

功率放大器

高保真

制作

④

11-16

300W Hi-Fi 功放制作

· 何明炜

TN 722.75

本功放具有很高的性能和自我保护能力,它能为 4Ω 负载提供 306W(或为 8Ω 负载提供 176W)音乐功率,电路比较简单,制作并不困难,适合宽大客厅、卡拉 OK 舞厅、家庭舞会用作 Hi-Fi 扩音功放。也可制作两台,构成双声道立体声功放,用于家庭音乐厅。本功放的技术性能见表 1。

有的朋友或许要问,家庭室内使用 300W 功放是否有点浪费?的确,对一般家庭居室而言,使用每通道 30~40W 的功放似乎已经足够,但在重放动态范围较大的乐曲时,

要求功放输出的瞬时峰值功率达到平均功率的 10~20 倍,即便使用 50W 功放也会捉襟见肘。如果所用的扬声器系统效率不高,则更显得力度不足,此时音质恶化在所难免。同时不要忘记,功率增加一倍并不意味着分贝数增大 6dB,而只是增加 3dB。因此,为了实现高保真重放,把功放的输出功率设计得大一些,使其具有足够的富裕量是完全必要的。其具体数值当然要视房间大小和扬声器系统的效率高低而定,对 30~40m³ 的客厅和小型卡拉 OK 厅来说,使用每通道 300W

的功放是比较合适的。

在这样大的输出功率下,除保证功放的高性能外,还必须对功放和扬声器采取有效的安全保护措施。这就势必会增加电路的复杂性和制作的难度。为了解决这个问题,本功放采用集成电路与分立器件组成的混合电路,由 NE5534 担任前置放大,LM393 担任保护电路,所有元器件均采用“大路货”,因而与同等级的功放相比,本功放的电路较为简洁,制作也比较容易。

一、电路

如图 1 所示,IC1(NE5534)及其周边元件组成前置放大器,输入信号经低通滤波器 C5—R3 和高通滤波器 R2—C6 滤除带外干扰后加到 IC1 的反相输入端。取自功放输出端(D7、D8 联接点)的负反馈信号则经 R9、R4 加到 IC1 的同相输入端。R9—C12 和 R5—C7—C8 组成频率补偿网路,IC1 的放大倍数取决于 R9 与 R5 的比值,约为 40 倍。

IC1 的输出信号经 R6 送到驱动级 T1 和 T3,这两只管子工作于甲类,其静态电流由分压器 R10~R13 设定为 10mA。该级为驱动输出级提供所需的增益。

输出级由驱动管 T6、T7 和功放管 T8—T9、T14—T15 组成。其中, T8 与 T14、T15 分别并联起来,以增大输出功率。这四只管子能承受 20A 集电极电流和 250W 耗散功率。为了避免交越失真,由 T2 与 R16~R19、P1 组成的等效齐纳二极管电路通过 T6、T7 为功放管提供少量静态电流,使其工作于甲、乙类,此静态电流可用 P1 调定。

表 1 300W Hi-Fi 功放的性能

项 目	测试条件		性能指标
输入灵敏度			1V _{rms}
输入阻抗			17.8k Ω
输出功率	THD=0.1%	8 Ω 负载	164W
		4 Ω 负载	275W
音乐功率	500Hz 脉冲串, 通断各 5 个周期	8 Ω 负载	176W
		4 Ω 负载	306W
功率带宽	90W/8 Ω		7Hz~67kHz
信噪比	以 8 Ω /1W 作参考, A 计权		>96dB
总谐波失真 (THD+N)	输入 1kHz, 带宽 80kHz	1W/8 Ω	<0.004%
		150W/8 Ω	<0.001%
互调失真	50Hz : 1kHz = 4 : 1	1W/8 Ω	<0.003%
		100W/8 Ω	<0.035%
动态互调失真	方波加 15kHz 正弦波	1W/8 Ω	<0.004%
		150W/8 Ω	<0.06%
阻尼系数	8 Ω 负载	1kHz	<345
		20kHz	<275
转换速率			20V/ μ s

