



NUAA2010074875

TM44-53
1002(1)-1

电源技术年会文集



电源技术年会文集编辑委员会

目 录

1. 电源技术现状和方向的探讨	李厚福 (1)
2. 通用型低噪声晶体管稳压电源的设计	张汝元 (6)
3. 30 V—30 A 直流稳压电源设计中的问题	李颖达 (12)
4. 运算型高压电源	付其松 (16)
5. 高稳定度直流电源	陈德宝 (29)
6. 1 A—75 V 可调精密稳流源的设计要点	龚树仁 于百江 (38)
7. 结型场效应管链接基准电压源的研究	倪本来 (46)
8. BRK 燃气轮机控制装置电源系统	陈志潮 柳玉珍 (62)
9. 5G14 型集成稳压器的各种变通用法	罗汉涛 (77)
10. 论 20 KHZ 的革命	石钟伍 (91)
11. 脉宽调制型开关电源	乔可君 庄蓄田 (115)
12. 脉冲宽度调制电源的设计与计算	顾梅华 (143)
13. 无工频变压器 5 V—10 A 开关式稳压电源	卢守林 杨柱石 (165)
14. 短路调宽恒幅变换器	潘 森 (175)
15. 单端反向变换器型多路电源	邹怀虚 (196)
16. 采用 20 KHz 磁放大器的直流稳压电源	尹凤鸣 朱浩然 (205)
17. 电子设备不用电源变压器供电方案	徐春昌 (212)
18. 用状态平面法分析晶体管饱和和铁芯推挽变换器	易仲芳 (218)
19. 对开关电源的探讨	毛乙长 (231)
20. 脉冲调宽制开关稳压器的噪声分析及其抑制方法	陈立元 (237)
21. 可控硅中频变频器电源	朱培义 (247)
22. 锁相技术在交流设备中的应用	须振健 黄济青 (259)
23. 逆变器多重化移相叠加法探讨	刘凤君 (281)
24. 新型三相变频电源的设计和调试	吴 瑁 郭天明 (308)
25. 电子平滑滤波器	陈翔龙 (315)
26. 高频应用的铝电介电容器	金佩华 (323)
27. 三柱型铁芯参数变压器	黄汉生 (331)
28. 200 W 氨—空气燃料电池氧电极的研究	徐国祥 麦麟政 (340)
29. 可控硅调压对电网干扰的分析及简易抑制法	孙文涛 (347)
30. 减少开关管瞬态损耗的再分析及轨迹改善法	金弘林 (351)
附录: 一九七八年电源技术年会文章索引	(364)

电源技术现状和方向的探讨

李 厚 福

一、前 言

在现代科学技术中，电源占有重要的地位，电源相当人的心脏，这是实在的。

电源的重要性在于：

1. 没有电源，几乎一切仪器、设备及装置不论多么先进，也只是废物一堆；有些岂旦要有电源，而且还需要有十分良好的性能，否则也不足以保证仪器、设备及装置的正常工作，如航天，计量等等。

2. 电源要先于仪器、设备及装置制造出来，如高能物理，原子能的研究的特殊电源就要求先于设备的制造。否则无从试验。

只此二点已经足以说明电源的心脏地位。但是无论国内还是国外，电源都没有得到应该得到的重视。有些很先进的科学发达国家过去不注意抓电源的发展，当别的门类的科学技术都飞跃发展起来的时候，才发现不抓电源吃了亏。这样的例子在国内也很多希望我国不要重蹈人家的弯路。这点对于从事电源工作的人是重要的，更重要的还在于领导。

几十年来，电源毕竟得到相当的发展：小了，轻了，性能好了，然而与大规模集成电路相比，与微处理机相比，电源的发展还很缓慢；解放卅年来，电源经历了从无到有，从仿制到自行设计的道路。更其可喜的是突破了一些理论关。然而，与国际先进相较，仍然有不小距离。为了尽快实现四个现代化，电源作为先行官决不应成为莫后而拖住现代化的后腿。于我们电源工作者真是任重而道远。

二、电 源 概 念

凡提供电能的装置统称之为电源。

能起到这个作用的电源的工作状态可分为三类：

1. 由任何一种能量直接转换成电能的源；
2. 电能传输中，在源和负载之间起稳定作用的装置；
3. 平时以非电能形式贮存，在使用时变成电能的装置；

可见，电源应该包括电站（小的如不停电供电装置）交直流稳定电源，油机，电池；电站姑且勿论，人们常呼之为电源的就是以上三类了。

电源包括如此之广泛，作为独立的系统它是完全可以存在的。这届年会没有收集电站的文章，电池类的文章也甚少，实在是美中不足，今后再弥补吧。

三、几种电源

对电源的现状和发展我们也不想讨论得面面俱到：这里仅就：

1. 交流电源
2. 直流电源
3. 交一直流电源

来加以讨论。

无疑，对电源而言讨论是不全面的，甚至于有不妥当之处，欢迎批评指正。

1. 交流电源

交流输出电源的定义是：由交流源或直流源供电的输出交流电功率的源。输入源的频率范围很宽广；波形可能是正弦，也可能是方波或其他对称的波形；源提供能量的方式可能是连续的也可能是断续的。

输出交流功率可能是稳定的，也可能是不稳定的；输出交流功率时还可能要求稳频，稳相位，稳波形，最常用的还是稳压。

交流稳压电源的正式产品见于卅年代初期，如铁磁谐振稳压器；当电子管交流稳压器大部分代替了铁磁式的时候，重量轻了，体积小了，但都不甚显著；然而晶体管交流稳压器，可控硅交流稳压器，电机—调压器交流稳压器出现之后，体积和重量下降有3—4倍之多，得到了人们的认真的重视。现在，程控电源，不停电供电装置出现之后，重量更轻，体积更小。总之，交流输出稳定电源的这五十多年的趋势就是减轻重量，缩小体积。

以程控电源和铁磁式交流稳压电源相比，重量可减轻十倍左右，体积缩小七、八倍之多；与晶体管交流稳压电源相比，铁磁式的也要重两、三倍，国内目前我们还较少见到程控式电源，但晶体管式的在70年代初期就已经见诸产品了。

