

## 第8章 レフレックスラジオの理論

古橋 武

### 8.1 ストレートラジオからレフレックスラジオへ

### 8.2 レフレックスラジオの周波数特性

#### 8.2.1 簡略等価回路

8.2.2 エミッタの拡散容量, コレクタ・ベース間の接合（空乏層）容量, プローブの静電容量, ブレッドボードの漂遊容量を考慮

8.2.3 プローブの静電容量, ブレッドボードの漂遊容量を除く

8.2.4 コレクタ・ベース間の接合（空乏層）容量をミラー効果として入力側に考慮

8.2.5 コレクタ・ベース間の接合（空乏層）容量を除く

本稿の Web ページ

[http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Radio\\_note/index.html](http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Radio_note/index.html)

## 8.1 ストレートラジオからレフレックスラジオへ

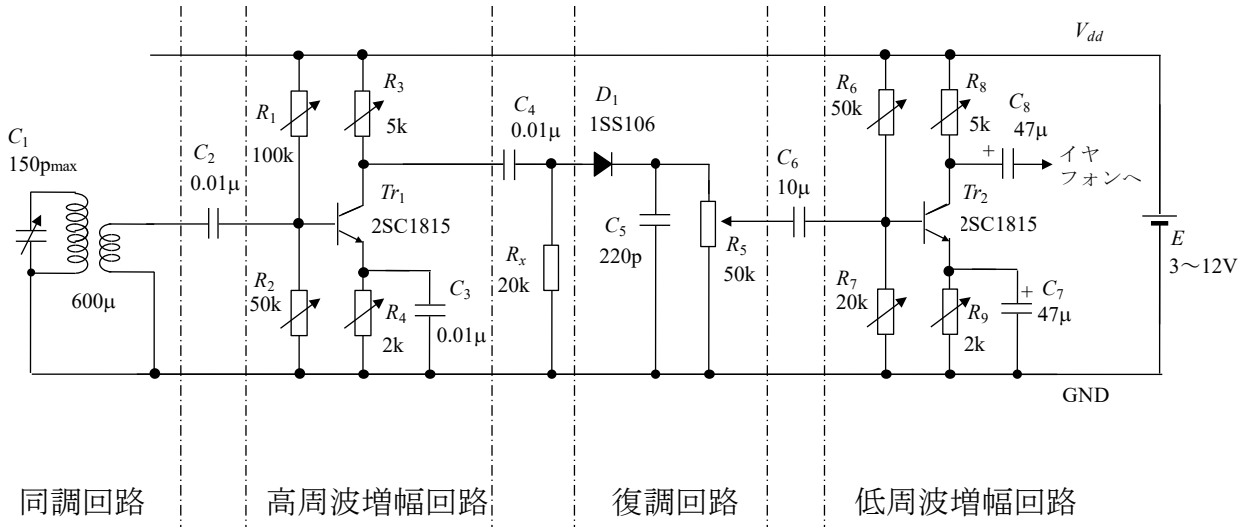


図8.1.1 ストレートラジオの回路図

レフレックスラジオは、一つのトランジスタで高周波増幅と低周波増幅を行わせる回路方式のラジオである。簡単な回路構成でラジオ放送を確実に聴くことのできるラジオである。初めてラジオを作る人にはうってつけである。おもちゃの回路ともいわれているが、作りやすく、しかも感度がよいため、ネット上でも多くの回路例が紹介されている。

図 8.1.1 はストレートラジオの回路図である。図 1.1.3 の回路図と同じである。このストレートラジオは同調回路、高周波増幅回路、復調回路、低周波増幅回路からなる。各部の回路の詳細は第 1 章～第 6 章を参照されたい。第 3 章の高周波増幅回路と第 6 章の低周波増幅回路の記述内容から、両回路の周波数特性には実はほとんど差がないことが分かる。そこで、復調回路の音声信号出力を高周波増幅回路の入力に戻してもうまくいくのではという着想が生まれる。一つの増幅回路の出力から高周波成分と音声信号成分を別々に取り出す工夫をすればよい。周波数とともにリアクタンスが大きくなるコイルと、逆に小さくなるコンデンサを組み合わせることが一つの答である

