

基于电子管 SRPP 电路的高保真耳机放大器设计

·产品设计·

周静雷¹, 王 璠¹, 康雪娟²

(1. 西安工程大学 电子信息学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安航空技术高等专科学校 电气系, 陕西 西安 710077)

【摘 要】以电子管微变等效电路分析为基础,设计了一款以驱动高保真耳机为目的的耳机放大器。该放大器以共阴极放大器为输入级,SRPP 放大器为输出级,驱动耳机工作。分析了该放大器的开环和闭环参数,并采用客观测量和主观评价的方式对该放大器的品质进行评价。

【关键词】并联调整推挽电路; 耳机放大器; 电子管; 微变等效

【中图分类号】TN72

【文献标识码】A

Design on High-Fidelity Headphone Amplifier Based on Vacuum Tube SRPP Circuit

ZHOU Jing-lei¹, WANG Pan¹, KANG Xue-juan²

(1. Electronic Information College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Electrical Department, Xi'an Aerotechnical College, Xi'an 710048, China)

【Abstract】Based on the analysis of vacuum tube slight variation equivalent circuit, a headphone amplifier is designed to drive high fidelity headphone. The co-cathode amplifier is used as the input entry of the amplifier, and the SRPP(Shunt Regulated Push-Pull)amplifier is used as the output entry of the amplifier to drive the headphone. The open-loop and closed-loop parameters of the amplifier are analyzed, and the quality of the amplifier is estimated through impersonal measurement and subjective evaluations.

【Key words】SRPP; headphone amplifier; vacuum tube; slight variation equivalent

1 引言

在高保真音响电路中,电子管放大器由于其独特的韵味和音乐听感,一直备受广大音响爱好者的喜爱和关注。近年来,高保真耳机由于其使用的便捷性(体积小,对环境要求简单)和相对较低的价格(相对于发烧音箱),受到越来越多的音乐爱好者和音响发烧友的青睐。在高保真耳机家族中,耳机阻抗从低阻、中阻到高阻均有分布:如爱科技的 271S 额定阻抗为 48 Ω ,拜亚动力的 Dt48 额定阻抗为 200 Ω ,森海耳的 HD580, HD600, HD650 额定阻抗为 300 Ω 等。对于阻抗较高的耳机,通常需要专门的配套电路,才能展现其优异的性能。同用于音箱的扬声器单元相比,耳机对于它的驱动电路性能指标的要求更加严格。与晶体管相比,电子管静态工作点电压高、内阻大,更适合输出摆幅大、电流小的驱动信号。这个特点使得电子管适用于驱动对品质要求高,但功率要求低的高保真耳机。

在音频前置放大器中,并联调整推挽(Shunt Regulated Push-Pull, SRPP)电路具有高增益、低失真、低输出阻抗等特点,能够获得优异的音质表现,因而在音响电路中广泛应用。笔者设计了一款以共阴极放大器为输入级,SRPP 放大电路为输出级的耳机放大器电路。对该电路建立了微变等效模型^[1-3],选择合理的器件,通过理论计算控制相应的参数,使放大器能够较好地驱动耳机工作。

2 输入级

输入级采用一只电子管三极管构成的共阴极放大电路,其电路原理图如图 1 所示。图中电阻 R_{L_1} , R_{k_1} 和 R_{g_1} 分别同电子管的阳极、阴极和栅极相连接,使电子管建立稳定的工作点,同时具有合适的增益和适当的局部负反馈。 V_1 可选择常用的电子三极管,如单三极管 ECC92,或者是双三极管 ECC82, 12AU7, 5814 等型号中的一只。

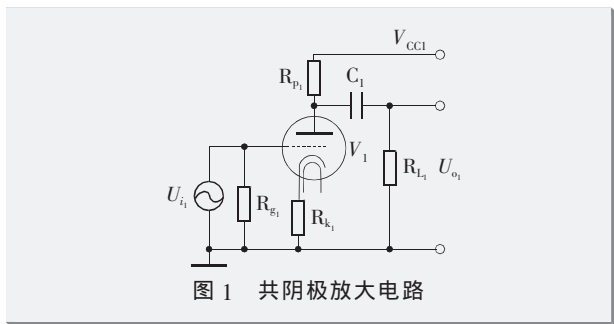


图1 共阴极放大电路

电子管三极管工作原理与晶体管中的双极性三极管不同,但和场效应管类似,属于电压型放大器件,其主要参数为跨导 g_m , 内阻 r_p 和放大系数 μ , 且三者之间满足

