が必要であることがわかる。それでもシリコントランジスタの固定バイアス回路とほぼ等しい安定度を得るだけである。



第4図 バイアス回路の違いにおける周囲温度-コレクタ電流の変化率



第5図 仮想コレクタ電流-コレクタ電流の誤差率

第5図は2SB54と2SC1815の、仮想コレクタ電流と固定バイアスコレクタ電流の誤差率を比較したグラフである。仮想コレクタ電流とは、周囲温度20°Cにおける固定バイアス回路のコレクタ電流を基にして、この電流を電流帰還バイアス回路のコレクタ電流の変化率に合わせて変化させたときの値を言う。

ゲルマニウムトランジスタでは、温度変化に対する固定バイアス回路のコレクタ電流変化が、電流帰還バイアス回路のコレクタ電流の変化よりもかなり大きいことがわかる。一方、シリコントランジスタでは、最大誤差率が周囲温度60°Cでも10%弱であり、また基準温度の±10°Cでは最大誤差率が5%弱しかなく、固定バイアス回路でも電流帰還バイアス回路でも大差ないことがわかる。つまり、このことはシリコントランジスタを使用すれば、中学校で扱う増幅回路等では固定バイアス回路で問題ないと言える。

ゲルマニウムトランジスタはコレクタ遮断電流が汎用品で3 $\mu$ A位あり、固定バイアス回路では、周囲の温度変化によるコレクタ遮断電流への影響が大きく、動作の安定性が悪い。このことは、増幅回路の動作が温度に対して不安定であることを意味する。したがって、回路の複雑さや消費電力の増加等の欠点はあるが、増幅回路の安定化のために電流帰還バイアス回路を用いている。特にゲルマニウムトランジスタを使用する場合には電流帰還バイアス回路が有効であると言える。

温度安定度やコスト等からも、シリコントランジスタの方が優れているために、現在ではシリコントランジスタが多用されている。シリコントランジスタのコレクタ遮断電流は汎用品で0.001 $\mu$ A位であり、ゲルマニウムトランジスタと比較して極めて小さい値である。温度10°C上昇する毎にコレクタ遮断電流が2倍増大したとしても、コレクタ電流に与える影響は少ない。両バイアス回路の消費電力を比較すると、電流帰還バイアス回路では、エミッタ抵抗器Rによる電力と入力側の抵抗器Rによる電力が固定バイアス回路よりも多くなる。2SC1815で比較すると、固定バイアス回路に対して電圧で1.2倍、電流で1.05倍であるから、消費電力は約1.26倍にもなる。したがって、シリコントランジスタを使用する簡単な回路では、固定バイアス回路で充分であると言える。

増幅回路の電気的な特性に対する影響は、温度によって動作点が移動し、そのためにトランジスタの各定数が変化することによって、増幅度の変化や歪である。温度が変化しても動作点の移動を最小限にとどめることもバイアス回路を考える上で一つの課題になる。この点について、中学校においては簡単な回路を扱うこと、動作点の変動は電流の変化となりコレクタ電流を測定すれば動作点の変動をみることができることから、本研究では実験の対象外とした。

## 2. 指導要領・指導書及び教科書より

指導要領及び指導書から電気2領域に関係する所を抽出すると、次のようになる。

中学校指導要領「技術・家庭」電気の目標(2)は「増幅回路を用いた装置の設計と製作を通して、電子のはたらきと利用について理解させ、電気機器を適切に活用する能力を伸ばす」とある<sup>1)</sup>。その目標を受けた学習内容は、「(1)ア ダイオード、トランジスタなどの図記号を用いてかいた回路図の読図ができること」、「(1)イ 電源回路と増幅回路の仕組みを知ること」、「(2)ダイオード、トランジスタなどの電気回路要素のはたらきと使用法について理解させる」とある<sup>2)</sup>。

これらを解説した指導書のその内容については、次のように解説している。(1)アについては、「……………ここでは、回路図の回路要素の名称をいうことができること、回路に流れる直流の方向

と、増幅の対象となる信号電流の経路をたどることができることを目指して指導する」とある<sup>3)</sup>。ここで示されている「回路による直流の方向をたどる」ことは、固定バイアス回路及び電流帰還バイアス回路ともに学習者は理解できようが、電流帰還バイアス回路の動作原理を知らずして、 $R_A$ と $R_E$ の働きを理解することには無理がある。また「信号電流の経路をたどる」ことは、トランジスタの入力抵抗と $R_E$ が直列回路となり、さらに $R_A$ と並列につながることから、経路を追い難くなり回路の理解を妨げてしまう。(1)については「……………トランジスタの動作は温度変化に影響されやすいので、その増幅回路は、動作を安定させるためにいろいろな工夫がなされていることを知らせるが、これらをすべて紹介したり実験する必要はない。ここでは、主としてエミッタ接地で、固定バイアス又は電流帰還バイアス回路のいずれかに重点をおいて指導すればよい。……………」。回路のはたらきについては簡単に扱い、増幅がどこで行われるとか、回路定数の変化がどんな効果をもたらすかなどを実験によって知らせる程度とする」とある<sup>4)</sup>。技術科教育では、基礎回路学習に重点を置くべきであることからして、トランジスタの動作が温度変化に影響されることを加味しながら、動作原理の簡単な固定バイアス回路を基礎回路として指導すべきであろう。したがって、電流帰還バイアス回路は安定化された回路例として、参考資料の形式で教科書には記載した方がよい。現行の教科書のように、回路を記載して、それぞれの抵抗器の働きを示してあれば、単に抵抗器の働きを知るだけでなく、「なぜそのような働きをするのか」と言う疑問が発生して、学習者に未消化現象を起こさせる危険がある。(2)については「増幅回路を用いた装置に使われる主な部品などのはたらきとその適切な使用法を指導する。……………。ダイオードやトランジスタについても入力と出力の関係を定性的に説明ができ、使用目的に応じた定格のものが選べる程度のことをねらいにし、定量的な扱いを避けるようにすることが肝要である。……………ブラックボックス的な扱いとし、……………」とある。ここに示されているように、トランジスタの入力と出力の関係を定性的に扱うとともにブラックボックス的に扱うとなれば電流帰還バイアス回路の動作原理を学習者が理解することは極めて困難である。

実験結果や指導者から判断して、現行の指導要領の示す中学校技術・家庭科電気2領域で扱うバイアス回路では、固定バイアスを基本とし、増幅回路の基礎学習を深めるべきである。電流帰還バイアス回路については、「温度変化によって影響される増幅回路の変動を安定化させるために、このような回路がある」と言った参考回路例で扱うのが良いと言える。

#### 注

- 1), 2) 昭和53年 中学校指導書 技術・家庭編 pp.159-160.
- 3) 同上 p.55.
- 4) 同上 p.56.
- 5) 同上 pp.57-58.