为了取得最高的热稳定性,将 T1—T3 和 T6—T7 装在同一个散热器上,使静态电流保持在规定范围之内。在大信号驱动下,静态电流变大,但当输入电平降低时,静态电流即缓慢地减小到调定值。

二极管 D7、D8 保护功放管不致被感性负载产生的反压击穿。R30—C17 组成波切洛特网络,以增强放大器的高频稳定性。当负载呈容性(如使用静电式扬声器)时,电感 L1 可以防止功放管过载。R29 保证输出的方波不受 L1 的影响。

T4—T5 及其周边元件组成过流保护和短路保护电路。当输出过载或

出现短路时,流过电流 R25 和 R27 的电流增大,其两端压降分别使 T4、T5 导通。于是, T6、T7 的输入端被 T4、T5 短路,功放管的输出电流即减小到零。

双比较器 IC2(LM393)与 T10~T13、发光二极管 D13、D14 等组成过流和扬声器保护电路。+60V 电源经 R42 和 D10 稳压为该电路提供 +15V 电源电压。该电路的“AC”端接到电源变压器次级的其中一个输出端。当接通电源时, AC 端的交流电压经 D12 整流得到的直流负电压通过 R50 加到 T12 的基极,使 T12 截止,于是电源通过

R36、R44 开始向 C20 充电。在 C20 充电期间, IC2b 同相输入端(5 脚)电压低于反相输入端(6 脚), IC2b 输出低电平,使发光二极管 D13 点亮。此时 T13 截止,继电器 Re1 不工作,其接触点开路,使扬声器处于断开状态。当 C20 充电到 IC2b 的 5 脚电压高于 6 脚时, IC2b 翻转并输出高电平, T13 导通, Re1 吸合,扬声器才被接到功放输出端,同时 D13 熄灭,表示已完成扬声器延时接通。当断开电源时, T12 基极的直流负电压消失而变成正向偏置,于是 T12 立即导通,并将 IC2b 同相输入端拉到地电位,使 IC2b 输出低

