

9-12

无负反馈对称两级放大

MOS—FET 甲乙类功率放大器

· 从余

7N722.75

本文介绍一款电路简单、音质好的无环路负反馈功率放大器。该放大器用四只场效应管组成对称两级放大电路,加上偏置电路、稳压电路,全机一共使用了六只场效应管和一只晶体三极管。不采用大环路负反馈,只在各放大级内引入适当的电流负反馈,使放大器工作稳定。在音质方面,该机作者认为在音质的自然质感和力度方面达到了其他负反馈放大器未能达到的高度,是一项成功之作。从该机特性来看,该机

尽管没有采用大环路负反馈,但性能方面仍很出色,频率范围扩大至100kHz,失真率在接近最大输出时仍能控制在1%以下。

由于在放大器中引入大环路负反馈会对放大器的音质产生负面影响,所以近年来无负反馈放大器大量涌现。如何做才能提高无负反馈放大器的音质呢?对于无负反馈放大器来说,如果能做到①频率特性为3Hz~100kHz、②谐波失真率在1%以下、③输出阻抗在 1Ω 以下的

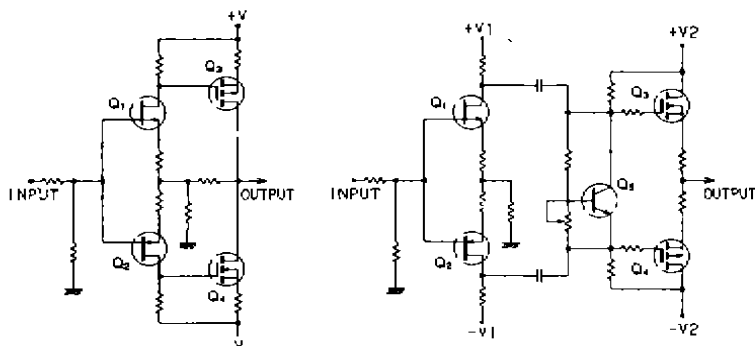
话,放大器的音质就会获得很大的改善。上述三项指标第一项频率特性实现起来并无多大困难是可以实现的。谐波失真率当考虑到扬声器的失真率,控制在1%以下也是不成问题的。放大器的输出阻抗与电路及元器件有关连,需通过选电路和元器件来实现。该功率放大器的设计思想是如何用简单的电路满足上述三项要求,获得高音质。

一、电路

该功率放大器的电路非常简单,仅由四只场效应管组成。用四只场效应管组成对称功率放大器时有图1(a)、(b)两种电路。这两种电路均由四只场效应管组成对称两级大功率放大器,如果不用FET就无法用四只半导体放大器件组成对称两级功率放大器。

(a)电路的输入级、输出级都采用源极接地的共源电路,这种连接方法输出级的输出阻抗高,必须加20dB以上的负反馈。但加入负反馈会引起信噪比恶化。

(b)电路输入级采用共源电路,



(a)源极的接地对称两级放大
有大环路负反馈

(b)输入级源极接地,输出
级漏极接地,无大环路负反馈

图1 四管组成的两级对称放大功率放大器

实测频谱图大出所料:在-60dB~100dB,1kHz的测试信号反比只有1级PLL恶化了(图10b),这款电路看起来“砸锅”了。

坚信“类NFB理论”者认为不是理论有问题,“不畏浮云遮望眼”,继续寻找问题的根源。那么实测数据与理论不一致原因何在呢?对电路进行冷静分析后发现:比较器的非线性、某些频带段(本机在800Hz附近)环路增益大会出现轻微峰振以及环路滤波器的稳定性都会使跳动特性恶化。

本机的环路滤波器部分如图11。它的理想波形与实际波形相去甚远。对环路滤波器进行重新设计,把

PLL的截止频率下移至10Hz左右,摩机后的改造电路如图12。经过这番打磨,这款曾在92年发表在日本《无线电技术》杂志上的超级DA处理机(图9)的跳动特性得到了根本性改善。彻底“根除了”100Hz~1kHz成分的跳动失真(图13)。

