

## 第九章 功率放大电路

### 自 测 题

一、选择合适的答案，填入空内。只需填入 A、B 或 C。

(1) 功率放大电路的最大输出功率是在输入电压为正弦波时，输出基本不失真情况下，负载上可能获得的最大\_\_\_\_\_。

A. 交流功率            B. 直流功率            C. 平均功率

(2) 功率放大电路的转换效率是指\_\_\_\_\_。

A. 输出功率与晶体管所消耗的功率之比  
B. 最大输出功率与电源提供的平均功率之比  
C. 晶体管所消耗的功率与电源提供的平均功率之比

(3) 在 OCL 乙类功放电路中，若最大输出功率为 1W，则电路中功放管的集电极最大功耗约为\_\_\_\_\_。

A. 1W                    B. 0.5W                    C. 0.2W

(4) 在选择功放电路中的晶体管时，应当特别注意的参数有\_\_\_\_\_。

A.                        B.  $I_{CM}$                     C.  $I_{CBO}$   
D.  $BU_{CEO}$             E.  $P_{CM}$                     F.  $f_T$

(5) 若图 T9.1 所示电路中晶体管饱和管压降的数值为  $U_{CES}$ ，则最大输出功率  $P_{OM} =$ \_\_\_\_\_。

A.  $\frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$     B.  $\frac{(\frac{1}{2}V_{CC} - U_{CES})^2}{R_L}$     C.  $\frac{(\frac{1}{2}V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$

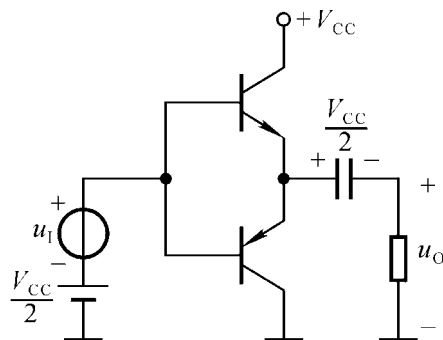


图 T9.1

解：(1) A (2) B (3) C (4) B D E (5) C

二、电路如图 T9.2 所示，已知  $T_1$  和  $T_2$  的饱和管压降  $U_{CES} = 2V$ ，直流功耗可忽略不计。

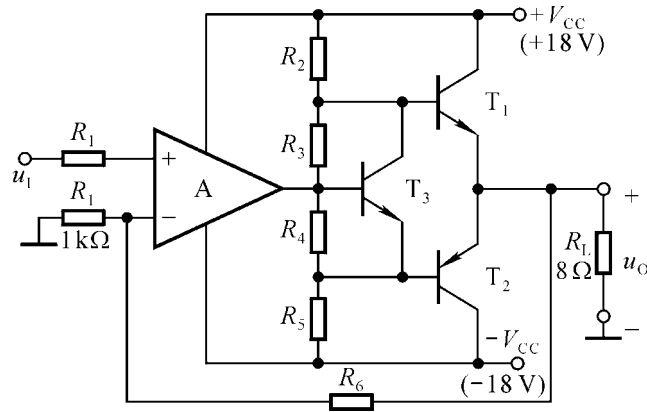


图 T9.2

回答下列问题：

(1)  $R_3$ 、 $R_4$  和  $T_3$  的作用是什么？

(2) 负载上可能获得的最大输出功率  $P_{om}$  和电路的转换效率 各为多少？

(3) 设最大输入电压的有效值为  $1V$ 。为了使电路的最大不失真输出电压的峰值达到  $16V$ ，电阻  $R_6$  至少应取多少千欧？

解：(1) 消除交越失真。

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{\sqrt{2}R_L} = 16W$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}} \approx 69.8\%$$