レフレックスラジオはストレートラジオのトランジスタを節約した簡略回路と見ることができる。トランジスタ（もしくはそれ以前の真空管）一個が高価であった時代には重宝なラジオであった。現在では初めてラジオを作る人にとって、簡単でしかも確実に放送を聴くことのできるラジオとしての価値がある。

図 8.1.2 はストレートラジオをレフレックスラジオに改造した回路である。変更箇所を朱色で示す。主な変更箇所は 3 箇所である。

- (1) 図 8.1.1 の低周波増幅回路を取り外す。
- (2) 結合コンデンサ  $C_6$  をトランジスタ  $Tr_1$  のベース電極に接続する。

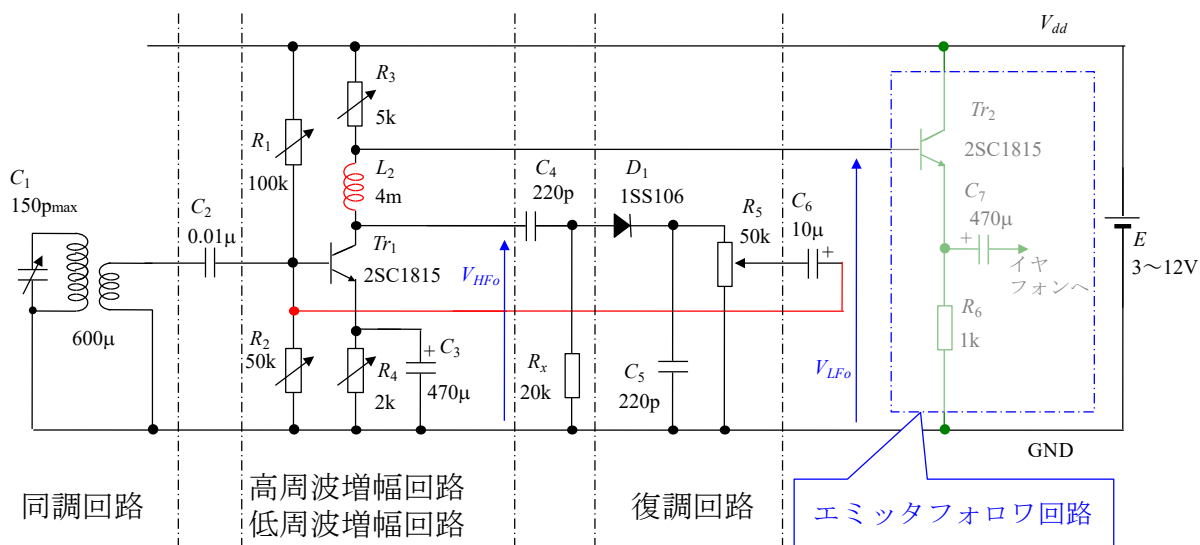


図8.1.2 ストレートラジオからレフレックスラジオへ

(3) トランジスタ  $Tr_1$  のコレクタ電極と抵抗  $R_3$  の間にチョークコイル  $L_2$  を挿入する。

レフレックスラジオの基本構成はこれでよいが、iPOD や Walkman などの携帯音響機器に使われているイヤフォンで聴けるようにするために、本書ではトランジスタ  $Tr_2$ 、コンデンサ  $C_7$ 、抵抗  $R_6$  からなるエミッタフォロワ回路を設けてある。

