

电子管功放倒相电路及其调试(下)

宁占西

二、倒相器的调试

由前文可见,推挽功放或平衡放大器之所以品质超群,其原因除了信号在传输放大过程中的高度对称外,有一半成绩要归功于倒相器的功劳。如果倒相器输出信号波形不对称,放大器就不可能出好声,更谈不上高保真。

不同放大器的倒相器都是根据其电路、元器件情况,经过严格计算设计成的。首先要清楚手中电子管的一些相关特性参数才能设计好倒相电路。由于元器件及电子管的 μ 、 S 、 R_i 都存在着不同程度的误差和离散性,有时受条件所限,对电子管的实际参数和电路增益不一定十分清楚,因此计算出来的数据不是很准确。比如,计算的分压电阻或共阴极倒相器的屏极负载电阻只是一个近似值,在实际中也不可能恰巧使输出平衡。另外,设计倒相器、计算电路增益也相当繁琐,这些对于发烧初哥来说不是一件容易的事。因此,不少朋友都采用仿照现成电路来装配放大器的方法。即使是非常成熟的电路,当电子管型号变了或者元器件误差较大、装配布线不良时,对倒相电路的平衡性影响也是很大的。有时就算管子、元件与仿制电路的一样,但电源情况变了,这肯定会使倒相电路的平衡性发生偏差,所以在装配或仿制时不应当原封不动

地依葫芦画瓢。装配好的功放还必须经过仔细认真的调试。应用中的功放如管子或电路参数发生变化,必然会引起倒相输出失调,如不及时调试,功放的品质会大打折扣。为了使倒相电路经常保持平衡的输出,需要对倒相电路进行调整。

一些朋友在装配功放时往往只着眼于线路、元器件的选择,或只注重功率级的静态平衡,很少考虑倒相器的调试。显然,这对功放的高保真是非常不利的。其实,各类倒相器的调整并不难,也不需要很高级的仪器。按照以下介绍的方法,在业余情况下一般都能将它们调整到满意的状态。

1. 变压器倒相器的调试方法

变压器倒相器的平衡性完全取决于其二次侧两个绕组匝数或中心抽头的准确与否,与电路没有丝毫关系。绕制时只要两臂的匝数相等或抽头准确,输出电压必定平衡。通常,专业厂家生产的变压器的电压对称性误差不大。两臂线圈匝数误差小于3%一般不会影响输出电压的平衡度。

变压器输出电压对称性的调试很简单,一般是从一次侧输入50Hz交流电压,也可用1kHz以下稳定的信号电压。输入电压高低根据变压器一次侧情况而定,如测得两臂电压误差小于 $\pm 2\%$ 则可视为合格。如电压误差过大,可适当增减二次侧其中一臂的线圈匝数。通常线包与铁芯之间有

间隙时不必拆开变压器,只要在线包外层补绕(穿绕)几匝线圈并串联在二次侧电压低的绕组上使 U_1 、 U_2 平衡就可以了。

应当在未装机前单独对B进行测试,不要等到放大器装好以后再做此项工作,否则发现问题后会多出拆卸返工的麻烦。此外,也不能通过测电阻来判断绕组的对称性。由于线圈匝数误差引起的电阻变化不明显,或是绕组结构方面的原因,用这一方法不易判断出匝数误差。测试时应当用表盘宽大、刻度分辨率清晰的高精度万用表或数字表,以提高测量精度。

2. 分压式及自动平衡式倒相器的调试方法

对于分压式电路的调整,主要是 G_2 增益和分压电阻 R_2 取值误差方面的问题。显然,对该电路的调整也就是分压电阻 R_2 的准确取值。一般可按图15(a)的方法用一个阻值合适的电位器 W 临时代替 R_2 。放大器接通电源后不必输入信号,旋转电位器至某一点时扬声器里会有“扑”的一声轻微声响,过了这一点后交流声渐渐增大,这一点便是 R_2 的准确值。该现象表明 G_2 的输入信号恰巧调到要求值,或者说倒相器输出等于推挽管上下臂所要求的输入信号时功率管上下臂输出电压相等,电源中的脉动成分在输出变压器中相互抵消,扬声器的交流声便突然减小或消失了。然后用欧姆表测量 W 的电阻,换上同阻值的固定电阻就可以了。

