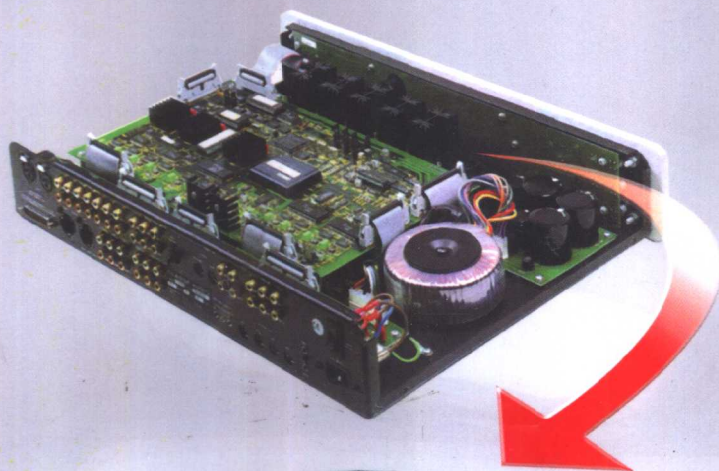


H 《家庭影院技术》增辑 1

音频功率放大器设计

《家庭影院技术》杂志社组编



家庭影院技术杂志社

《家庭影院技术》增辑 1

音频功率放大器设计

《家庭影院技术》杂志社组编

《家庭影院技术》杂志社

内 容 简 介

《家庭影院技术》增辑 1——《音频功率放大器设计》，是根据国外有关文献资料编译加工而成的。主要内容：围绕音频功放失真的奥秘，针对设计中存在的种种问题，对其结构和类别、失真机理、小信号级、输出级、补偿、稳定性及转换速率、供电电源、三态功率放大器、场效应管功率放大器、输出级的热补偿、安全保护、印刷电路板设计和结构布局、调试和安全以及主要技术指标等，进行了较全面系统的阐述。

本增辑 1 内容丰富，思路新颖，具有很强的实用性。就其所阐述的主要观点、分析方法和设计方案，可以说在国内有关书刊中尚不多见，可谓难得的一本参考资料。可供从事音频功放设计、制作的技术人员以及广大 AV 爱好者学习参考，也可供大专院校相关专业的师生学习参考。

《家庭影院技术》增辑 1 音 频 功 率 放 大 器 设 计

《家庭影院技术》杂志社组编

责任编辑：孙庆有 门秀萍

出版：《家庭影院技术》杂志社 印刷：北京利玛胶印厂 发行：全国各地新华书店
国内统一刊号：CN44-1432/TS 穗工商广字：01000016 号 国内代号：82-904

开本 16 开 印张 12.5 字数 235 千字

2000 年 12 月第一版 2000 年 12 月第一次印刷

印数：1—3000 册

定价：20 元

前 言

随着家庭影院在中华大地的兴起和发展,人们渴望着能够全面了解和认识家庭影院系统,营建属于自己的家庭影院,在紧张地工作之余欣赏精彩的家庭影院节目,徜徉于艳丽的图像画面和美妙的音响之中,与家人和朋友共度美好的时光,已经成为一种高雅的时尚。为适应这种要求,《家庭影院技术》杂志于1998年正式诞生了。她作为国内第一本以家庭影院为唯一主题的刊物,提升大众生活质量,倡导影音消费新时尚,承蒙广大读者的厚爱,深得各界朋友的关怀以及有关专家、资深人士的爱护,为促进家庭影院的普及以及相关产品的生产和发展,作出了不懈的努力,已成为广大AV爱好者的良师益友,受到了广大读者的好评。

与此同时,我们在办刊中,陆续收到了读者大量的来信,封封来信洋溢着炽热的求知之情和办好《家庭影院技术》的殷切希望。特别是有不少来信,就有关音频功率放大器设计方面的知识进行咨询,甚至更多的是索取这方面的资料和文章,并恳切盼望能编集成册,以满足广大读者的需求。

为此,我们根据读者的要求,现将音频功率放大器涉及到有关设计方面的内容汇编成册,即《音频功率放大器设计》,作为《家庭影院技术》增辑1奉献给读者,也算是我们对广大读者回报的一份薄礼吧!