復調回路の音声信号出力をトランジスタ  $Tr_1$  に戻すことで、増幅回路には高周波増幅に加

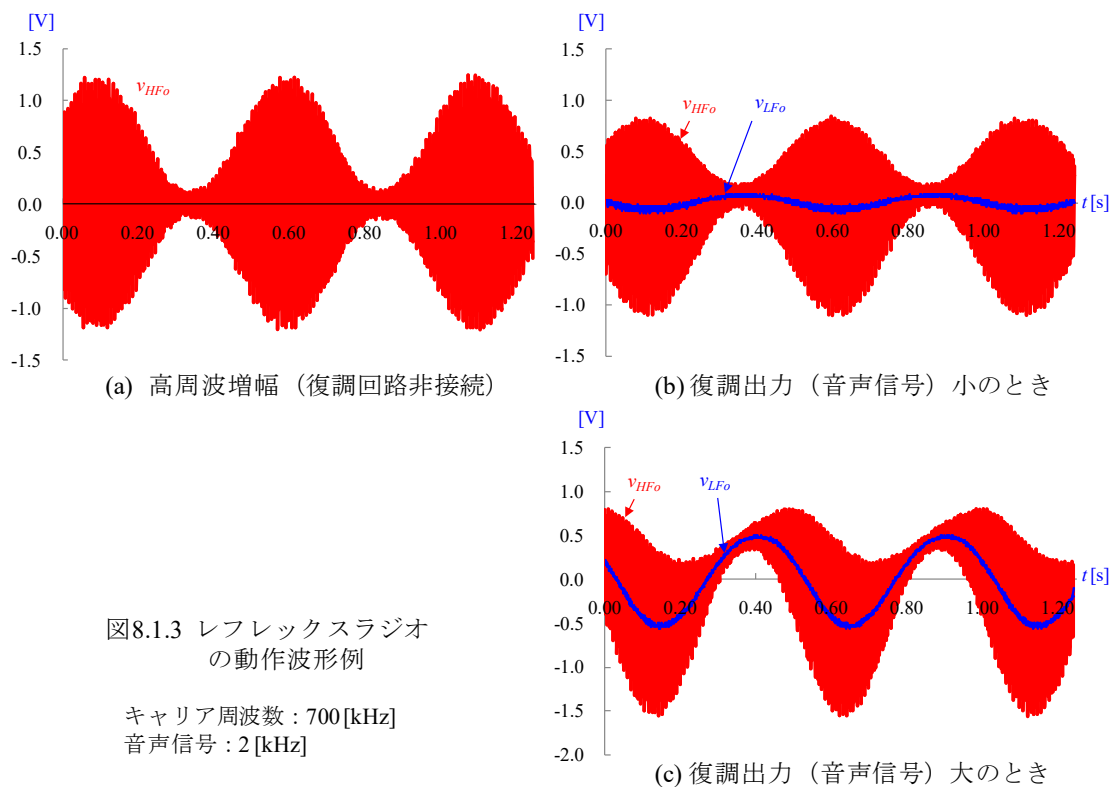


図8.1.3 レフレックスラジオの動作波形例

キャリア周波数 : 700 [kHz]  
音声信号 : 2 [kHz]

えて、低周波増幅の機能を併せ持たせることができる。この回路の動作波形例を図 8.1.3 に示す。同図(a)は復調回路を切り離した場合の高周波出力電圧  $v_{HFo}$  の波形例である。キャリア周波数 700 [kHz]、音声信号 2 [kHz]の AM 変調波を受信したときの波形である。700 [kHz]のキャリア成分は真っ赤に塗りつぶされている。同図(b)は復調回路を接続し、(a)と同じ AM 変調波を受信した場合の高周波出力電圧  $v_{HFo}$  と低周波出力電圧  $v_{LFo}$  の波形例である。ボリューム用（音量調節用）抵抗  $R_5$  を絞りを、音声信号を小さくしたときの波形である。増幅回路に復調回路が接続されたため、AM 信号成分は同図(a)よりも振幅が少し小さくなっている。同図(c)は(b)と同じ状況で音声信号を大きくした場合の波形例である。高周波出力電圧  $v_{HFo}$  には同図(a)の AM 信号に低周波出力信号  $v_{LFo}$  が重畳されていることがよく分かる。また、低周波出力電圧  $v_{LFo}$  は音声信号成分だけとなり、高周波成分は除去されていることも分かる。