十年左右，交流稳压电源仍然会以减轻重量、缩小体积作为奋斗的目标；在国内目前推广已经较为轻小的产品，将节省大量的矽钢片和铜。如果程控交流电源能尽快设计出来，可以使交流稳定电源产生飞跃的变化。

科学技术的发展，对电源的要求也增加了内容，抗干扰就是重要的一方面。

抗干扰的要求不自今日始，但是，现在几乎所有设备仪器对抗干扰都有所要求，这是因为现代科学技术发展的结果。

过去为了抗电网来的干扰，采用空心电感隔离变压器等等一类的措施，在某种情况下，能起到一点作用，但是对宽广的电网变化，频带很宽，频谱复杂的干扰却无能为力了。

在这样的情况下，人们又在探索新的道路新的方案。利用铁心的局部饱和，当铁心饱和时，外界影响不能使磁通变化，于是干扰不复在输出中出现，这就是谐振变压器，稳压变压器。六十年代又出现了参数变压器，它的抗干扰性能似乎更好；这类交流稳压电源都具有相当好的短路保护性能，甚至具有过、欠压保护性能，使用起来较为理想，目前它们的效率都可以做到70—80%，与三十年代的铁磁谐振交流稳压器相比，加工也容易多了，所以它是有生命力的。例如程控机床上用谐振交流稳压器供电，当使用刀闸在180V—240V之间跳变时，加工可以正常进行，丝毫不乱；当电网从260V下降到110V，加工仍能正常进行，在不少场合，用这样的交流稳压器配以适当的整流滤波网路就可以正常工作，电网和负载的稳定度可达1%这是具有很大吸引力的。

克服干扰,当然还可以用时间间隔法,在产生干扰时不供电,供电时又与电网“脱开”,干扰的瞬时性使得这个方法能付诸实现。抗干扰的迫切性,促使了抗干扰的研究、探讨工作的进行,虽然,取得了许多成绩,似乎距人们的要求还有很大的差距,我们应在推广这些“抗干扰”的过程中再获得新的方法。

科学技术的发展史,使我们相信,更新更好的交流稳定电源一定会不断出现的。现在出现了程控交流稳定电源,又出现了不停电供电系统等等,他们不论是理论探讨和实践的方法和过去的交流稳定电源都不一样了,这样的方法就给人们以启示,力量,使新的东西层出不穷。

目前我国交流稳定电源还远不够理想,为了在四化的道路上前进得更快,我们以为:

- (1) 将已经轻小的交流稳定电源努力加以推广,尽快地完成这个换代;
- (2) 推广“抗干扰”的行之有效的方法,使仪器、设备、装置能稳定可靠的工作;
- (3) 探讨新的电源理论而攀登电源的科学技术之峰。

2. 直流电源

直流电源的运用是十分广泛的,直流电源的品种,规格、线路型式名目繁多,而它的发展,比交流电源也要快的多。

直流电源有稳定不稳定之分,不稳定的电源是大部分电池、蓄电池以及整流滤波电源均属此类。缩小体积、提高效率、提高精度创造出新品种是努力的方向。

直流稳定电源有稳压和稳流之分,也可能兼而有之。稳流源和稳压源基本上相同,目前稳流源已经有 $10\mu\text{A}$ — 30A 连续调节的产品,稳定度达 0.001% 在高能物理方面几百安培的高精度稳流源业已成熟。今后为了电流大容量并机,稳流源还会有一定的发展。

稳压电源用处最为普遍,电压从低到高,电流从小到大,稳定度从 10^{-2} — 10^{-8} 几乎建立了完整的网谱。

(1) 低压稳定电源:通常从 3V (或 1.5V)开始到 2 — 3 千伏,电流从几十毫安到几百安培。

低压稳定电源有串联、并联等线性稳压电源,有开关稳压电源。开关电源的名目多,为无工频变压器电源,无变压器电源,变换器电源等等。为电源而制作的集成块,厚、薄膜组件一般既可用在线性电路,也可用作开关电路。

直流低压稳压电源的发展是较快的,解放初期仿制的苏联 WY-2 型产品,仅 200W 就重达 48kg ,六十年代初,我们自行设计的 200W 的电源,重量不过十几 kg ,而且稳定度好,能连续长期工作,保护特性也好;六十年代中期,无工频变压器的电源本应能试制出来,由于“四人帮”的干扰而拖延了,直到七十年代中期才出了样机,一差就是十年。七十年代后期电源也还是有所进展,如一台 600W (100A)的电源,重仅为十几 kg ;而无极电机功率高达千瓦,体积却极小,……等等,这说明我们有很大的潜力,只要各地区一起努力,我国的电源的迅速发展是大有希望的。

直流低压稳定电源随着科学技术的发展而前进,目前正沿着这几方面做工作——首先是标准化系列化,因为它可以解放生产力,其次是缩小体积,减轻重量,提高效率;第三、向大电流(几百安)高可靠,提高使用精度方向稳步前进;第四、向更高精度攀登,总之,这几方面已取得了可喜的成果。

集成器件的电源块大多用于低压稳定电源,当输出电流不大时,集成块本身就是一组电源的控制和调整部分。集成块的优点在于体积小和温度系数好,设计得好,在相当宽广的温

度范围内温度系数为0或近似为0。在器件工作者的努力之下,集成块还有可能将电流增大而保持它温度系数小的特点的潜力,不久我们会看到样品的。

自六十年代初期,不论一般精度电源还是高精度电源都大量采用了补偿法进行设计,对于低压稳定直流电源,虽然目前还没有一个标准的设计方法,然而补偿法毕竟还是值得注意的。

低压稳定直流电源在近几年首先应该以高水平为基础,拉齐全国的水平,为电源的全国一起跃进做好准备;同时应为课题——如彻底甩掉变压器,切实解决抗干扰的理论探讨,工程设计,拿出行之有效的方案,向国际先进水平进军等等——做好准备。搞低压稳压直流电源的力量在整个电源工作者中颇雄厚,当然课题也最多,全国携手并进是十分必要的。