目 录

第 1 章 音频功放失真的奥秘

1.1 问题的提出	(1)
1.2 新奇的发现	(2)
1.3 音响领域错误概念的困扰	(2)
1.4 评价音质的尺度	(3)
1.5 主观评测者的立场	(3)
1.6 试听的局限性	(4)
1.7 对某些效应的评述	(4)

第 2 章 音频功放的结构与类别

2.1 概述	(8)
2.2 放大器的结构	(8)
2.2.1 三级结构	(9)
2.2.2 二级结构	(10)
2.3 放大器的类别	(11)
2.3.1 A 类(甲类)放大器	(11)
2.3.2 B 类(乙类)放大器	(11)
2.3.3 AB 类(甲乙类)放大器	(11)
2.3.4 C 类(丙类)放大器	(12)
2.3.5 D 类(丁类)放大器	(12)
2.3.6 E 类(戊类)放大器	(12)
2.3.7 F 类(己类)放大器	(12)
2.3.8 G 类(庚类)放大器	(12)
2.3.9 H 类(辛类)放大器	(13)
2.3.10 S 类放大器	(13)
2.4 改进型 B 类(乙类)放大器	(13)
2.4.1 误差修正放大器	(13)

2.4.2	非开关放大器	(13)
2.4.3	电流驱动放大器	(14)
2.4.4	布罗姆莱(Blomley)放大器	(14)
2.4.5	几何平均 AB 类(甲乙类)放大器	(14)

第 3 章 音频功放的基本概念

3.1	放大器的典型电路及增益	(16)
3.2	传统放大电路的特点	(18)
3.3	失真的机理	(18)
3.3.1	输入级失真	(18)
3.3.2	VAS 失真	(19)
3.3.3	输出级失真	(19)
3.3.4	VAS 的负载失真	(19)
3.3.5	电源干线退耦失真	(19)
3.3.6	感应失真	(19)
3.3.7	负反馈起始失真	(19)
3.3.8	电容器失真	(20)
3.4	标准放大器的特性	(20)
3.5	开环增益及测量	(21)
3.6	模型放大器	(23)
3.7	无缺陷放大器	(24)

第 4 章 音频功放的小信号级

4.1	输入级	(25)
4.2	输入级放大器件的选择	(27)
4.3	加有电流反射镜的输入级电路	(27)
4.4	改进输入级线性的方法	(28)
4.4.1	将输入管换成互补反馈型对管	(29)
4.4.2	交叉四管型输入级	(30)
4.4.3	共射—共基互补型输入级	(30)
4.5	输入级的噪声及减小方法	(31)
4.6	输入级的直流失调与匹配	(33)
4.7	电压放大级	(34)
4.8	电压放大器开环带宽的控制方法	(37)

第 5 章 音频功放的输出级 I

5.1 输出级工作类别的选择	(39)
5.2 输出级的失真	(40)
5.3 输出级的类型	(41)
5.3.1 射极跟随器式输出级	(42)
5.3.2 互补反馈对管式输出级	(43)
5.3.3 准互补式输出级	(44)
5.3.4 三重式输出级	(45)
5.3.5 功率 FET 式输出级	(45)
5.4 对输出级失真的分析	(46)
5.5 关于交越失真的实验	(51)
5.6 输出级的选择	(55)
5.6.1 第二种射极跟随器式输出级	(55)
5.6.2 互补反馈对管式输出级	(55)
5.6.3 巴克森德尔准互补式输出级	(55)

第 6 章 音频功放的输出级 II

6.1 对有关失真的处理方法	(56)
6.1.1 VAS 负载失真	(56)
6.1.2 电源干线退耦失真	(56)
6.1.3 感应失真	(59)
6.1.4 负反馈起始失真	(60)
6.1.5 电容器失真	(61)
6.2 50W B 类(乙类)放大器设计实例	(62)

第 7 章 音频功放的补偿、稳定性及转换速率

7.1 音频功放的频率补偿	(67)
7.1.1 主极点补偿	(67)
7.1.2 滞后补偿	(68)
7.1.3 包容密勒补偿	(69)
7.1.4 套式反馈补偿	(69)
7.1.5 双极补偿	(70)

