丙类高频谐振功率放大器实验

实验二丙类高频功率放大器实验

特别提示：

1．本电路的核心是谐振功率放大器，因此，实验前必须认真预习有关教材，熟

悉谐振功率放大器的基本特性，实验中所有调整过程，无一不是以理论为基

础的。

2．认真阅读本实验指导书，特别是对于画有波浪线的文字，实验中要给与关注。

一．实验目的

1．通过实验，加深对于高频谐振功率放大器工作原理的理解。

2．研究丙类高频谐振功率放大器的负载特性，观察三种状态的脉冲电流波形。

3．了解基极偏置电压、集电极电压、激励电压的变化对于工作状态的影响。

4．掌握丙类高频谐振功率放大器的计算与设计方法。

二。预习要求：

1．复习高频谐振功率放大器的工作原理及特点。

2．熟悉并分析图3所示的实验电路，了解电路特点。

三．电路特点及实验原理简介

1．电路特点

本电路的核心是谐振功率放大器，在此电路基础上，将音频调制信号加入集电

极回路中，利用谐振功率放大电路的集电极调制特性，完成集电极调幅实验。当电

路的输出负载为天线回路时，就可以完成无线电发射的任务。为了使电路稳定，易

于调整，本电路设置了独立的载波振荡源。

2．高频谐振功率放大器的工作原理

参见图1。

*i*  c

*i*  b

T

*i*cm

*i*  b

*C*

*R*L

*L*

0

*U*be

  *t*

*u* b ~

*V*bb

*V*bz

ωt



θ

*i*  e

*U*be

*U*bm

*V* bb

*V*cc

  *t*

ωt

图 **2 ic**与 **ub**的关系

图1高频功放原理图

- 5 -

丙类高频谐振功率放大器实验

谐振功率放大器是以选频网络为负载的功率放大器，它是在无线电发送中最为

重要、最为难调的单元电路之一。根据放大器电流导通角的范围可分为甲类、乙类、

丙类等类型。丙类功率放大器导通角θ＜90，集电极效率可达80%，一般用作末级

0

放大，以获得较大的功率和较高的效率。

图1中，Vbb为基极偏压，Vcc为集电极直流电源电压。为了得到丙类工作状态，

Vbb应为负值，即基极处于反向偏置。ub为基极激励电压。图2示出了晶体管的转移

特性曲线，以便用折线法分析集电极电流与基极激励电压的关系。Vbz是晶体管发射

结的起始电压（或称转折电压）。由图可知，只有在ub的正半周，并且大于Vbb和Vbz

绝对值之和时，才有集电极电流流通。即在一个周期内，集电极电流ic只在-θ～+

θ时间内导通。由图可见，集电极电流是尖顶余弦脉冲，对其进行傅里叶级数分解

可得到它的直流、基波和其它各次谐波分量的值，即：

ic=IC0+IC1mCOSωt+IC2MCOS2ωt+…+ICnMCOSnωt+…

*COS*  *Vbz* *Vbb*

*Ubm*

求解方法在此不再叙述。为了获取较大功率和有较高效率，一般取θ=70～80

0 0

左右。

完整的电路图见图 3。

J5

Vcc

P10

R6

L6

L4

L5

330

1

330

R19

1

200

330

D1

C2

C7

.01

GND

2

2

1

1

C21

C20

0.01

.01

C11

.01

3K

.01

LED

GND

1

3

Vin

U1

Vout

GND

GND

C23

.01

GND

GND

Rp1

47K

P4

7805

R18

1.8K

P3

C22

T2

J3

10

R2

1

1 6

2

6

4

D2

LED

Rp3

2.2K

12K

R5

R7

51K\*

2

3

R20

240

3K

3 4

GND

X2

V2

-Vbb P2

1

GND

C5

1

1

3

2

4

1

3

J4

2

4

M2

C18

0.01

470P

C4

51P

X3

C19

M1

L2

Rp2

10K

GND

C12

0.01

R0

0

M3

R9

CT3

C10

0.01

R13

1K

2

2

P11

360

Y1

R11

62p\*

C24

R3

C8

0~20p

ANTENA

1

T1

6

30K

C13

R15

30K\*

R17

1 6

2

.01

CT2

0~20p

C17

10K\*

CT4

2

3

1000p\*

X1

91p\*

1

68p\*

P9

V3

0~20p

3 4

4

V1

J1

C9

6800P

1667

L1

1

3.9μH

V4

10K\*

2

1

667

B

P6

P7

P8

C6

200P

B

2

GND

TRANS-1

L3

330μH

J2

C3

R8

360

R10

6.2K

R12

30

1000P

C14'

