

# 无输出变压器的低频功率放大电路简介

## Brief Introduction of Low Frequency Power Amplification Circuits On Output Transformerless

高适 供稿

**摘要** :文章简要介绍了常用低功率放大无输出变压器电路及其应用。

**关键词** :无输出变压器电路(OTL), 低频功率放大, 自主升压电容, 简介

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1606-7517(2014)04-3-131

### 1 引言

无输出变压器(OTL)电路是低频功率放大电路中的重点电路之一,无论是电路结构还是理论计算的参数,它都与低频特性较好的OCL电路和电源利用率较高的BTL电路有许多相似之处。目前,这三种电路被广泛应用于多种视频、音频等设备中。为此,深刻理解和细致把握OTL电路的工作原理、理论计算有着现实意义。

### 2 基本 OTL 电路

图1示出了一种基本无输出变压器(OTL)电路。可以将这个电路看成是由T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>两个工作于乙类工作状态的射极跟随器的组合。由于该电路分别选用了NPN和PNP型三极管,所以在输入正弦波信号时,两个三极管可以交替工作在正、负半周,为此称OTL电路为互补功率放大电

路。并且,因为两管均处于乙类工作状态,所以,只有当输入信号大于三极管门限电压时,才出现基极电流,功放电路才有信号输出。因此,在输入信号正、负半周的交替过程中,当输入信号低于门限电压时,两个三极管都处于截止状态,输出信号便出现失真,这就是交越失真。为了消除交越失真,需要给T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>设置合适的偏置电路,使两只管子均处于甲乙类状态。为了确保两管静态电流的稳定,所以采用了具有稳定正向电压的二极管组成两管基极间的偏置电路。

### 3 无输出变压器(OTL) 电路的特性

#### 3.1 输出耦合电容C<sub>1</sub>的作用

电路中的输出耦合电容C<sub>1</sub>在该电路兼作负电源。静态时,直流电源给耦合电容充电,由于电路具有对称性,故

$$U_K=1/2V_{CC} \quad (1)$$

在输出信号为负半周,下面的管子导通,上管截止,电源与负载断开,电容放电,代替电源提供能量,在负载上得到负半周信号;在输出信号为正半周时,上管导通,下管截止,给电容器充电,补充负半周损耗的能量,此时,负载上得到正半周信号。

#### 3.2 推动管偏置电阻的作用

在电路中,推动管的偏置电阻兼作负反馈。

在无输出变压器(OTL)电路中,中点电位的稳定性十分重要。为了使中点电位能自动稳定,没有把推动管T<sub>3</sub>的偏置电阻R<sub>b</sub>接在电源上,而是接在了中点电位K上。这样,

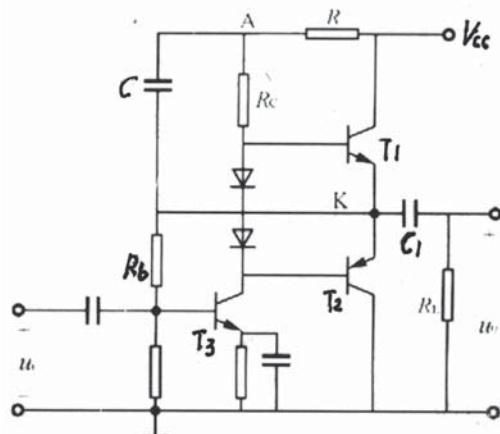


图1 无输出变压器(OTL) 电路原理图

该电阻既是推动管的偏置电阻，又是负反馈电阻，较好的稳定了中点电位，描述如下：

$$U_K = U_{b3} - U_{c3} \quad (2)$$

### 3.3 引入自举升压电容

当输入信号足够大且正半周的峰值时，将使得推动管饱和，中点电位趋近于零，输出信号负半周为峰值。当负半周为峰值时，中点电位接近于电源电压，也就是输出信号正半周为峰值。根据射极跟随器的工作原理可知：