7.2	输出网络	(72)
7.2.1	Zobel 网络	(72)
7.2.2	输出电感及阻尼电阻网络	(73)
7.3	扬声器的模型化	(76)
7.4	放大器的不稳定性	(78)
7.5	放大器的速度和转换速率	(79)
7.5.1	关于转换速率	(80)
7.5.2	转换极限的基础	(80)
7.5.3	转换速率的测量	(81)
7.5.4	模拟转换的极限	(82)
7.5.5	转换速率的改进	(83)

第 8 章 音频功放的供电电源

8.1	供电电源的类型及优缺点	(85)
8.1.1	非调整电源	(85)
8.1.2	线性调整电源	(86)
8.1.3	开关模式电源	(86)
8.2	电源设计需考虑的问题	(88)
8.3	电源干线的抗干扰	(90)
8.4	干线抗干扰的设计	(92)
8.4.1	正电源干线的抗干扰	(93)
8.4.2	负电源干线的抗干扰	(95)

第 9 章 A 类(甲类)功率放大器

9.1	A 类(甲类)放大级电路	(100)
9.1.1	单端电路	(101)
9.1.2	定流式电路	(100)
9.1.3	推挽电路	(101)
9.2	A 类(甲类)输出级电路	(103)
9.3	A 类(甲类)静态电流控制系统	(104)
9.4	A 类(甲类)功放设计实例	(106)
9.5	三态放大器	(108)
9.5.1	基本构成	(109)
9.5.2	负载阻抗和工作状态	(109)

9.5.3 效率	(111)
9.6 三态偏置系统	(113)
9.6.1 A/AB 类工作状态	(114)
9.6.2 B 类工作状态	(115)
9.7 三态放大器工作状态转换系统	(115)
9.8 完整的三态放大器电路	(116)

第 10 章 场效应管音频功率放大器

10.1 场效应管的特征及优缺点	(120)
10.2 功率 FET 输出级	(122)
10.3 A 类输出级中的 FET	(124)

第 11 章 B 类音频功放输出级的热补偿

11.1 热补偿的准确度	(128)
11.2 基本的热补偿和热模拟方法	(131)
11.2.1 基本的热补偿	(131)
11.2.2 热模拟的方法	(132)
11.3 EF 输出级的模型化	(133)
11.4 CFP 输出级的模型化	(139)
11.5 误差的判据	(141)
11.6 改进型热补偿 EF 输出级	(142)
11.7 改进型热补偿 CFP 输出级	(144)

第 12 章 晶体管音频功放的安全保护措施

12.1 过载保护	(152)
12.1.1 电子过载保护	(152)
12.1.2 电流限制式保护	(154)
12.1.3 斜率电压电流限制式保护	(156)
12.1.4 箝位二极管保护	(158)
12.2 直流偏移保护	(159)
12.2.1 保险丝直流保护	(159)
12.2.2 继电器保护	(160)
12.2.3 消弧器保护	(161)

12.2.4 电源关断保护·····	(162)
12.3 热保护·····	(162)
12.4 内部保险保护·····	(164)

第 13 章 音频功放的印刷电路板设计和结构布局

13.1 PCB 设计的要点·····	(166)
13.1.1 注意电源干线的感应失真·····	(166)
13.1.2 注意串音的各种形式·····	(167)
13.1.3 关于输出管的安装·····	(168)
13.2 PCB 的设计·····	(168)
13.2.1 电源 PCB 板的布局·····	(169)
13.2.2 功率放大器 PCB 板的布局·····	(170)
13.2.3 音频 PCB 板的布局·····	(172)
13.2.4 补充说明·····	(173)
13.3 放大器的接地·····	(174)
13.4 结构布局·····	(174)
13.4.1 冷却·····	(175)
13.4.2 电源变压器·····	(176)
13.4.3 接线布局·····	(176)
13.4.4 晶体管的安装·····	(177)

第 14 章 音频功放的调试和安全

14.1 测试与查错·····	(179)
14.2 安全·····	(181)

第 15 章 音频功放的主要技术指标

15.1 输出功率·····	(183)
15.2 频率特性·····	(184)
15.3 信噪比·····	(184)
15.4 阻尼特性·····	(185)
15.5 转换速率·····	(185)
15.6 总谐波失真·····	(186)
15.7 互调失真·····	(187)