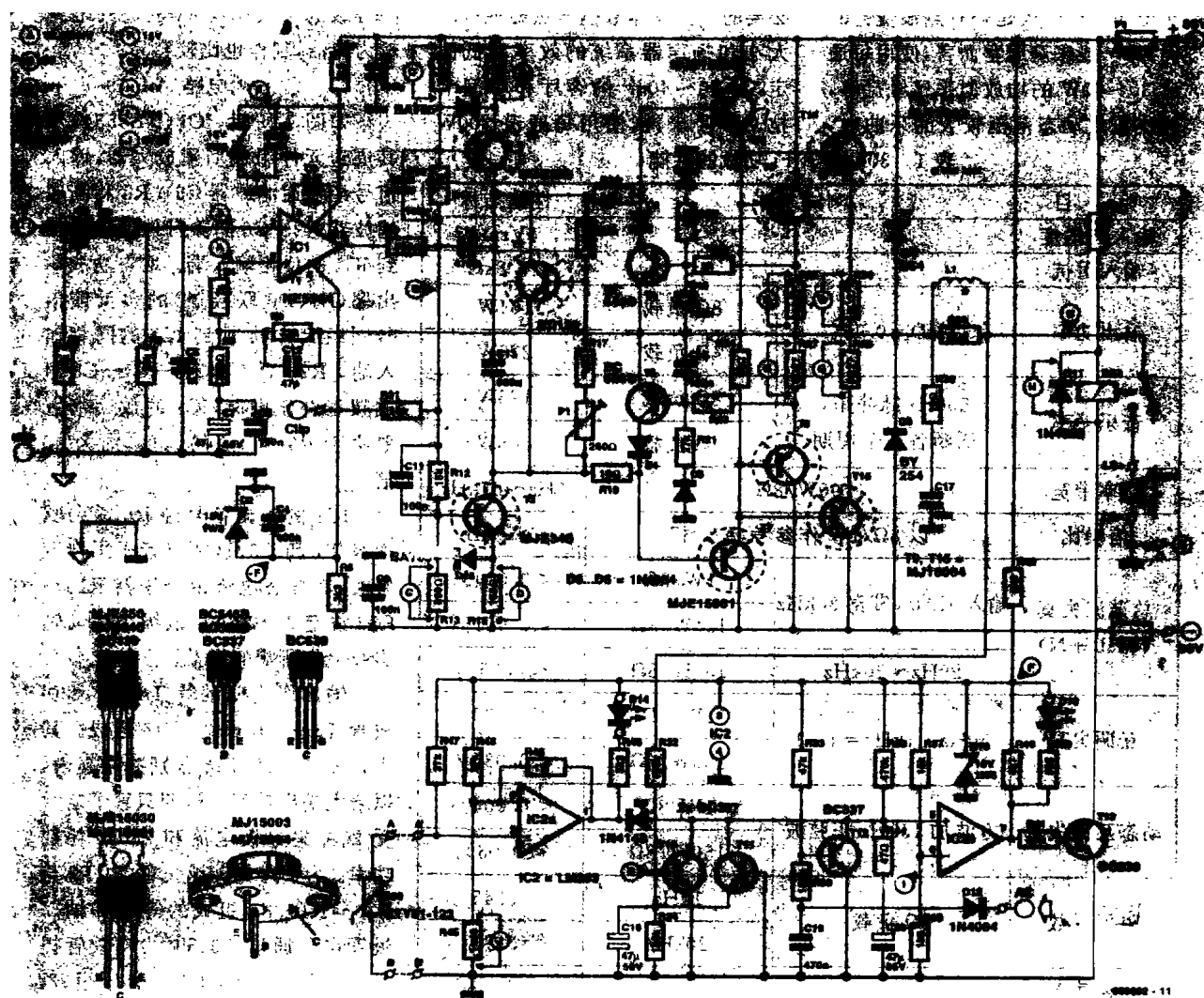


图1 300W Hi-Fi 功放电路图

电平、T13 截止、Re1 释放,扬声器即被迅速断开。这样,在接通和断开电源时,放大器因处于过渡状态而输出的直流电压就不会加到扬声器,从而有效地避免了通断电源时产生的“扑扑”声或烧坏扬声圈的现象。

该电路还保护扬声器不致被功放可能输出的直流电压烧坏。当功放输出的直流正电压大于 1.7V 时,此电压经 R32—R34 分压后加到 T10 基极使 T10 导通;当功放输出的直流负电压低于 -4.8V 时,则 T11 导通,二者都是使 IC2b 的 5 脚短路到地,其结果都是将扬声器断开,以免扬声器被过高的直流电压烧坏。在扬声器断开期间,发光二极管 D13 点亮,表示此项保护正在起作用。

IC2a 与正温度系数热敏电阻 R39 等组成过热保护电路。该热敏电阻平装在散热器的角铝支座上,以便感受散热器的温度。当装在散热器上的晶体管温度正常时,R39 阻值较小,IC2a 的 3 脚电压高于 2 脚,IC2a 输出高电平,D9 被反向偏置,发光二极管 D14 熄灭。当散热器温度升高到 70℃ 以上时,由于 R39 阻值增大,它加到 IC2a 的 2 脚电压高于 3 脚,IC2a 即翻转而输出低电平。于是 D9 导通将 IC2b 的 5 脚拉到低电平,使继电器 Re1 释放并切断扬声器。此时功放失去负载,输出级晶体管电流减小,它们和散热器的温即逐渐下降而不致过热。同时发光二极管 D14 点亮,表示功放处于过热保护状态。当散热器温度降低到 70℃ 以下时,扬声器再次接通,功放恢复正常工作。R48 使 IC2a 具有适当的滞后量,以免 IC2a 翻转时出现抖动。

