



图 1

FU-15 是一只国产直热式五极管,由于它耗电少,功率适中,在晶体管没有出现以前,常在移动式无线电设备中作超高频振荡和功率放大用。它的最大屏极耗散功率为 15W,与著名电子管 2A3 相当,当把它接成三极管时,特性与 2A3 也极其相似,因此用它来代替 2A3 作小功率电子管机非常合适。目前尚未见到此管用于音频放大的具体电路资料,仅在 1997 年第 2 期《实用无线电》上田寿宇先生写的“国产优质电子管拾遗”一文中有关于该管的简单介绍:“FU-15 源自俄国的 1Y-15,是一个小功率的直热式五极管,海外音响传媒喻之为‘欧洲奇胆’。据报道,在东瀛曾有人用多只中国制造的 FU-15 并联起来做推挽功率放大,驱动 JBL 的 4430 扬声器,用作家庭影院里的前方左、右声道及中间声道,结果放音结实而有弹性,有一种特殊的魅力。”

FU-15 的形状及大小与旁热式发射管 FU-50 完全一样,管脚数目及排列方式也相同,管座带铸铝散热保护罩,型号为 GZ8-1C,它们的照片见图 1。管脚排列见图 2。FU-15 的特性曲线及参数见人民邮电出版社 1976 年出版的《无线电通信用电真空器件手册》。

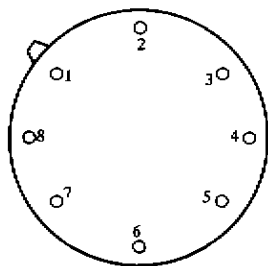


图 2

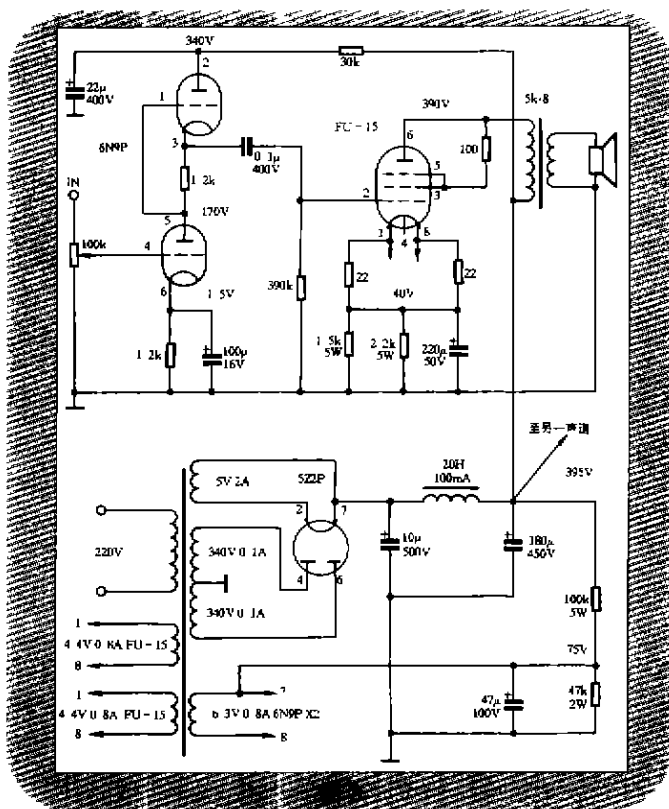
FU-15

● 安玉景

试用记

FU-15 的使用寿命不小于 1000 小时,而其它发射管的寿命均为 500 小时。通过对比可以看出,它的屏极尺寸比 FU-50 稍短一点点,但 FU-50 的最大屏极耗散功率标称值为 40W,比 FU-15 大出 25W,这说明 FU-15 的标称功率是比较保守的。这一点与 2A3 的设计思想类似,2A3 在作单端甲类放大时,最大屏极耗散功率用到 15W 一点问题也没有,而其它功率管却不能这样。比如, FU-50 在屏极耗散功率用到 35W 以上时屏极就会微微发红。而双三极管 6N18P 中的每个三极管的屏极耗散功率号称 30W,但实际上不到 20W 时屏极就会发红,当屏极功耗达到 25W 时,屏极就像烧得通红的木炭一样。