第 1 章

音频功放失真的奥秘

自晶体管音频功放机问世以来,已有近 50 年的历史了。按说晶体管功放的理论与技术都应该是成熟的了,可令人不解的是,真正深入论述其设计的书籍竟如此之少!特别是,对于功放的设计而言,以往常被看作黑色艺术,其内涵是设计过程极其复杂,设计结果往往是不可以预测的。笔者认为,功放设计的目标应使音响之路尽可能“透明”,尤其是对失真而言,仍是一个不可思议的谜。如何围绕失真来设计放大器,以望证明情况将不再如上所述了。也就是说,合理而准确地预测一种理论设计的实现,结果是可能的。为此,笔者对于放大器设计进行了大量的研究工作,其中大部分似乎是首次进行的。所研究的成果表明,只要遵循一种比较简单的设计方法,极低失真的功放就可以按惯例设计而不会有任何副作用。

1.1 问题的提出

如果你身边有两台功放,一台 THD(总谐波失真)为 2%,另一台为 0.0005%,两者之比为 4000:1,但很可能前者的售价相对后者而言是昂贵的。对此将详细阐述产生这一情况的原因。笔者想发明一种具有甲类线性放大器却没有令人生畏的发热问题的新型输出级。在研究的过程中,出现了这样的情况:输出级的失真完全被小信号的非线性所掩盖。显然,必须消除这些失真之后才能取得进展。因此,在分开各种重叠的失真机制之前,人们使用小功率的参考放大器和超线性甲类输出级来孤立地研究小信号级的问题。需指出,这并非是一个轻而易举的过程。在每一种情况下,已经证明有一条简单的,有时是众所周知的曲线。也许笔者的方法中最新颖之处是处理所有的失真机制,而非一、二种失真,这最终产生了一种只使用适度负反馈的、失真异常小的放大器。

对于放大器的失真特性来说,因为这一参数的变化要比任何一种参数大上 1000 倍,直到目前为止,放大器的失真仍是一个不可思议的谜。笔者假设失真是不好的,应减至最小程度。而另一种观点认为某种形式的非线性失真

是无害的,甚至是悦耳动听的。坦率地讲,笔者不同意后一观点,如果认为某种失真是需要的,那么引入这种失真的合乎逻辑的方式就是使用外置式处理器,这不仅比用直热式三极管产生失真更加经济实惠,而且还具有方便性,即关掉这种处理器又可以实现很小失真的信号直通。英国有一悠久的传统,就是音响公司很小,其技术资源和生产资源与发烧友可用的资源相比,可能没有很大差别,希望本书对音响公司和发烧友会有帮助。

1.2 新奇的发现

虽然晶体管放大器问世已有近半个世纪了,如果认为有关的一切都已知晓,那肯定犯了大错。在笔者研究的过程中,有许多种技术文献中是没有的,似乎是很新奇的发现:

- (1)为防止产生二次谐波,需要精确平衡输入晶体管对管;
- (2)增强晶体管 β 值以增加线性并减少电压放大级的集电极阻抗;
- (3)双极型晶体管输出级,在其负载为 4Ω 时的失真,始终要比其负载为 8Ω 时大;
- (4)在普通双极型晶体管输出级中,静态电流几乎是不重要的,起决定性的是晶体管发射极间的电压;
- (5)尽管功率场效应管(FET)的线性多年来被誉为优良,但实际上远不如双极型输出器件;
- (6)在大多数放大器中,失真的主要来源并非是放大器固有的,而是由一般问题(如引入电源电流和电源干扰抑制不良)引起的;
- (7)许多已发表的带有减幅振荡的方波图,据称显示的是带有容性负载放大器的瞬态响应。实际上这种减幅振荡是由于输出回路的电感与负载谐振引起的。

还有,需要强调指出的是,这里所讨论的内容主要用于分立器件制造的音频功放:从10W级的普通Hi-Fi至顶级Hi-Fi。当然,不包括集成电路功放和混合电路功放。虽然集成电路功放的质量和可靠性在近十年来有显著的提高,但是极小失真度和大功率的Hi-Fi功放仍是分立电路的天下,可以预见这种情况会持续相当长的时间。

现在笔者有可能提出一种设计方法,用以设计出一种在给定频率上具有特定负反馈系数的放大器,并可以在很大程度上预测失真性能。笔者将证明,这种设计方法,可以使人们利用适中的负反馈,按常规设计制造出失真极小(1kHz内 $<0.001\%$)的放大器。