高周波増幅回路と低周波増幅回路を分ける素子はコイル  $L_2$  とコンデンサ  $C_4$  である。例えば NHK 名古屋第一(729 [kHz])を受信する場合、それぞれのリアクタンス  $X_{L2}, X_{C4}$  は

$$X_{L2} = \omega L_2 = 2\pi \times 729 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} = 18 [\text{k}\Omega] \quad (8.1.1)$$

$$X_{C4} = \frac{1}{\omega C_4} = \frac{1}{2\pi \times 729 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-12}} = 990 [\Omega] \quad (8.1.2)$$

である。一方、音声信号(AM 放送波の上限 9 [kHz])の場合は

$$X_{L2} = \omega L_2 = 2\pi \times 9 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} = 230 [\Omega] \quad (8.1.3)$$

$$X_{C4} = \frac{1}{\omega C_4} = \frac{1}{2\pi \times 9 \times 10^3 \times 220 \times 10^{-12}} = 80 [\text{k}\Omega] \quad (8.1.4)$$

である。

図 8.1.4 はレフレックスラジオの高周波増幅回路部分を抜き出したものである。放送波の

キャリア成分に対してはコイル  $L_2$  のリアクタンス  $X_{L2}$  が大きく、コンデンサ  $C_4$  のリアクタンス  $X_{C4}$  が小さいことから、コイル  $L_2$  は開放として、抵抗  $R_3$  側の回路が切り離されていると見なしている。高周波信号源は同調回路の出力であり、その実効

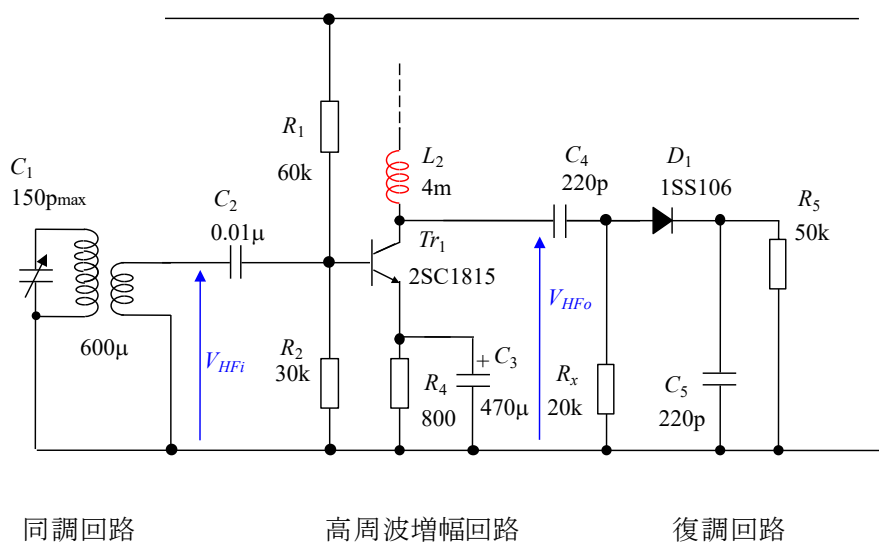


図8.1.4 レフレックスラジオの高周波増幅回路

値は  $V_{HF_i}$  である。高周波増幅回路の出力は  $V_{HF_o}$  である。

一方、[図 8.1.5](#) はレフレックスラジオの低周波増幅回路部分を抜き出したものである。音声信号に対してはコイル  $L_2$  のリアクタンス  $X_{L_2}$  が小さく、コンデンサ  $C_4$  のリアクタンス  $X_{C_4}$  が大きいことから、コンデンサ  $C_4$  は開放、コイル  $L_2$  は短絡と見なしている。低周波信号源は復調回路の出力であり、その実効値は  $V_{LF_i}$  である。低周波増幅回路の出力は  $V_{LF_o}$  である。

このように整理すれば概略の特性は[図 8.1.6, 8.1.7](#) の小信号等価回路により知ることができる。回路図中の数値は第 3 章の高周波増幅回路にならって求めることができる、

