

内 部
77001

电子技术会议录

——厚薄膜混合集成电路专辑

第四机械工业部第一研究所

一九七七年三月

说 明

一九七六年九月，厚薄膜混合集成电路技术交流会在无錫召开。会上，有关厂、所、院校、机关五十个单位，提供了七十篇交流資料。會議交流和技术資料都体现了自一九七四年九月，在金华召开的厚薄膜混合集成电路經驗交流会以来的二年中，我国厚薄膜技术的可喜进展。

經過整理摘編，我們在这里选輯了四十余篇資料。其余的資料目录亦鉛印在《會議录》附录內，供有关方面参考。

限于我們的水平，本《會議录》中难免有不妥和錯誤之处，請讀者指正。

編 者——

九七六年九月二十二日

目 录

电路集成技术

- 厚膜混合功率集成电路的结构和热设计国营八九五厂 (1)
- 50瓦高保真厚膜混合集成电路音频功率放大器
研制报告天津大学无线电系元件教研室 天津无线电元件九厂 (16)
- 关于20瓦厚膜功率集成电路失真度的改善上海无线电六厂 (22)
- 关于功率厚膜电路的试制北京无线电综合元件厂 (26)
- 采用管芯和固体芯片超声压焊组装的
薄膜电路北京无线电综合元件厂 (29)
- 采用双层布线实现大规模混合集成
电路北京无线电综合元件厂 国营第七一八厂 成都电讯工程学院 (38)
- 钽膜电路的研究试制国营第七一五厂 (42)

厚膜工艺

- 氧化钨玻璃釉厚膜电阻的试制国营第九九九厂 (59)
- 氧化钨玻璃釉中高阻研制报告冶金工业部贵金属研究所 (62)
- 二氧化钨和二氧化钨—银厚膜玻璃釉
低电阻的改进上海无线电六厂 贵金属研究所 (71)
- Ru—Bi—Ag玻璃釉电阻国营四三二五厂 (75)
- 树脂酸钨—银系厚膜电阻的
初步研制昆明贵金属研究所 上海无线电六厂 (80)
- 氧化钨电阻试制国营第八九五厂 (85)
- 氧化铍玻璃釉厚膜电阻的研制贵金属研究所 一四四三所 (88)
- 二氧化铍玻璃釉电阻的性能考核上海无线电六厂 贵金属研究所 (101)

- 低温銀浆的研制及其性能·····国营七九三厂 (109)
- 厚膜电容器的电极浆料·····国营七一五厂 成都电讯工程学院 贵金属研究所 (116)
- 低频中介厚膜印刷电容器·····国营七一五厂 (121)
- 二硅化钼玻璃釉电阻结构和导电机理
- 研究·····国营七九五厂 西安交通大学元件专业 (128)
- 二硅化钼玻璃釉厚膜电阻器结构及导电机理
- 的初步探讨·····一四四三所 (140)
- 二硅化钼厚膜电阻试制小结·····国营九九九厂 (147)
- 二硅化钼电阻的试制·····南京无线电元件一厂 (153)
- 二硅化钼厚膜高方阻试验·····国营七九九厂 (155)
- 贱金属二氧化钼厚膜电阻浆料·····成都电讯工程学院 (158)
- 乳胶制版工艺·····一四四三所 (162)

薄膜工艺

- Π型薄膜电阻网络的设计·····国营七一八厂 (166)
- 薄膜电阻网络试制简介·····国营八九三厂 (170)
- 1KΩ/□、5KΩ/□、Cr-si薄膜电阻的制造工艺·····国营五〇五厂二分厂 (174)
- 5KΩ/□、10KΩ/□和7Ω/□、
- 10Ω/□、Cr-SiO薄膜电阻·····国营八九三厂 (179)
- 提高铬—一氧化硅薄膜电阻器稳定性的
- 几点工艺措施·····国营八九三厂 (185)
- 应用反应蒸发法提高精密镍铬电阻的稳定性·····七二〇所 (190)
- 掺杂对一氧化硅薄膜电容器性能的改进·····国营八九五厂 (195)
- 氧化硅薄膜电容器组成结构与性能的关系·····西北电讯工程学院 (202)
- 高频溅射二氧化硅薄膜电容器·····国营三二九厂 (210)
- Ta₂O₅-SiO复合介质薄膜电容器试制·····西安交通大学 (213)

可靠性

- 高温工作加速寿命试验.....北京无线电综合元件厂 (227)
- 厚薄膜电路加速试验报告.....国营七一五厂 (242)
- 薄膜混合集成电路高温寿命试验小结.....国营八九五厂 (268)
- 薄膜电路长期存放可靠性试验报告.....常州第三电子仪器厂 (272)
- 厚薄膜电路加速试验的研究.....国营七一五厂 (274)

厚膜混合功率集成电路的结构和热设计

国营第八九五厂

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我厂试制成HWY系列稳压电源和HGF音频功率放大器两类厚膜混合功率集成电路。

厚膜混合功率集成电路是有效地利用了厚膜电路的特点并和功率器件集成在一起的混合集成电路。因此与分立元件电路相比，具有重量轻、体积小、可靠性高、使用方便等优点。可作为各种电子仪器、设备的稳压电源和功率放大器。