1.3 音响领域错误概念的困扰

一个技术领域,长期受到信息不完整、错误论述、是非不分的困扰,恐怕莫

过于音响领域了。在过去的几十年里,在主观监听名义下产生的各种有争议的不合理假设,加重了这些困扰。高保真评测人员普遍声称他们感觉出了与电性能测量值不相关的细微听觉差别。这些言论一般是孤立产生的,较少人企图把它们与客观测试结果联系起来。

笔者不叙述主观音质评价的实现方法,而只陈述可测量的方法、合理的方法和可重复的方法。

主观音质评价者的看法对希望设计出一个优良功放的人来说,在开始阶段是无用的。然而,这种看法到下一阶段可能与我们的看法一致。

1.4 评价音质的尺度

音响工程处于一种特殊的地位。如按主观/理性二分法划分,这在工程科学中很少见到,而主观音质评价仍然是高保真行业的一个重大课题,但在专业音响方面的进展不大,因为人们需要原来的声音。

在许多技术领域里,会定义一些衡量产品的尺度指标。例如 MPH(英里/小时)和 MPG(英里/加伦)以衡量汽车的性能,MPS(百万条指令/秒)则是电脑公司自夸其产品性能进步的依据。而在高保真领域,人们似乎还找不到决定产品进步方向的尺度。一位主观评测者对笔者说,人耳的工作原理很复杂,它与可测参数的相互作用是人类永远理解不了的。笔者希望这是一种极端的情况。

笔者从电子设计、心理学和自己在音乐创造性方面,就其所持的三种观点出发,对音响设计进行了研究。发现可完全怀疑主观评测是唯一站得住脚的一种观点。然而,如果迄今不被怀疑的音质量纲证明是存在的话,当然笔者指望利用这些量纲来进行设计。

1.5 主观评测者的立场

主观评测者对功放的立场,可以简短地描述如下:

(1)放大器性能的客观测量与非正式试听实验中得到的主观印象相比是不重要的。如果两者相互矛盾,则客观测量结果可能不予考虑;

(2)放大器存在传统工程科学尚不了解的劣化效应,这种效应尚未被普通客观测试所揭示出来;

(3)人们有相当大的自由度去提出假设的音质损害机制(如难以理解的电容器缺陷和细微的电缆缺陷),而不去参考概念的貌似合理性,也不去收集任何一种客观证据。

希望上述陈述是对现状的合理归纳。

1.6 试听的局限性

在评价主观评测者的立场时,必须考虑人耳的已知能力。与有些不断要做更多心理声学研究的评论员的印象相反,关于这一学科硬指标(物理描述)已有很多了,下面归纳一些:

(1)对于一个纯单音来说,可以检测到的最小步进幅度变化约为 0.3dB。在较为现实的情况下,这一变化为 0.5~1.0dB,这大约为 10% 的变化。

(2)一个单音可检测的最小频率变化在 500Hz~2kHz 的频段内约为 2%。从百分比来说,这是人耳最敏感的区域。

(3)最小可检测的谐波失真量是个不容易确定的值,因为涉及到许多变量。尤其是不断变化的编程电平,这意味着引入的 THD 电平也在动态地变化着。在大多数低次谐波存在的情况下,最小可检测量约为 1%。但是,交越失真可能在 0.3% 以下。当然,没有迹象表明,产生 0.001% THD 的放大器听起来要比产生 0.05% THD 的放大器更纯净一些。

笔者研究出一种在 $200\mu\text{V}_{\text{rms}}$ 时能测量小至 0.01% 的 THD 的方法,并将它应用于大的电解电容、不同产地的插接件和具有或没有不可思议特性的钢制馈线。这种方法需要具有超低噪声和超低 THD 的设计。使用具有很小电阻值的衰减器来减小输入信号,这可以使得 Tohnosn 噪声保持最小,在任何情况下也检测不到异常的失真。