调整用的电位器 W 的阻值应比 R_2 稍大一些,最好是直线式的。如果 R_2 为18k Ω ,那么 W 可取22k Ω 左右的品种。另外,也可

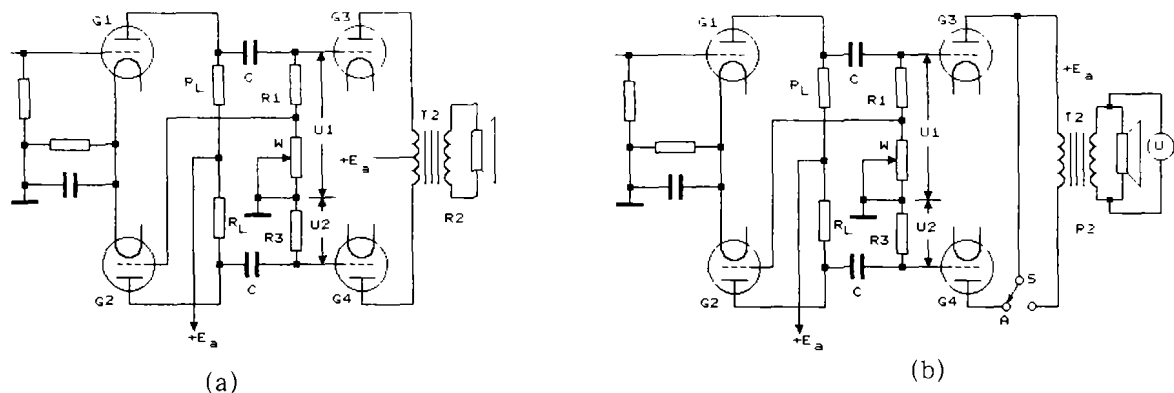


图 15 分压式及自动平衡式倒相器的调试方法

用 $4.7k\ \Omega$ 的直线式电位器与一只固定电阻串联。这样, W 的阻值变化较平缓、细微, 调整取值将更快捷、更准确。如 W 阻值过大或是指数、对数型则阻值变化太陡, 不易精确地调到平衡点, 而且在复测 W 时阻值误差也较大。

在业余缺乏仪器的情况下, 以上调试方法对普通功放而言不失为简便有效之法, 但是当功放电路的信噪比很高时, 有时从扬声器里听到的声响往往不明显, 不易找到平衡点。比较好的方法是将下臂功率管的屏极断开, 临时与上臂功率管的屏极接在一起, 或用一只开关 S 接成图 15 (b) 的电路, 并在功放输出端接上电压表。调试时将 S 掷向 A 点, 接下来给功放输入音频信号, 也可在输入插口或前级电子管栅极上送入 $50Hz$ 的人体感应信号。然后左右旋转 W 使电压指示最小, 或者使听到的交流声最小或声息全无。这一点是倒相管准确分压信号, W 的阻值便是 R_2 的最佳取值。

以上的道理很容易理解, 当倒相器上下臂输出调到对称时, 推挽管各自的栅极输入电压正好相等, 两臂屏极输出电压也一定相等。当把两臂的屏极并联起来时, 由于屏极电流相反, 信号互相

抵消后便没有输出, 因此扬声器里自然也就寂静无声了。

自动平衡式倒相器受电路因素所限, 平衡电阻的取值一般较为粗糙, 故输出非对称性在强信号时较明显, 并且是上臂输出偏高。可参照分压电路的调整办法, 用一只高阻值的电位器 W 临时代替电路中的 R_2 , 在推挽管两臂并联时将声音调整到最小就行了。只是这种电路的调整点并不十分明显, 在兼顾保真度或栅漏电阻的情况下也可给功放输入音乐信号放音。在大小不同的音量下调整 W , 使音色圆润、畸变较小, 此时便可确定 R_2 的最佳或折衷阻值。