FU-15 的灯丝(即阴极)结构与名管 300B 相似,为倒 W 形状,上面用两根弹性金属丝勾起。灯丝消耗功率仅为 3W 左右,还不到 6N18P 灯丝功率的十分之一,比省电的 2A3 少一半还多。2A3 的音色优美是有口皆碑的,若作单端甲类功率放大,最大不失真输出功率只有 3.5W,此时最佳负载电阻约为 2.5kΩ,屏极静态功耗为 15W,可以算出屏极效率为 23%。笔者这次制作的目标就是想让 FU-15 和 2A3 一比高低,故将它的帘栅极和抑制栅极统统连到屏极接成三极管使用。用晶体管图示仪测量结果表明, FU-15(T~表示三极接法)的内阻约为 1000Ω,比 2A3 的 800Ω 稍大一些,但线性很好,与 2A3 不相上下。因此将负载阻抗设计为 5~6kΩ,为其内阻的 5~6 倍。将负载阻抗选得大一些得好处是可以使非线性失真减小,同时屏极效率也可以适当提高。本次实验



将 FU-15(T) 的静态工作点设计为:屏极电压 350V, 屏极电流 45mA, 此时屏极耗散功率为 15.75W。采用自给偏压电路, 阴极电阻取 892Ω(实际上用 2.2kΩ 和 1.5kΩ 两只电阻并联), 阴极对地电压为 40V。输出变压器的初级交流阻抗取 5kΩ, 实测最大不失真输出功率为 4.5W, 屏极效率为 28.6%。

本机采用两级放大电路, 如图 3 所示。第一级用一只 6N9P 接成 SRPP 电路, 这种电路输出电压动态范围大, 高频特性也好。由于 SRPP 电路的上面的那只管子的阴极直流电位很高, 大约等于这一级供电电压的一半。在本电路中约 170V, 而 6N9P 的阴极与灯丝间的最大承受电压仅 100V, 故它的灯丝不能接地, 否则可能会导致阴极和灯丝击穿。解决方法是从正电源用两只电阻分出一个 85V 左右的电压, 接到变压器的灯丝绕组上, 将灯丝的电位抬高。这样, 上下两只管子的阴极与灯丝之间的电位差就都在安全范围之内了。第二级用 FU-15 作典型的共阴极放大, 将它的帘栅极和抑制栅极连在一起, 然后通过一个 100Ω 的电阻接到屏极。FU-15 的第 7 脚是管内的屏蔽, 将它接地。灯丝 1、8 脚接两只 22Ω 电阻用来平衡交流声, 这里没有采用电位器, 因为许多电位器在用了一段时间以后会产生接触不良的故障。

本机的电源部分采用直热式胆管 5Z2P 作整流,

它的最大整流电流为 125mA, 本机两个声道的放大电路总电流不到 100mA。整流之后采用 CLC 式 π 型滤波电路。这种滤波方式的残留纹波形状近似于正弦波, 而不采用扼流圈的电容滤波电路的残留纹波是锯齿形, 谐波含量比较多, 影响听感。接在 5Z2P 灯丝一端的电容采用国产天和牌 10 μ F 电解电容器, 耐压 500V。扼流圈的电感量为 20H, 允许通过的最大电流为 150mA。扼流圈之后的电容用的是日本 nichicom 牌 180 μ F450V 电解电容器。

输出变压器是影响电子管机频响的瓶颈, 非常关键。一般认为, 人耳所能听到的声音频率范围大致在 20Hz 至 20kHz, 它属于低频范围, 但满足这个要求的变压器属于宽频带变压器, 它的最高频率与最低频率之比等于 1000。单独把一只变压器的上限频率作到 200kHz 不难, 只把下限频率作到 5Hz 也不难, 但要使两头都能兼顾就非常难了。国内几家电子管机大厂生产的输出变压器质量不错, 但价格比较昂贵, 一些小厂的产品价格便宜一些, 但质量却不敢恭维。笔者用过几种, 大都是频响宽度不够, 通病是“低频有余, 高频不足”, -1dB 上限频率不超过 12kHz。由于涉及

