

# 電気電子工学概論 (実習の部) テキスト

— AM 発振器の作製と SPICE を用いた動作解析 —

山本健一

## 実習内容

1. 発振回路の作製
2. 低周波増幅部の作製
3. LC による発振周波数の決定
4. SPICE を用いた動作解析

# 1 発振回路の作製

まず図1の回路をブレッドボード上に作製します。

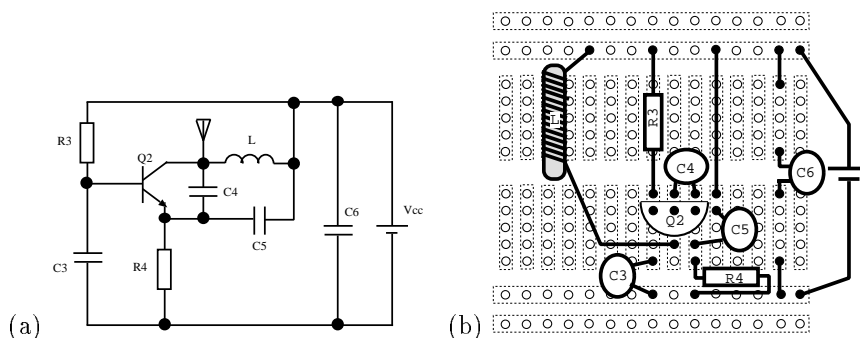


図1: コルピッツ式発振回路; (a) 回路図, (b) 実体配線図

実体配線図を同図(b)に示しますので参考にしてください。ブレッドボードは電子回路を簡易的に作製するための器具です。ブレッドボードの穴には素子のリード線やジャンパー線を穴に差し込むことができます。同図中点線で囲われた部分の穴はブレッドボード内部で電氣的に接続されています。そのため、同図(b)の様に素子の足を穴に差し込むことで、同図(a)の回路を作製することができるのです。

表1: 図1で使用する素子値

C3	4700pF(0.0047 μF)	(472)
C4	1000 pF(0.001μF)	(102)
C5	1000 pF(0.001μF)	(102)
C6	470000pF(0.47 μF)	(474)
L	92 μH (0.092mH)	
R3	110kΩ	(茶茶黄金)
R4	1kΩ	(茶黒赤金)
Q	2SC1815Y	

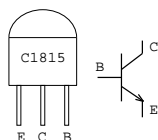


図2: トランジスタ (2SC1815Y)

各素子の値を表1に示します。トランジスタの足と回路図とは図の様に  
対応しています。ここでE, C, Bはそれぞれエミッタ, コレクタ, ベースと名前  
が付いています。

全ての回路素子を間違えない様に配線してください。回路の作製と配線の  
確認が終わったら、電源のスイッチを入れて、その出力電圧を9Vに合わせて下  
さい。トランジスタのコレクタ端子にオシロスコープを接続して波形を観察  
して下さい。オシロスコープの使用方法は少し複雑ですので実物を見ながら  
説明します。バイアス(直流が重畳)された交流波形が観察されていればOK  
です。

#### 回路素子の単位について

- C: コンデンサを表します。単位はF(ファラッド)です。
- R: 抵抗を表します。単位は $\Omega$ (オーム)です。
- L: インダクタ(コイル)を表します。単位はH(ヘンリー)です。
- 補助単位

表記	読み	意味
M	メガ	$\times 10^6$
k	キロ	$\times 10^3$
m	ミリ	$\times 10^{-3}$
$\mu$	マイクロ	$\times 10^{-6}$
n	ナノ	$\times 10^{-9}$
p	ピコ	$\times 10^{-12}$