3. 屏阴分割式倒相器的调试方法

针对分负载电路阴极臂 R_1 低而引起信号输出相对偏高的现象, 只要适当减小下臂负载电阻 R_k 以降低信号输出, 便可实现上下臂输出平衡的目的。例如, 图 16 (a) 的电路中倒相管上下臂负载电阻均为 $27k\ \Omega$, 可用一只 $30k\ \Omega$ 的电位器 W (或用 $5.6k\ \Omega$ 电位器串联一只 $24k\ \Omega$ 的固定电阻) 临时代替图中的 R_k 。从前级注入稳定的音频信号, 用电压表分别测量两臂输出。然后细心调整 W , 使上下

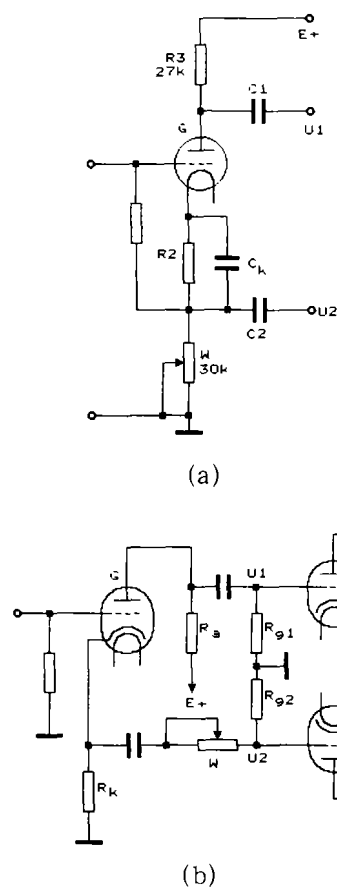


图 16 屏阴分割式倒相器的调试方法

臂电压 U_1 、 U_2 相等即可。另外, 还可以调整上下臂输出阻抗 R_z 的平衡来使信号对称。在图 16 (b) 的电路中可用一只阻值大于 R_k 的电位器 W 代替 R_x , 调节 W 以增大下臂的输出 R_z , 使上下臂输出 R_z 相等。这样也能达到两臂输出对称, 然后用等值的固定电阻取

代 W。这种调试方法的优点是输出对称性高,电表测量时对电路的影响也不大。此外,这类倒相器输出不对称在高频端较为明显,应当用 10kHz 以上的高频信号进行调试。必要时可增大测试信号,这样才能有效地分析、调整动态信号的平衡。

要注意的是测试电压表内阻 R_i 的高低对电路及测量准确度影响很大,特别是前几级为弱信号而电路输出 R_i 高的电路。通常电子管电压表的 R_i 在 500k Ω 以上,测试时对电路并联分流小,而且调试、测量精确度比较高。而普通万用表 R_i 不高,只有 5~10k Ω 左右,并联在电路中形成的分流大,不仅测量误差大,有时还会破坏电路的工作状态。例如,屏阴分割式电路两臂的输出差别原本就不太大,但当采用普通万用表测量时,下臂的输出明显要比上臂高得多。如果没有高内阻的电子管电压表,其还不如以上分压式的几种简易方法来得准确。

4. 共阴极倒相器的调试方法

共阴极电路输出不平衡主要来自于电子管特性参数不一致或尾巴长短方面,因此只要改变两臂屏极负载电阻的比值便能达到

输出对称。可按图 17 (a) 的电路将一只 3~5k Ω 的电位器 W 串联在两臂屏极电路中,调整 W 使 G1、G2 的增益变化以达到输出电压对称。在一些品牌机和发烧友的土炮中大多设有这个电位器,其目的也是在应用中随时调整倒相电路的平衡。

