

文章编号: 1002-6061(2001)06-0017-05

用集成功放组成的精密功率放大器

王文海 金海彬

(中国航空长城计量测试技术研究所,北京 1066 信箱电学处,100095)

摘要 介绍了一种用厚膜集成功放加上稳幅电路组成的精密功率放大器,其稳定度、频率响应和波形失真都达到了很高的指标。

关键词 集成功放 稳幅电路 精密功放

Accurate Power Amplifier Composed of Integrated Power Amplifier

Wang Wenhai, Jin Haibin

Abstract An accurate power amplifier composed of thick film integrated power amplifier and fixed amplitude circuit is presented. Its stability, frequency response and waveform distortion are all reached a very high level.

Key words Integrated power amplifier, Fixed amplitude circuit, Accurate power amplifier

计量测试中所用的信号源几乎都要使用功率放大器,尤其在计量中使用的信号源,由于对稳定度、失真、频响等指标有更高的要求,故多使用精密功率放大器。

400 Hz 机载电源数字化检测设备校准信号发生器研制中,对功放的要求是:输出电压短期稳定度(5 min)不超过 0.005%,失真度不超过 0.08%,频率响应在 300~500 Hz 范围内不超过 $\pm 0.01\%$,在 400~20000 Hz 范围内不超过 $\pm 0.5\%$,输出与输入相位差的稳定度在 300~500 Hz 范围内不超过 0.01°。要研制要求如此之高的功放,特别是失真和频率响应存在不少困难。

集成功放多为音响电路研制的,具有频率响应好,失真低的优点,同时,集成功放还有使用方便、外界元件少、有比较完善的保护电路等特点。经过研究和试验,采用集成功放电路加上稳幅电路做成精密功率放大器,经过电路的改进和调试,达到了预期的效果。

1 STK465 集成功放简介

日本三洋公司为音响设备研制的厚膜集成功放 STK465 是由两路功放组成,用于音响电

路左右声道的放大,是 16 引脚的功放电路。输出功率为 30 W,失真度小于 0.08%,3 dB 带宽为 20~20000 Hz,供电电源为 ± 28 V。

图 1 是一路的内部电路图,图 2 为音响电路中常用的电路图。在我们的使用中,基本结构和图 2 所示相同,只是将图 2 中的喇叭更换为输出变压器,增加和调整了个别的去耦和消振元件。为增加稳定性,反馈回路的电阻选用了 RN 型精密电阻,电容使用了钽电容。其他电阻采用了金属膜电阻。

2 稳幅电路

为了达到幅度和相位稳定性的指标和拓宽频率响应范围,增加了稳幅电路。稳幅电路的基本思路是将输出的变化量取出,补偿到输入端。当输出增大时,补偿的作用是负反馈,使输入信号被减小,当输出减少时,补偿的作用使输入信号增大,以保持输出不变。