“Clip”端用来连接外部过载指

示电路,该电路可由一只比较器 IC 和一只发光二极管组成。当本功放出现过载时,IC1 的输出电压增大,此信号经 R6、R31 和 Clip 端加到外接过载指示电路的输入端,使指示过载的发光二极管点亮。如果不需要过载指示,则可将 Clip 端悬空。

本功放的电源电路见图 2。电源变压器采用具有两个 42.5V 次级绕组的 625VA 大型环形变压器。如果次级绕组是 2

×40V,则可给它们各加绕 4 圈使其达到 2×42.5V。变压器输出的交流电压经桥堆整流和 4 只 10,000μF 电解电容滤波后,为功放提供 ±60V 的电源电压。

图 2 中的两只整流二极管和 24V 继电器用来为上电延时电路的 AC 端提供电源通断的信号。也可以不用该电路而把 AC 端直接接到电源变压器次级两端的其中任一输出端。必要时,还可在电源变压器输入端加接图 2 虚线方框所示的上电延时软启动电路。

二、制作

图 3 是本功放的印板图。电感 L1 用 $\varnothing 1\text{mm}$ 漆包线在 R29(2.2Ω/5W 电阻)的主体上松松地绕 15 圈制成一个整体。R7、R8、R42、R25~R31 和 R43 要用 5W 电阻,C5 用聚丙烯电容器,C9、C12、C14 用 160V 聚苯乙烯电容器。Re1 用 24V、线圈阻值 875Ω、接点电流 16A 的直流继电器。F1、F2 用 6.3A 玻璃管式

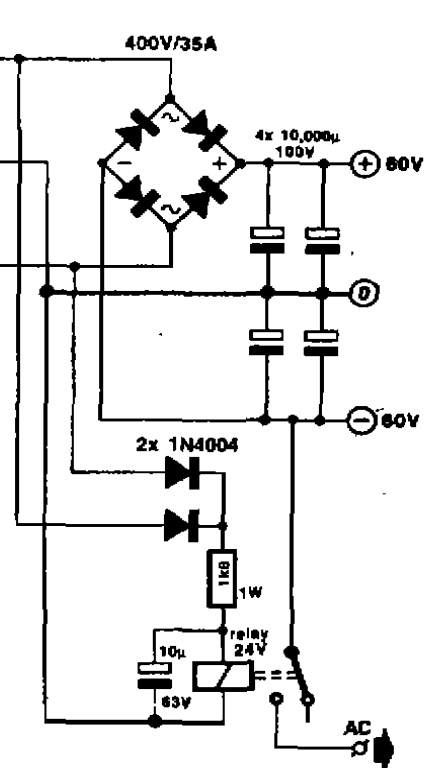


图 2 300W Hi-Fi 功放的电源电路

慢熔保险丝。散热器的热阻应小于 0.4K/W。交流电源的进线用 3.15A、 $I^2t \geq 400$ 的慢熔保险丝。IC1、IC2 可使用 IC 插座。其余元器件的型号和数值见电路图的标准。

焊电路板时,先暂时不焊 T1~T3、T6~T9 和 T14、T15,将这 9 只晶体管用云母垫片和绝缘衬筒平装在散热器的角铝支座上,使它们与支架保持绝缘并在接触面涂以散热硅脂。该角铝支座用 40×30×5mm 的角铝截成 20cm 长制成,它借助 4 颗螺钉固定在散热器上,二者之间的接触面也应涂以散热硅脂。热敏电阻 R39 的接触平面则贴装在角铝支座的厚度侧。

然后,借助 4 个螺钉和绝缘衬筒把焊好的电路板装在角铝支座下面,将装在支座上的各晶体管引脚打弯 90°并分别插入电路板上的相应孔内,再把它一一焊牢。R39 则用焊钉和软线接到电路板上的 A、

