

## 第 5 章 復調回路

古橋 武

### 5.1 組み立て

### 5.2 理論

#### 5.2.1 ダイオードの特性と復調波形

#### 5.2.2 バイアス回路と復調波形

#### 5.2.3 復調回路(II)

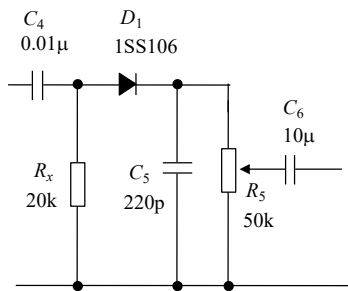
### 5.3 倍電圧検波回路

#### 5.3.1 倍電圧検波回路(I)

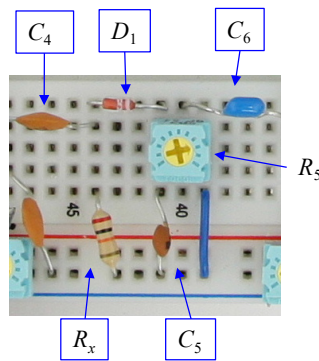
#### 5.3.2 バイアス回路付き倍電圧検波回路

本稿の Web ページ

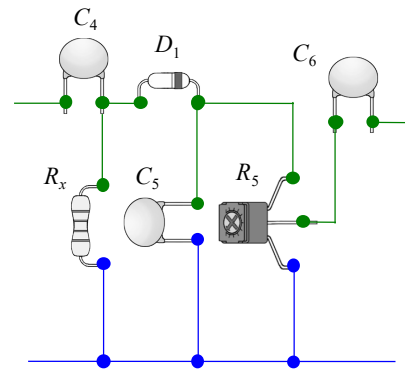
[http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Radio\\_note/index.html](http://mybook-pub-site.sakura.ne.jp/Radio_note/index.html)



(a) 回路図



(b) 組み立て図



(c) 立体配線図

図5.1.1 復調回路(I)

### 5.1 組み立て

図 5.1.1 は図 1.1.1~1.1.3 の復調回路部分の抜粋である。復調回路の中心素子はダイオードである。図 5.1.2 はダイオードの例を示す。いずれも帯のある側がカソード電極である。ダイオードにはゲルマニウムダイオード、シリコンダイオード、ショットキーバリアダイオードなどがある。ネットショップなどで手軽に入手できるダイオードには、例えばゲルマニウムダイオード 1N60, シリコンダイオード 1N4148, ショットキーバリアダイオード 1SS106, 1SS108

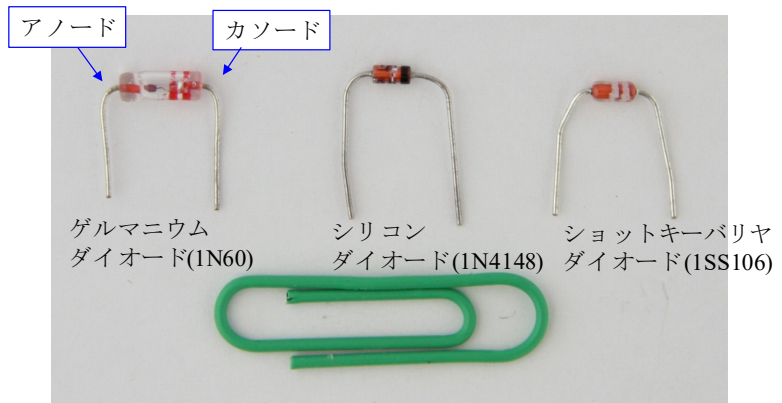


図5.1.2 ダイオード

などがある。図

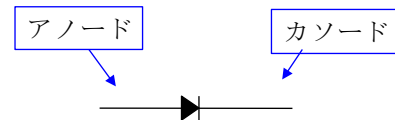


図5.1.3 ダイオードの記号

5.1.3 はダイオード

の記号である。シリコンダイオードを用いた場合、前段の高周波増幅回路の出力信号成分が小さいときには、全く音が出ない。5.2.2 項のバイアス回路が必要となる。一方、ゲルマニウムダイオードもしくはショットキーバリアダイオードであれば前段の出力が小さくてもバイアス回路を必要とせずにラジオ放送を聴くことができる。