$$\mu = g_m r_p \quad (1)$$

该电路的微变等效电路如图2所示,这里将电子管看成是受控电压源。图中,输入电压可表示为

$$U_{i1} = U_{g_{k1}} + U_{k1} \quad (2)$$

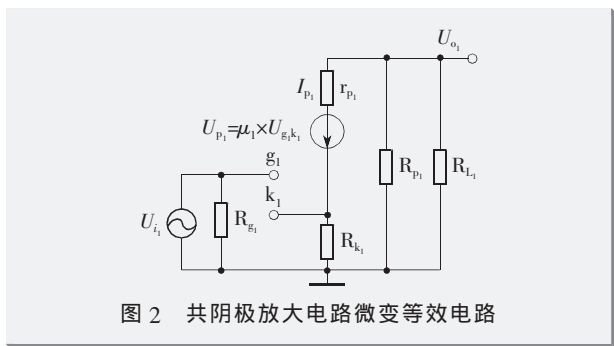


图2 共阴极放大电路微变等效电路

式(2)中 $U_{g_{k1}}$ 为电子管栅极和阴极两端的电压, U_{k1} 为阴极电阻 R_{k1} 两端的电压

$$U_{k1} = \frac{\mu_1 U_{g_{k1}} R_{k1} (R_{p1} + R_{L1})}{(r_{p1} + R_{k1}) (R_{p1} + R_{L1}) + R_{p1} R_{L1}} \quad (3)$$

共阴极放大电路的输出电压为

$$U_{o1} = \frac{\mu_1 U_{g_{k1}} R_{p1} R_{L1}}{(r_{p1} + R_{k1}) (R_{p1} + R_{L1}) + R_{p1} R_{L1}} \quad (4)$$

电压放大倍数为

$$G_{V1} = \frac{U_{o1}}{U_{i1}} = \frac{\mu_1 R_{p1} R_{L1}}{[r_{p1} + (\mu_1 + 1) R_{k1}] (R_{p1} + R_{L1}) + R_{p1} R_{L1}} \quad (5)$$

3 输出级

输出级采用 SRPP 电路, 电子管既可选择内阻合适的三极管, 如 6N6, E182CC, 也可选择用于功放的小功率五极管, 如 6P15, 6P14, EL42, EL91, EL84, EL86。一般五极管内阻较大, 增益很高, 为了降低输出阻抗和增益, 需将五极管连接成三极管使用。

文中的输出级选用小功率五极管作为放大器件, 选择其他型号的管子时, 需要根据管子自身参数确定外围元件的参数和供电电压 V_{CC2} 。在图3中, R_{sg1} 和 R_{sg2} 分别将五极管 V_2 和 V_3 的第二栅极和阳极相连接, 因而成为三极管工作方式。 R_{k2} 和 R_{k3} 分别与 V_2 和 V_3 的阴极相连接, 为电子管提供适当的栅负压。 R_{L2} 表示负载的阻抗。选择不同型号的管子, 由于内阻和增益的差别, 在驱动耳机工作时, 会有不同的声音表现, 通常可通过主观音质评价来确定管子的选择。

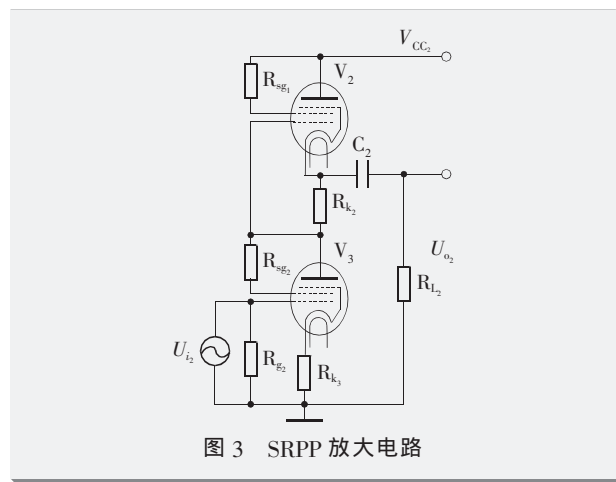


图3 SRPP放大电路

图4是图3的微变等效电路, 图中 I_p 为

$$I_p = (\mu_2 \times U_{g_{k2}} - U_{o2}) / r_{p2} = \frac{U_{i2} - U_{g_{k1}}}{R_{k3}} = \frac{U_{g_{k2}}}{R_{k2}} \quad (6)$$