B端。这样,电路板、角铝支座和散热器就结合成一个整体,如图4所示。

如果是立体声功放,则上述制

作需完成两套,电源变压器和整流滤波电路也需使用两套。然后把装好的电路板/散热器组件和电源电

路装入一只大小合适的铝质机箱,并使散热器露在机箱后面。电源变

压器的安装位置应尽量远离电路板,以免感染交流声。发光二极管D13、D14、扬声器接线柱、输入插座和电源开关装在机箱面板上,并用软导线把它们分别接到相应的焊点。扬声器接线柱应足够粗,它们与电路板的连接导线和电路板的电源连接导线必须使用粗的绝缘软线,其截面积不得小于 2.5mm^2 。为了消除地线环路造成的交流声,电源电路和电路板的“0”线要用粗导线在机箱内部的适当处进行一点接地,并对功放输入端使用能与机箱保持绝缘的输入插座。该插座要用屏蔽线接到电路板输入端,并将其屏蔽层焊在电路板上R1附近的地线铜箔线条上。

全部装好经检查无误后再进行调试。先不接扬声器并将P1旋到阻值最小位置,接通电源

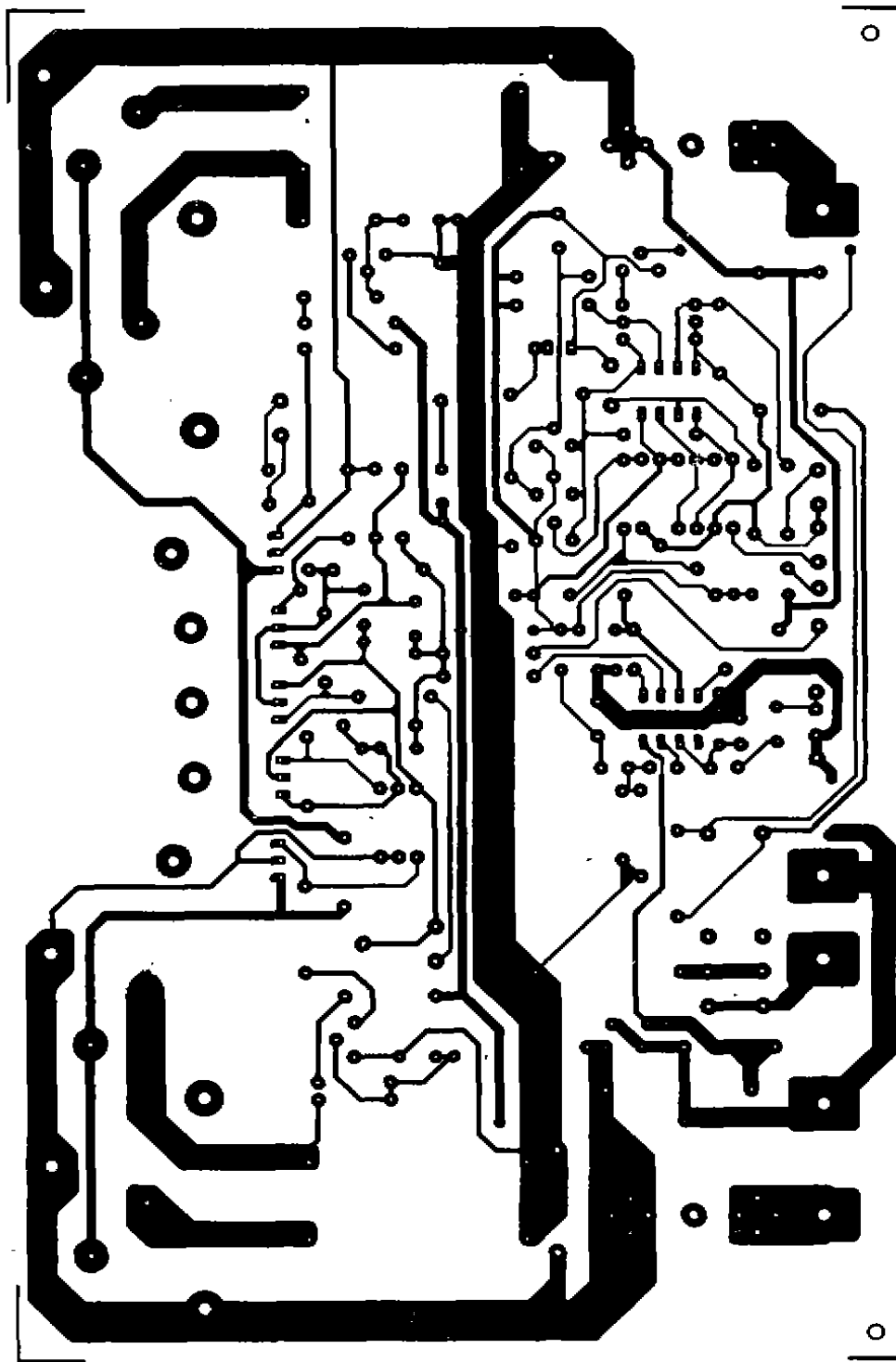


图 3a 300W Hi-Fi 功放印板图

时应听到继电器吸合声,然后用三用表按照图 1 左上角 A~J 处标注的电压值逐一进行检查。若一切正常,则将三用表依次接到 G 处(即

R25~R28 两端),调节 P1 使该处电压达到 27mV,每只功放管的静态电流即达到 100mA。然后让功放在此状态下煲机 1 小时,再次检查

该处电压,必要时微调 P1 使该静态电流保持 100mA,调试完毕即可接上扬声器进行试听。

三、实测结果

本功放样机的实测结果见表 1,它说明本功放具有优秀的电气性能,失真度很小。用精密音频分析仪实测的特性曲线见图 5。其中,图 5a 是本功放在 80kHz 带宽、8Ω 负载和 150W 输出功率下 20Hz~20kHz 的总谐波失真(THD+N)特性。它表明 1kHz 以下的失真极小,以后由于晶体管在高频下的工作速度不够快,失真度随着频率升高而增大到 20kHz 的 0.04%。

图 5b 是在输入信号 1kHz、带宽 22Hz~22kHz 下的失真度与输出功率的关系。其中的虚线和实线分别是 4Ω 和 8Ω 负载下的失真曲线,10W 至 100W 之间曲线的不规则性