正确设计第2PLL环路滤波器,才能充分发挥第2PLL的功能。图14是用仪表测试出的改进电路的波形图。铁的事实证明:数码机种防止跳动失真,采用两级PLL电路技术,是最有效的途径之一。由此可见,低跳动失真IC加第2PLL电路,能把数码机种的靓音推上一个更完美的台阶。译至:日《ラジオ技术》'94,2期

入输出端、电源与电路板之间的连线图。

由于输入级对称电路加有电流反馈,会使增益下降。所以即使上下电路两只场效应管的 G_m 相差一倍,上下放大电路的增益也相差很小,从使用的角度来看完全没有什么问题。此外,在电路中设置有调整元件,当 G_m 不同时,可以通过调整使上下电路的增益相等。

对输入级 FET 的参数测试主要有 I_{DSS} 和 V_{GS} 两项,测试时使用图 6 所示的测试电路。 V_{GS} 在漏极电流为 5mA 时测量,调整源极电阻 R ,使漏极 100Ω 负载电阻两端的电压降为 0.5 伏,用电表读出此状态下

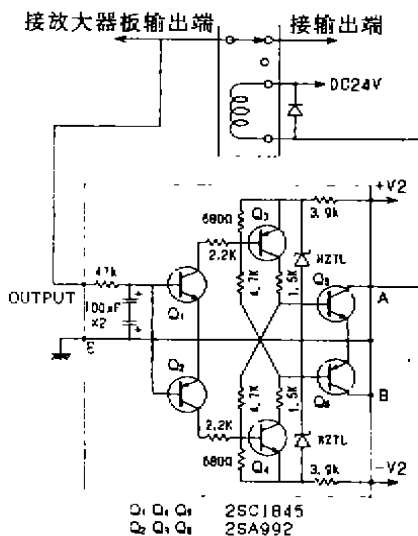


图 3 扬声器保护电路

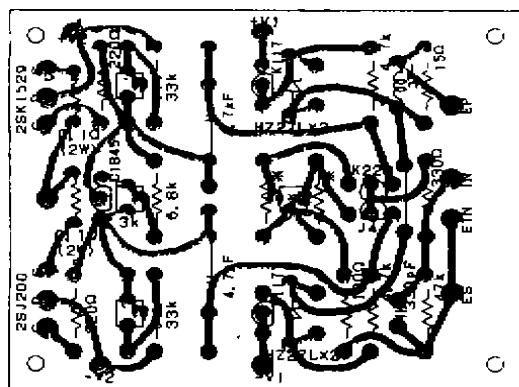


图 4 放大器印刷板的元器件配置(元件面,缩小 30%)

额定值 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

项 目	符号	2SK1529	2SJ200	单位
漏源间电压	V_{DS}	180	-180	V
栅源间电压	V_{GS}	± 20	± 20	V
漏极电流	I_D	10	-10	A
容许功耗 ($T_a=25^\circ\text{C}$)	P_D	120	120	W
沟道温度	T_{ch}	150	150	$^\circ\text{C}$
保存温度	T_{stg}	-55~150	-55~150	$^\circ\text{C}$

2SK1529 的电气特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

项 目	符号	测试条件	最小	标准	最大	单位
栅极漏电流	I_{GSS}	$V_{GS}=0, V_{DS}=\pm 20V$	—	—	± 0.5	μA
漏源间电压	V_{DS}	$I_D=10\text{mA}, V_{GS}=0$	180	—	—	V
栅源间阻断电流	$V_{GS(off)}$	$V_{DS}=10V, I_D=0.1A$	0.8	—	2.8	V
漏源间饱和电压	$V_{DS(on)}$	$I_D=6A, V_{GS}=10V$	—	2.5	5.0	V
正向转移导纳	$ Y_{fs} $	$V_{DS}=10V, I_D=3A$	—	4.0	—	S
输入电容	C_{iss}	$V_{DS}=30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	700	—	pF
输出电容	C_{oss}	$V_{DS}=30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	150	—	pF
反馈电容	C_{rss}	$V_{DS}=30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	90	—	pF