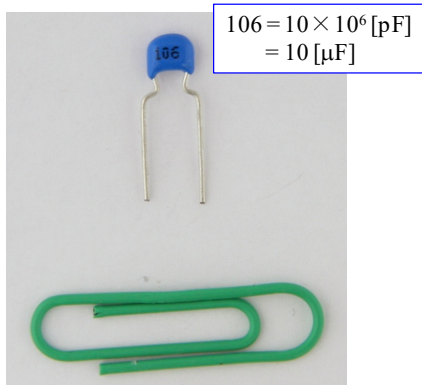


図5.1.4 積層セラミックコンデンサ

図 5.1.4 は積層セラミックコンデンサである。図は

10 [ $\mu$ F]のコンデンサである。

図 5.1.5 は復調回路の別の構成例である。インターネット上の製作例ではこちらの復調回路が多く見られる。この回路ではダイオード  $D_1$  にショットキーバリアダイオード、ゲルマニウムダイオード、シリコンダイオードのいずれを用いても復調が可能である。ダイオード  $D_1$  はトランジスタ  $Tr_1$  のコレクタ電極に直接接続され、高周波増幅回路と復調回路が直流的にも接続されている。一方、図 1.1.1 の復調回路ではコンデンサ  $C_4$  により高周波増幅回路と復調回路は直流的に絶縁されている。

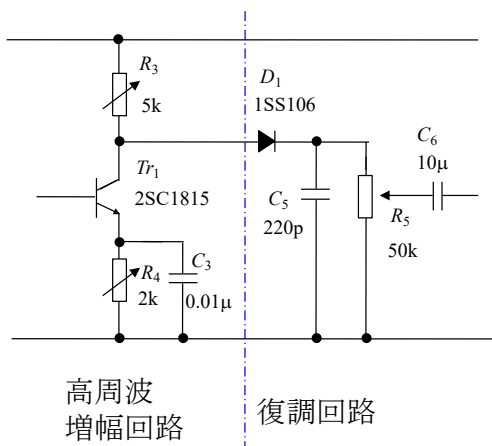
図 5.1.1 と図 5.1.5 の復調回路をそれぞれ復調回路(I), (II)とすると、以下の特徴がある。

復調回路(I): バイアス回路を設けることで音質を良くできる。(5.2.2 項)

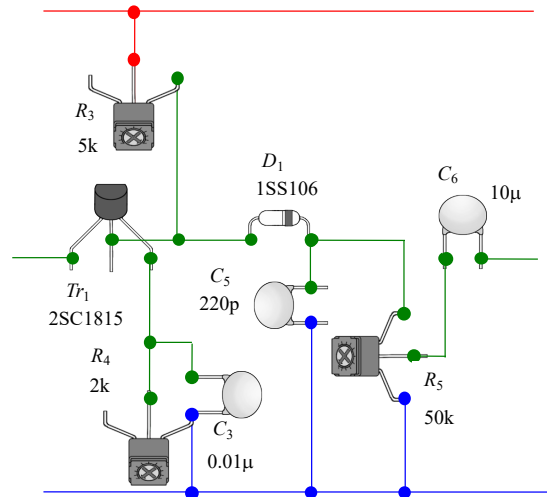
回路が複雑である。

復調回路(II): 回路が簡単である。

信号レベルが低い場合、音質が悪い。(5.2.3 項)



(a) 回路図



(b) 立体配線図

図5.1.5 復調回路(II)