简单的调整方法是从前级注入音频信号,调整 W 的同时用电压表分别测量上下臂电压,直至两臂输出信号 U1、U2 相等。也可按分压式倒相器的调法,将推挽功率管屏极接在一起,电压表接在功放输出端。由前级输入音频或人体感应信号,调整 W 使电表指示最小或扬声器的声音(交流声)最小。由于上臂(G)的增益较高,因此 W 应按图 17 (b) 接法仅调整上臂增益。这样对 W 的阻值要求不太严格,同时不会影响到下臂电路的工作状态,也不会出现因 W 接触不良而引起两臂产生杂音等方面的问题。

5. 全平衡放大器的综合调试方法

以上一些调试方法是否都十

分好呢?我们不能一概而论。若倒相级与功率级之间没有其他电路,而是直接去策动功率级,并且推挽管的静态和动态特性参数都很对称,此时这些调试方法无疑是正确的。然而,当功率级本来就不对称时,上面的一些调法显然不太妥当。假如推挽电路或功率管的 μ 、S、 R_i 不对称,两臂的增益必然不平衡。要想使功放管两臂屏极输出信号达到对称,上下臂要求的输入信号电压肯定也不一样,可能上臂需要 12V 信号,下臂仅要 8V 信号。在这种情况下若要使功率管上下臂输出完全平衡(或是按前面的方法调试到扬声器里的声音消失),必定要将倒相器上下臂输出分别调为 12V 和 8V,这样才能满足功率管要求的信号,使两臂输出达到平衡。显然,这种调法只是有意将本来就很平衡的倒相级调成不平衡,去迎合或凑合功率级的对称。这样做看似令功率级达到了平衡,但却人为地破坏了倒相级输出信号的对称性。

有的也对功率级进行了调试,但只是分别调整了一对功率管的栅负压或自偏置电阻等,仅仅是对功率级的静态调试。这种调试太粗糙,也是一些人历来惯用的调法,仅适用于技术质量要求不高的普通功放。其唯一的好处是使功率管的静态 I_p 达到平衡或调到要求值,输出变压器中的磁化电流得以抵消,磁饱和及交流声小些。至于上下臂的动态能否真正达到平衡,功放保真度如何,还要看一对推挽管的动态特性参数或输出变压器是否对称。

以上仅是倒相级直接驱动推挽管的一些调试情况。当倒相级

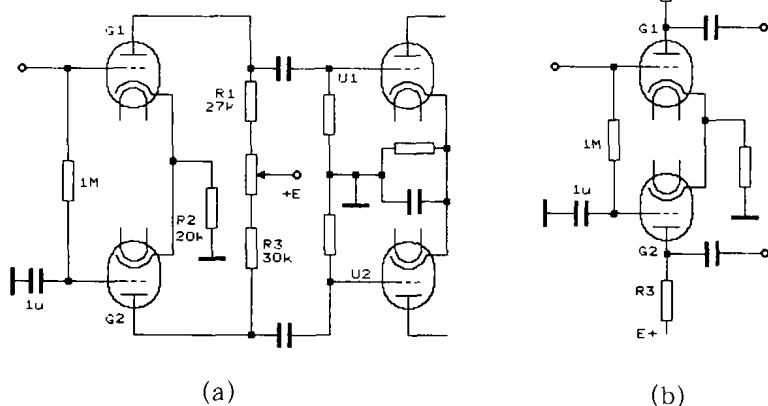


图 17 共阴极倒相器的调试方法

与功率级之间还有其他电路时(例如在图 18 的五级放大电路电子管功放中,从第二级的倒相级 G2 之后依次是电压增幅级 G3、推动级 G4 和功率级 G5~G8),如果按照以上的一些调法,那么所发生的问题将变得复杂起来。事实上,这其中无论是推动级还是缓冲级、功率级,它们都是倒相级的延伸部分,都是非常对称的平衡放大电路。当各级电路及元器件的特性参数做到严格对称时,若将倒相器的输出调整得很对称,则正、负半波信号在各级上下臂电路中都能得到同等的增益,最终在功率级中复合出一个十分完美、对称的波形。