(3) 电压放大倍数为

$$\dot{A}_u = \frac{U_{omax}}{\sqrt{2}U_i} \approx 11.3$$

$$\dot{A}_u = 1 + \frac{R_6}{R_1} \approx 11.3$$

$R_1 = 1k$ ，故  $R_6$  至少应取  $10.3k$ 。

## 习 题

9.1 分析下列说法是否正确，凡对者在括号内打“√”，凡错者在括号内打“×”。

- (1) 在功率放大电路中，输出功率愈大，功放管的功耗愈大。( )
- (2) 功率放大电路的最大输出功率是指在基本不失真情况下，负载上可能获得的最大交流功率。( )
- (3) 当 OCL 电路的最大输出功率为 1W 时，功放管的集电极最大耗散功率应大于 1W。( )
- (4) 功率放大电路与电压放大电路、电流放大电路的共同点是
- 1) 都使输出电压大于输入电压；( )
  - 2) 都使输出电流大于输入电流；( )
  - 3) 都使输出功率大于信号源提供的输入功率。( )
- (5) 功率放大电路与电压放大电路的区别是
- 1) 前者比后者电源电压高；( )
  - 2) 前者比后者电压放大倍数数值大；( )
  - 3) 前者比后者效率高；( )
  - 4) 在电源电压相同的情况下，前者比后者的最大不失真输出电压大；( )
- (6) 功率放大电路与电流放大电路的区别是
- 1) 前者比后者电流放大倍数大；( )
  - 2) 前者比后者效率高；( )
  - 3) 在电源电压相同的情况下，前者比后者的输出功率大。( )

解：(1) × (2) √ (3) × (4) × ×  
(5) × × (6) ×

9.2 已知电路如图 P9.2 所示， $T_1$  和  $T_2$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 3V$ ， $V_{CC} = 15V$ ， $R_L = 8 \Omega$ 。选择正确答案填入空内。

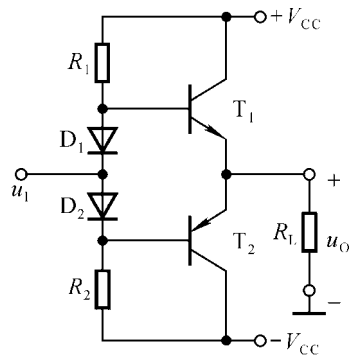


图 P9.2

- (1) 电路中  $D_1$  和  $D_2$  管的作用是消除\_\_\_\_\_。
- A. 饱和失真                      B. 截止失真                      C. 交越失真
- (2) 静态时，晶体管发射极电位  $U_{EQ}$  \_\_\_\_\_。
- A.  $> 0V$                               B.  $= 0V$                               C.  $< 0V$
- (3) 最大输出功率  $P_{OM}$  \_\_\_\_\_。
- A.  $28W$                                   B.  $= 18W$                                   C.  $= 9W$
- (4) 当输入为正弦波时，若  $R_1$  虚焊，即开路，则输出电压 \_\_\_\_\_。
- A. 为正弦波                              B. 仅有正半波                              C. 仅有负半波
- (5) 若  $D_1$  虚焊，则  $T_1$  管 \_\_\_\_\_。
- A. 可能因功耗过大烧坏              B. 始终饱和                              C. 始终截止

解：(1) C      (2) B      (3) C      (4) C      (5) A

9.3 在图 P9.2 所示电路中，已知  $V_{CC} = 16V$ ， $R_L = 4$ ， $T_1$  和  $T_2$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 2V$ ，输入电压足够大。试问：

- (1) 最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少？
- (2) 晶体管的最大功耗  $P_{Tmax}$  为多少？
- (3) 为了使输出功率达到  $P_{om}$ ，输入电压的有效值约为多少？

解：(1) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} = 24.5W$$

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{V_{CC}} \approx 69.8\%$$

(2) 晶体管的最大功耗

$$P_{Tmax} \approx 0.2P_{om} = \frac{0.2 \times V_{CC}^2}{2R_L} = 6.4W$$

(3) 输出功率为  $P_{om}$  时的输入电压有效值

$$U_i \approx U_{om} \approx \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{\sqrt{2}} \approx 9.9V$$