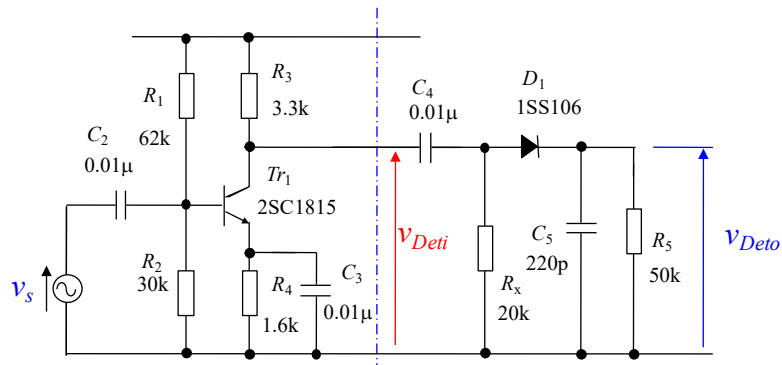
## 5.2 理論

### 5.2.1 ダイオードの特性と復調波形

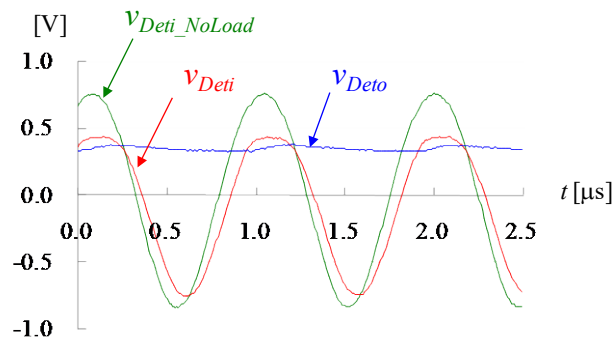
図5.2.1(a)に示すように高周波増幅回路に信号電圧  $v_s$  を注入して復調回路の入力電圧  $v_{Deti}$  と出力電圧  $v_{Deto}$  を測定した。信号電圧の周波数  $f=1$  [MHz] とした。同図(b)に測定結果を示す。コンデンサ  $C_4$  を抜き取って、高周波増幅回路を無負荷とした場合の電圧  $v_{Deti\_NoLoad}$  を併せて示す。

どうしてこのような波形になるのだろうか？

という疑問に答えることから本章の解説を始める。



(a) 実験回路



(b) 測定波形

図5.2.1 復調回路の波形測定

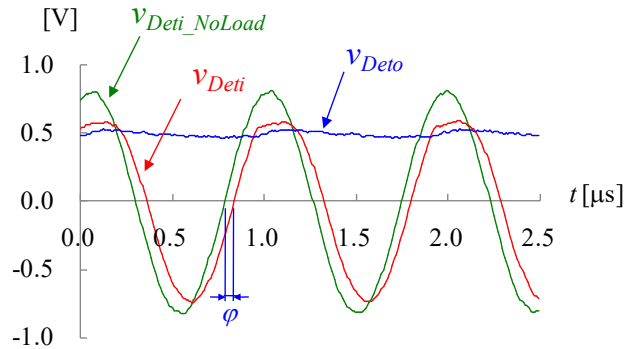
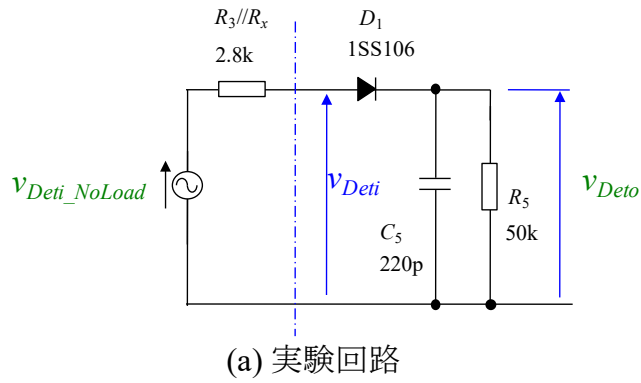
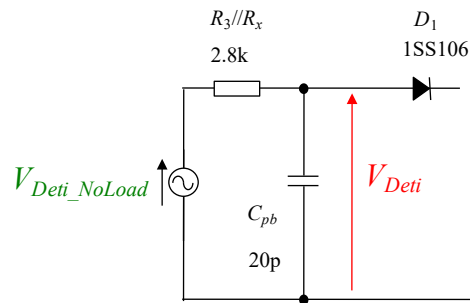