到经济利益和知识产权等问题, 说实话, 成功者谁也不肯将自己秘诀公布于众, 所以按照一些音响报刊杂志上介绍的数据和方法去做, 决不可能达到十分满意的效果。那么, 怎样简单判断一个输出变压器的频响如何呢? 我们知道, 决定变压器频响的主要因素是它的初级电感和漏感, 这可用 DL6243 电容电感表作简单测量, 具体方法是, 先用 20H 档测初级线圈的电感, 记下它的数值。然后用一根短的导线将次级线圈短路, 在 20mH 或 200mH 档读出漏感的数值, 二者之比越大越好。对于一个好的输出变压器, 二者之比应该在 1000 以上, 一般大于 600 时就基本满足要求了。除此以外, 还要注意变压器铁芯的气隙和初级线圈的直流电阻。气隙太小时虽然电感量会大一些, 但容易产生磁饱和。初级和次级线圈直流电阻太大时则效率降低。笔者的输出变压器是自制的, 采用舌宽为 32mm 的优质铁芯, 片厚 0.35mm, 叠厚 50mm。初级线圈用直径为 0.25mm 的高强度漆包线绕 2400 匝, 次级用 0.86mm 的漆包线绕 102 匝(负载为 8Ω 时)。铁芯单方向插, 留 0.16mm 的空气隙, 即在 E 形和 I 形铁芯之间垫上两层 0.08mm 的电缆纸。绕制时, 将初级分为五段, 次级分为四段, 间隔放置。实测初级电感约 11H, 漏感约 17mH, 初级线圈直流电阻约 180Ω。制作测试完毕之后, 要进行烘干、浸

漆、再烘干的浸渍处理工序。目的是提高变压器内绝缘物的绝缘强度、机械强度、耐热和抗潮性能等。笔者按如下工序进行浸渍处理：第一步是除潮。将烘箱上的通风孔打开，烘箱的温度设定为 100°C ，烘 5 小时左右。第二步是浸漆。首先介绍一下绝缘漆的选用：目前市面上常见的绝缘漆大都是快干型，最好不用。笔者选用的是河南许昌产的亚安牌烘干型浸渍绝缘漆，效果很好。先将烘干的变压器从烘箱里取出后趁热放入玻璃密封罐内，再往罐内倒入适量的绝缘漆，多少以能淹没变压器为宜。然后盖好密封盖，并用真空泵进行抽气。此时可以看到罐内会有大量气泡冒出，一直等到不再冒泡时才将变压器取出。第三步是滴漆，将变压器吊起，在室温下晾到无滴漆现象时为止。第四步是烘干，将浸过漆的变压器放入烘箱内，先用 80°C 温度烘 12 小时，再用 110°C 的温度烘 24 小时即可。

滤波用的低频扼流圈也是自制的，采用与输出变压器相同的铁芯，叠厚 40mm。用直径为 0.29mm 的漆包线平绕 3600 匝，铁芯单向插，留有 0.35mm 的空气隙，测得电感量为 21H。

电源变压器制作数据如下：铁芯舌宽 35mm，叠厚 45mm。220V 初级线圈用直径为 0.44mm 的高强度漆包线绕 880 匝。次级：每个 340V 绕组用 0.21mm 的漆包线绕 1360 匝。6.3V 绕组用直径为 0.67mm 的线绕 26 匝。两个 4.4V 绕组也用 0.67mm 的线绕 18 匝。5V2A 绕组用 1.0mm 的漆包线绕 21 匝。铁芯交叉插，不留气隙。电源变压器和扼流圈都要进行烘干浸漆处理，否则用起来会产生交流哼声。

下面介绍调整方法，调整前应在放大器的输出端接上 8Ω 10W 的假负载电阻。首先要检查直流高压应为 395V，不要太高，否则可能会使 FU-15 功耗超过其极限值。然后检查 6N9P 和 FU-15 的阴极直流电压，应与图中标数值相差不多。最后是交流声的平衡调整，此时应将假负载电阻换为音箱。FU-15 是直热管，本机中又用交流电给它供电，所以容易产生交流哼声。找一只 $4.7\text{k}\Omega$ 左右的电位器，功率在 1W 以上就行。将它瞬时并接到 FU-15 灯丝其中的一只 22Ω 电阻上，如果音箱中的交流哼声增大，就将其与另一只 22Ω 电阻瞬时并接一下，听一听交流声是否减小，如果减小，就仔细调整电位器使哼声最小。然后测量一下电位器的阻值，找一个阻值相等的固定电阻焊在那只 22Ω 电阻上即可。这种方法显然是比较麻烦一些，所以胆机生产厂家都乐意直接用一只 $50\sim 100\Omega$ 的电位器来作交流声平衡调整。