(4)声道间的串扰会明显地降低立体声分离度。但是,这种效应要到它劣于 20dB 时才能检测出来,事实上这是一种非常糟糕的放大器。群延迟和相位在长时间里是一直争论不休的领域。正如有人指出的那样,这些效应如果足够大,是可以明显感觉到的。比较现实地说,对相位问题的关心集中在扬声器及其交越失真上,因为这似乎是存在相移而不伴有频响变化的唯一所在。有人似乎已验证了一种二阶全通滤波器(一个全通滤波器能产生一种与频率相关的相移,而不改变电平)是听得出来的。另一方面也有报道称,英国广播公司(BBC)的发明正好与此相反。据此,事情的真相仍然不清楚。这种争论对放大器设计师的重要性不大,因为它不能产生一种包括全通滤波器的电路。如果不是这样,放大器的相位响应就完全由它的频响来定义,或者相反,一个设计得当的放大器,其频响的滚降点在音频频带之外不太远的地方,这些点都伴有相移,没有迹象表明这些相移是可以感觉到的。

1.7 对某些效应的评述

下面所列的效应全部都在音响报刊上得到肯定,达到某些效应已被作为事实来对待的程度。现在的情况是,在过去的十几年里,这些效应没有一个是可被客观证实的。下面就针对这些问题评述如下。

(1)正弦波是稳态信号,与音乐的复杂性相比,它表示放大器的测试过于简便。

这大约表明正弦波在某些方面是放大器很容易处理的信号,其含义是任何使用 THD 分析仪的人一定是不会相信的。因为正弦和余弦都有一个差不为零的无穷级数,所以“稳定”几乎是不存在的。笔者知道没有证据证明振幅随机变化的正弦波能更彻底地测试放大器的能力。笔者认为,这种观点是由于将放大器拟人化的思想产生的;对待放大器犹如放大器能预想到要放大的信号似的。频率不同的 20 个正弦波对我们来说是复杂的,交响乐队的输出更是如此,但是放大器能将这种复合信号分解成一个瞬时电压,这一电压必须放大振幅,并以低阻输出。一个放大器即使不能恰当地处理到达其输入端的信号,但必须在信号到来时真正接收这一信号。

(2)电容器以失真测量法测不出来的方式影响通过它的信号。

几位作者称赞通过两种不同电容器的脉冲相减的方法,声称非零余项证明电容器会引入音频误差。笔者的看法是,这些试验只揭露了电容器的已知缺点,如介质损耗,等效串联电阻以及电解电容器介质薄膜对反向偏置的脆弱性。迄今没有人能证明这些与正确设计的音响设备中的电容器可闻度有何关系。

(3)让音频信号通过馈线时,印制板的铜箔或开关接点会产生性能劣化,而且可以是积累的。虽说贵金属表面可以缓解,但不能消除这一问题。这也不是非线性测试所能检测出来的。

人们普遍关心音频用馈线。有人很有把握地说,迄今没有一点证据支持这一点,即一段导线传送一个正弦波时,其失真是测不出来的,所以对晶体管的整流作用,即“微型二极管”的简单证明是不能全信的。有一点除外,即这种情况可用已有的材料科学来消除。迄今,也没有人提出过一种似乎合理的检测馈线性能劣化的手段,更不要说测量馈线性能劣化的手段了。

扬声器馈线最重要的参数,大概是它的集中电感。如果需要的负载阻抗已定,这会在音频段的高端使频率响应发生小小的变化。馈线结构合理时,这些变化不可能超过 0.1dB(如电感小于 $4\mu\text{H}$)。一根典型的馈线电阻(如 0.1Ω)会使整个频段的频响发生变化(遵守扬声器阻抗变化曲线)。但是,这些频率响应变化通常更小,约为 0.05dB,这是听不出来的。

(4)腐蚀常常是开关和插接件接点处发生微小信号劣化的原因。

迄今,接点性能下降的最常见形式是在银接点上形成一层绝缘的硫化物。这一般会减弱信号,而信号峰值通过硫化物时除外,这一效应似乎不适用于微小性能劣化理论。馈线镀金是唯一可靠的解决方法,但会提高成本。

(5)馈线是有方向性的,它在一个方向上传输音频优于另一个方向。

音频信号是交流信号。音频馈线不可能有方向性。任何人都会相信这派胡言乱语不能用来设计放大器,所以再做评论就没有意义了。

(6)电子管功放的音质天生就优于任何一类晶体管功放的音质。

“电子管声”是一种真实存在的现象。在很长的时间里人们知道,聆听者有时偏爱外加一定量的二次谐波失真,而大多数电子管放大器由于难以用适当的反馈系数来提供良好的线性,正好能提供这种二次谐波失真。虽然听起来很好,但高保真(Hi-Fi)恐怕是讲精确性的。如果声音被如此修改了,它应能通过前面板上的“修饰度”旋钮来加以控制。