在实际测试信号源电路中,主要有直流比较和交流比较两种典型线路,其原理框图分别为图 3 和图 4 所示。

在图 3 所示的直流比较电路中,输出信号经衰减和交流变换后与直流给定值相比较,误

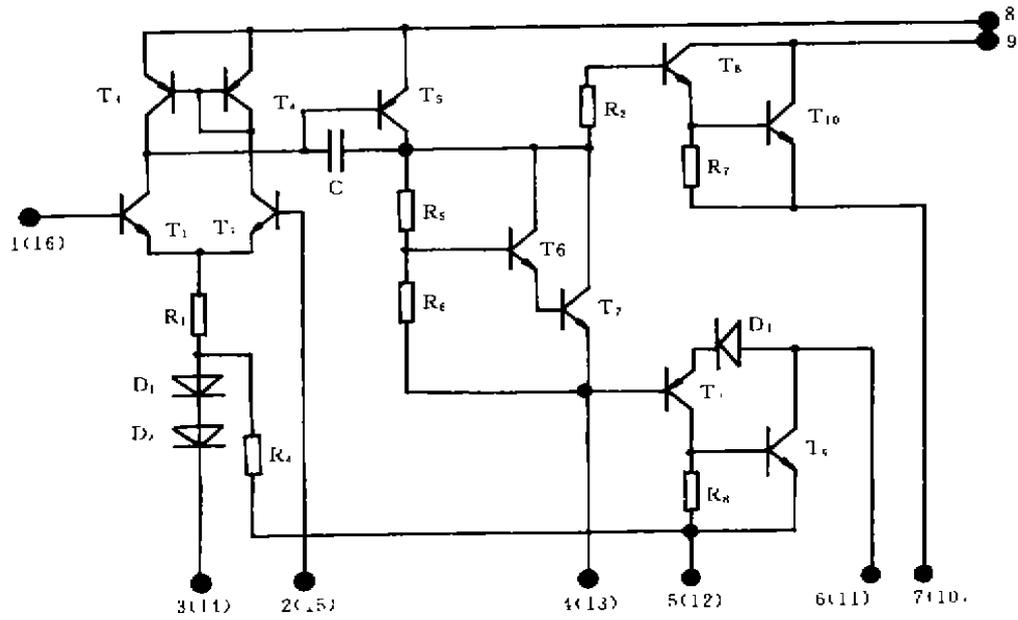


图 1

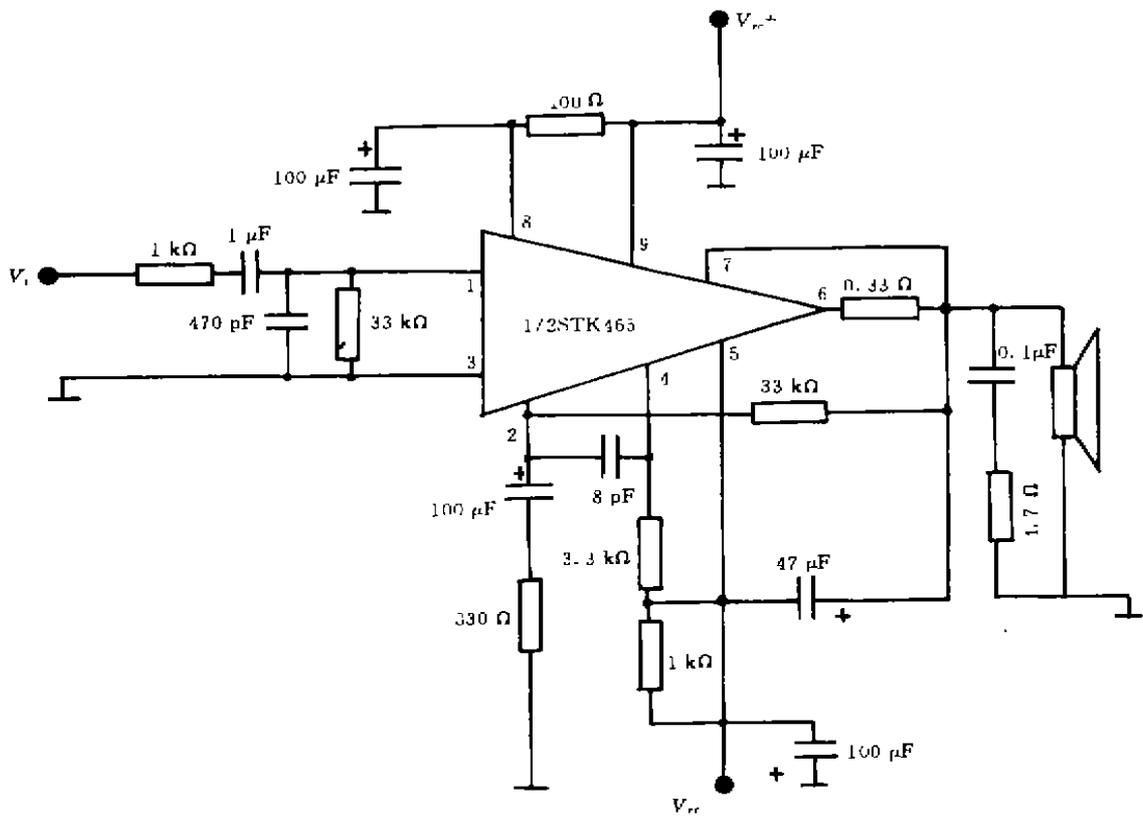


图 2

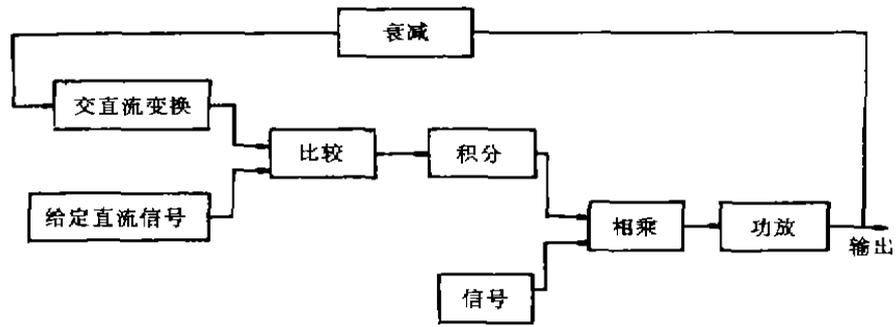


图 3

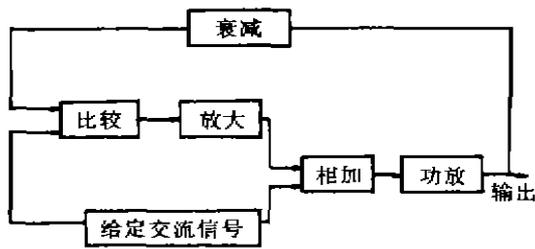


图 4

差经积分器放大去控制压控放大器(乘法器)的增益,由压控放大器改变功放输入信号的幅度,使输出稳定。这种电路由于有积分环节,当给定值与输出有偏差时,通过积分最后消除输出误差,所以直流给定值与交流输出的线性极好,因

此多用于标准源电路中,其缺点主要是线路复杂,且对波形失真和相移没有补偿作用。

在图 4 所示的交流比较电路中,输出的交流信号经衰减后与交流给定信号相比较,误差经放大后与交流给定信号相加或相减,从而稳定输出。此种电路线路比较简单,而且由于是交流瞬时值的比较,还可补偿功放的波形失真和相移。其缺点是交流给定和交流输出有静差,从而线性比较差,多用于不直接给出量值的测试电源。