直流电源中还有高压稳定直流电源,目前品种规格不多,稳定度不十分高;新出现的陶瓷变压器使2—3万伏的电源易于制作了,但对几百千伏的高压电源还没有什么好处,对这样的电源采用什么方案,也还值得讨论。高压电源对于一些技术来说是成败的关键,是不能掉以轻心的。

再有直流电源还有一个重要的方面,这就是高精度电源,所谓高精度电源就是它的稳定度达 10^{-8} 以上,它的高稳定度的基准,它的放大器的高放大倍数和高稳定度的问题,长时间工作的漂移,开机的一致性,温度变化所产生的影响,纹波噪声的测量等等都已超出一般电源的所探讨的深度及广度。例如,电阻采样代之以时间分割采样,电流比较仪代替半导体检测放大,近来超导量子干涉仪成功地运用到精密电源技术、使电源的精度大幅度提高。此外防泄漏和屏蔽的理论、工艺、材料都极端重视。当然最迫切的课题仍要算寻求理想的基准电压器件。随着计测、高能物理、航天技术的发展,对高精度电源的需求将普遍起来。

变换器既可能输出低压,也可能输出高压,在航天技术,无人值守的台站上都少不了变换器,因而变换器的使用普遍起来,它可以独立起来讨论,但鉴于它常和直流电源配用,也在直流电源中讨论。变换器的电路,目前还无突出的新东西,晶体管和可控硅都在使用,从眼下来看,大功率的可控硅的用得多一些,但在晶体管也能提供足够的能量的时候,晶体管比可控硅就更好一些,往后晶体管的使用会比可控硅更多一些。变换器的主要矛盾,还在于干扰,在方波上叠加的毛刺,无论频率是否可变,要彻底消除它仍然是困难的。这样在一些电路中变换器的使用就受到了限制。目前变换器的频率,在国内不过20KC左近,这是由于设有足够好的器件,如高频大功率晶体管,高频高温高导磁的材料都还不能保证供应,当器件没有新的进展,不突破一定的范围时,变换器也难以得到很好的发展。

可以设想随着新材料、新器件、新技术的产生和运用,电源一定会螺旋上升的,我们希望它们有更多的变化,但我们也不能完全依赖它,还要走自己的路。

要之,直流电源要改革的东西还很多,已经正在改革的东西又不完全理想,路正长,斗争还未有穷期。

3. 交流—直流电源

这是一种组合,早已有之。它们利用交流进行前置预稳,从而改善了直流电源的性能。它的好处是:(1)大大减化直流稳定电源的设计;(2)可以在很大程度上克服掉电网的干扰;(3)为太阳能、核能的使用创造了条件。

这种组合,在某些情况下也未必全好,尤其在限制体积的情况下就更如此。

组合的形式是多种多样,目前的组合中,“交流”指的都是具有抗干扰性能的谐振稳压器,参数稳压器这一类产品,它可以使直流稳定电源的散热器小,保护性能好,稳定性好。

就某种意义而言，它也是电源的方向。

四、电 源 的 器 件

要想电源很好，好的器件起码保证了一半的希望。器件的质量要好，否则比没有器件更坏十倍。坏的器件往往导致试验的无端的失败，从而引起不合实际的担心。

电源所希望的好器件不外乎：

1. 极小的管压降，极小的开通、关断时间的二极管，所谓肖特基二极管是也；小的肖特基管子早已有了，问题是几十安、上百安、几百安的肖特基二极管可否真有？耐压高达百伏的可否有？我们希望有。

2. 三极管

三极管的频率特性要好，抗烧能力要好，耐二次击穿的水平要高，开通、关断时间要短，饱和压降要小，性能要稳定，不能一加功率就变。目前已有了一些较好的管子，但可惜都是单项性能好，综合指标并不见好。

3. 滤波电容

希望体积小、容量大，在高频运用时拐点愈晚出现愈好。

4. 高频、高温、高导磁率的磁性材料。

5. 整流桥块，

管压降要小，标称功率应该基本满足要求。

6. 集成块

有集成块当然很好，但要有负载补偿和调整的余地，在不能解决散热问题时，容量不能做得很大。

7. 新器件

光电耦合器，达林顿管等等除了试制出来还应该有公道价格在市场上供应。

总之，为了保证心脏能良好的跳动，电源必须要有器件，否则，难为无米之炊，这个呼吁是对领导提的，请预注意。

五、结 论

交直流稳定电源都面临着这样的问题：

1. 推广已经成熟的轻、小产品，电源情报网联合起来编资料、图集，以先进水平为基础，拉齐全国的水平；

2. 加强电源的基础理论的研究，为赶超世界先进水平打下坚实的基础；

科学的春天来了，英明领袖华主席领导我们来了，让我们一起来搞好全国的电源技术的发展吧！

通用型低噪声晶体管稳压电源的设计

张 汝 元

一、概 述

纹波加噪声只有几个微伏的稳压电源,是近代电子技术对电源所提出的一个新课题。因电源纹波及噪声,一方面限制了微伏级或毫微伏级放大器对微弱讯号的检测。另一方面会使各种对电源纹波敏感的电子器件无法正常工作。如使压控振荡器及微波电调滤波器产生附加扫频干扰,锁相环路无法锁定等等。

为免除设计、制造各种专用低噪声电源的困难,以推动上述各方面研究工作的开展,我校于74年研制出通用型 WYJ-2A 高精度双路稳压电源,几年来,通过有关单位在上述各方面使用,均得到了较理想的结果,现介绍如下:

二、主要技术指标

本机由指标完全相同的两路稳压电源组成,两路同时启动,同时保护。其中任一路指标如下:

(纹波+噪声) $r \cdot m \cdot s \leq 10 \mu v$

纹波 $V_{p-p} \leq 30 \mu v$

相对稳定度 $S \leq 5 \times 10^{-5}$

动态内阻 $r_o \leq 3 m\Omega$

输出电压 $V_o \pm 1-27 V$

输出电流 $I_o 0-1 A \times 2$

三、设计方案

计算表明,若无其它影响,总电压增益 $K_v = K_{v1} \times K_{v2} \geq 10^4$ 即可保证上述全部指标。为消除其它影响,并达到宽范围可调,采用以下措施:

1. 采用线性集成电路作差放以消除杂散影响。要求其输入噪声 $V_n \leq 6 \mu v$, 开环增益 $K_{v1} \geq 2000$ 电源稳定度 $\leq 10^{-3}$ 即可。故选用 8FC1 中噪声低者。

2. 采用浮动放大式串联调整型稳压电路。这种电路①可以保证差动放大器工作点在零点附近,且不受电压大范围调整的影响。②使调整管工作在共射组态,有电压增益,本机 $10 \leq K_{v2} \leq 40$, ③对基准电压的噪声有很强的滤波作用。

3. 采用高精度基准电压,其稳定度及漂移要比主电源精度高三倍以上,其纹波和噪声

经取样电路的滤波后（浮动放大取样所特有）要远小于 $3\mu\text{V}$ 。

4. 采用稳定的辅助电源。要求其电压变化量乘以 8FC1 的电源稳定度要远小于主电源允许的输出电压变化量，而可略而不计。

5. 采用低漏磁变压器，并加磁屏蔽，使漏磁引起的输出纹波 $\tilde{V}_{50\text{Hz}} \leq 7\mu\text{V}$ 或可能的最低值。

6. 合理布线以消除杂散影响。

由于本机既保证了 $K_v \geq 10^4$ ，又保证有效的消除其它影响，则全部指标必可达到。以下分六个方面作具体分析。

四、调整管和差动放大器

1. 首先按上述理想条件下，求纹波 $\tilde{V}_{100\text{Hz}} \leq 3\mu\text{V}$ 的反馈放大总增益 K_v 。

$$K_v = \frac{\tilde{U}_{sr} \times \tilde{R}'_L}{\tilde{U}_{sc} \times \tilde{n}(\tilde{R}'_L + r_c)} \approx 10^4 \quad (1)$$

式中： $\tilde{U}_{sr}$ —输入纹波，取 1V

$\tilde{R}'_L = R'_L \parallel X_{C_{sc}}$ 。本机 $C_{sc} = 500\mu\text{f}$ ，对 100Hz ， $\tilde{R}'_L \approx 3\Omega$

$\tilde{n}$ —交流分压比，对 100Hz $\tilde{n} \approx 1$

r_c —调整管输出阻抗， $I_0 = 1\text{A}$ 时 $r_c \geq 100\Omega$

由(1)式知，同样 $3\mu\text{V}$ 纹波，若 $\tilde{R}'_L$ 小，则所需 K_v 也小。

2. 调整管处于共射组态的电压增益 K_{v2} ：

$$\text{对直流： } K_{v2} \approx \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 R'_L}{r_{be1} \beta_2 \beta_3 + R_0} \approx \frac{\beta_1 R'_L}{r_{be}} \approx 40 \quad (2)$$

$$\text{对交流： } \tilde{K}_{v2} \approx \frac{\beta_1 \tilde{R}'_L}{r_{be}} \approx 10 \quad (3)$$

式中调整管 3AD30C， $r_{be1} \approx 15\Omega$ ， $\beta_1 \geq 50$ ，3AD6及 $3A \times 31C$ 的 $\beta_2 \times \beta_3 \geq 2000$ 。 R_0 为差放输出阻抗。

由(3)式知， $\tilde{K}_{v2}$ 正比于 $\tilde{R}'_L$ ，若 $\tilde{R}'_L$ 增大可使 $\tilde{K}_{v2}$ 增大。

3. 求所需的差放增益 K_{v1} ：

$$\begin{aligned} \text{由(1)、(3)式得 } K_{v1} &= \frac{K_v}{K_{v2}} = \frac{\tilde{U}_{sr} \times r_{be1}}{\tilde{U}_{sc} \times \tilde{n}(\tilde{R}'_L + r_c) \beta_1} \\ &\approx \frac{\tilde{U}_{sr} \times r_{be1}}{\tilde{U}_{sc} \times \tilde{n} r_c \beta_1} \approx 1000 \end{aligned} \quad (4)$$

由(4)式可知：对 K_{v1} 的要求几乎与 $\tilde{R}'_L$ 无关，而且是 $\tilde{R}'_L$ 大些好。所以此种电路为减小纹波，并不要求加大输出滤波电容 C_{sc} 。但为了使本电路进入正常工作状态，又必须使 $C_{sc} \geq 500\mu\text{f}$ 。

4. 为减少漂移，应尽量使组件输入端 1 和 2 对地的电阻相等，即 $R_{b2} = \frac{R_n \cdot R_0}{R_n + R_0} = R_{b1}$ ，否则会产生附加漂移如下：

$$\Delta U_{p_{sr}} = \frac{C_1 I_{b1} + C_2 I_{b2}}{2} (R_{b1} - R_{b2}) \quad (5)$$

式中 C_1 、 C_2 近似 $0.5\%/^{\circ}\text{C}$ ， I_{b1} 、 $I_{b2} \leq 6\mu\text{A}$ ，本机 $R_{b1} - R_{b2} \leq 250\Omega$ ，故此项温漂 $\Delta U_{p.r} \leq 7.5\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 。一根据常用的电压值改变 R_{b1} ，使 $R_{b1} \sim R_{b2}$ 可使此项温漂减至最小。

5. 由于组件输入端到稳压器输出端的闭环电压增益为 $1/n$ (n 为分压比) 故对直流漂来说，输出比输入端增大 $1/n \leq 4$ ，而对噪声和纹波来说，输入值 $\approx$ 输出值。因 $1/n \approx 1$ 。