(注) $V_{GS(off)}$ 区分 O: 0.8~1.8, Y: 1.4~2.8

2SK1529 的电气特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

项 目	符号	测试条件	最小	标准	最大	单位
栅极漏电流	I_{GSS}	$V_{GS}=0, V_{DS}=\pm 20V$	—	—	± 0.5	μA
漏源间电压	V_{DS}	$I_D=-10\text{mA}, V_{GS}=0$	-180	—	—	V
栅源间阻断电流	$V_{GS(off)}$	$V_{DS}=-10V, I_D=-0.1A$	-0.8	—	-2.8	V
漏源间饱和电压	$V_{DS(on)}$	$I_D=-6A, V_{GS}=-10V$	—	-1.5	-5.0	V
正向转移导纳	$ Y_{fs} $	$V_{DS}=-10V, I_D=-3A$	—	4.0	—	S
输入电容	C_{iss}	$V_{DS}=-30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	1300	—	pF
输出电容	C_{oss}	$V_{DS}=-30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	350	—	pF
反馈电容	C_{rss}	$V_{DS}=-30V, V_{GS}=0, f=1\text{MHz}$	—	200	—	pF

(注) $V_{GS(off)}$ 区分 O: -0.8~-1.6, Y: -1.4~-2.8

■ 的 V_{GS} 值(测量 N 沟道场效应管时 $V_D=20V\sim 30V$, P 沟道时 $V_D=-20V\sim -30V$)。该 V_{GS} 值的 200 倍为源极电阻,约为数拾欧姆。由于电阻的计算值不会正好等于电阻的标称值,此时可选用比计算值稍大一点的标称值电阻。

在测量场效应管的 I_{DSS} 时,将源极电阻 R 旋至零,测量漏极负载电阻 100Ω 上的电压降即可求出 I_{DSS} 。测试 2SK117 时 V_D 不宜太高,以 6~9 伏为宜。

上下两个源极间串入的半可变电阻按上下两个源极电阻之和的 5~10 倍选取。

电源变压器应选用输出功率为 20~30W 的品种。

三、调整方法

整个调试工作由输出级开始,需调试的内容有输出端失调电压和静态电流两项。在调整之前先将电源与栅极间的 500Ω 半可变电阻旋至电阻值最大。

用电表测量输出端的直流电压,若该电压为正电压,就调整负电压一侧的半可变电阻,使输出端直流电压为零伏。同理,当输出端直流电压为负电压时,应调整正电源电压一侧的半可变电阻,使输出端直流电压为零伏。应使其中的一侧半可变电阻保持为最大值。调整完后可用固定电阻将半可变电阻换下。

静态电流用偏置电路中的 $3k\Omega$ 半可变电阻加以调整,使输出级 MOS-FET 0.1Ω 源极电阻两端的电压为 10mV。

上述两项调整应重复进行 2~3 次。调整完之后将 0.1Ω 电阻取下,用短接线连接。这样做对音质有改善效果。将此电阻取下后,静态电流的增幅在 10% 以下,不会对放大器造成任何不良影响。

输入级的调整是以输出功率最大、失真率减至最小为目的进行的。源极半可变电阻的位置大致在中央位置为好。若做得更精确一点的话,应以所测到 V_{GS} 值的 200 倍作为该管的源极电阻值,应将半可变电阻调整至该值。若手边有失真仪的话可测量输出电压为 7~10V(输出功率为 6~12W)时的失真率,使其失真率最小。