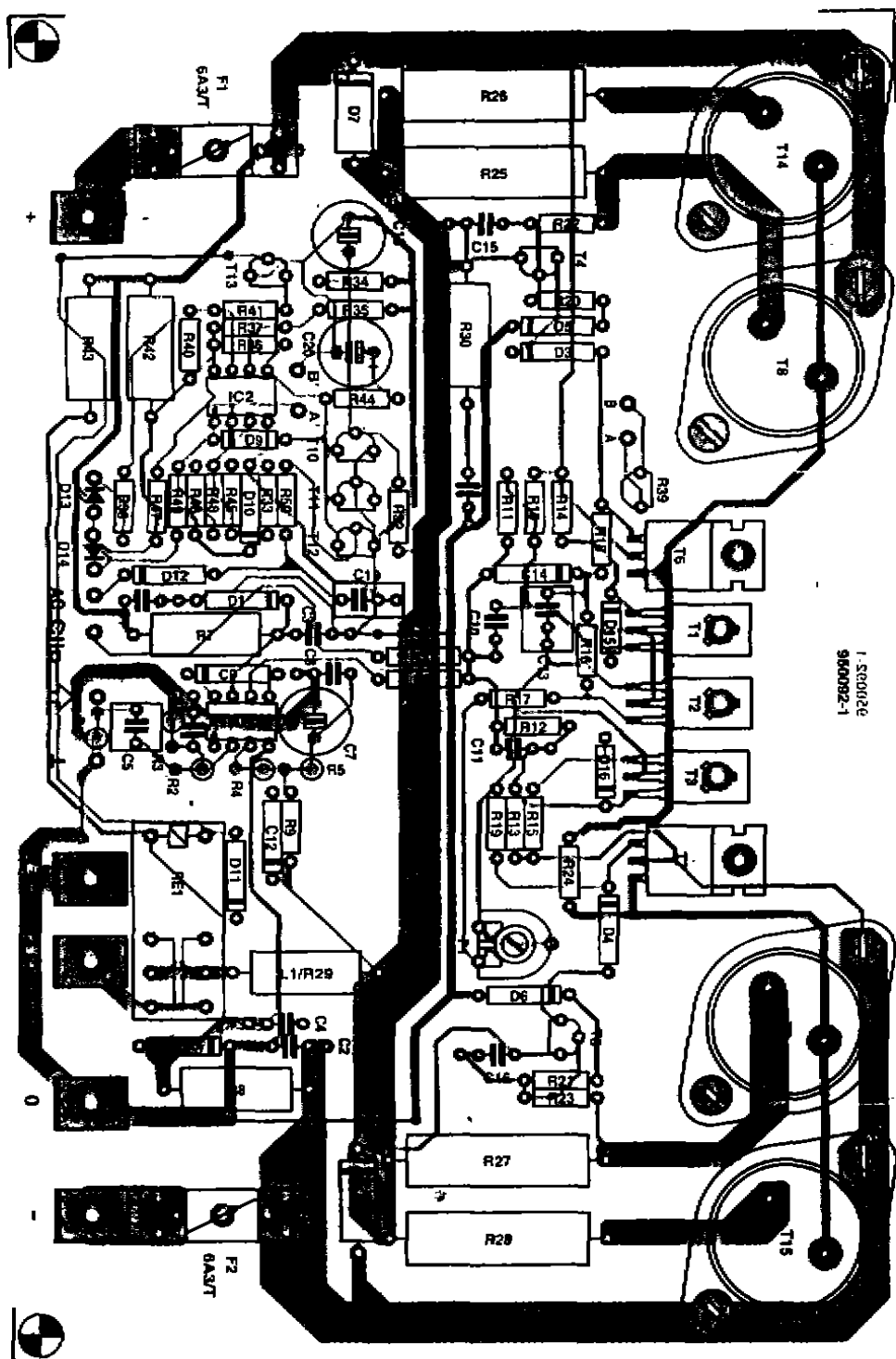


图 3b 300W Hi-Fi 功放的元件布局

不是放大器本身引起而是受分析仪的测量限制而引起的。到达削顶功率时,失真曲线接近于垂直上升。

图 5c 是失真度为 0.1% 时的频率响应。虚线和实线分别是 4Ω 和 8Ω 负载下的频响曲线,前者非常接近 300W。低频端频响的少量下降是由于电源电路的滤波电容量不够完善而引起的。

图 5d 是输入信号 1kHz、8Ω 负载、输出功率 1W 时的傅里叶频谱分析结果。从中可以看出,1kHz 基波信号被抑制,其 2 次和 3 次谐波分别比基波低 110dB 和 120dB。此项测量中的总谐波失真度 (THD+N) 低至 0.0009%。