上面只是理想的情况,在实践中不易做到。对于平衡放大器而言,无论是电路还是元器件都做不到精确对称。因此,平衡放大器也很难将各级上下臂增益做到完全平衡。当倒相器之后的各级电路特性参数不对称时,上下臂增益肯定不平衡,就会出现某一级上臂正半周信号的增益高了,某一级负半周却降低了。也可能

倒相级之后连着两级或三级都不对称,或许这几级上臂的增益都比下臂大。在这种情况下,当功放处于中、小功率时,由于信号振幅小,因此各级信号的波形还基本对称,对保真度的损害不太明显。然而当信号较大时,各级不对称现象就会变本加厉地增大起来,波形也跟着出现削顶、截幅、畸变等失真,而且是输入电平越高,这种现象越严重。如果是这样,假设推挽级很平衡,为了使信号在功率级中的增益达到平衡,其结果也必然是将倒相级下臂的增益人为地调整得更加不对称,以增大后几级下臂的输出,使信号在功率级的增益达到对称。虽说这种做法已超出了倒相器的调试范围,但对于放大器的传真度来说,不仅要求倒相级输出平衡,也特别希望倒相级以后各级输出都做到完全对称,这才是功放达到 Hi-Fi 的最起码要求。

不难看出,上述情况确实不同程度地存在于各类放大器中,放大器的各种失真多半都是由波形不对称或畸变所造成的。许多

朋友对此表现得不以为然,他们常常将改善信号振幅波形的筹码完全押在负反馈方面。负反馈虽然有助于波形的对称,但这种情况也只是在本级的、局部电路构成的反馈电路或反馈较深时才有效,并不是所有负反馈都有这个特性。例如,跨越多级的大环路负反馈对其间各级输出的平衡就无能为力。因此,切不可将升华功放品质的希望都寄托在负反馈上。另外,如照搬传统方法仅调试倒相级或功率级,只顾两头而忽视中间各级的平衡,就算倒相级输出如何平衡,也没有多大的实际意义。即使调整也是破坏倒相级以后的平衡,去凑合功率级的对称。纵然功率级很对称,如果推动级、缓冲级输出不对称,功放的保真度也不会有多大提高。

检验及调试各级输出是否对称也很容易,简单的方法是给放大器接好假负载,将音量开到适当位置,从输入端向放大器注入音频信号,然后用电压表逐级分别测量上下臂的输出电压。如测得各级两臂的输出电压相等,说明倒相