综合以上所述，按图(1)所给电路，当调整管及组件按上述及设计方案中所述要求取值时，即可达到给定指标。

图1及图2中分别给出了采用锗管和硅管的具体电路。采用硅管时亦可按图1，只需把基准电压改为正值。至于消除自激的方法按图1，图2均可。

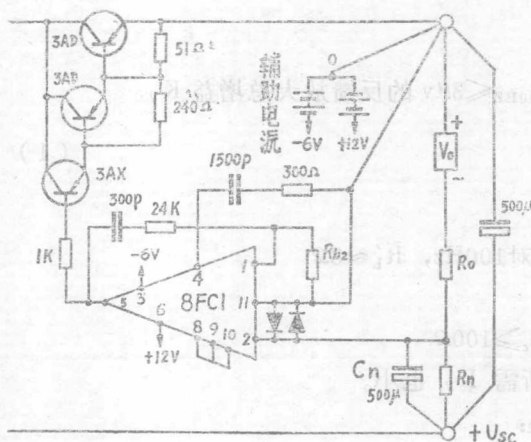


图1 调整管用锗管的电路

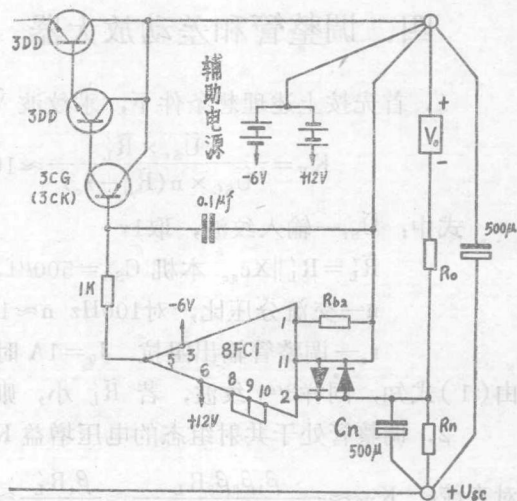


图2 调整管用硅管的电路

五、基准电压

为达到本机各项设计指标，基准电压必须比对应的电源指标严格五倍左右。采用两级高效能稳压电路串接。

第一级为集电极输出式串联调整稳压，其稳定度 $S \leq 5 \times 10^{-4}$ ，纹波 $\leq 500\mu\text{V}$ 。利用负16V辅助电源（参看总图）

第二级需要达到 $S \leq 5 \times 10^{-4}$ ，纹波 $\leq 1\mu\text{V}$ ，而且温度系数 $\leq 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 为此采用图3的稳压电路。这是参考国外电路并加温度补偿及噪声滤波。其原理大致为：

基准电压由2DW7C输出。以3DG5及2DW7B作2DW7C的恒流源。而2DW7B的恒流源则由3AX31C及2DW7C控制。这样循环制约而达到足够稳定的输出。

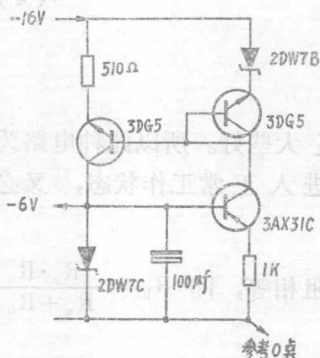


图3 基准电压输出电路

推导出此电路的电压稳定度及温漂:

1. 当3DG5基极接理想恒压源时, 2DW7C 输出电压稳定度 S_{01} 为:

$$S_{01} = \frac{\Delta U_{se}}{\Delta U_{sr}} = \frac{r_0 \cdot r_{be}}{(r_0 + r_e + R_e)[r_{be} + (1 + \beta)R_e]} \approx \frac{r_0 \times r_{be}}{(r_e + r_e)\beta R_e} \quad (6)$$

式中 $r_0 \leq 10\Omega$ 为2DW7C 动态内阻,

$r_{be} \approx 400\Omega$ 为3DG5 b—e 结电阻(电流为12mA)

$r_e \geq 6K$ 为3DG5输出阻抗(电流为12mA)

此外 $\beta \geq 50$, $R_e = 510\Omega$

在上述条件下, $S_{01} \approx 5 \times 10^{-5}$

2. 当 $3A \times 31C$ 基极接理想恒压源时, 同样可得2DW7B 的电压稳定度 S_{02} (只需将对应的参数代入(6)式)

3. 按图3, 3DG5基极接2DW7B 时, 考虑相互影响, 2DW7C 的电压稳定度为 S_0

$$S_0 \approx S_{01} + K S_{02} \quad (7)$$

其中 $K \approx \frac{r_0}{R_e} \approx \frac{1}{25}$ 为3DG5的电压放大系数。故即使 $S_{02} \approx 5 \times 10^{-4}$ 代入(7)式, 本电路尚可得到 $S_0 \leq 7 \times 10^{-5}$ 。

4. 温度系数: 由于3DG5发射结温度系数为 $-2mV/^{\circ}C$, 对基准电压输出的影响为:

$$\frac{r_0}{R_e} \times 2mV/^{\circ}C = 80\mu V/^{\circ}C \quad (8)$$

我们在上述 3DG5 基极与 2DW7B 之间串接 $-3DG5$ 发射结与上述温漂抵消, 可抵消到 $10\mu V/^{\circ}C$, 即 $2 \times 10^{-8}/^{\circ}C$ 左右。

调整 R_e 值, 即改变 2DW7C 的工作电流, 可找到温度系数最低点。

5) 噪声: 参看图1可知, 本机基准电压噪声输送到差放输入端, 其传输系数为:

$$K = R_n // X_{c_n} / R_0 + R_n // X_{c_n} \approx X_{c_n} / R_0 \quad (9)$$

因此加大 C_n 就可减小基准电压噪声的影响。例如本机取 $C_n = 20\mu f$, $R_0 = 860\Omega$, 则对上述噪声的上截止频率为 $f \approx 10C/S$ 。这已使稳压管及 R_0 的热噪声基本消除, 而只有 $1/f$ 噪声的影响。故尚需选 $1/f$ 噪声低的 2DW7C 作稳压管。

为进一步减少 2DW7C 噪声输出, 以 $100\mu f$ 电容与之并联。

六、漏磁感应及布线工艺

变压器漏磁感应, 可使稳压电源纹波增加几十到几百微伏, 视所用变压器漏磁大小、安装位置, 方向以及线路接地点的选择和布线工艺而定。若要求纹波在几个微伏, 则必须仔细考虑。我们的经验是:

1. 设计低漏磁变压器:

一般变压器的设计, 其最大磁通量接近于铁心的饱和磁通量。其磁滞回线如图4中的外部廓线。其漏磁感应如图5中a所示。按一般设计把铁心叠厚增加了约1/4, 每伏圈数又增加约1/4, 结果漏磁感应下降到原来的1/3—1/5, 其磁滞回线测得如图4中内部廓线。漏磁感应电压例图5b。当然这增加了体积和重量。

2. 磁屏蔽: 本机加1.5mm 铁筒作变压器磁屏蔽, 又可使漏磁再减少三倍左右。

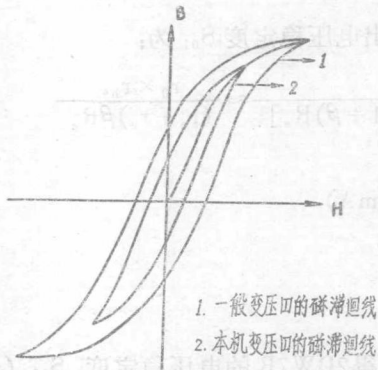


图4. 几种条件下的变压器磁滞回线

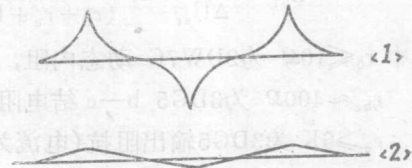


图5 1. 一般变压器的漏磁通
2. 本机变压器的漏磁通

3. 关键的线：如基准电压，取样电路、以及直流输出线所包围的面积要减至最小，并尽可能与干扰磁场垂直。这些线通过铁底板或面板时，来，回线要走同一个铁孔。
4. 全部接地点要分别引到一点，而此点应远离变压器，而且是输出的接地端。
5. 取样线必须单独引出，以减少电源内阻。

七、整机指标计算

1. 噪声与纹波的叠加：现只有变压器漏磁感应 $\tilde{V}_{50\text{Hz}} \leq 7\mu\text{V}$ ，主电源纹波 $\tilde{V}_{100\text{Hz}} \leq 3\mu\text{V}$ ，以及组件输入噪声 $V_n \leq 6\mu\text{V}$ ，而其余影响可略而不计。按不相关讯号叠加为功率叠加，故本机

$$(\text{噪声} + \text{纹波}) \quad r_{\text{ms}} \approx \sqrt{7^2 + 3^2 + 6^2} \mu\text{V} \leq 10\mu\text{V}$$

2. 漂移：主要有组件输入漂移 $\leq 10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，由 $R_{b1} \rightleftharpoons R_{b2}$ 引起的附加漂移 $\leq 7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，以及基准电压漂移 $\leq 10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 输出漂移小于此三者绝对值相加的 $1/n$ 倍， $n \geq 0.25$ 故：

$$V_p \leq \frac{1}{n} (10 + 7 + 10) \mu\text{V}/^\circ\text{C} \approx 100\mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

3. 电压稳定度：注意到 $K_v = K_{v1} \cdot K_{v2}$ ，而 K_{v2} 由 2 式给出。

$$\text{浮动放大} \quad S \approx \frac{R'_L}{r_c + R'_L} \cdot \frac{1}{nK_v} \approx \frac{r_{be1}}{(r_c + R'_L)_n K_{v1} \beta_1} \leq 4 \times 10^{-5}$$

4. r_0 ：浮动放大稳压电路 r_0 的表达式为：

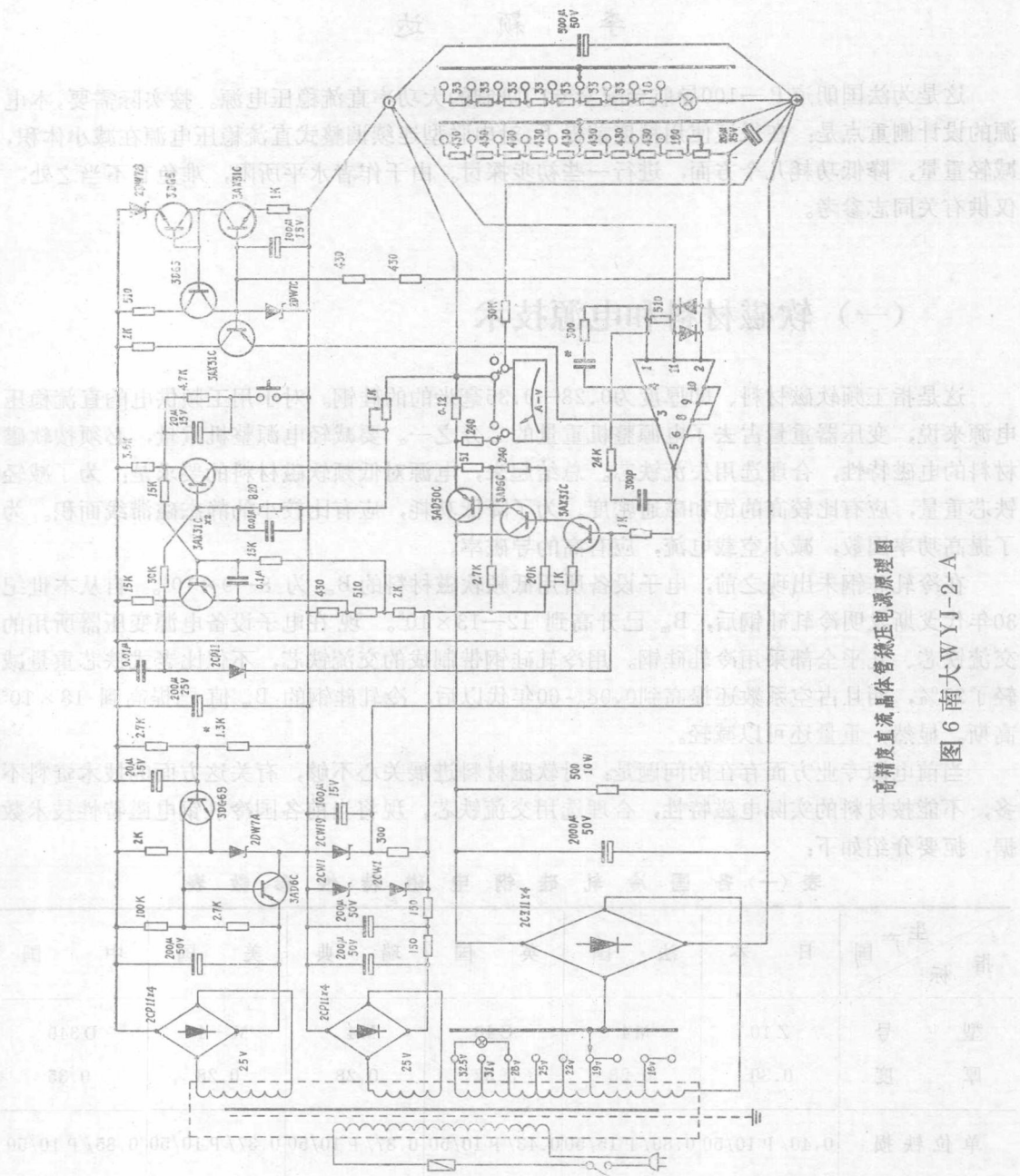
$$r_0 = r_c r_{be1} / n K_{v1} \beta_1 (R'_L + r_c) \leq \frac{r_{be1}}{n K_{v1} \beta_1} \approx 1\text{m}\Omega$$