9.4 在图 P9.4 所示电路中，已知二极管的导通电压  $U_D = 0.7V$ ，晶体管导通时的  $U_{BE} = 0.7V$ ， $T_2$  和  $T_4$  管发射极静态电位  $U_{EQ} = 0V$ 。

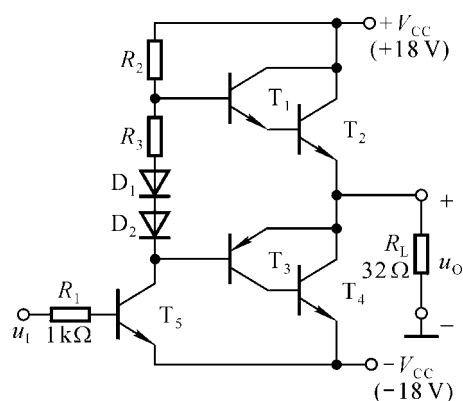


图 P9.4

试问：

- (1)  $T_1$ 、 $T_3$  和  $T_5$  管基极的静态电位各为多少？
- (2) 设  $R_2 = 10k$ ， $R_3 = 100$ 。若  $T_1$  和  $T_3$  管基极的静态电流可忽略不计，则  $T_5$  管集电极静态电流为多少？静态时  $u_i = ?$

(3) 若静态时  $i_{B1} > i_{B3}$  , 则应调节哪个参数可使  $i_{B1} = i_{B2}$  ? 如何调节 ?

(4) 电路中二极管的个数可以是 1、2、3、4 吗 ? 你认为哪个最合适 ? 为什么 ?

解 : (1)  $T_1$ 、 $T_3$  和  $T_5$  管基极的静态电位分别为

$$U_{B1} = 1.4V \quad U_{B3} = -0.7V \quad U_{B5} = -17.3V$$

(2) 静态时  $T_5$  管集电极电流和输入电压分别为

$$I_{CQ} \approx \frac{V_{CC} - U_{B1}}{R_2} = 1.66mA$$

$$u_1 \approx u_{B5} = -17.3V$$

(3) 若静态时  $i_{B1} > i_{B3}$  , 则应增大  $R_3$ 。

(4) 采用如图所示两只二极管加一个小阻值电阻合适, 也可只用三只二极管。这样一方面可使输出级晶体管工作在临界导通状态, 可以消除交越失真; 另一方面在交流通路中,  $D_1$  和  $D_2$  管之间的动态电阻又比较小, 可忽略不计, 从而减小交流信号的损失。

9.5 在图 P9.4 所示电路中, 已知  $T_2$  和  $T_4$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 2V$  , 静态时电源电流可忽略不计。试问负载上可能获得的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少 ?

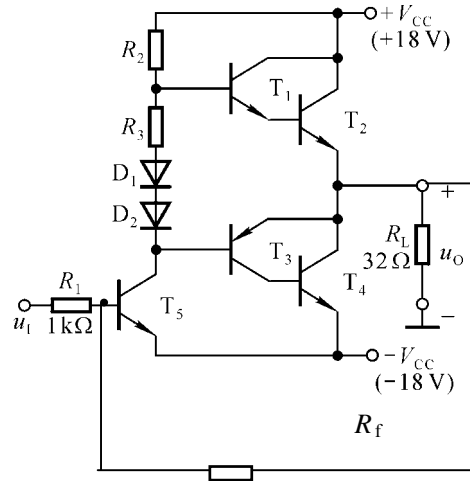
解 : 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} = 4W$$

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{V_{CC}} \approx 69.8\%$$

9.6 为了稳定输出电压，减小非线性失真，请通过电阻  $R_f$  在图 P9.4 所示电路中引入合适的负反馈；并估算在电压放大倍数数值约为 10 的情况下， $R_f$  的取值。