## 2 低周波増幅部の作製

次に低周波増幅部の作製を行って下さい。図3に回路図を示します。回路素子の値は表2に示します。

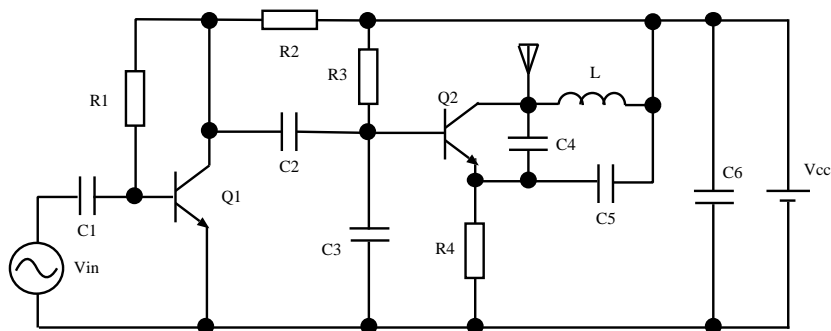


図 3: 変調回路

表 2: 図 3 で使用する素子値

C1	0.15 $\mu$ F	(.15)
C2	0.15 $\mu$ F	(.15)
C3	4700 pF (0.0047 $\mu$ F)	(472)
C4	1000 pF	(102)
C5	1000 pF	(102)
C6	0.47 $\mu$ F	(474)
L	92 $\mu$ H	
R1	470k $\Omega$	(黄紫黄金)
R2	4.7k $\Omega$	(黄紫赤金)
R3	100k $\Omega$	(茶黒黄金)
R4	1.1k $\Omega$	(茶茶赤金)
Q1	2SC1815Y	
Q2	2SC1815Y	

少し部品の数が増えましたがすぐに完成しましたね。

AM ラジオを持って来てスイッチを入れてください。受信周波数を先の発振周波数付近に合わせます。作製した回路のアンテナの向きを変えてみてください。アンテナの方向変化に合わせてラジオから聞こえる雑音に変化すればラジオの周波数ダイヤルは発振器の発振周波数に合っています。スピーカーに向かって何かしゃべってみましょう。ラジオからあなたの音が聞こえればOK です。

### 3 LCによる発振周波数の決定

回路に使われている L, C3, C4, C5 の値を変えてみてください。回路の発振周波数が変化します。いろいろな組合せを試してください。

表 3: 回路素子と発振周波数

C3=4700pF, C4=1000pF, C5=1000pF

L(mH)	0.015	0.092	0.216
実験 (kHz)			
SPICE(kHz)			

L=0.092 mH, C4=1000pF, C5=1000pF

C3(pF)	10000 (102)	4700 (472)	33000 (333)
実験 (kHz)			
SPICE(kHz)			

L=0.092mH, C3=4700 pF, C5=1000pF

C4(pF)	100 (101)	1000 (102)	33000 (333)
実験 (kHz)			
SPICE(kHz)			

L=0.092mH, C3=4700 pF, C4=1000pF

C5(pF)	100 (101)	1000(102)	33000(333)
実験 (kHz)			
SPICE(kHz)			

## 4 SPICE を用いた動作解析

### 4.1 ソースファイルの作成

図 4 に解析に用いる発振回路を示します<sup>1</sup>。同図中の各節点には節点(ノード)番号が付してあります。節点(ノード)とは、回路上で素子と素子とを結んだ点のことです。ここはリード線(抵抗が零)で結ばれているので同一の電位になっています。節点番号は「グランド(接地電位)を 0 番」とする他は重複しなければどんな番号(自然数)でも構いません。

図 4 を元にして書いた SPICE 解析用のソースファイルを図 5 に示します。これを mule などのエディタを用いて作成してください。作成が終了したら適当な名前(例えば「am.cir」)を付けて保存してください。

### 4.2 SPICE の起動

kterm 上で次のように入力してください。

```
> ls
```

先につくったファイル「am.cir」がリストにありましたか?それでは解析を始めます。同じく kterm 上で

```
> spice3 am.cir
```

と入力してください。

```
Spice 1 ->
```

というプロンプトが表示されます。ここで画面上に現れた「Spice 1->」という表示は、現在 SPICE が立ち上がっていて SPICE があなたの命令を待っていることを表しています。つまりこのときには UNIX のコマンドを一切使うことはできませんので注意して下さい。