図5.2.2 高周波増幅回路と復調回路の等価回路

復調回路から見た高周波増幅回路は、鳳一テブナンの定理により電圧源  $v_{Deti\_NoLoad}$  と高周波増幅回路の出力インピーダンス  $R_3$  および抵抗  $R_x$  の並列回路 ( $R_3//R_x$  と表記する) で置き換えることができる。図 5.2.2 (a) に高周波増幅回路を信号源  $v_{Deti\_NoLoad}$  と抵抗  $R_3//R_x$  で置き換えた等価回路を示す。この回路をブレッドボード上に構成し、信号源  $v_{Deti\_NoLoad}$  に  $f = 1$  [MHz] の信号電圧を与えた場合の各部の観測波形を同図(b)に示す。波形から、復調回路の入力電圧  $v_{Deti}$  の正の半波において波形が回っているのは、ダイオード導通時における抵抗  $R_3//R_x$  による電圧降下が原因であることが分かる。



また、 $v_{Deti\_NoLoad}$  と  $v_{Deti}$  の位相差は抵抗  $R_3//R_x (=2.8$  [k $\Omega$ ]) とプローブの静電容量  $C_{pb}$  によるものであることが分かる。なぜなら、ダイオード非導通時には図 5.2.3 の等価回路が成立し、この回路において

$$V_{Deti} = \frac{1}{1 + j\omega C_{pb} (R_3 // R_x)} V_{Deti\_NoLoad} \quad (5.2.1)$$

より,  $V_{Deti}$  の  $V_{Deti\_NoLoad}$  に対する位相差  $\phi$  は

$$\phi = -\tan^{-1}(\omega C_{pb}(R_3 // R_x)) = -19 [\text{deg}] \quad (5.2.2)$$

となり, 実験結果とほぼ一致している.