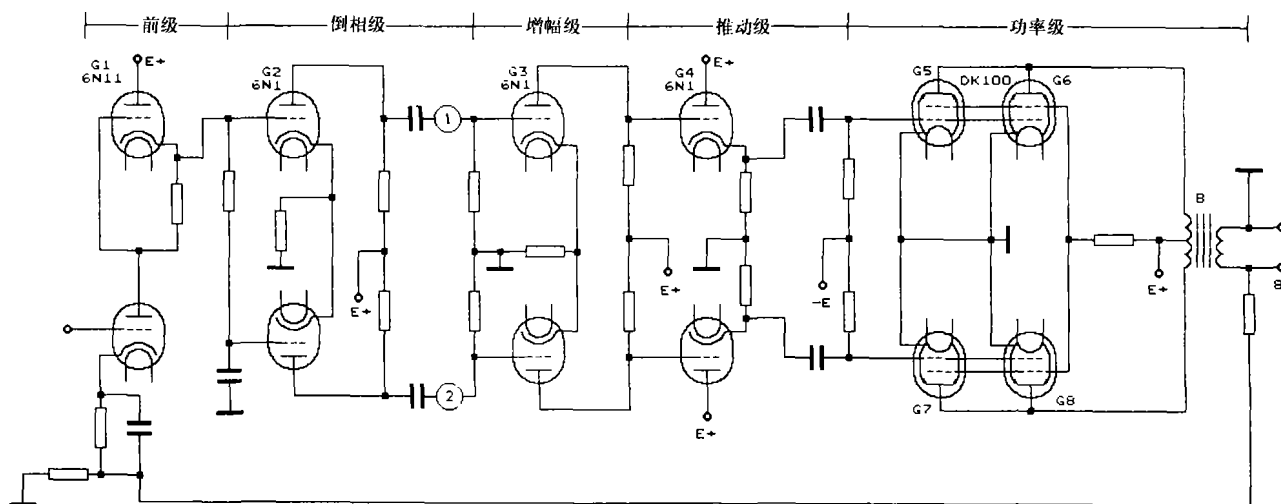


图 18 五级放大电路

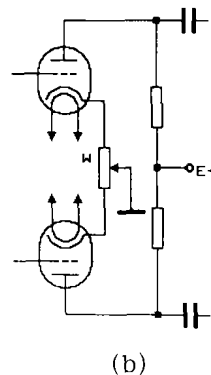
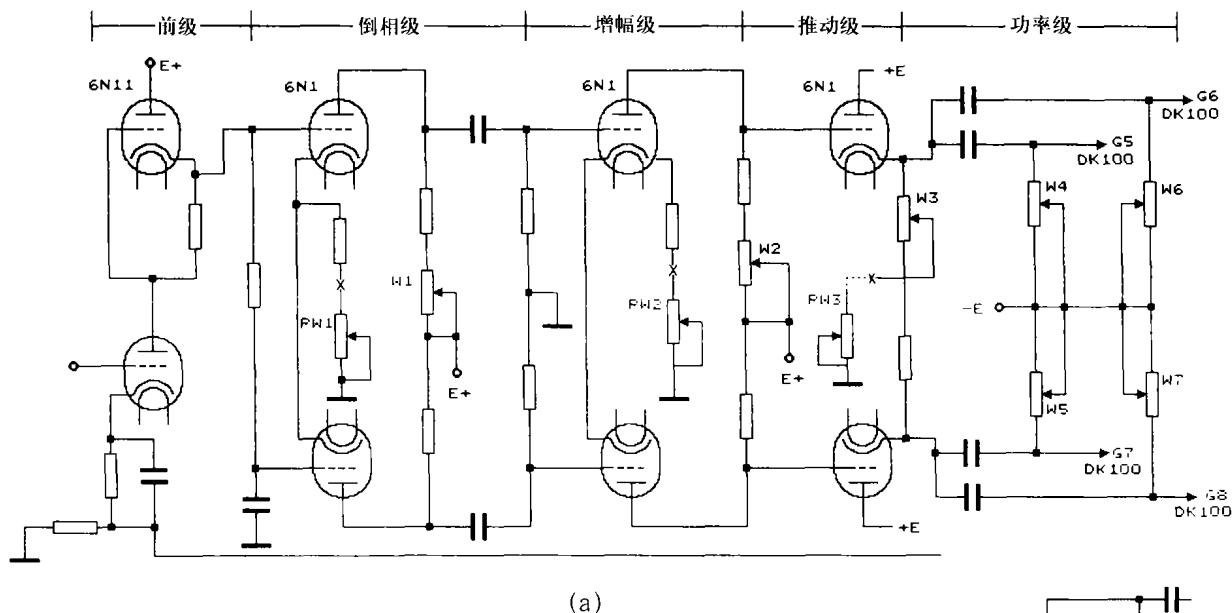


图 19 五级放大电路的调试电路

级以后各级增益平衡，信号振幅对称。如某一级不相等则表明本级输出（增益）不对称。通常都是在电路中设置相应的元件进行调整，以图 18 电路为例，临时在功放中设置的 7 只电位器 W1~W7 就起到了调整各级上下臂增益平衡的目的。调试电路如图 19 (a) 所示，其中 W1 是倒相级的平衡电位器，W2、W3 分别调整推动级和缓冲级的对称，W4~W7 则调整 4 只功率管的工作点或静态 I_p 平衡。当然，也可以通过调整各级管子的偏置电压来达到输出平衡。例如，将 W2、W3 移到管子的阴极电路中，如图 19 (b) 所示，这同样能使两臂输出调整对称，而且对 W 的耐压要求也较低。

