

丙类功率放大器的仿真

班级：20 电信 2 班 学号：2047401046 姓名：高诗倩

摘要：本报告主要讨论丙类功率放大器的工作原理和实际应用，并设计一种基于 Multisim 的丙类功率放大器电路，利用 Multisim 对该电路进行仿真，加深对丙类功率放大器工作状态、负载特性以及集电极调制特性的理解。

关键词：高频；丙类功率放大器；谐振；Multisim

一、 丙类功率放大器概述

1. 简介

在通信电路中，为了弥补信号在无线传输过程中的衰耗，要求发射机具有较大的功率输出，这就必须采用高频功率放大器。高频功率放大器是无线电发射设备的重要组成部分。由于在发射机里的振荡器所产生的高频振荡频率很小，因此它后面要经过一系列的放大——缓冲级、中间放大级、末级功率放大级，获得足够的高频功率后，才能馈送到天线上辐射出去。^[1]

高频功率放大器有两个主要特点：一是以谐振回路（选频网络）为负载，二是通常工作在丙类状态。丙类功率放大器半流通角 $\theta_c < 90^\circ$ ，理论上集电极效率 $\eta > 78.5\%$ 。采用丙类功率放大器工作时，能获得较高的输出功率和效率。



图 1 高频功率放大器

2. 丙类功率放大器工作原理

丙类功率放大器的基本电路如图 2 所示。整个电路由三部分组成：输入回路、非线性器件、带通滤波器。其中， V_{BB} 为基极偏压， V_{CC} 为集电极直流电源电压。为了处于丙类工作状态，在基极回路加入反向偏置电压 V_{BB} 。非线性器件是三极管，放大的同时也会产生其他频率成分。负载回路为选频网络，只允许和输入激励电压频率相同的基波成分通过。丙类功率放大器，只有在 v_b 的正半周，并且大于 V_{BB} 和截止电压 V_{BZ} 绝对值之和时，才有集电极电流流通。^[2]

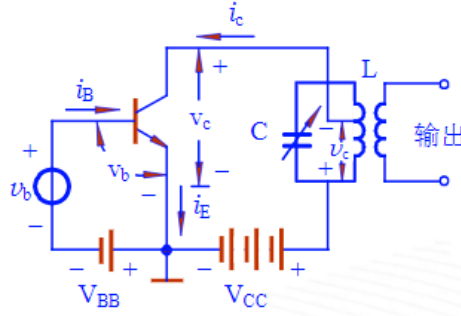


图 2 丙类功率放大器的基本电路

根据电路图进行数学推导，外部电路关系式如下：

$$v_b = -V_{BB} + V_{bm}\cos\omega t \quad (\text{公式 1})$$

$$v_c = V_{CC} - V_{cm}\cos\omega t \quad (\text{公式 2})$$

晶体管的内部特性：

$$i_c = g_c(v_b - V_{BZ}) \quad (\text{公式 3})$$

高频谐振丙类功率放大器中三极管随着输入正弦波信号变化，在导通与截止状态之间转换。三极管导通时，集电极电流 i_c 随输入信号的变化而变化，三极管截止时，集电极电流为 0。因此，在输入信号的一个变化周期内，集电极电流 i_c 的波形不再是余弦波形，而是脉冲波形。^[3]将集电极电流脉冲分解为傅里叶级数

$$i_c = I_{c0} + I_{cm1}\cos\omega t + I_{cm2}\cos2\omega t + \dots + I_{cmn}\cos n\omega t + \dots \quad (\text{公式 4})$$