式中设： $r_{be1} = 40\Omega$ ， $n = 0.3$ ， $\beta = 50$ ， $K_{v1} = 2000$ 。

八、结束语：

按本文所生产的 WYJ-2A 型稳压电源在批量生产中实测指标与设计基本符合。其整机电路见图 (6)。

30V30A 直流稳压电源设计中的问题



高精度直流晶体管稳压电源原理图

图6 南大WYJ-2-A

30V30A 直流稳压电源设计中的问题

李 颖 达

这是为法国朗道 P—100 导航台配套专门研制的大功率直流稳压电源。按实际需要,本电源的设计侧重点是:在保证使用精度前提下,对串联型连续调整式直流稳压电源在减小体积,减轻重量,降低功耗几个方面,进行一些初步探讨。由于作者水平所限,难免有不当之处,仅供有关同志参考。

(一) 软磁材料和电源技术

这是指工频软磁材料、即厚度为 0.28—0.35 毫米的的硅钢。对于用工频供电的直流稳压电源来说,变压器重量占去了电源整机重量的二分之一。要减轻电源整机重量,必须按软磁材料的电磁特性,合理选用失流铁芯。总结起来,电源对低频软磁材料的要求是:为了减轻铁芯重量,应有比较高的饱和磁通密度。为了降低功耗,应有比较小的静态磁滞线面积。为了提高功率因数,减小空载电流,应有高的导磁率。

在冷轧硅钢未出现之前,电子设备所用低频软磁材料的 B_m 为 $8-9 \times 10^3$ 。自从本世纪 30 年代戈斯发明冷轧硅钢后, B_m 已升高到 $12-13 \times 10^3$ 。现在电子设备电源变压器所用的交流铁芯、几乎全部采用冷轧硅钢。用冷轧硅钢带制成的交流铁芯,不但比老式铁芯重量减轻了 27%,而且占空系数还提高到 0.98。60 年代以后,冷轧硅钢的 B_m 值已提高到 18×10^3 高斯。显然,重量还可以减轻。

当前电源专业方面存在的问题是:对软磁材料进展关心不够,有关这方面的技术资料不多,不能按材料的实际电磁特性,合理选用交流铁芯,现将当前各国冷轧钢电磁特性技术数据,扼要介绍如下:

表 (一) 各 国 冷 轧 硅 钢 电 磁 特 性 参 数 表

生产国 指 标	日 本		法 国		英 国		瑞 典		美 国		中 国	
型 号	Z 10		M 4		C 46		M 4		M—4		D 340	
厚 度	0.30		0.28		0.32		0.28		0.28		0.35	
单 位 铁 损 (公 斤/瓦)	0.40 / P 10/50		0.89 / P 15/50		0.43 / P 10/50		0.37 / P 10/50		0.37 / P 10/50		0.85 / P 10/50	
	0.90 / P 15/50		1.17 / P 15/60		1.01 / P 15/50		1.22 / P 17/50		0.85 / P 15/50		1.90 / P 15/50	
磁 感 应 值 (仟 高 斯)	B ₁₀	18.2	B ₅	18	B ₁₀	18.3	B ₂₅	19.5	B ₁₀	18.3	B ₁₀	17
	B ₂₅	18.9	B ₁₀	18.2	B ₂₅	18.7	B ₃₀₀	20.5	B ₂₅	19	B ₂₅	18.5

本电源的最大输出功率是1050瓦, 变压器的平均功率是1370瓦。采用日本 $Z_{10}0.35$ 冷轧硅钢其 B_m 是 1.8×10^3 。即便铁芯是二级品, 按磁路公式计算, 仍然可以满足要求。和老式变压器相比, 重量减轻了三分之一。

减轻铁芯重量, 带来的一个后果是提高了变压器温升。实践证明, 选用 QZ 型号铜线, 环氧树变压器漆, 变压器完全可以工作在 B 级温度。本电源变压器最高工作温度为 97°C , 经多次连续24小时工作没有发现问题。

(二) 滤波器件

按理论分析, 大功率直流稳压电源不宜采用电容滤波, 原因是电容滤波使输入电压有 $\sqrt{2}$ 倍的变化, 容易损坏电容和调整管。另外, 即便采用电容滤波, 为了保持稳定的放电常数, 也必须加大电容量。其效果还不如电感滤波轻。近几年, 电解电容方面虽无重大技术突破, 但由于提高了工作电压, 扩大了腐蚀面, 还是减轻了重量。例如同样是 $50000\mu\text{f}$, 100V 容量和耐压, 过去的重量是 4—5 公斤, 现在则为 3—4 公斤。加上又有了高反压大功率晶体管, 为直流稳压电源采用电容作为滤波器件创造了条件。本电源采用 $63\text{V } 60000\mu\text{f}$ 电解电容作为滤波器件, 总重量为 3 公斤。和等效电感相比减轻了三分之一。