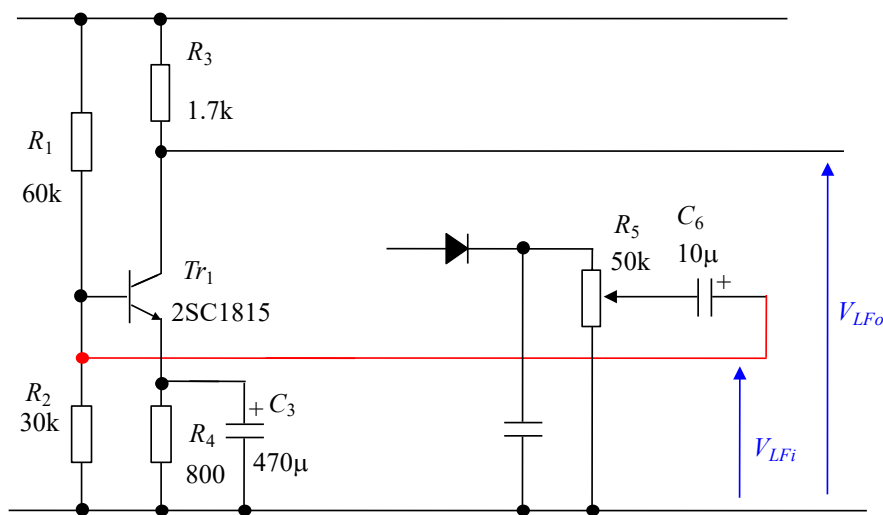


図8.1.5 レフレックスラジオの低周波増幅回路

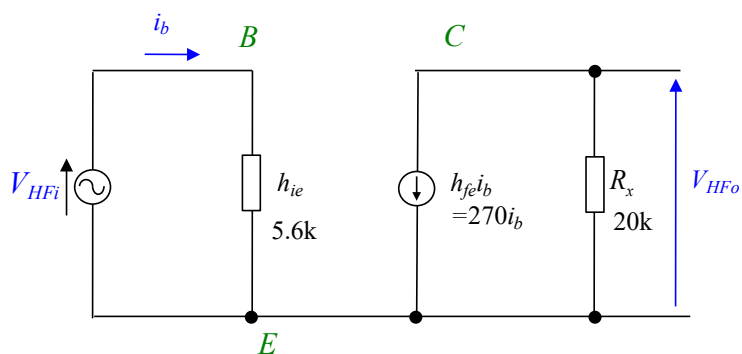


図8.1.6 高周波増幅回路の小信号等価回路

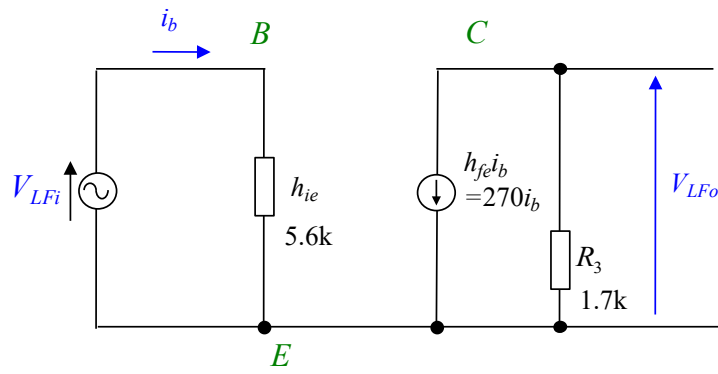


図8.1.7 低周波増幅回路の小信号等価回路

## 8.2 レフレックスラジオの周波数特性

### 8.2.1 簡略等価回路

まず、コレクタ電流の直流成分を知ることから始める。図 8.2.1 は高周波・低周波増幅回路の直流成分を示す。同図の電圧測定値はトランジスタに GR タイプを用いた場合の結果である。直流電圧・電流を考える場合、コンデンサ  $C_2 \sim C_4$  は絶縁物を挟んで電極が向き合っているだけなので無視できる。また、コイル  $L_2$  は導線を巻いただけのものなのでこれも無視できる。図中には実際にラジオ放送を受信できている回路の各部の抵抗値と直流電圧の測定結果を記入してある。各部の電圧はグラウンド(GND)に対する値である。ただし、ベース・エミッタ間電圧はベースとエミッタの電極間の電圧であり、測定値から算出した。グラウンドに対する 4 箇所の電位が分かれば、各部の電流を求めることができる。測定時の室温は約  $20^\circ\text{C}$  であった。トランジスタの直流電流増幅率  $h_{FE}$  は