本机在制作完毕并经过几个月的煲机之后进行

了实际技术指标的测试。所用仪器名称及型号如下：

低频信号发生器 XFD-7A (天津市第二电子仪器厂生产)

示波器 SR-8 (上海无线电二十一厂生产)

双路晶体管毫伏表 DA-16FS (上海华山电子仪器厂生产)

失真度测量仪 SZ-3 (北京无线电二厂生产)

半导体管特性图示仪 XJ4180 (上海无线电二十一厂生产)

本机的主要技术指标测量结果如下：

最大不失真输出功率：4.5W (1kHz)

频率响应：20Hz ~ 34kHz (-1dB)

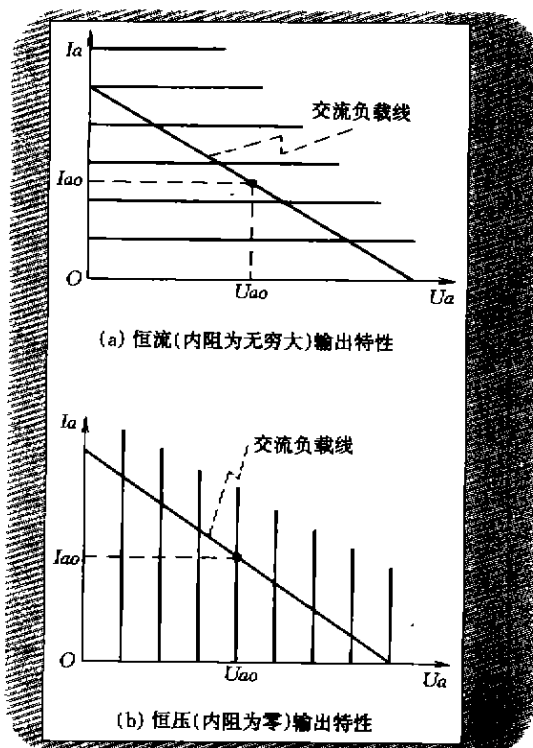
20Hz ~ 55kHz (-3dB) 注：XFD-7A 的最低频率为 20Hz

失真度：3% (4W, 1kHz)

电压放大倍数：9 (电压增益：19dB)

残留噪声： $\leq 5\text{ mV}$ (RMS)

从以上测量结果来看，虽然本机没有施加任何形式的负反馈，但非线性失真仍然比较小，这应当归功于 FU-15。笔者通过对一些常用功率管屏极输出特性曲线的测试后发现，一般来说，直热式管的线性要比旁热式好得多，三极管的线性要比五极管好得多。把五极管接成三极管也是如此。例如，300B 比三极管接法的 FU-50(T) 要好；FD422(T) 比 FU-7(T) 要好。大功率的直热胆 211 和 845 的线性也是相当好，



高功率单端 A 类通用型电子管功放

● 徐松森

采用“胆中之王”300B 及 2A3、45、50 等直热式三极功率电子管制成的单端 A 类功放,其音色清澈透明,谐音丰满,但美中不足的是输出功率一般只有 4~8W。有“一柱擎天”之称的直热式高功率三极电子管 845 与 211,用该电子管制作的单端 A 类功放,不但音色柔美,谐音丰富,而且较“胆中之王”300B 的输出功率增大了一倍以上,真可谓做到了两全其美。

高功率直热式三极电子管 845 与 211 具有极佳的线性,较低的内阻,较深的栅极负压,因此采用该电子管制作的 A 类单端功放性能卓越,最大输出功率可达 10~20W。