### 4.3 解析

解析を始めてみましょう。

```
Spice 1 -> run
```

と入力してください。コンピュータが解析を始めます。解析が終了すると

```
Spice 2 ->
```

というプロンプトがでますので、

```
Spice 2 -> plot v(8)
```

と入力してください。すると節点 8 の電圧波形が図 6(横軸に時間、縦軸に電圧)の様に出力されます。そこで同図の一部をマウスを使って図 7(a)の様

<sup>1</sup>解析用の回路図と実際に作製した回路とは若干異なっていることに気づいた方もおられると思います。パルス信号源とコンデンサが挿入されています。これは実際の発振が回路中の微細な雑音を元起こることに起因していることを表現するために挿入されています。実際にこれらの素子なしに SPICE 上で発振回路は動作しません。

の右ボタンを押します。そのまま右ボタンを押し続けながら右下までマウスカーソルを移動させた後に右ボタンから指を離します。)すると図 7(b) の様に拡大されます。

#### 4.4 結果の解析

次にこの波形 (搬送波) の発振周波数を調べてみましょう。図 7 の最初の山の頂点にマウスカーソルを合わせて、そこで右クリックしてください。SPICE のコンソール画面に X 軸 (時間) と Y 軸 (電圧値) が出力されます。同様に 2 番目の山の頂点も調べて下さい。交流波形の一周期はこれら山と山の間の時間のことでしたね。先に求めた 2 つの点の時間の差を求めれば波形の周期 (T) になります。その逆数 (1/T) が周波数です。

素子の値 (L,C3,C4,C5) を変えて発振周波数を調べてみてください。そして先に実験した値と比較して見て下さい。

#### 4.5 振幅変調 (AM) 回路の各部波形

SPICE をもうすこし使ってみてみたい方は、図 3 に対応するソースファイルを図 8 に載せておきますので、これの各部の波形を観察してください。解析時間が少し長くかかるかも知れません。そのときには「.TRAN 2ns 3000ns 0s 2ns」中の「3000ns」を小さくして下さい。

```
Spice -> plot v(8)
```

によって出力の波形を見ると振幅変調 (AM) されている様子がわかると思います。興味のある人は他の点の電圧も観察してみてください。回路の動作が分かって面白いと思います。

## 5 最後に

解析が終わったら、

```
Spice -> quit
```

と入力して spice を終了させて下さい。

画面のスクリーンショットを取りたい時には、kterm の画面上で

```
> import test.eps
```

などと入力した後、取りたい画面を左クリックするとファイルに取り込めます。

表 3 を完成させてレポートを作成し、山本まで提出して下さい。なお、レポートには表 3 だけでなく、その他行った追加事項についても書き込んで構いません。

以上で電気電子工学概論の実習 (山本担当分) は終了です。お疲れさまでした。

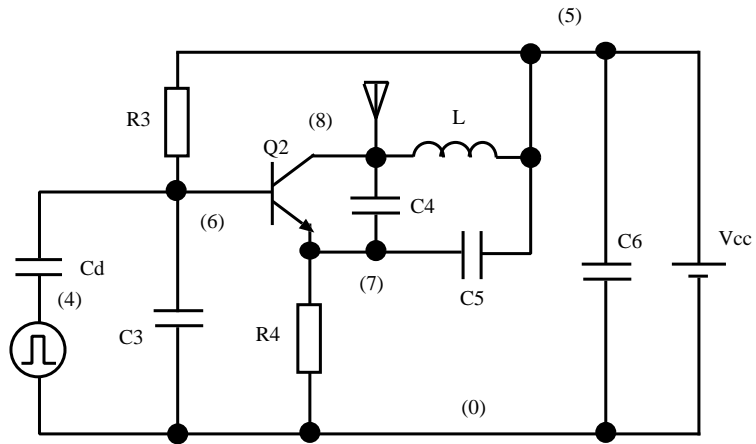


図 4: 発振回路 (解析用の節点番号付)

```

AM gen.
Vdummy 4 0 PULSE(0V 1V 10ns 0 0 100ns 1000ms)
Cd 4 6 470pF
R3 5 6 100k
C3 6 0 0.0047uF
R4 7 0 1k
Q2 8 6 7 QC1815
C4 8 7 1000pF
C5 7 5 1000pF
C6 5 0 0.47uF
L 8 5 0.092mH
Vcc 5 0 9V
*
.MODEL QC1815 NPN (IS=4E-14 BF=170 BR=3.6 VA=100 IK=0.25 RB=50 RC=0.76
+
CJC=4.8p CJE=12p TF=0.63n TR=25n)
*
.TRAN 1ns 100000ns 0s 1ns
.END