综合以上测量结果,可以说本功放的电气性能实际上已经达到 High End 水平。参考文献:《E.E》95.12

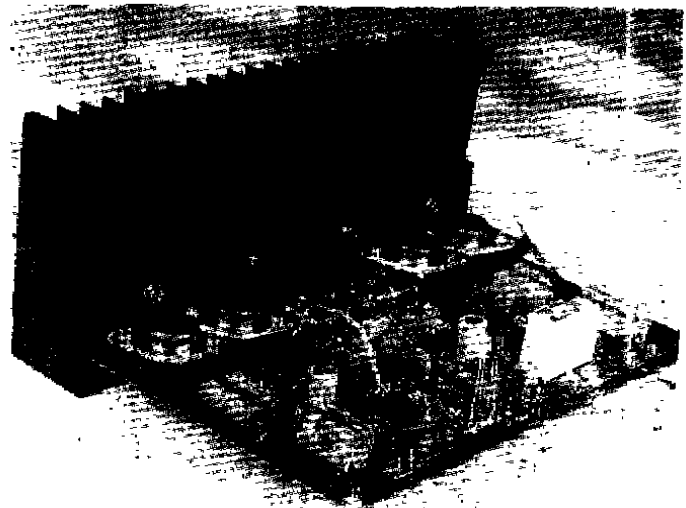


图 4 300W Hi-Fi 功放的结构

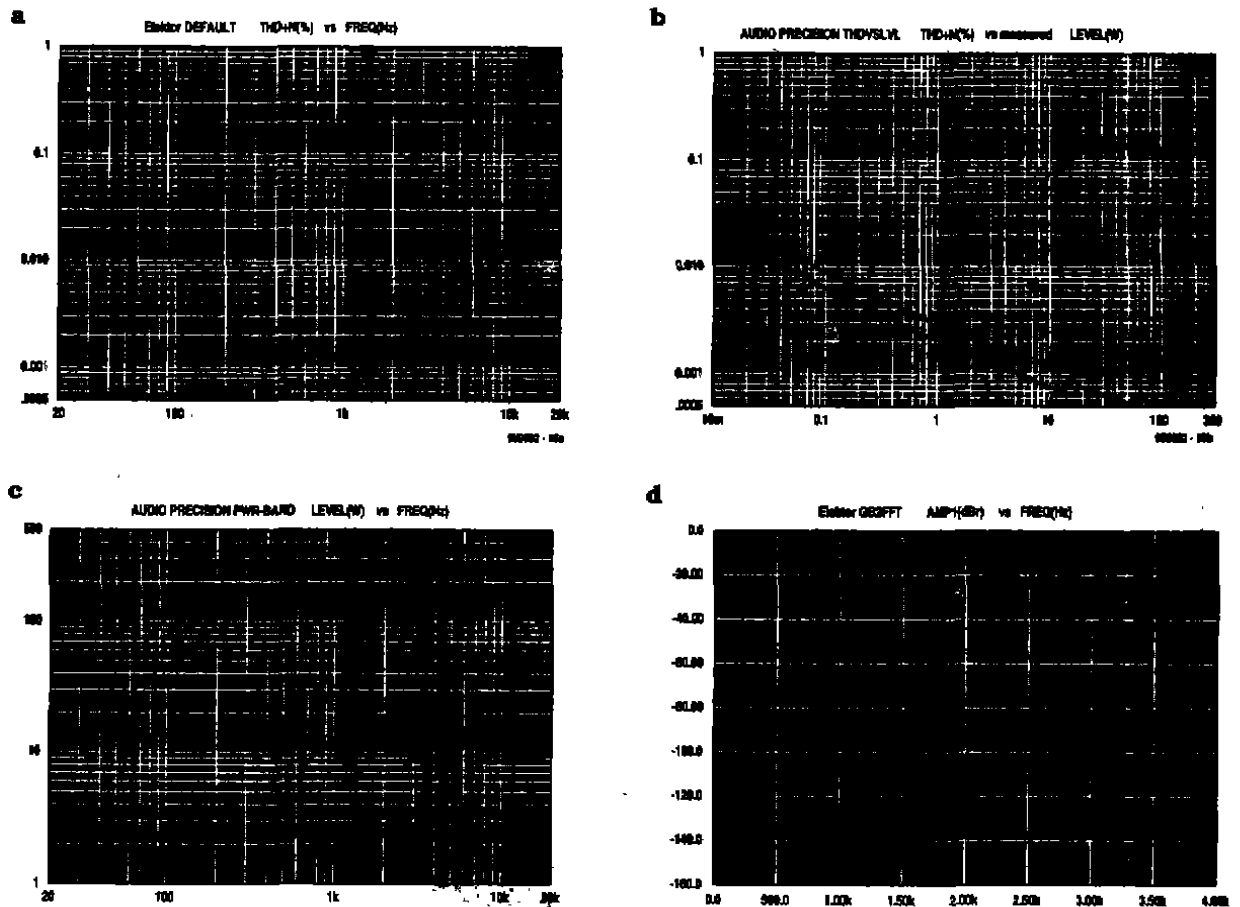


图 5 300 Hi-Fi 功放的特性曲线