其中

$$I_{c0} = i_{cmax}\alpha_0(\theta_c)$$

$$I_{cm1} = i_{cmax}\alpha_1(\theta_c)$$

$$I_{cmn} = i_{cmax}\alpha_n(\theta_c)$$

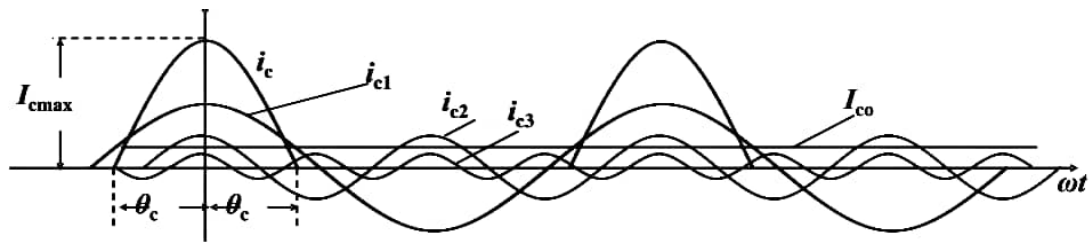


图 3 集电极电流分解为傅里叶级数

丙类功率放大器采用谐振负载，谐振回路的选频作用使得负载上只有基波电压，保证了丙类功率放大器的线性。^[4]通过 LC 谐振回路滤去无用分量，只留下与输入信号频率相同的 $I_{cm1}\cos\omega t$ 分量。

3.主要的技术指标

直流电源供给的直流功率

$$P_{\Sigma} = V_{CC} \cdot I_{c0} \quad (\text{公式 5})$$

交流输出信号功率

$$P_o = \frac{1}{2} V_{cm} \cdot I_{cm1} = \frac{V_{cm}^2}{2R_p} = \frac{1}{2} I_{cm1}^2 R_p \quad (\text{公式 6})$$

放大器的集电极效率

$$\eta_c = \frac{P_o}{P_{\Sigma}} = \frac{1}{2} \frac{V_{cm} \cdot I_{cm1}}{V_{CC} \cdot I_{C0}} \quad (\text{公式 7})$$

集电极电压利用系数

$$\xi = \frac{V_{cm}}{V_{CC}} \quad (\text{公式 8})$$

波形系数

$$g_1(\theta_c) = \frac{I_{cm1}}{I_{C0}} \quad (\text{公式 9})$$

4.三种工作状态

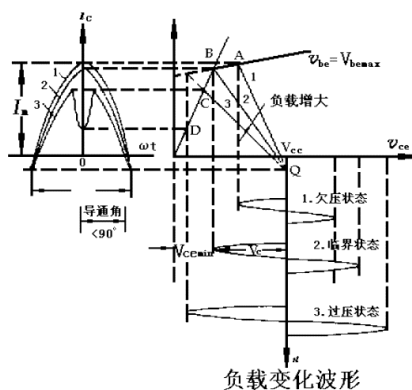


图 4 丙放的三种工作状态

(1) 欠压工作状态

如图 4 曲线 1 所示，此时负载较小， v_c 也较小，集电极电流为尖顶脉冲，三极管工作于放大区。

(2) 临界工作状态

随着负载的增大，动态曲线斜率逐渐减小，交点 A 向右移动。到达临界线如图 4 曲线 2 所示，集电极电流仍为尖顶脉冲，但高度略微减小，三极管工作于临界饱和。

(3) 过压工作状态

此时负载和 v_c 进一步增加，三极管工作于饱和区。此时，集电极电流为凹陷的脉冲。

二、 设计方案

依据丙类功率放大器的电路原理,在 Multisim 中设计如图 5 所示实验电路^[5],并利用 Multisim 对丙类功率放大器进行电路仿真,研究丙类功率放大器的工作状态、负载特性以及集电极调制特性。