解：应引入电压并联负反馈，由输出端经反馈电阻  $R_f$  接  $T_5$  管基极，如解图 P9.6 所示。



解图 P9.6

在深度负反馈情况下，电压放大倍数

$$\dot{A}_{uf} \approx -\frac{R_f}{R_1} \quad |\dot{A}_{uf}| \approx 10$$

$R_1 = 1 \text{ k}$  ，所以  $R_f = 10 \text{ k}$  。

9.7 估算图 P9.4 所示电路  $T_2$  和  $T_4$  管的最大集电极电流、最大管压降和集电极最大功耗。

解：功放管的最大集电极电流、最大管压降、最大功耗分别为

$$I_{C\max} = \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{R_L} = 0.5\text{A}$$

$$U_{CE\max} = 2V_{CC} - |U_{CES}| = 34\text{V}$$

$$P_{T\max} \approx 0.2 \times \frac{V_{CC}^2}{2R_L} \approx 1\text{W}$$

9.8 在图 P9.8 所示电路中，已知  $V_{CC} = 15\text{V}$ ， $T_1$  和  $T_2$  管的饱和管压降

$U_{CES} = 2V$ ，输入电压足够大。求解：

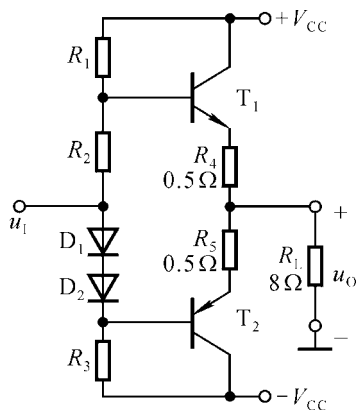


图 P9.8

- (1) 最大不失真输出电压的有效值；
- (2) 负载电阻  $R_L$  上电流的最大值；
- (3) 最大输出功率  $P_{om}$  和效率。

解：(1) 最大不失真输出电压有效值

$$U_{om} = \frac{R_L}{R_4 + R_L} \cdot \frac{(V_{CC} - U_{CES})}{\sqrt{2}} \approx 8.65V$$

- (2) 负载电流最大值

$$i_{Lmax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_4 + R_L} \approx 1.53A$$

- (3) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} \approx 9.35W$$

$$\eta = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES} - U_{R4}}{V_{CC}} \approx 64\%$$

9.9 在图 P9.8 所示电路中， $R_4$  和  $R_5$  可起短路保护作用。试问：当输出因故障而短路时，晶体管的最大集电极电流和功耗各为多少？

解：当输出短路时，功放管的最大集电极电流和功耗分别为

$$i_{Cmax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_4} \approx 26A$$

$$P_{Tmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_4} \approx 46W$$



9.10 在图 P9.10 所示电路中，已知  $V_{CC} = 15V$ ， $T_1$  和  $T_2$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 1V$ ，集成运放的最大输出电压幅值为  $\pm 13V$ ，二极管的导通电压为  $0.7V$ 。