为了检验及调试放大器对中、高频信号的平衡程度，比较专业的调试方法是给放大器输入 8~12kHz 的音频信号。从前级开始用毫伏表逐级测量上下臂的输出电压，并调整本级相关的电位器 W 以使两臂输出信号电压相等，一直到末级功率管上下臂屏极输

出电压都对称为止。功率级的动态平衡主要靠挑选特性参数一致的管子来保障，必要时增大倒相级的输入信号，并借助示波器观察波形。示波器不但可以有效、直观地分析信号波形和振幅，而且还能精确地测量振幅电压，使各级在强信号时的输出波形和振幅都达到完美以及高度对称。

在对功放保真度要求更高的情况下，不但要求 R、L 声道的输出功率严格对称，同时还希望 R、L 声道相对应各级的电路增益也一致。为此，可以在其中一个声道的各级阴极电路中设置电位器来调整本级增益，如在图 19 (a) 倒相、增幅、推动各级的阴极电路中再串入 RW1~RW3 (切断电路中的 X 虚线，插入各 RW 即可)。这样，调整 RW 不但可以起到增、减本级增益的目的 (使 R、L 声道的输出功率及两个声道中相对应各级的电路增益都调整得非常对称)，还可以有效地防止某一级信号过激励所产生的失真。显然，这对于高保真放音中营造真实而平

衡的声象及临场感都具有非常重要的意义。当然，装配功放时可视电路情况而定，不一定每一级、每个声道都要增设 RW。一般将 RW 设在 R、L 某一声道内，并尽量将 RW 设在前一二级内。

对于全平衡放大器的输入级，可以参照以上方法进行调试。如将图 20 中平衡前级的上下臂输出 1、2 与图 18 中倒相级的输出端子 1、2 接口 (去掉倒相级) 便成了全平衡放大器。W1 与 RW 同样具有上面的作用。

图 19 (a) 和图 20 中一些关键电路的电位器 W 可以长期固定在机内锁紧，通常将 W1~W4 装配在其中一个臂上。这样，流过 W

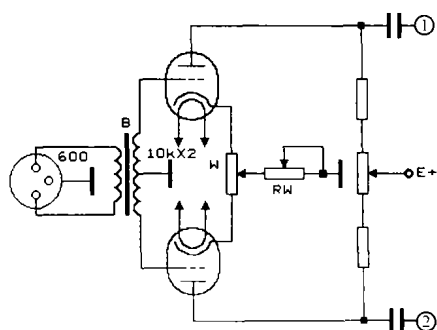


图 20 平衡前级的调试电路

的电流较小，W 产生的杂音小，可靠性也会相应提高。为了简化结构，有些 W 或 RW 调好后也可用固定电阻取代。两种情况各有利弊，前者的好处是变更管子或维修时可随时将其恢复到原始状态，后者虽然调试不便，但电路可靠

性却相对较高。

为了便于电路参数经常处于良好的技术状态，调试好的电路不能随意变更各级电子管的位置。否则，调整好的成绩将化为乌有，尤其是采用同型号电子管较多的一些功放。例如，图 18 的 16 管双声道功放中，同型号电子管就有 $6N11 \times 2$ 、 $6N1 \times 6$ 、 $DK100 \times 8$ 。因此，在一些高级放大器调整后或搭配管子时，经常在管子上用色漆、色笔作出或贴上标记，以便对号入座。日常维护修理时也不应随意变换管子位置，以免引起电路失调及功放质量指标变坏等问题。