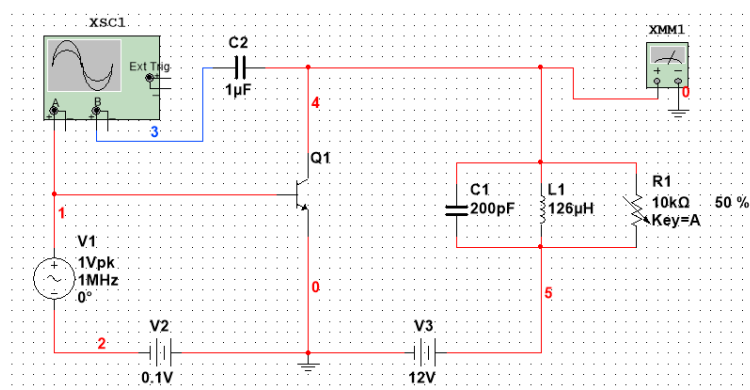


图 5 实验电路图

1.观察输入、输出波形

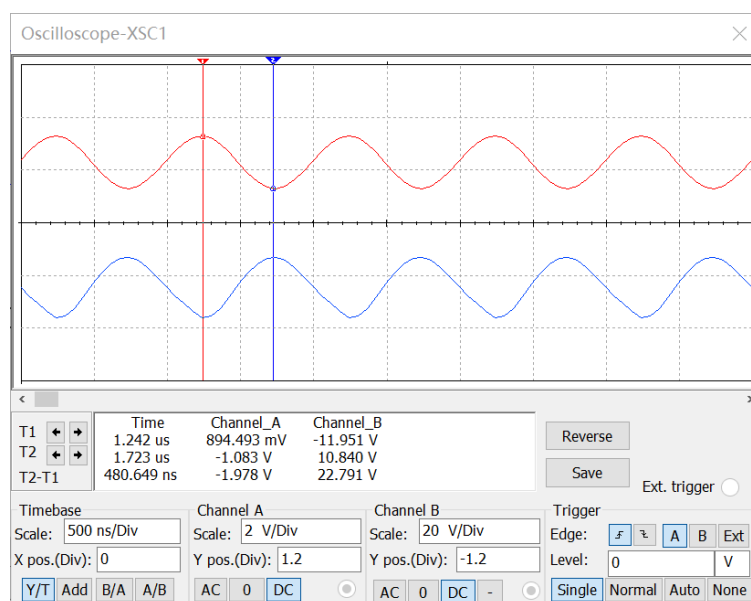


图 6 输入、输出波形

实验结果表明这是一个反相放大器,输出波形与输入波形频率相同,相位相反。根据测量的输入、输出信号的幅度,可以计算该放大器的放大倍数

$$A = \frac{22.791}{1.978} \approx 11$$

2.观测不同状态下的集电极电流波形

分别取 R1 为 4.5kΩ、5.5kΩ、6.5kΩ,采用瞬态分析,观测所得波形。

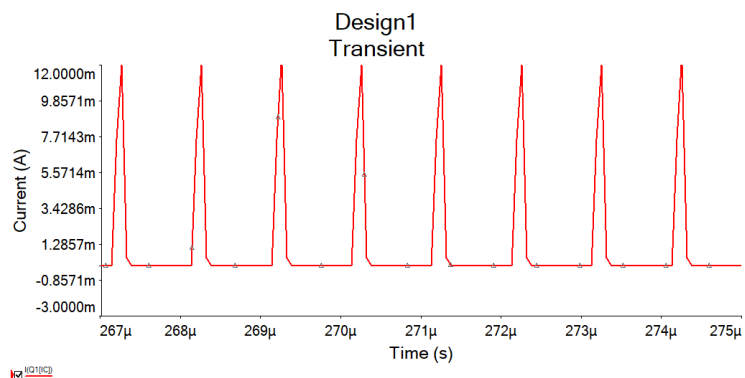


图 7 $R_1=4.5k\Omega$ 时集电极电流波形

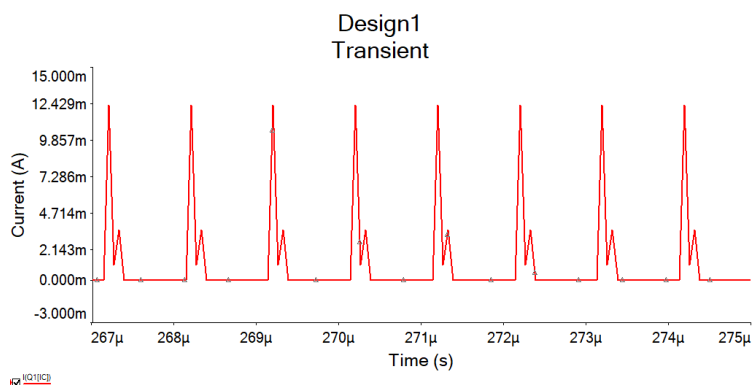


图 8 $R_1=5.5k\Omega$ 时集电极电流波形

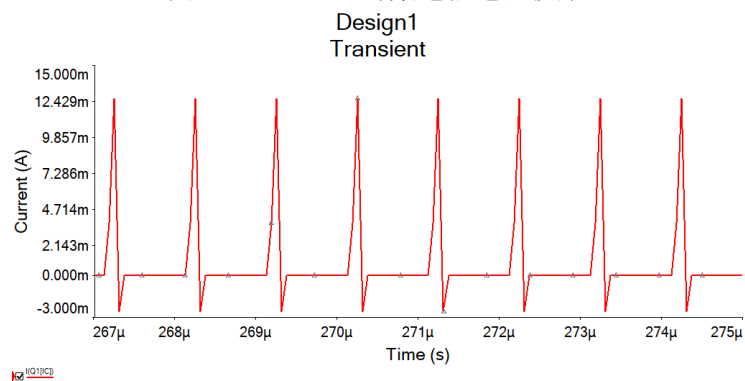


图 9 $R_1=6.5k\Omega$ 时集电极电流波形