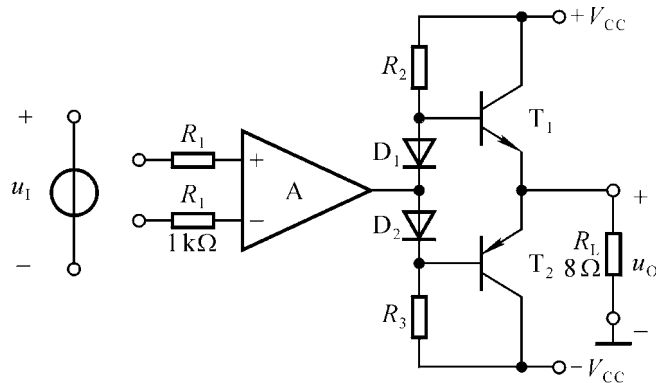


图 P9.10

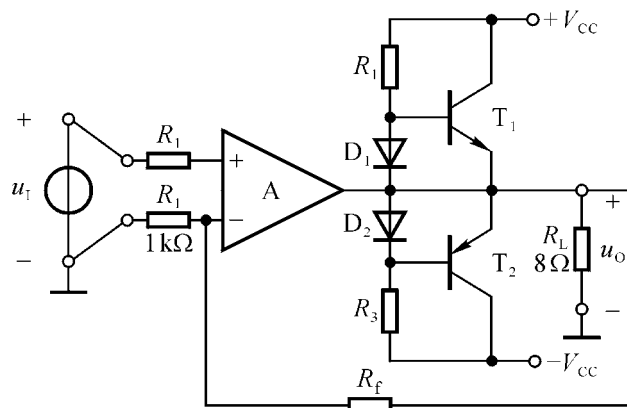
- (1) 若输入电压幅值足够大，则电路的最大输出功率为多少？
- (2) 为了提高输入电阻，稳定输出电压，且减小非线性失真，应引入哪种组态的交流负反馈？画出图来。
- (3) 若  $U_i = 0.1V$  时， $U_o = 5V$ ，则反馈网络中电阻的取值约为多少？

解：(1) 输出电压幅值和最大输出功率分别为

$$u_{Omax} \approx 13V$$

$$P_{om} = \frac{(u_{Omax}/\sqrt{2})^2}{R_L} \approx 10.6W$$

(2) 应引入电压串联负反馈，电路如解图 P9.10 所示。



解图 P9.10

(3) 在深度负反馈条件下, 电压放大倍数为

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = 50$$

$R_1 = 1 \text{ k}$  , 所以  $R_f = 49 \text{ k}$  。

9.11 OTL 电路如图 P9.11 所示。

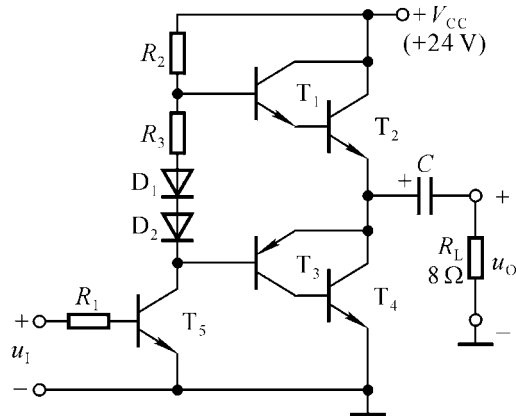


图 P9.11

(1) 为了使得最大不失真输出电压幅值最大, 静态时  $T_2$  和  $T_4$  管的发射极电位应为多少? 若不合适, 则一般应调节哪个元件参数?

(2) 若  $T_2$  和  $T_4$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 3\text{V}$ , 输入电压足够大, 则电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少?

(3)  $T_2$  和  $T_4$  管的  $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  和  $P_{CM}$  应如何选择?

解:(1) 射极电位  $U_E = V_{CC}/2 = 12\text{V}$ ; 若不合适, 则应调节  $R_2$ 。

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(\frac{1}{2} \cdot V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} \approx 5.06\text{W}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot V_{CC} - |U_{CES}|}{\frac{1}{2} \cdot V_{CC}} \approx 58.9\%$$

(3)  $T_2$  和  $T_4$  管  $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  和  $P_{CM}$  的选择原则分别为

$$I_{CM} > \frac{V_{CC}/2}{R_L} = 1.5A$$

$$U_{(BR)CEO} > V_{CC} = 24V$$

$$P_{CM} > \frac{(V_{CC}/2)^2}{\pi^2 R_L} \approx 1.82W$$

9.12 已知图 P9.12 所示电路中  $T_1$  和  $T_2$  管的饱和管压降  $U_{CES} = 2V$ ，导通时的  $U_{BE} = 0.7V$ ，输入电压足够大。

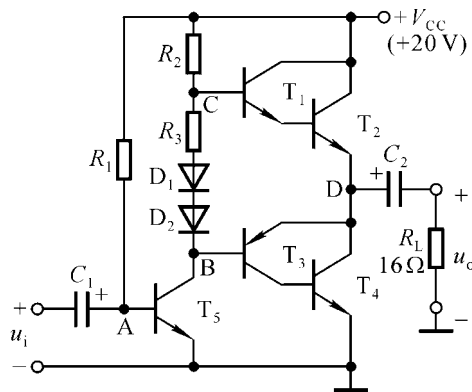


图 P9.12

(1) A、B、C、D 点的静态电位各为多少？

(2) 为了保证  $T_2$  和  $T_4$  管工作在放大状态，管压降  $U_{CE} = 3V$ ，电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率  $\eta$  各为多少？