C14

CT1

C1

.01

R1

R4

0~20p

R16

C16

24p\*

270p\*

R14

C15

RL1

RL2

RL3

5.6K

1.5K

.01

120

75

39

0.01

1.5

P5

1

1.5K\*

1

P1

GND

P12

图  **3**

高频功放（调幅）及发射电路原理图

图中，V1、V2构成了独立的石英晶体振荡电路，为实验提供了稳定的载波信号，

大大方便了电路的调整。V3为推动级，为末级功放电路提供足够的激励电压。V4构成

丙类谐振放大电路。为了能较好的演示功放电路的负载特性，较为方便的观察脉冲

- 6 -

丙类高频谐振功率放大器实验

电流，本电路采用了独立的偏置电路，由RP2、R15、R14构成的分压器对-12V进行分压，

为功放级提供适当的负偏压，确保工作在丙类状态。RL为负载电阻，在负载电阻和

功放电路集电极之间采用变压器电路，以完成负载和集电极之间阻抗变换。在功放

输出级电路中设置了三个跳线短路端子J2、J3和J4。J3可完成+12V电源和+6～9V可

调电源之间的转换，以观察集电极调制特性以及完成调幅电路的实验。J2是为了观

察负载特性而设置的，当J2断开时，在R16上可直接观察到脉冲电流波形，从而可较

为直观的观察到负载特性，便于加深对于谐振功率放大电路的理解。而J2短接时，

可得到稍大一些的输出电压。J4是为了在集电极回路中加入低频调制信号而设置的。

3．高频功放电路的调谐与调整原则

理论分析表明，当谐振功率放大器集电极回路对于信号频率处于谐振状态时（此

时集电极负载为纯电阻状态），集电极直流电流IC0为最小，回路电压UL最大，且同

时发生。然而，由于晶体管在高频工作状态时，内部电容Cbc的反馈作用明显，上述

IC0最小、回路电压UL最大的现象不会同时发生。因此，本实验电路，不单纯采用监

视IC0的方法，而采用同时监视脉冲电流iC的方法调谐电路。由理论分析可知，当谐

振放大器工作在欠压状态时，iC是尖顶脉冲，工作在过压状态时，iC是凹顶脉冲，

而当处于临界状态下工作时，iC是一平顶或微凹陷的脉冲。这也正是高频谐振功率

放大器的设计原则，即在最佳负载条件下，使功率放大器工作于临界状态，以获取

最大的输出功率和较大工作效率。本电路的最佳负载为75Ω。因此调试时也应以此

负载为调试基础。

四．实验仪表设备

1．双踪示波器

2．直流电压表

3．直流电流表

4．高频电路学习机

5．高频功放（调幅）及发射实验电路板（G2F）

五．实验内容及步骤

1．按图连接好实验电路板所需电源（±12V）。[-Vbb接-12V]

2．功放级静态工作点的调整

A．用短路环将J3的1、2端和J4的2、4端短路，以使+12V电源直接提供给功放

输出级的集电极回路。(注意：此时一定要使J5或J1保持开路状态，否则，

静态工作点将受到本振电压的影响。)