实验结果表明该放大器可以通过输出电压随负载的变化产生的波形来判断放大器集电极的工作状态。随着 R_1 的增大，波形越来越失真，这表明了集电极从欠压工作状态到临界工作状态逐渐向过压工作状态过渡。集电极电流从余弦脉冲冲向凹顶脉冲过渡。

3.测试负载特性

改变 R_1 阻值大小，利用万用表测量输出电压幅度，如下表所示。

表 1 不同 R_1 对应的输出电压幅度表

R_1 (k Ω)	3	4	5	6	7
电压幅度 (V)	7.503	7.787	8.082	7.909	8.032

实验结果表明随着负载的增大，电压幅度也逐渐增大。 $R_1=6k\Omega$ 时，可能处于临界状态向过压状态过渡，电流产生的凹顶脉冲，使得电压幅度减小。

4.测试集电极调制特性

取 $R_1=5k\Omega$ ，采用参数扫描分析测量输出电压随 V_3 的变化。

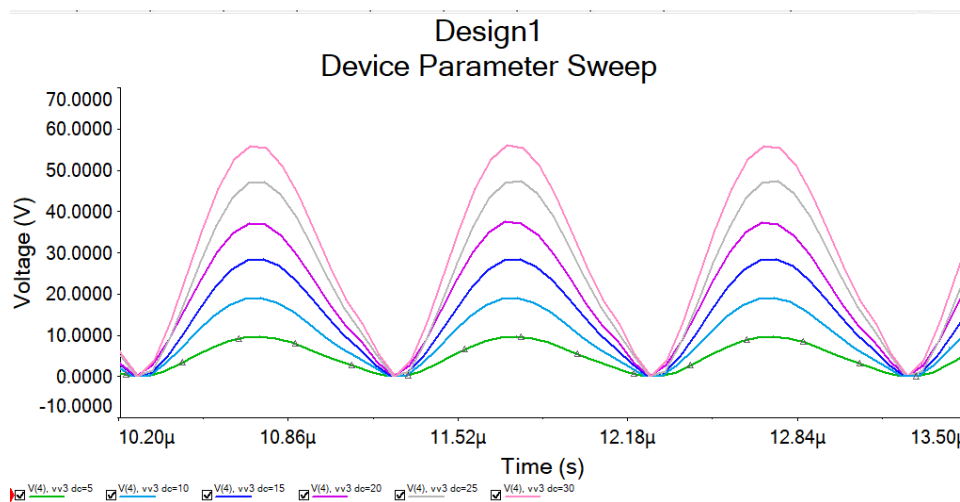


图 10 参数扫描结果

实验结果表明随着 V_3 的增大，输出电压的幅度也会逐渐增大。

三、 丙类功率放大器的应用

丙类功率放大器不单单应用于各类发射机中，在高频加热装置、高频换流器、微波炉等许多电子设备中都取得了普遍的应用。下面介绍一种丙类功率放大器的实际应用——丙类功率放大器在汽车无线充电系统中的应用