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.19[\text{mA}]}{5.4[\mu\text{A}]} \approx 220 \quad (8.2.1)$$

と求められる。

図 8.2.2 は 2SC1815 のデータシートから写し取った  $h$  パラメータである。用いたトランジスタは GR タイプである。コレクタ電流  $I_C = 1.2 [\text{mA}]$ 、周囲温度  $T_a = 20^\circ\text{C}$  付近では電流増幅率  $h_{fe0} \approx 270$ 、入力抵抗  $h_{ie} \approx 6 [\text{k}\Omega]$  と読める。3.6 節にならい入力抵抗  $h_{ie}$  を求めると次の通りとなる

(3.6.1)式よりエミッタ内部抵抗  $r_e$  は室温約  $20 [^\circ\text{C}]$ にて

$$r_e \approx \frac{kT}{q} = \frac{25}{1.2[\text{mA}]} = 21 [\Omega] \quad (8.2.2)$$

である。(3.6.16), (3.6.17)式より入力抵抗  $h_{ie}$  は

$$h_{ie} \approx r_{b'e} = (1 + h_{fe0})r_e = (1 + 270) \times 21 \approx 5.7 [\text{k}\Omega] \quad (8.2.3)$$

と求まる。

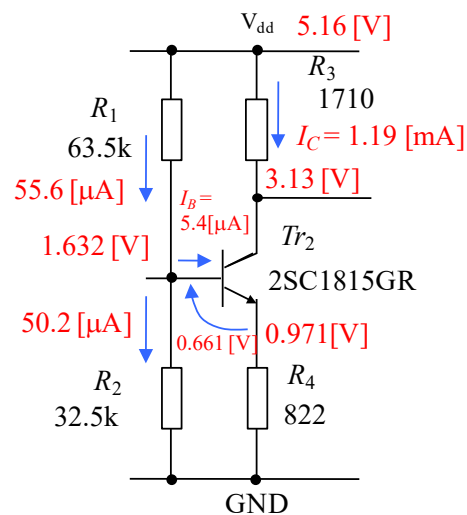


図8.2.1 直流回路

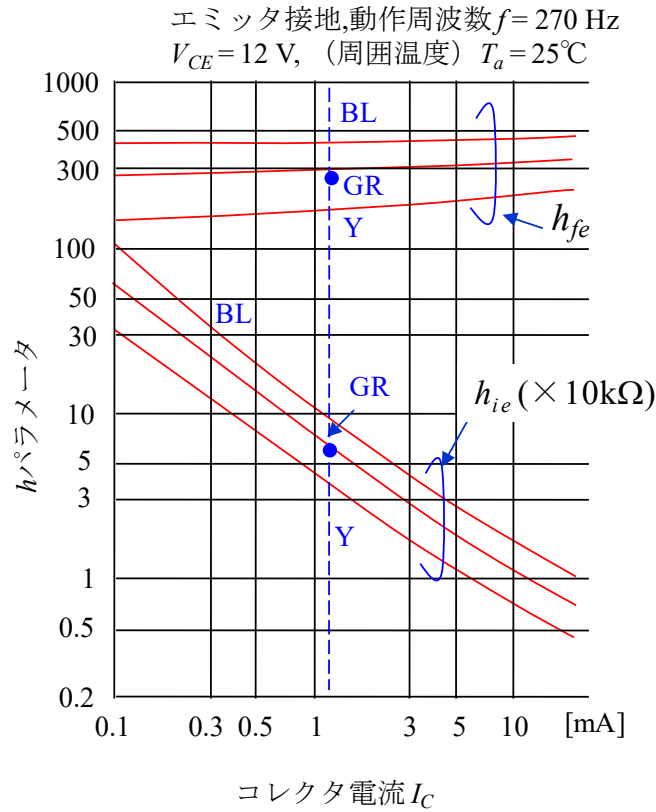


図8.2.2  $h$ パラメータ

以上より, 図 8.1.6 の高周波増幅回路の電圧増幅度  $G_{HF} [\text{dB}]$  は(3.4.3)式より