解：(1) 静态电位分别为

$$U_A = 0.7V, U_B = 9.3V, U_C = 11.4V, U_D = 10V$$

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{(\frac{1}{2} \cdot V_{CC} - |U_{CES}|)^2}{2R_L} \approx 1.53W$$

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot V_{CC} - |U_{CES}|}{\frac{1}{2} \cdot V_{CC}} \approx 55\%$$

9.13 图 P9.13 所示为两个带自举的功放电路。试分别说明输入信号正半周和负半周时功放管输出回路电流的通路，并指出哪些元件起自举作用。

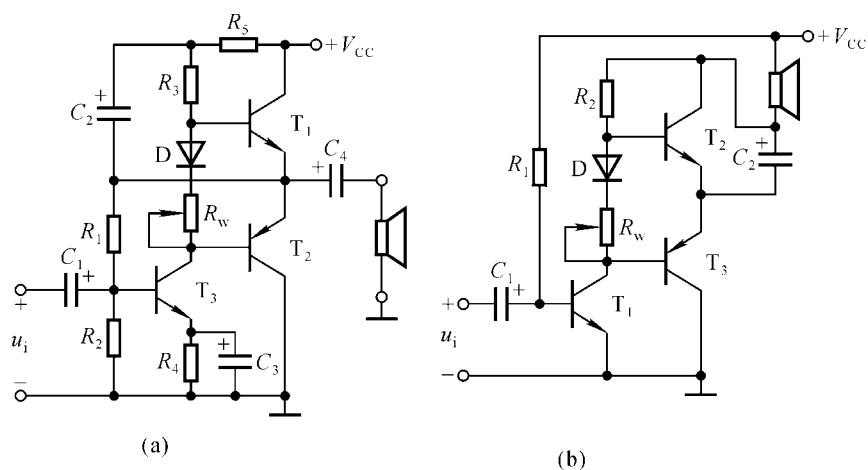


图 P9.13

**解：**在图 (a) 所示电路中，在信号的正半周，经共射电路反相，输出级的输入为负半周，因而  $T_2$  导通，电流从  $C_4$  的正端经  $T_2$ 、地、扬声器至  $C_4$  的负端；在信号的负半周，经共射电路反相，输出级的输入为正半周，因而  $T_1$  导通，电流从  $+V_{CC}$  经  $T_1$ 、 $C_4$ 、扬声器至地。 $C_2$ 、 $R_3$  起自举作用。

在图 (b) 所示电路中，在信号的正半周，经共射电路反相，输出级的输入为负半周，因而  $T_3$  导通，电流从  $+V_{CC}$  经扬声器、 $C_2$ 、 $T_3$  至地；在信号的负半周，经共射电路反相，输出级的输入为正半周，因而  $T_2$  导通，电流从  $C_4$  的正端经扬声器、 $T_2$  至  $C_4$  的负端。 $C_2$ 、 $R_2$  起自举作用。

9.14 LM1877N - 9 为 2 通道低频功率放大电路，单电源供电，最大不失真输出电压的峰峰值  $U_{OPP} = (V_{CC} - 6)V$ ，开环电压增益为 70dB。图 P9.14 所示为 LM1877N - 9 中一个通道组成的实用电路，电源电压为 24V， $C_1 \sim C_3$  对交流信号可视为短路； $R_3$  和  $C_4$  起相位补偿作用，可以认为负载为 8  $\Omega$ 。