845 为高功率高屏压大功率三极电子管,其屏极电压可高达 1250V。当该管在 5kΩ 负载时,从零栅

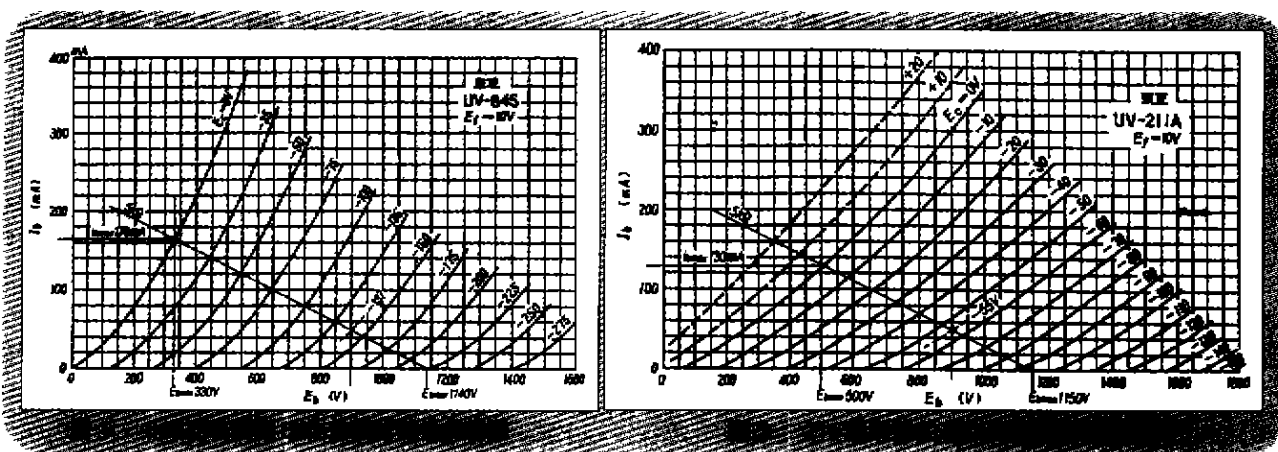
压开始屏流 $I_{bmax} = 170\text{mA}$,屏压 $E_{bmin} = 330\text{V}$;在负载线终端底线屏流 $I_{bmin} = 0\text{mA}$, $E_{bmax} = 1140\text{V}$ 。如栅压取 -137V 时,此时静态工作电压为 900V,电流为 50mA,功率耗损为 45W。

根据曲线图可估算出最大功率 $P_{max} = (E_{bmax} - E_{bmin}) \times (I_{bmax} - I_{bmin}) / 8 = (1140\text{V} - 330\text{V}) \times (170\text{mA} - 0\text{mA}) / 8 = 17.2\text{W}$ 。

该管在 5kΩ 负载时,从零栅压开始屏流 $I_{bmax} = 130\text{mA}$,屏压 $E_{bmin} = 500\text{V}$;在负载线终端底线屏流 $I_{bmin} = 0\text{mA}$, $E_{bmax} = 1150\text{V}$ 。

则依同理估算出最大功率 $P_{max} = (1150\text{V} - 500\text{V}) \times (130\text{mA} - 0\text{mA}) / 8 = 10.6\text{W}$ 。

211/845 单端 A 类通用型电子管功放电路由日



但旁热式的 6C33C-B、6N5P、6P3P 和 EL34 等管的线性就比较差。从听音感受来说,非线性失真(包括奇次谐波和偶次谐波失真)小的功放音色比较细腻柔和,特别是高中低各个频段比较平衡。尽管偶次谐波失真比奇次谐波失真在听感上容易被人接受,但也是尽量小些为好。一个电子管线性的好坏可以从其屏极输出特性曲线簇的均匀程度看出,理想的输出特性曲线如图 4 所示,它是一组间隔相等的平行直线,这样的放大器件是不会产生非线性失真的。虽然这种理想器件是不存在的,但是没有理想就没有奋斗目标,没有理想情况作标准,就不知道什么是好什么是坏。对于设计制造放大器件的工程技术人员来说,就是要使器件的特性尽量接近理想化,对于使用放大器件的人来说,就是要合理地设计电路以使失真尽量减小。

将一只 FU-15 接成三极管作单端甲类放大,只能得到 4~5W 的不失真输出功率,若用两只 FU-15 并联起来,就可以使用 3~3.5kΩ 的输出变压器,得到将近 10W 的输出功率。目前, FU-15 的价格还很便宜,以后价格是否会上涨,那就取决于它的库存量以及它的声音能否得到普遍的认可了。笔者的这台功放做成之后,也曾先后邀请过许多发烧友进行试听,得到了大家的一致好评,认为音色醇厚圆润,音质价格比极高。有兴趣的电子管机发烧友可以一试,相信一定不会使您失望。

最后顺便指出,由于 FU-15 的灯丝消耗功率很小,所以整机效率比较高。灯丝和屏极消耗的功率之和约为 19W,可以算出整机效率在 20% 以上,这是一般甲类功放难以做到的。本机的温升很小,因此特别适合在炎热的夏天使用。 □