$$U_K = U_A - U_{RC} - 0.7V \quad (3)$$

所以，电路中要增加自举电容和隔离电阻。自举电容  $C$  的电容量应该比较大，以使它的充放电时间常数远远大于信号周期，保证在整个工作过程中  $C$  上的电压始终保持为  $U_K = 1/2 V_{cc}$ ，小阻值的隔离电阻将电源电压与 A 点电位隔开。当输入信号在负半周时，随着  $T_1$  的导通，中点电位逐步向  $V_{cc}$  上升。由于自举电容两端的电压不能突变，A 点电位便被抬高到比  $V_{cc}$  还高的电位，使  $T_1$  管的基极获得高电压，从而使 A 点的最高电压值接近  $V_{cc}$ ，于是提高了输出信号正半周的幅度，减小了功率失真。

### 3.4 功率和效率问题

在无输出变压器 (OTL) 电路中，经常会遇到以下几个功率：最大不失真输出功率，电源提供的功率、管子最大消耗的功率和电路效率。这几个功率概念之间既有联系又有区别，所以需要给予注意。

#### a. 最大不失真输出功率

$$P_O = UI = \frac{1}{2} V_{ccm} \times I_{cm} = \left( \frac{I_{cm}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R_L = \frac{1}{2} I_{cm}^2 R_L \quad (4)$$

#### b. 电源供给功率

电源向管子提供的电流如图 2 所示，其平均值为：

$$\frac{2}{\pi} I_{cm} \text{, 所以, } P_E = \frac{2}{\pi} I_{cm} V_{cc} \quad (5)$$

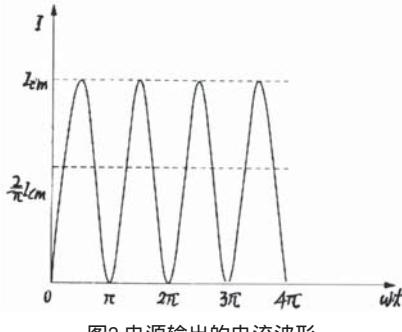


图2 电源输出的电流波形

可见，电源供给的功率随输入信号的增大而增大。在极限运行时即为输出功率最大时。

#### c. 效率

$$\eta = \frac{P_{cm}}{P_E} = \frac{\frac{1}{2} V_{ccm} I_{cm}}{\frac{1}{\pi} V_{cc} I_{cm}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{ccm}}{V_{cc}} \quad (6)$$

当输出功率最大时，经计算可得： $V_{ccm} = V_{cc}$ ,  $\eta = 78.5\%$

#### d. 管耗

由能量守恒定律可知，管耗为：

$$P_C = P_E - P_O = \frac{2}{\pi} I_{cm} V_{cc} \quad (7)$$

所以：

当输入信号为零时，管耗也为零；

当输入信号较小时，管耗也较小，但随着输入信号的增大而增大；

当输入信号快速增大时，由于式(7)的后项比前项增加得快，所以管耗又较小。

综上所述，当输入信号较大和较小时，管耗均较小，也就是说，最大管耗并不发生在电路有最大输出功率时。

当电路存在最大输出功率时，管耗为：

$$P_K - P_{om} = 1.27 P_{om} - P_{cm} = 0.27 P_{om} \quad (8)$$

而所谓最大管耗，则发生在  $dP_c/dI_{cm} = 0$  时，即  $I_{cm}$  之处，这时的  $P_{cm} = 0.4 P_{om}$ 。所以，常说的最大管耗  $P_{cm} = 0.2 P_{om}$ ，实际上是单管最大管耗。图 3 示出了功率、管耗和电源功率的关系曲线。