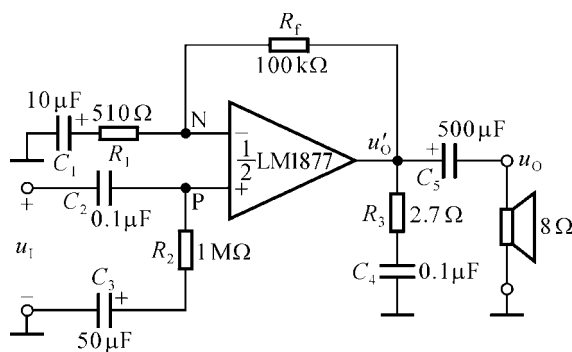


图 P9.14

- (1) 静态时  $u_P$ 、 $u_N$ 、 $u'_O$ 、 $u_O$  各为多少？
- (2) 设输入电压足够大，电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少？

解：(1) 静态时

$$u'_O = u_P = u_N = \frac{V_{CC}}{2} = 12V \quad u_O = 0V$$

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{\left(\frac{V_{CC} - 6}{2}\right)^2}{2R_L} \approx 5.06W$$

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{CC} - 6}{V_{CC}} \approx 58.9\%$$

9.15 电路如图 9.4.6 所示，回答下列问题：

(1)  $\dot{A}_u = \dot{U}_{o1} / \dot{U}_i$  ?

(2) 若  $V_{CC} = 15V$  时最大不失真输出电压的峰-峰值为 27V，则电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少？

(3) 为了使负载获得最大输出功率，输入电压的有效值约为多少？

解：(1) 电压放大倍数

$$\dot{A}_u = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{20}{0.68} \approx 30.4$$

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{\left(\frac{U_{OPP}}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} \approx 11.4W$$

$$\eta = \frac{U_{OPP}}{4 \cdot 2V_{CC}} \approx 70.65\%$$

(3) 输入电压有效值

$$U_i = \frac{U_{OPP}}{2\sqrt{2}|\dot{A}_u|} \approx 314mV$$

9.16 TDA1556 为 2 通道 BTL 电路，图 P9.16 所示为 TDA1556 中一个通道组成的实用电路。已知  $V_{CC} = 15V$ ，放大器的最大输出电压幅值为 13V。

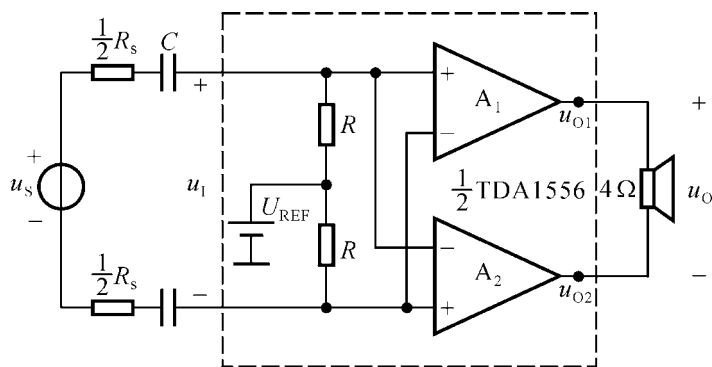


图 P9.16

(1) 为了使负载上得到的最大不失真输出电压幅值最大，基准电压  $U_{REF}$  应为多少伏？静态时  $u_{O1}$  和  $u_{O2}$  各为多少伏？

(2) 若  $U_i$  足够大, 则电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少?

(3) 若电路的电压放大倍数为 20, 则为了使负载获得最大输出功率, 输入电压的有效值约为多少?