$$\begin{aligned}
 G_{HF} &= 20 \log \left| \frac{V_{HFo}}{V_{HF i}} \right| \\
 &= 20 \log \frac{R_x h_{fe}}{h_{ie}} \\
 &= 20 \log \frac{20 \times 10^3 \times 270}{5.6 \times 10^3} \\
 &\approx 60 [\text{dB}]
 \end{aligned} \tag{8.2.4}$$

と得られる. 図 8.1.7 の低周波増幅回路の電圧増幅度  $G_{LF}$  は

$$\begin{aligned}
 G_{LF} &= 20 \log \left| \frac{V_{LFo}}{V_{LF i}} \right| \\
 &= 20 \log \frac{1.7 \times 10^3 \times 270}{5.6 \times 10^3} \\
 &\approx 38 [\text{dB}]
 \end{aligned} \tag{8.2.5}$$

である. 図 8.2.3 は電圧増幅度  $G_{HF}$ ,  $G_{LF}$  の周波数特性を示す. それぞれ, 実線が計算値であ



り、○印が実測値である。  $G_{LF}$  は計算値と実測値がよく合ったが、  $G_{HF}$  では両者は大きく異なった。

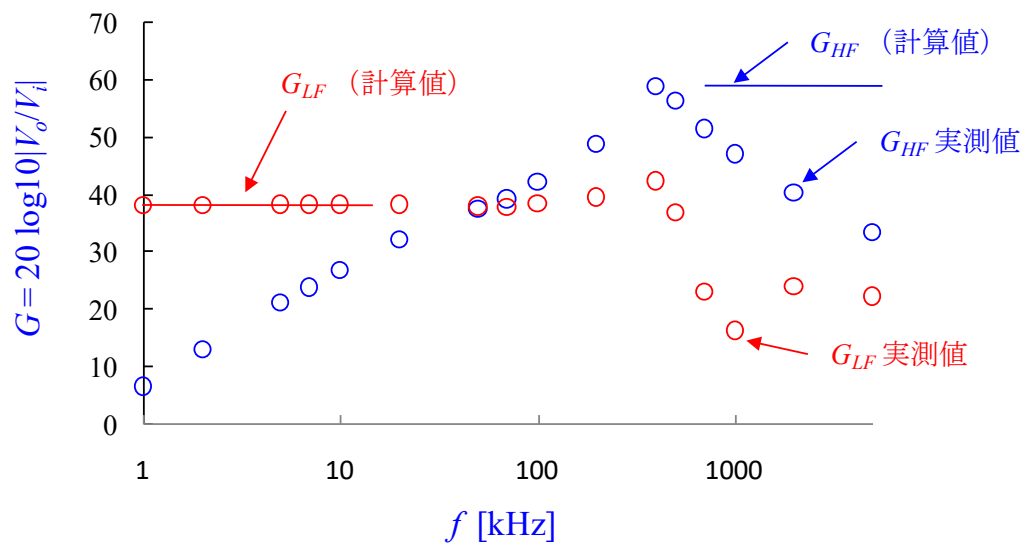


図8.2.3 レフレックスラジオの高周波増幅回路+低周波増幅回路の周波数特性の概略

7, 8 章の内容をまとめて, アマゾンより

[古橋武著「電子回路 III \(レフレックスラジオ\)」kindle 版](#)

として出版しています.

2010 年 1 月

著者： 古橋 武  
名古屋大学工学研究科情報・通信工学専攻  
furuhashi at nuce.nagoya-u.ac.jp