B．用万用表测试V4的基极电压。调整RP2，使V4B =-0.3V左右。

3．调整载波振荡源

接通J5，以给载波振荡电路加电。J1仍保持开路状态，然后在测试点M1处接入

示波器，以观察振荡波形。调整Rp1，使载波振荡源输出UO =1V左右。

4．推动级的调整

- 7 -

丙类高频谐振功率放大器实验

用短路环短接J1，使载波振荡信号[f0=6.5MHz，UO≈1V(p-p)]通过C9接至晶体

管V3的基极。在M2端用示波器观察推动级的输出波形，由于功放级输入端阻抗

元件的影响，波形为一失真的正弦波，此时不必做很多调整工作，只要证实推动

级已经工作即可。

5．脉冲电流及放大特性的观察

保持前面的电路连接不变，将J2的短路环取下，使C16 开路。将负载电阻接至

75Ω。

将示波器1通道测试探头（衰减10倍，下同）连接至V4的发射极电阻上（即

J2的1端），灵敏度置于20mV/DIV档（由于探头有10倍衰减，故实际相当于

200mV/DIV）,用以监测脉冲电流。将示波器2通道测试探头（ 衰减10倍，下

同）连接至测试点M3处，灵敏度置于0.2V/DIV档（由于探头有10倍衰减，

故实际相当于2V/DIV），用以监测功放级的输出波形。

A.负载特性的观察

i.仔细调整 CT4，使输出回路谐振，且实现负载到集电极间的阻抗转换。观察

M3处的波形，应能得到失真最小的正弦波形。同时观察 V4的发射极（取样）

电阻上的波形，是否得到了一个临界状态的脉冲电流波形（略有凹陷的波形）。

若未能观察到临界状态的脉冲电流，则需要仔细调整 CT2、CT3，使功放级的

输入达到较好的匹配状态，必要时还需适当地调整载波信号源的输出幅度。正

常情况下，在 M3处观察到的输出波形幅度应不低于 9.4V。

ii.保持信号源频率和幅度不变，将负载分别接至120Ω和39Ω，应能观察到过

压和欠压状态的脉冲电流形状。若不能，则电路还需做细心调整，直至在保

持信号源频率和幅度不变得情况下，随着负载的改变可出现过压、临界、和

欠压的三种状态的脉冲电流波形。

三种状态的脉冲电流波形大致如图所示。

RL=120Ω

RL=75Ω

RL=39Ω

图4不同负载下的脉冲电流波形

上述脉冲波形，描绘了放大器的负载特性，即随着Rc的增大，Ic随之减小。

放大状态由欠压状态向过压状态过渡。

iii.当观察到负载特性后，记录三种负载条件下的负载上获得的输出电压UL(P-P)，

电源提供给功放管集电极的电压UC，为了避免电压表输入阻抗对于输出回路

的影响，测量UC应当在J4的2端测试。测试三种状态下的集电极直流电流时，

既可以采用在J4的2、4两点间接入直流电流表(200mA档)直接读数，也可

以采用测量发射极（取样）电阻上的压降再换算成电流的方法。但电流表接

- 8 -

丙类高频谐振功率放大器实验

入回路中后，会对输出及脉冲电流波形产生一定影响，所以推荐采用第二种

方法测试集电极直流电流。换算方法：IC0=VE/RE(已知RE=1Ω)。最后将测试结

果填入表中。

表1

高频功放实验数据记录表

实测数据

计算结果

PL(mW)

RL（Ω）

ICO(A)

VL(P-P)

(V)

VC(V)

PS(mW)

η(%)

39

75

120

B.集电极调制特性的观察

将负载置于39Ω档，输入信号电压及Eb保持不变，用短路环将J3 的2、3端短

接，用6～9V可调电源给功放管的集电极供电。调整RP3,观察发射极脉冲电流

波形的变化，这些变化描述了丙类功放电路的集电极调制特性，即随着Vcc增

大，脉冲电流将会由过压状态向临界再向欠压状态变化。

EC=10V

EC=6V

图5EC不同时的脉冲电流波形（RL=39Ω）

C.基极调制特性的观察

将负载置于75Ω，电源电压Vcc=12V，输入信号幅度保持不变，调整RP2，仔细

观察脉冲电流的形状与幅值的变化，它描述了谐振功率放大器的基极调制特

性。

D.放大特性的观察

保持Vcc、Eb、RL不变，改变输入电压的幅值，可以看出随着信号幅度由小到大

变化，脉冲电流将由欠压状态向临界状态再向过压状态变化的现象。

六．问题思考

1．若谐振放大器工作在过压状态，为了使其工作在临界状态，可以改变哪些因素？

2．设计一自给偏压工作方式的丙类谐振放大器。

七．附录

1．效率的计算与计算公式说明

利用下面提供的公式和前述表中的测试结果计算三种负载条件下的效率，并

- 9 -

丙类高频谐振功率放大器实验

将结果填入表中。

电源提供给功放级的总功率：PS=ICO×VD

负载上得到的功率：

PL=VOP-P／8RL

2

η=PL／PS

功率放大级的总效率：

本电路的总效率一般可达到65%左右，实际上集电极效率可达80%左右。

- 10 -