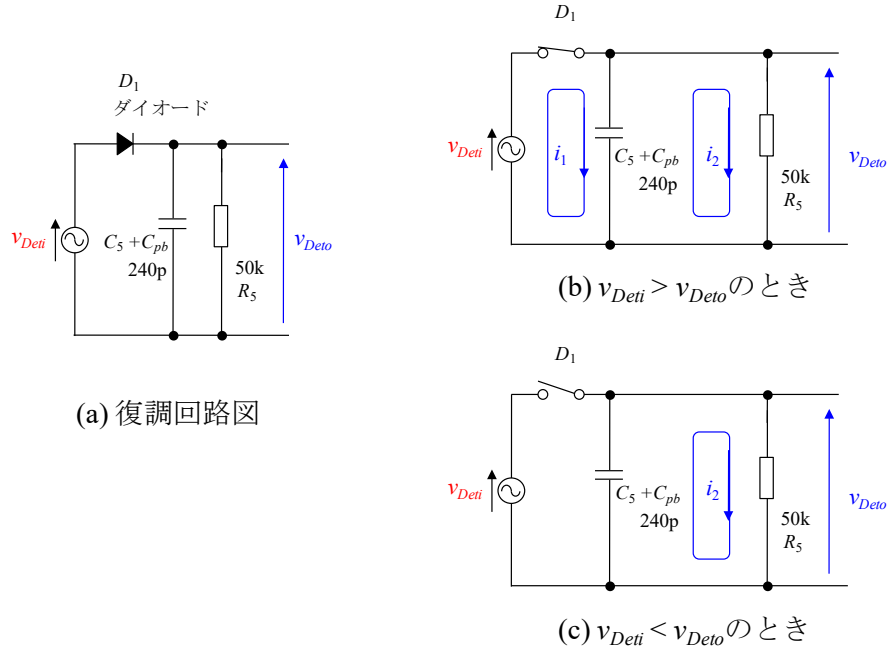


図5.2.4 ダイオードをスイッチで近似した復調回路

ダイオードの働きはスイッチで近似することでまず基本動作を知ることができる. 図 5.2.4 はダイオードをスイッチで近似した等価回路である. 簡単のため抵抗  $R_3 // R_x$  は省略してある. また, スイッチがオンのときスイッチの抵抗はゼロとする. 復調回路の入力電圧  $v_{Deti}$  と出力電圧  $v_{Deto}$  の大小関係により回路には二つの動作モードが存在する. 同図(b)は  $v_{Deti} \geq v_{Deto}$  のときの動作モードであり, (c)は  $v_{Deti} < v_{Deto}$  のときの動作モードである.

$v_{Deti} \geq v_{Deto}$  のときダイオードは導通し, 回路には信号源からの充電電流  $i_1$  およびコンデンサの放電電流  $i_2$  が流れる. このとき

$$v_{Deti} = v_{Deto} \quad (5.2.3)$$

となる.

$v_{Deti} < v_{Deto}$  のときダイオードは非導通となり, 回路にはコンデンサの放電電流  $i_2$  のみが流れる. コンデンサの電荷を  $q$  とすると

$$R_5 i_2 = \frac{q}{C_5 + C_{pb}} \quad (5.2.4)$$

$$\frac{dq}{dt} = -i_2 \quad (5.2.5)$$

の回路方程式が成立する. よって,

$$R_5 \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C_5 + C_{pb}} = 0 \quad (5.2.6)$$

となる。この微分方程式を、初期条件  $t=0$  のとき  $q_0 = (C_5 + C_{pb})V_0$  の下で解くと

$$q = (C_5 + C_{pb})V_0 \exp\left(-\frac{t}{R_5(C_5 + C_{pb})}\right) \quad (5.2.7)$$

と得られる。出力電圧  $v_{Deto}$  は

$$v_{Deto} = \frac{q}{C_5 + C_{pb}} = V_0 \exp\left(-\frac{t}{R_5(C_5 + C_{pb})}\right) \quad (5.2.8)$$

となる。

図 5.2.4 の復調回路において、出力電圧  $v_{Deto}$  のシミュレーション波形を図 5.2.5 に示す。ダイオード導通時は(5.2.3)式を用い、ダイオード非導通時は(5.2.8)式を用いた。入力電圧  $v_{Deti}$  の振幅  $V_{Detim} = 0.8$  [V]、周波数  $f = 1$  [MHz] のときの例である。

図 5.2.2 と図 5.2.5 の結果を比較すると、ダイオード非導通時の  $v_{Deto}$  の減衰特性が(5.2.8)式により表されていることが分かる。