解:(1) 基准电压

$$U_{REF} = V_{CC} / 2 = 7.5V$$

静态时

$$u_{O1} = u_{O2} = 7.5V。$$

(2) 最大输出功率和效率分别为

$$P_{om} = \frac{U_{omax}^2}{2R_L} \approx 21W$$

$$\eta = \frac{U_{omax}}{4} \cdot \frac{U_{omax}}{V_{CC}} \approx 68\%$$

(3) 输入电压有效值

$$U_i = \frac{U_{omax}}{\sqrt{2}A_u} \approx 0.46V$$

9.17 TDA1556 为 2 通道 BTL 电路, 图 P9.17 所示为 TDA1556 中一个通道组成的实用电路。已知  $V_{CC} = 15$ , 放大器的最大输出电压幅值为 13V。

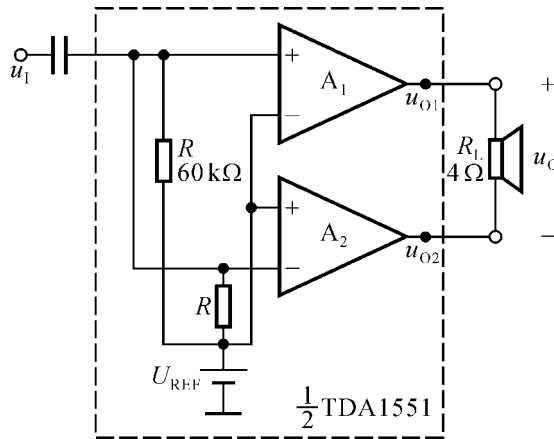


图 P9.17

(1) 为了使负载上得到的最大不失真输出电压幅值最大, 基准电压  $U_{REF}$  应为多少伏? 静态时  $u_{O1}$  和  $u_{O2}$  各为多少伏?

(2) 若  $U_i$  足够大, 则电路的最大输出功率  $P_{om}$  和效率 各为多少?

解: 同题 9.16 (1)、(2)。

9.18 已知型号为 TDA1521、LM1877 和 TDA1556 的电路形式和电源电压范围如表所示，它们的功放管的最小管压降  $U_{CEmin}$  均为 3V。

型 号	TDA1521	LM1877	TDA1556
电路形式	OCL	OTL	BTL
电源电压	$\pm 7.5 \sim \pm 20 \text{ V}$	6.0 ~ 24V	6.0 ~ 18V

(1) 设在负载电阻均相同的情况下，三种器件的最大输出功率均相同。已知 OCL 电路的电源电压  $\pm V_{CC} = \pm 10\text{V}$ ，试问 OTL 电路和 BTL 电路的电源电压分别应取多少伏？

(2) 设仅有一种电源，其值为 15V；负载电阻为  $32 \Omega$ 。问三种器件的最大输出功率各为多少？

解：(1) OTL 电路应取  $V_{CC} = 20\text{V}$ ，BTL 电路应取  $V_{CC} = 13\text{V}$ 。

(2) OTL、OCL 和 BTL 电路的最大输出功率分别为

$$P_{om(OTL)} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{2} - |U_{CEmin}|\right)^2}{2R_L} \approx 0.316\text{W}$$

$$P_{om(OCL)} = \frac{(V_{CC} - |U_{CEmin}|)^2}{2R_L} = 2.25\text{W}$$

$$P_{om(BTL)} = \frac{(V_{CC} - 2|U_{CEmin}|)^2}{2R_L} \approx 1.27\text{W}$$

9.19 电路如图 P9.2 所示。在出现下列故障时，分别产生什么现象。

- (1)  $R_1$  开路； (2)  $D_1$  开路； (3)  $R_2$  开路； (4)  $T_1$  集电极开路；  
 (5)  $R_1$  短路； (6)  $D_1$  短路。

解：(1) 仅有负半周；

(2)  $T_1$ 、 $T_2$  将因功耗过大而损坏；

(3) 仅有正半周；

(4)  $T_2$  将因功耗过大而损坏；

(5)  $u_O = V_{CC} - U_{BE1} = 14.3\text{V}$ ；

(6) 稍有交越失真。



9.20 电路如图 P9.4 所示。在出现下列故障时，分别产生什么现象。

- (1)  $R_2$  开路；      (2)  $D_1$  开路；      (3)  $R_2$  短路；  
(4)  $T_1$  集电极开路；      (5)  $R_3$  短路。

解：(1) 无输出；

(2) 功放管将因功耗过大而损坏；

(3)  $u_O = V_{CC} - U_{BE1} - U_{BE2} = 16.6V$

(4) 正、负半周不对称，正半周幅值小；

(5) 稍有交越失真。