(三) 对功率晶体管的要求

分析串联型直流稳压电源的故障机率, 发现百分之六十以上是因调正管受损引起。因此, 探讨大功率晶体管物理特性, 合理使用功率晶体管, 也是很有必要的。

从结构原理来讲, 大功率晶体管和小功率晶体管并没有什么区别, 所不同者前者几何尺寸大点, 正因为几何尺寸大, 就有其自身固有特性和不同于小功率晶体管的内在规律。例如, 关于晶体管最高结温这个概念, 对小功率晶体管比较适用, 可以把它的集电结看成一点, 认为从集电结上流过的电流是均匀的。但对大功率晶体管来说, 就不能把它的集电结看成一个均匀结构面, 这是工艺不完善, 材料不均匀的必然结果, 这就出现了电流局部集中的特殊物理现象。因此, 大功率晶体管最高结温的物理意义就不很明确, 是结内某一点温度还是平均结温。如果结内各点温差甚大, 平均结温又有什么意义。

大功率晶体管的技术指标很多, 从电源角度来看, 主要是低的饱和压降 V_{ce} 和高的基极开路, 集电极发射极反向电压。前者目的是减小电源功耗, 后者则为防止击穿给负载造成破坏。

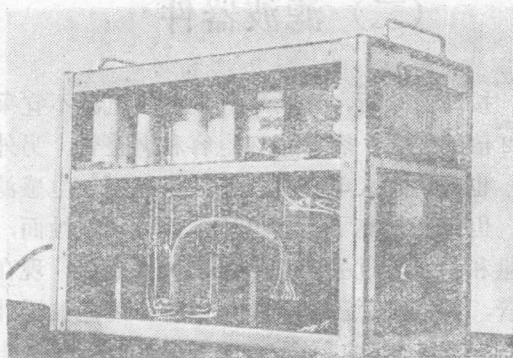
现有技术资料表明, 造成大功率晶体管损坏的主要原因是二次击穿。关于二次击穿, 虽然也有工作模型, 热不稳定模型等学说, 但并没一个是肯定结论。近几年来大量工作实践表明, 功率管损坏, 主要是热电击穿所致。我们曾对已损坏的50支功率晶体管进行过分析, 发现有37支属于 ce 结击穿。如果让功率管工作在 50°C 以下, ce 结击穿现象很少发生(指在管子允许指标以内)。对大功率稳压电源来说, 如果让调正管工作电流比较小点, 必需增加管子数量, 但又产生均流问题。比较好的办法是尽可能加大调正管功率, 减少并联数量。总的来说, 调正管损坏的原因主要是集电结温度过高所致, 为了使工序管既有足够的工作电

流, 又不致在一定的工作温度下损坏, 建议采用高反压功率管作为调正管。

(四) 结构和散热技术

当前, 电子设备在结构方面是向铝型材组合机箱发展, 这对一段实验室用和重量问题不突出的电子设备比较合适, 而对于比较重又需经常搬动的电子设备, 铝型材不一定优越。因为铝虽然比重比钢小三倍, 但强度还要低三倍多。本电源采用钢材作为机箱骨架, 换算比较起来, 并不比铝型材重。

功率晶体管对散热片的要求应该是利于传导辐射。当前, 散热片分型材和叉指两类。有的资料提出型材散热片适用于有风冷的结构。叉指型散热片辐射性比较好, 在自然冷却条件下, 采用叉指型散热片可以比采用其它散热片减小三分之一重量。本电源采用叉指型散热片, 电源结构如图(一)所示:

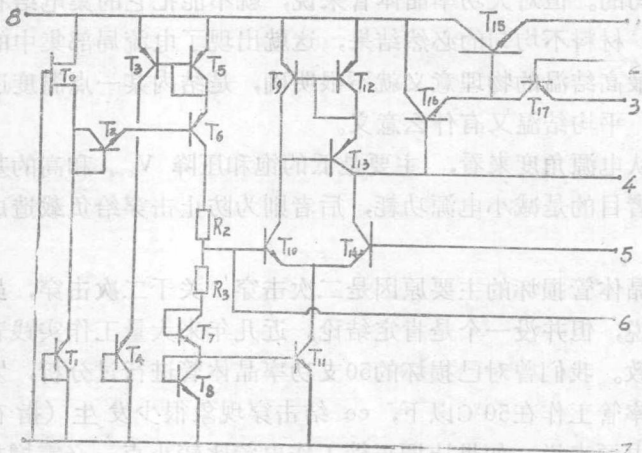


图(一) 电源结构图

(五) 电路简介

本电源是专用电源, 为了简化电路采用定压输出。本电源以 5G14E 作为比较放大器和第一推动级。5G14稳压组件的特点是采用三个镜式恒流源电路, 提高了放大器增益。采用补偿型另温度系数基准电压源, 减小了电压温度漂移。

晶体管的输出特性是静态工作电阻小, 而动态工作电阻却很大, 用晶体管去代替放大器的负载电阻也正是利用晶体管这一特性。5G14共有三个镜式恒流源电路、其中由 T_9 、 T_{12} 、 T_{13} 组成第一个镜式恒流源电路, 任务是提高差动放大器的电压增益。由 T_8 、 T_{11} 组成第二个恒流源电路, 任务是提高放大器的共扼抑制比。由 T_3 、 T_5 、 T_6 组成第三个恒流源电路, 任务是为基准电压提供恒流。由 R_2 、 R_3 、 T_7 、 T_8 组成补偿型另温度系数基准电压源, 任务是为线路提供低噪音基准电压。 T_0 、 T_1 、 T_2 是启动电路, 任务是克服由于用晶体管代替其



图(二) 5G14电路图