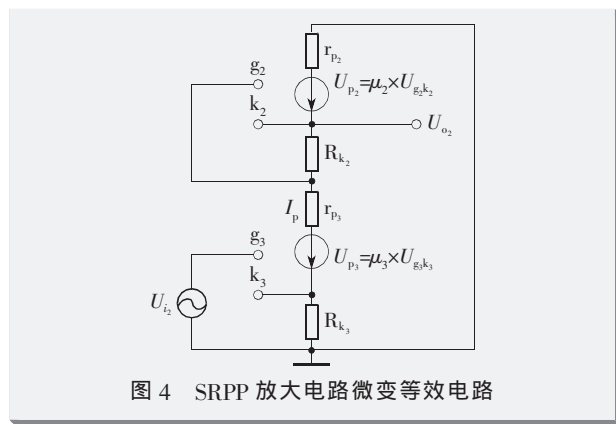


图4 SRPP放大电路微变等效电路

输出电压 U_{o2} 为

$$U_{o2} = \mu_2 U_{g_{k2}} - I_p r_{p2} \quad (7)$$

$$U_{o2} = (R_{k2} + R_{k3} + r_{p3}) I_p - \mu_3 U_{g_{k3}} \quad (8)$$

将式(6)~(8)联立, 经过简化可得出输出级的电压增益为

$$G_{V2} = \frac{U_{o2}}{U_{i2}} = \frac{\mu_3 (r_{p2} + \mu_2 R_{k2})}{R_{k2} + R_{k3} + r_{p2} + r_{p3} + \mu_2 R_{k2} + \mu_3 R_{k3}} \quad (9)$$

将图5所示的等效电路中的输入电压源短路, 在

输出端施加一个电压 \dot{U}_{o_2} , 这时从输出端向内看的电流记作为 \dot{I}_{o_2} , 可由式(10)~(12)计算得出

$$\dot{U}_{o_2} = \frac{\dot{U}_{g_{3k_3}}}{R_{k_3}} (R_{k_2} + R_{k_3} + r_{p_3}) - \mu_3 \dot{U}_{g_{3k_3}} \quad (10)$$

$$\dot{I}_{o_2} = \frac{\dot{U}_{o_2} + \mu_3 \dot{U}_{g_{3k_3}}}{R_{k_2} + R_{k_3} + r_{p_3}} + \frac{\dot{U}_{o_2} - \mu_2 \dot{U}_{g_{2k_2}}}{r_{p_2}} \quad (11)$$

$$\dot{I}_{p_1} = \dot{I}_{o_2} + \dot{I}_{p_2} = -\frac{\dot{U}_{g_{2k_2}}}{R_{k_2}} = -\frac{\dot{U}_{g_{3k_3}}}{R_{k_3}} \quad (12)$$

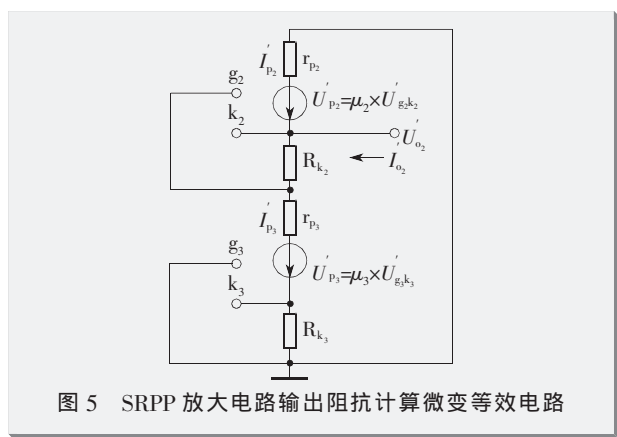


图5 SRPP放大电路输出阻抗计算微变等效电路

从式(11)~(13)可计算得到SRPP放大电路的输出阻抗为

$$Z_{out_2} = \frac{r_{p_2}(\mu_3 R_{k_3} + r_{p_3} + R_{k_2} + R_{k_3})}{r_{p_2} + r_{p_3} + R_{k_2} + R_{k_3} + \mu_3 R_{k_3} + \mu_2 R_{k_2}} \quad (13)$$