使用电子管时,需要良好的线性、可靠性以及极其昂贵的铁芯变压器等零部件,这些是难以解决的问题。目前时兴裸露电子管,而笔者一点也不明白,一个易碎的玻璃泡(内含几百至几千伏直流高压的红垫阳极)对于家庭安全来说有什么意义。

主观评测的一个新动向是热衷于使用单端直热式三极管,它通常还被用于极其昂贵的单元系统。这种放大器会由于单端工作的不对称性而产生大量二次谐波,并需要一个很大的输出变压器,因为变压器的初级能导通全部直流阳极电流并可避免铁芯饱和。这种放大器的功率输出一般小于 10W。在最近的评测中,Cary CAD3005 II 放大器输出 9W 时,产生 3% 的 THD,其售价为 3400 英镑。

(7)负反馈天生是坏事,使用越少,放大器的音质就越好。

负反馈并非天生是不好的,它绝对是不可缺少的设计理论和设计环节。负反馈运用得当,能使每个参数更好。评论家铭记在心的通常是整体负反馈不好。局部负反馈被勉强认为是可以的原因大概是,制造一个没有任何反馈的电路几乎不可能。人们常说,负反馈会使放大器转换速率变慢。这完全是不真实的。

(8)音调控制器即使被调到平直位置,也会产生可以听出来的性能劣化。

这通常归罪于相移。调到“平直”位置,音调控制器不应产生额外的相移,因而必定是听不出来的。笔者的看法是:音调控制器对于校正房间声学、扬声器缺点或声源材料的音调平衡,都是绝对不可缺少的。

(9)除了纹波引入之外,电源设计也会对音质产生微小的影响。

所有优良的放大器都忽视电源的缺陷。

(10)单元结构(即两个单独的功放)由于能减少串音而总是音质较优。

没有必要为了控制串音而在单元功放上花钱,控制串音的技术是很普通的。笔者刚设计的立体声功放,在 10kHz 时能轻易地达到 -90dB。让我们暂时假定上述假设中的某些或全部都是真实的,并探讨其内涵。这些效应都是用普通测量法检测不出来的,但却被假定是可以听出来的。首先,被认为合理的是,对于每一个可以听出来的缺陷来说,到达人耳的压力波动图会发生某些变化,因此通过放大器的电信号就会发生相应的改变。音频信号必定有缺陷,但不能用普通的测试方法揭示出来。这种状况怎么能存在呢?检测不出缺陷可能有两种解释,一是标准测量法是相关的,但分辨率不够,测频响等指标的精度应达 1dB 的千分之几。没有任何证据表明,这样的微小偏差在任何环境中是可以被听出来的。另一种解释是,标准正弦波 THD 测量法因不能激发

音乐、话音等才能触发的微小失真而不得要领。这些音乐失真也是多音交调测试测不出来的。

减法测试提供了最确凿的证据,证明主观评测是靠不住的。这是一种极为简单的技术,即把放大器前后的信号相减,再验证没有什么凭听觉检测出来的。

现在得知,上面所说的只有音乐才能触发的失真机制是音乐或别的什么所揭示不了的,看来减法测试最终表明这些难以理解的劣化机制是不存在的。

减法测试技术是 Baxadall 于 1997 年提出的。仔细调整滚降平衡网络,就能防止微小带宽变化影响真正的失真残余。在这技术相互渗透的年代,主观评测营垒不能作出有效的回答。

简化的减法测试技术是 Hafler 介绍的。这种方法灵敏度较低,但其优点是,在任何人都议论的信号通路上电子部件较少。一位著名的主观评测人员在试图做这种论证时不得不声称,用来进行 Hafler 测试的无源开关盒会产生很大的音质劣化,以致所有放大器性能受到影响。笔者并不感到这是一种站得住脚的见解。主观评测营垒迄今无视所有这样的试验,也不想对这种论证提出的极为认真的反对理由作出答复。