上述课题中,由于对功放提出了波形失真和相位差稳定度的要求,因此选用图 4 所示的交流比较方案,其基本电路如图 5 所示。

在图 5 中, F_A 为前置放大, P_A 为集成功放

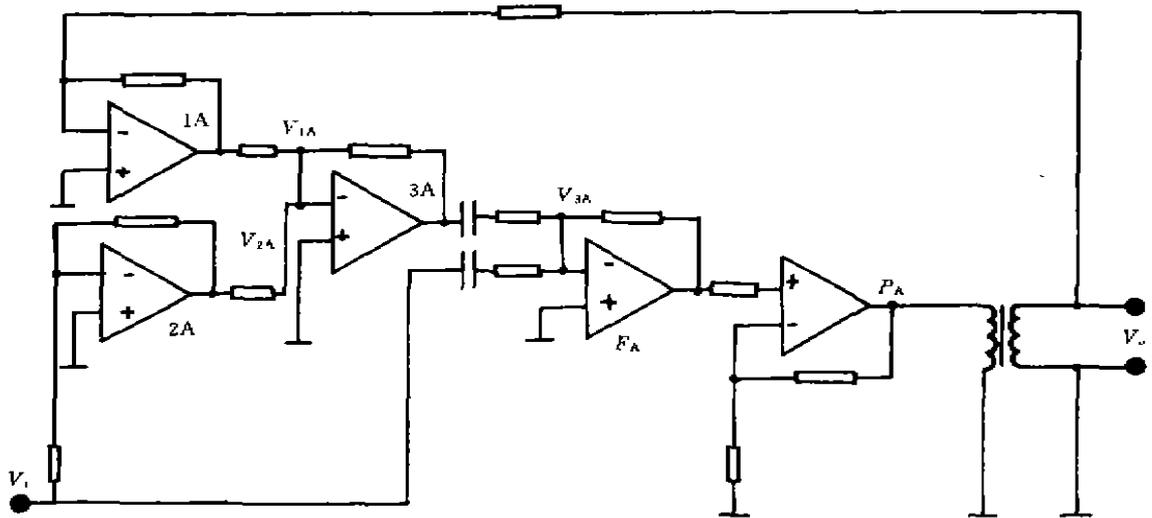


图 5

电路, F_A 与 P_A 组成功放的主回路, V_o 为经变压器的输出, 1 A、2 A、3 A 为稳幅电路。稳幅电路的工作原理是: 输出电压 V_o 经 1 A 衰减变换为 V_{1A} , 输入信号 V_i 经 2 A 反相后为 V_{2A} , V_{1A} 和 V_{2A} 在误差放大电路 3 A 的输入端是反相的, 二者进行比较, 当输出 V_o 偏高时, $V_{1A} > V_{2A}$, 3 A 的输出 V_{3A} 与输入信号 V_i 反相, 抵消一部分 V_i , 使 V_o 保持不变; 当 V_o 偏低时, $V_{1A} < V_{2A}$, V_{3A} 与输入信号 V_i 同相, 增加一部分 V_i , 仍使 V_o 保持不变, 使 V_o 紧紧跟随 V_i 。

F_A 、1 A、2 A、3 A 选用 NE5532 运放电路, 从图 5 可以看出 V_{1A} 和 V_{2A} 对输入信号的跟踪能力, 对电路的稳定性起重要作用, 因此反馈电阻

和 1 A、2 A 所用的电阻均选用 RN 型精密电阻, 耦合电容选用无极性钽电容, 其他电阻选用精密金属膜电阻。

3 测试结果

电路组装和调试完成后, 对精密功放的技术指标进行了测试。

3.1 输出电压频率响应测试

由 5200 A 交流校准源输出 1 V 的标准信号(用 7081 数字电压表监测), 加到功放的输入端, 改变输入信号的频率 f , 保持输入信号的幅值不变, 用 7081 数字电压表测量功放的输出信号 V_o , 结果如下:

| | | | | | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| f/kHz | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| V_o/V | 40.0554 | 40.0691 | 40.0734 | 40.0745 | 40.0741 | 40.0730 | 40.0702 | 40.0665 |
| f/kHz | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
| V_o/V | 40.0484 | 40.0292 | 40.0151 | 40.0037 | 39.9959 | 39.9905 | 39.9870 | 39.9868 |
| f/kHz | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | | |
| V_o/V | 39.9885 | 40.0010 | 40.0211 | 40.0512 | 40.0923 | 40.1424 | | |

从上述结果可以看出:

300~500 Hz 间, 输出电压的最大变化为 0.0012 V, 与 400 Hz 的输出电压 40.0745 V 相比, 变化不超过 0.003%。

100 Hz~20 kHz 间, 最大输出电压发生在 20 kHz 为 40.1424 V, 最小输出电压发生在 9.0 kHz 为 39.9868 V, 与 400 Hz 的输出电压 40.0745 V 相比, 频率响应误差为 -0.22%~

0.17%。

3.2 输出电压短期稳定度测试

由 5200 A 交流校准源输出 400 Hz、1 V 的标准信号(用 7081 数字电压表监测), 加到功放的输入端, 保持输入信号的幅值不变, 用 7081 数字电压表测量功放的输出信号 V_o , 在规定时间内, 观测其变化量, 结果如下:

| | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 时间/min | 1 | 3 | 5 | 10 |
| $V_o(\text{V})$ | 40.0744~40.0748 | 40.0741~40.0748 | 40.0741~40.0748 | 40.0741~40.0750 |