四、测试结果

图 7 是谐波失真率特性。图中

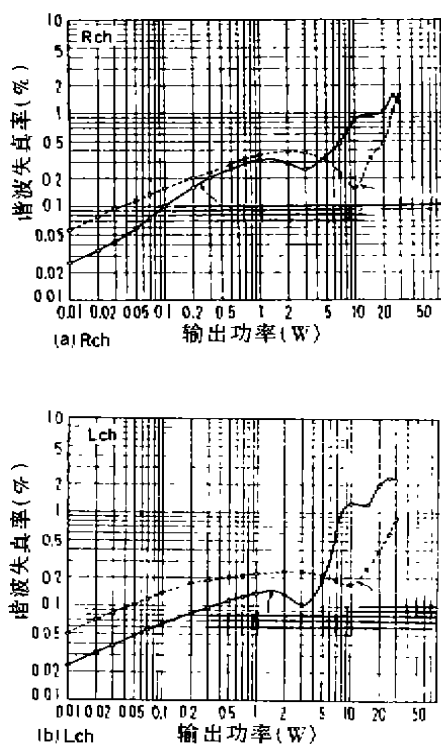


图 7 谐波失真率特性

实线将输出为 5V 的失真率调至最小
虚线将输出为 10V 的失真率调至最小

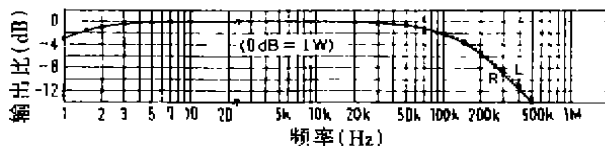


图 8 频率特性

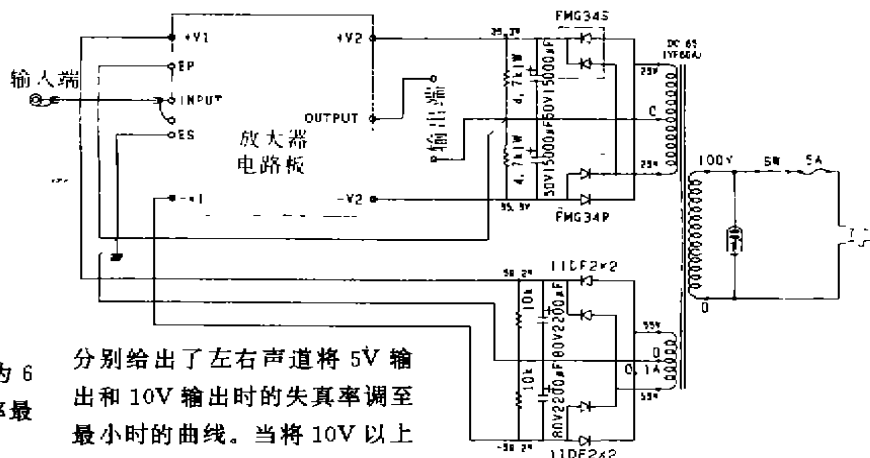


图 5 输入输出端、电源、电路板间的连线图

分别给出了左右声道将 5V 输出和 10V 输出时的失真率调至最小时的曲线。当将 10V 以上的失真率调至最小时低电平的失真将增加。当将 5V 以下的失真率调至最小时高输出的失真将增加。所以应通过调整输入级的源极电阻使输出电压为 10V(或 10W)左右时的失真率最小。

图 8 是该功率放大器的频率特性,其高端 -3dB 时的频率为 130kHz,可见用无负反馈放大电路同样可以获得很宽的带宽。

图 9 是输出阻抗特性,右声道为 0.86Ω,左声道为 1.13Ω。左声道超过了目标值 1Ω。此时若将左声道输出级的静态工作电流增加 120mA 左右就可将输出阻抗降至 1Ω 以内。

右声道的残留噪声为 0.

25mV(A 曲线校正值 0.06mV),左声道为 0.29mV(A 曲线校正值 0.07mV)。由此可见,用无负反馈电路同样可以使残留噪声做到很低。

参考文献:日刊“无线与实验”1996 年第 8 期

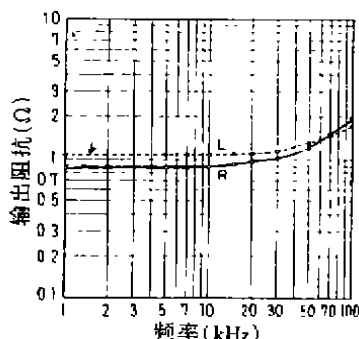


图 9 输出阻抗特性

(上接第 3 页)器的输入输出特性。图 3 是频率特性,图 4 是谐波失真率特性。与改进前相比,100Hz、1kHz 的谐波失真率有所改善。谐波失真率随输出功率的增加而缓缓增加。阻尼系数在 8Ω 负载时为 20 左右。残留噪声用 JIS-A 曲线测量,输入短路时 R 声道为 0.045mV, L 声道为 0.057mV。

最大输出功率在 8Ω 负载时为 4W。参考文献 日刊“无线与实验”95 年 12 期

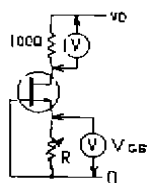


图 6 测试电路