此外，为了简化放大器的调试程序，除了做到电路对称外，还

必须尽量选配特性参数一致的电子管、RC 元件和输出变压器等，以保证各级和各声道增益的对称。特别是功率管动态参数的平衡对提高放大器的品质尤为重要，可惜这些常常被忽视。当然，业余发烧友因条件所限，测试电子管的工作做起来还有一定难度。对此，比较简单易行的办法是利用一台调试好的放大器，在相应电路的管座上插上同型号的待测电子管（电压放大管或功率管）。然后输入稳定的音频信号，在与参考管同等屏流或同样栅负压下测得的输出信号电压如基本相等，则说明管子的静、动态特性参数一致，以此挑选出 μ 、S、 R_i 等特性参数相同的功率管或双三极管。

电源是 CD 机的灵魂

一台具有杰出品质的 CD 机或者功放，其生产厂家的工程师们在设计阶段会将 95% 的精力放在哪里？在电源！一个线路，他们可能几天就能设计完成，而它的电源部分，他们则必定要反复试验，调整几个月甚至几年时间才能完善。我们这里就有一个活生生的例子可以说明。去年夏天，我们曾将手边的音乐传真的旗舰 CD 机 NU · VISTA 3D 打开，将其内 NE5532 运放（担当 I/V 变换）旁的几个电解电容（我国台湾出产，价格不贵）换成贵十几倍但相同容量的某日本产著名音频电容，结果整机的表现从 4 万余元机器一下子掉到了 4 千余元机器的水平。其后，我们再分别用几种不同品牌但相同容量的欧美发烧电解电容来替换，结果“悲惨”的结局依然毫无改观……这说明，在这一位置上采用这一电容，是工程师们经过无数次反复挑选试听的结果。而你要知道，整部 CD 机内与此相同或者更重要的电源部位还有多达 20 余处！此机我们今年已经用 EC 电容开始打摩，据乐观估计，可能需要一年时间来完成。

无需谦让，经过前后 15 年的不懈探索和不断积累，在对于 CD 机电源认识的深度、广度及具体实践上，我们已经站在了当今世界的最前沿！试问，国外有哪一位朋友能像我们这样，仅凭电源改造，就能将一台在各方面配置都相对简单的一千余元平价 CD 机，改造成可以全面地与当今数万级的高级 CD 机相抗衡的利器。诚然，不断反复调整及改造其电源也让我们付出了整整 3 年时间的代价，但我们仍然视其为对我们在电源领域付出巨大努力和超常智慧的最好回报！

在这里，我们要再次感谢我们周围的众多烧友兄弟，因为我们今天的成就是和他们的鼎力支持分不开的。比如今年头 5 个月，我们再次用 EC 薄膜电容对山灵 S100 CD 机的电源进行了全新的改造，使其综合性能继续大幅提高。而在此过程中，我们主要的监听器材始终是著名的 Mark Levinson No.336 功放及至今仍然是世界上最中性、最准确的极品音箱之一的丹拿 Consequen 至尊（这对杰出的音箱绝对是一面最无情的“照妖镜”，因为几台 3~4 万元的高级 CD 机也在其面前显露出了明显的局限性）。正是其主人对我们的大力支持，我们才能得以比较顺利地顺利完成这次大提升（仅今年这 5 个月，我们在他家进行调试及试听的次数就超过 30 次，并且每次都长达 2~3 个小时）。当然，在此过程中，蒋兄、卢兄、涂兄及房师傅、“木匠”等一批资深烧友也给了我们极大的支持，在此我们表示衷心的感谢！

特别提供：摩胆机极品滤波薄膜电容：Aerovox $18 \mu F/500V$ ，最高耐压 $\geq 800V$ ，15 元/只； $20 \mu F$ ，最高耐压 $\geq 700V$ ，12 元/只； $40 \mu F$ ，最高耐压 $\geq 900V$ ，24 元/只，最高耐压 $\geq 450V$ ，18 元/只。

提供打摩好的全新山灵 S100 CD 机，顶级打摩 12000 元/台，高等级打摩 4800 元/台，中等打摩 3750 元/台。

邮购地址：杭州市武林门电器市场 1048 号，创声音响商行 **邮编：**310005 **邮资每次 6 元**

电话：0571-88484421 **传真：**0571-88484372 **收款人：**朱为民 **咨询电话：**013605712848