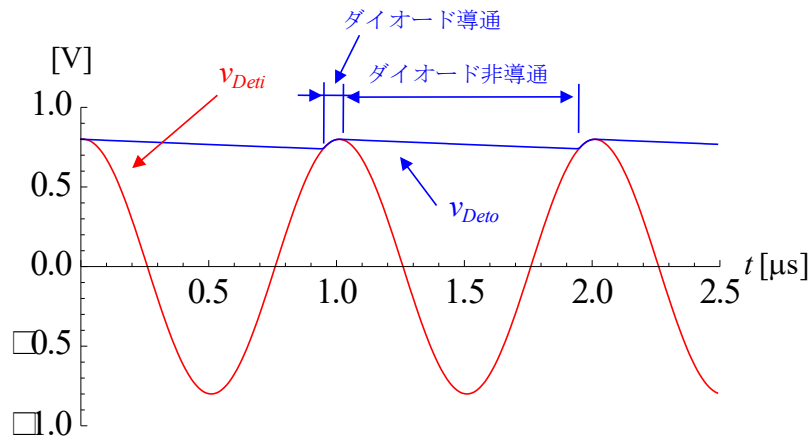


図5.2.5 ダイオードをスイッチで近似した復調回路のシミュレーション波形例

図 5.2.6 は図 5.2.4 の回路に AM 信号を与えた場合の復調波形例である。AM 信号は

$$v_{Deti} = (V_{cm} + V_{sm} \cos \omega_s t) \sin \omega_c t \quad (5.2.9)$$

として、キャリアの振幅  $V_{cm} = 0.5$  [V]、周波数  $f = 729$  [kHz]、音声信号の振幅  $V_{sm} = 0.4$  [V]、周波数  $f = 4$  [kHz] としたときの波形例である。信号波形  $V_{sm} \cos \omega_s t$  が復調回路の出力電圧  $v_{Deto}$  にほぼ忠実に再現されている。

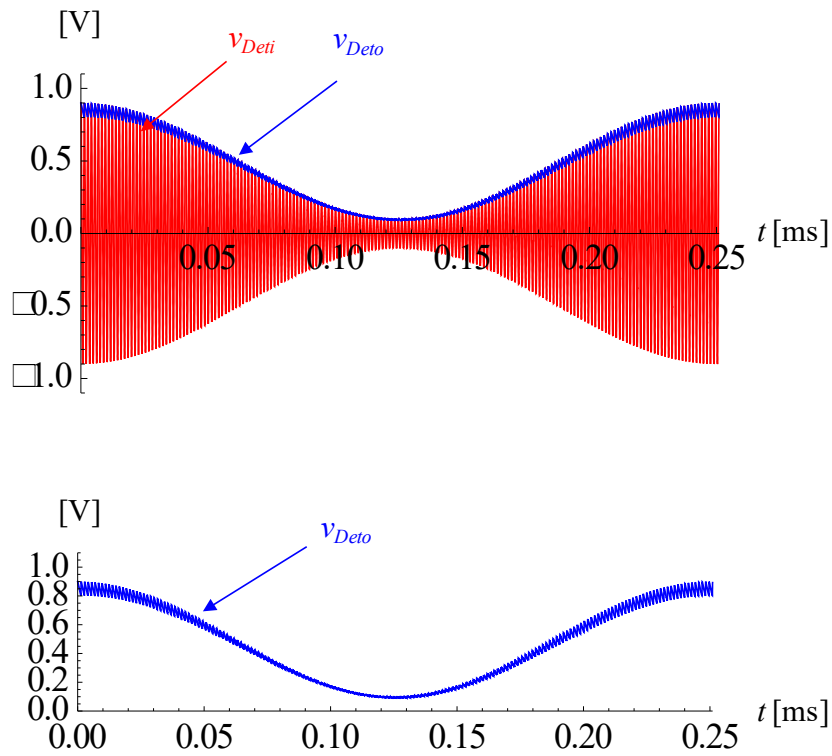


図5.2.6 ダイオードをスイッチで近似した復調回路によるAM信号の復調波形例

ダイオードを理想的なスイッチとした[図5.2.5](#)の結果に対して、現実には[図5.2.1](#)の波形である。現実の復調回路においては、信号波形が忠実に再現されるとは限らない。 $v_{Deti}$ の  $v_{Deti\_NoLoad}$  に対する位相遅れと  $v_{Deto}$  の減衰特性については上述した。ダイオード導通時におけるダイオード  $D_1$  による電圧降下の影響を以下に解説する。



本書の内容をまとめてアマゾンより

[古橋武著「電子回路の基礎 II \(FET 増幅回路, 復調回路, 低周波増幅回路\) 改訂版」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 nuee.nagoya-u.ac.jp

本稿の内容は、著作権法上で認められている例外を除き、著者の許可なく複写することはできません.