## 4 问题分析

### 4.1 容易被错误理解的几种功率之间的关系

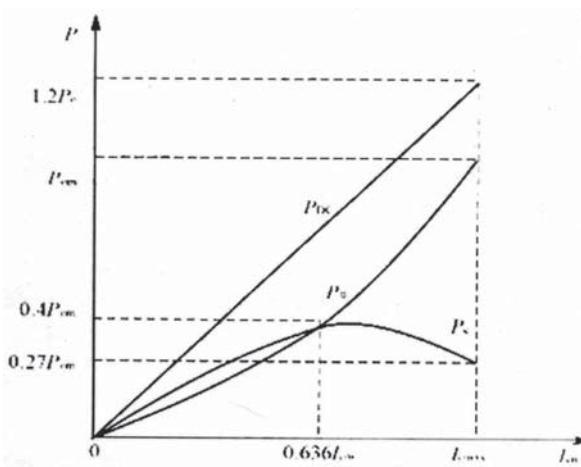


图3 几种功率、效率关系图

人们往往只是记住了教材上常用来计算的有关公式，如最大不失真输出功率的计算：

$$R_L' = n^2 \times R_L = 2.5^2 \times 8 = 50 \quad (9)$$

$$I_{cm} = V_{cc}/R_L = 6/50 = 120mA$$

那么，最大输出功率为：

$$P_{cm} = \frac{1}{2}V_{cc} \times I_{cm} = \frac{1}{2} \times 120 \times 6 = 360mW \quad (10)$$

管耗  $P_{cm} = 0.2P_{cm} = 0.2 \times 360 = 72mW$ ；

直流电源提供的功率  $P_E = P_{cm} / \eta = 360 / 78.5 = 460mW$ 。

如果没有真正理解其内涵，应用中不加选择地套用公式，则会得出很荒谬的结论。例如，某型收音机的功放电路为甲乙类推挽功放电路，电源电压  $V_{cc}=6V$ ，负载  $R_L=8\Omega$ ，输出变压器的匝数比  $n=2.5$ ，求其最大输出功率、直流电源提供的功率和管耗。有人可能计算出此时的管耗和输出功率之和约为 432mw，这与电源提供的 460mw 的功率相差较大。这是什么原因呢？我们发现，这里犯了两个错误：忽略了电路实际上是应用了两个三极管，求解时却按单管处理了；电路在最大输出功率时，管耗并非最大。其正确的计算和答案应为：

最大输出功率  $P_{om}$  为：

$$P_{om} = \frac{1}{2}V_{cc} \times I_{om} = \frac{1}{2} \times 120 \times 6 = 360mW$$

直流电源提供的功率  $P_E$  为：

$$P_E = P_{om} / \eta = 360 / 78.5\% = 460mW$$

$$\text{管耗 } P_{cm} = P_E - P_{om} = 460 - 360 = 100mW$$

#### 4.2 忽略电路结构的特殊性

由于无输出变压器(OTL)低频放大电路使用了一些具有特殊用途的元件，故在实际使用过程会引起一些容易被

忽略的问题，从而造成计算或维修中的错误判断。例如，目前通用的功放集成电路，包括电视机采用的场输出集成模块，为了减小功耗，提高电路的可靠性，都是采用外围元件组成自举升压电路（注，自举升压电路又称泵电源，自举电容则又称场逆程电容）。随着机器使用时间的增加，自举电容器会出现电容量减小、漏电等情况。由前面的分析可见，当自举电容器的电容量下降幅度过大时，其容抗就会增大，这样，在开机瞬间的冲击电流就会更多地从功放管 T1 中流过，或会将其烧坏；而当自举电容器漏电时，其容抗变小，这样，在开机的瞬间，中点电位就会远远大于  $U_K=1/2V_{cc}$ 。使激励管进入饱和状态，功放管 T2 的基极电位便接近于 0，这将造成流过该管的电流较大而烧毁该管，即无论是自举电容漏电还是其容量下降，都可能烧毁功放集成模块。如果对此不加判断，未弄清原因就更换功放集成模块，就会造成连续损毁集成模块的情况。例如，曾经有人在维修某电视机水平一条亮线故障时，按照一般思路在检查场输出电容、负载、偏转线圈、电源、电压均正常后，便认为是集成块损坏，马上就换上新的集成块开机，结果集成块再次被烧坏。然后经过多次排查原因，才发现是自举电容器漏电，经更换自举电容后，故障就排除了。

#### 5 小结

通过以上叙述和分析，进一步了解了 OTL 电路及电路中各元件的作用，从而正确掌握了计算输出功率、管耗和效率等参数的方法。

(摘编自 21ic.com)