```

図 5: SPICE 用のソースファイル



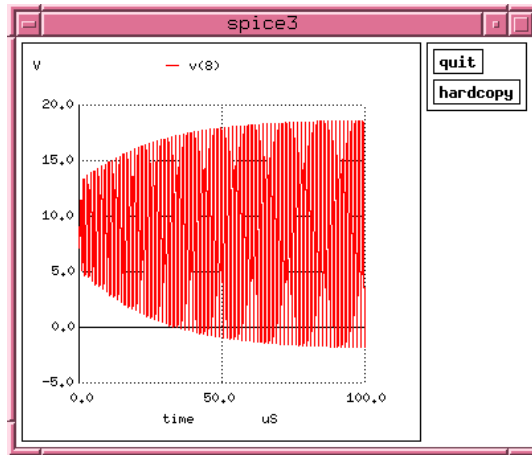


図 6: 節点 8 の電圧波形

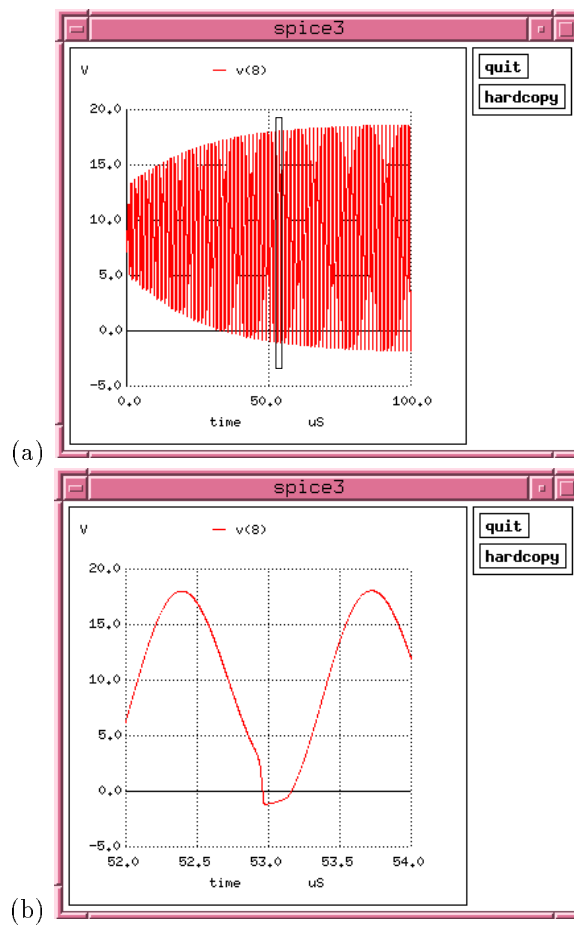


図 7: 節点 8 の電圧波形の部分拡大

```

AM gen.
Vin 1 0 sin(0 0.01 10000)
C1 1 2 4.7uF
R1 2 3 470k
R2 3 5 4.7k
C2 6 3 4.70uF
Q1 3 2 0 QC1815
*
Vdummy 4 0 PULSE(0V 1V 10ns 0 0 100ns 1000ms)
Cd 4 6 470pF
R3 5 6 100k
C3 6 0 0.0047uF
R4 7 0 1k
Q2 8 6 7 QC1815
C4 8 7 1000pF
C5 7 5 1000pF
C6 5 0 0.47uF
L 8 5 0.092mH
Vcc 5 0 9V
*
.MODEL QC1815 NPN (IS=4E-14 BF=170 BR=3.6 VA=100 IK=0.25 RB=50 RC=0.76
+
          CJC=4.8p CJE=12p TF=0.63n TR=25n)
*
.TRAN 2ns 300000ns 0s 2ns
.END

```

図 8: 図 3 の回路動作を解析するためのソースファイル