相比于接触式充电，无线供电具有使用方便、安全、可靠，没有电火花和触电的危险，无积尘和接触损耗，无机械磨损，没有相应的维护问题，可以适应雨雪等恶劣天气等优点。^[6]因此，无线供电是未来电动汽车的一大发展趋势。

针对电动汽车的迅速发展以及当前无线充电技术的现状，可以利用射频识别技术、丙类功率放大器和功率合成技术，设计一种高效的无线汽车充电系统。该系统可实现汽车定位、直流电能向交流电能的转换、交流电能的高效传输等功能，可适应电动汽车的发展。^[7]

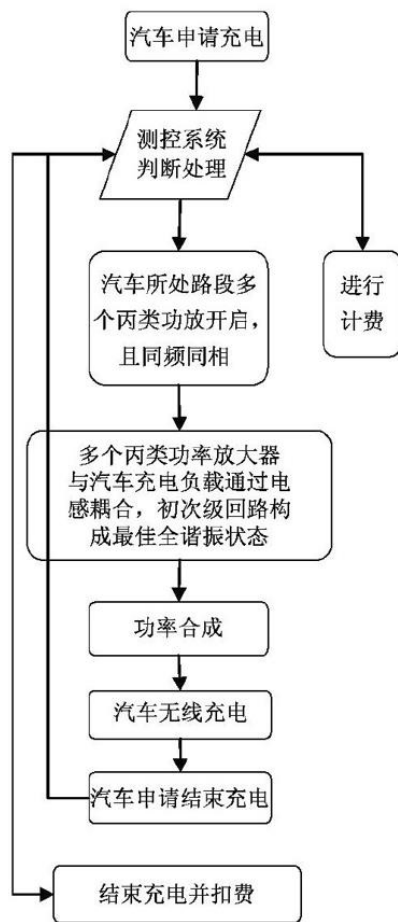


图 11 汽车无线充电系统流程图

丙类功率放大电路及耦合回路为本无线充电系统的核心部分，主要有初级回路（丙类功率放大电路）及次级回路（汽车上的充电负载回路）组成。丙类功率放大器能高效地将能量传输给汽车充电负载，效率可高达 80%以上。由于所传输的功率较低，需采用多个尽量相同的丙类功放进行同频同相处理，再进行功率合成对汽车充电。

四、 总结

本报告首先介绍了丙类功率放大器的概念和工作原理，然后设计一种基于 Multisim 的丙类功率放大器电路，利用 Multisim 对该电路进行仿真，实现对丙类功率放大器工作状态、负载特性以及集电极调制特性的观测。最后，介绍了一种丙类功率放大器的实际应用。

通过本次课程报告研究，我对丙类功率放大器有了更深入的理解。在查询论文、课外资料的过程中，我了解到丙类功率放大器的各种特性与应用，拓宽了知识面。

参考文献

- [1]张肃文. 高频电子线路(第五版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2009.
- [2]李春红, 刘丽娟, 张华. 丙类高频谐振功率放大器实验效率误差分析[J]. 大学物理实验, 2018, 31(06):112-116. DOI:10.14139/j.cnki.cn22-1228.2018.06.029.
- [3]韩新风, 王玉莲, 张永锋. 高频谐振丙类功率放大器仿真分析[J]. 长春师范大学学报, 2019, 38(02):19-26.
- [4]姚东永, 郭荣辉. 丙类功率放大器负载谐振回路的学习探索[J]. 电子测试, 2017(15):52-53+49. DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2017.15.024.
- [5]周友兵. 基于 Multisim 的丙类谐振功率放大器的仿真研究[J]. 电子制作, 2016(17):22+24. DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2016.17.009.
- [6]Xun L, Hui S Y. Simulation study and experimental verification of a universal contactless battery charging platform with localized charging features[J]. IEEE Trans on Power Electr, 2007, 22(6):2202-2210.
- [7]黄宏恩, 游文皓. 丙类功率放大器在汽车无线充电系统中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2016, 6(22):65-67. DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2016.22.31.