从上述结果可以看出, 功放输出电压的短期稳定度为: 1 min 为 0.001%, 3~5 min 为 0.0018%, 10 min 为 0.0023%。

3.3 输出电压波形失真测试

| | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| f/kHz | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 5.0 | 10 | 20 |
| 失真度% | 0.0085 | 0.0090 | 0.010 | 0.013 | 0.015 | 0.03 | 0.07 |

用 XO-10 超低失真信号发生器输出 2 V 的信号加至功放的输入端, 改变信号发生器的频率 f , 用 DF4120 超低失真测量仪测量输出电压 V_o 的波形失真, 结果如下:

从上述结果可以看出:在 300~500 Hz 范围,失真度不超过 0.01%,在 300 Hz~20 kHz 范围,失真度不超过 0.07%。

3.4 输出相位差短期稳定度测试

用 XO-10 超低失真信号发生器输出 5 V 的信号加至功放的输入端,用 PHS-1 精密相位计测量功放输入信号和输出信号间的相位差,并在信号频率为 300 Hz、400 Hz、500 Hz 各观察 5 min,考察相位差的变化。

当信号频率为 300 Hz、400 Hz、500 Hz,输入信号和输出信号间的相位差均为 0.02°,各观察 5 min,未发现在相位计上有可观察的变化。PHS-1 精密相位计的分辨力为 0.01°。

3.5 线性度测试

由 5200 A 交流校准源输出 400 Hz 的信号,加到功放的输入端,调节信号大小从 0.1~5 V(用 7081 数字电压表监测),用 7081 数字电压表测量功放的输出信号 V_o ,试验结果如下:

| | | | | | | | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| V_i/V | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| V_o/V | 4.00218 | 8.00942 | 16.0123 | 24.0172 | 32.0231 | 40.0300 | 48.0372 |
| $K=V_o/V_i$ | 40.0218 | 40.0471 | 40.0308 | 40.0287 | 40.0289 | 40.0300 | 40.0310 |
| V_i/V | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 |
| V_o/V | 56.0623 | 64.0725 | 72.0821 | 80.0908 | 88.0981 | 96.1041 | 104.1119 |
| $K=V_o/V_i$ | 40.0445 | 40.0453 | 40.0456 | 40.0454 | 40.0446 | 40.0434 | 40.0430 |
| V_i/V | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.0 |
| V_o/V | 112.1204 | 120.1258 | 128.1327 | 136.1431 | 144.202 | 152.205 | 160.218 |
| $K=V_o/V_i$ | 40.0430 | 40.0419 | 40.0415 | 40.0421 | 40.0561 | 40.0539 | 40.0545 |
| V_i/V | 4.2 | 4.4 | 4.6 | 4.8 | 5.0 | | |
| V_o/V | 168.234 | 176.249 | 184.272 | 192.299 | 200.324 | | |
| $K=V_o/V_i$ | 40.0557 | 40.0556 | 40.0591 | 40.0621 | 40.0648 | | |

从上述测试结果可以看出:功率放大器的电压放大倍数的平均值为 40.0433,最大放大倍数为 40.0648,出现于输入信号为 5.0 V 时,最小放大倍数为 40.0218,出现于输入信号为 0.1 V 时,最大与最小放大倍数与平均值之差为 $\pm 0.054\%$;当输入信号过大和过小时,线性变差,但中间位置线性比较好。

4 结论

1)用 STK465 集成功放加入稳幅电路所组成的精密功放,输出电压、相位的稳定度,频率响应和波形失真都达到了很高的水平,超过了整机提出的技术要求。当本功放装入整机后,经

简单调试即满足了整机的技术指标要求。

2)与稳定性、频率响应和波形失真的优越性能相比,本精密功放的线性度稍差一些,只达到 $\pm 0.054\%$,这是由于采用交流比较线路所存在的固有缺点造成的。

3)在试验中发现,增加误差放大器 3 A 的放大倍数,还可以改善频响等指标,但放大倍数越大,电路越不稳定,改变输入信号后的稳定时间越长。

2001-03-12 收稿

王文海 58 岁 男 高级工程师