4 整体设计

整机的电路原理图和元器件的取值如图6所示。输入级放大器件选用Ecc82双三极管，输出级选用6P15，基本参数如表1所示^[4]。为降低输出阻抗，以便于和阻抗较低的耳机相匹配，输出级SRPP电路采用双管并联的方式工作。放大器的相关参数计算方法如下所示^[5-6]，其中开环电压增益为

$$G = G_1 \cdot G_2 \quad (14)$$

反馈系数为

$$H = \frac{R_3}{R_3 + R_f} + \frac{0.510}{0.510 + 10.0} = 0.0485 \quad (15)$$

闭环电压增益为

$$G_f = G / (1 + GH) \quad (16)$$

输出阻抗为

$$Z_{out} = Z_{out_2} / (1 + GH) \quad (17)$$

负载电压增益为

$$G_L = G_f \cdot R_L / (R_L + Z_{out}) \quad (18)$$

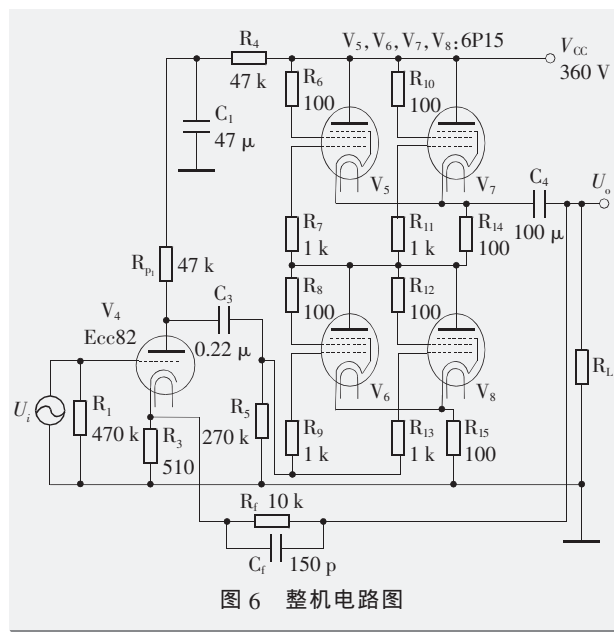
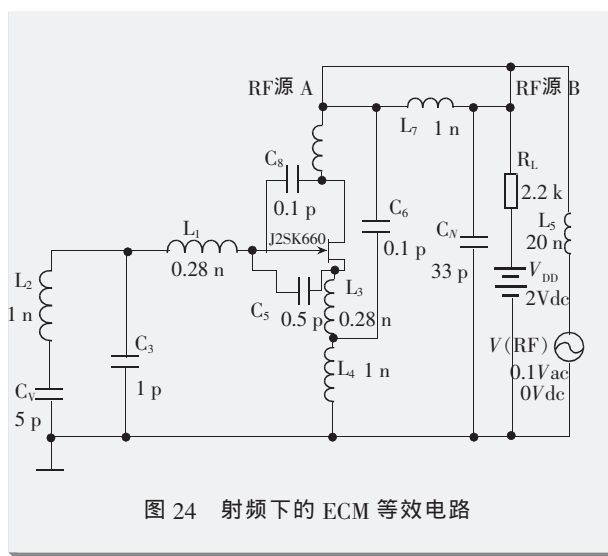
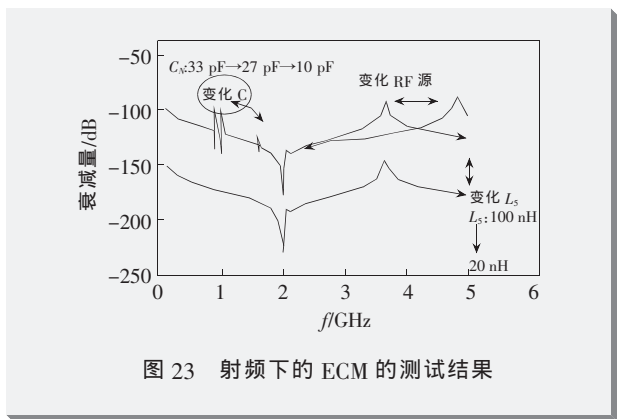


Figure 22 illustrates a general ECM (Equivalent Circuit Model) for a MOSFET. The circuit includes a MOSFET with a gate-source capacitor C_V and a drain-source capacitor C_N . A load resistor R_L is connected between the drain and the output terminal. A DC voltage source V_{DD} is connected to the drain. The output is taken from the drain terminal.



[收稿日期] 2008-09-24

[收稿日期] 2008-09-28