厚膜混合功率集成电路的使用条件为：

环境温度： $-25^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$

相对湿度：在 $+40^{\circ}\text{C}$ 时达98%

振动：在振频为50Hz时，加速度达10g

冲击：冲频为60~80次/分，加速度达50g

一、电路原理

1. HWY系列厚膜稳压电源的电路原理：

图1，图2是厚膜稳压电源的电路原理图和作用方框图。

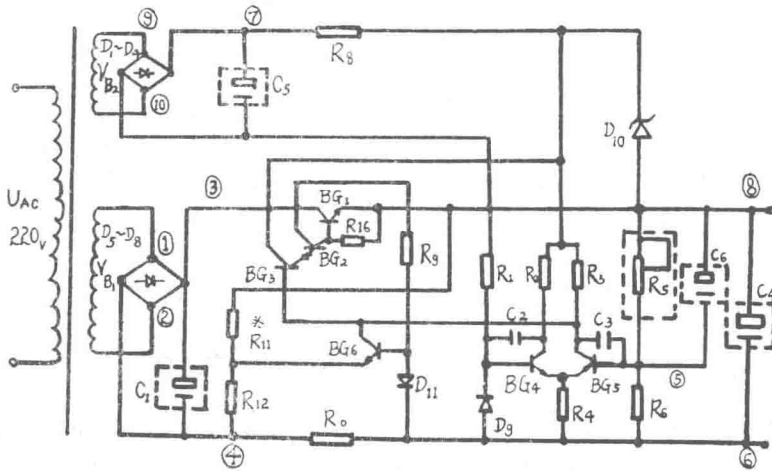


图1 厚膜稳压电源的电路原理图

HWY系列稳压电源的交流输入是220伏，50HZ的市电电源，经变压器降压，供给主回路和

辅助电源整流器。稳压器的输入电压采用桥式整流和RC滤波。

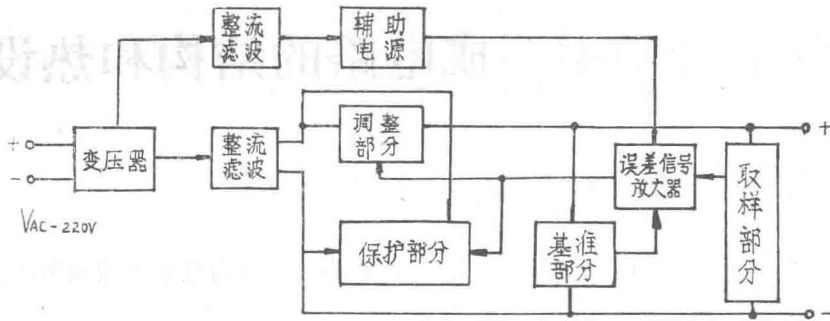


图2 厚膜稳压电源的作用方框图

调整部分是采用BG₁、BG₂、BG₃组成的复合调整管。复合调整管是受误差信号放大器控制的，当稳压器输出电压由于负载的变化或由于电网电压的变化而引起变动时，误差信号放大器的信号输入端由稳压器输出端直接检取信号，并进行放大。

基准部分是由稳压管D₉组成的，差动放大器是由BG₄、BG₅组成并由D₁₀稳压，以便达到工作点不变的要求。

保护部分是由接在主回路的限流保护电阻R₀，把过载信号送入保护管BG₆，当过载（或短路）后保护管导通，输出一高电位，截止复合调整管，截止输出电流使调整管和负载元件不因过载而损坏。

2. HGF20厚膜音频功率放大器的电路原理：

图3是HGF20厚膜音频功率放大器的电路原理图。

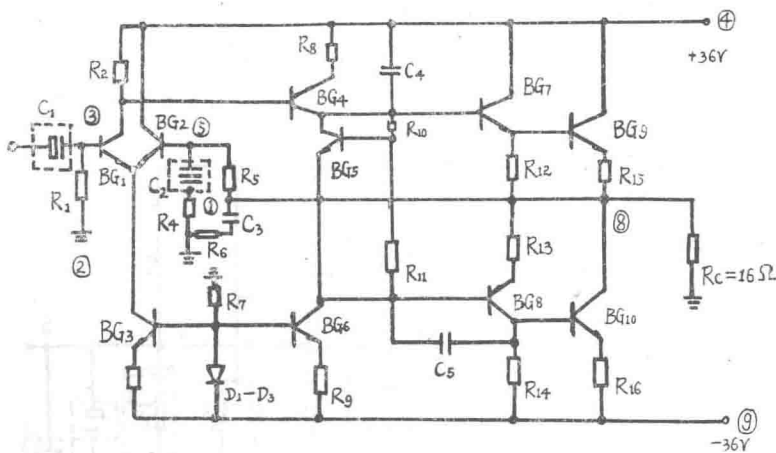


图3 HGF20厚膜音频功率放大器的电路原理图：

HGF20厚膜音频功率放大器是采用无输入、无输出的准互补型OCL电路。此电路分差分输入级，激励级，输出级。在输出级中由BG₈和BG₁₀的达林顿接法等效地构成pnp晶体管，由BG₇和BG₉的达林顿接法等效地构成npn晶体管，两者在一起构成准互补推挽电路。它的特点是复合的npn晶体管负责正半周的放大任务，而用复合的pnp晶体管负责负半周的放大任务。静态时管子基本不取电流，有交流信号时正负半周两个复合管轮流工作将波形合成的乙类

推挽工作状态。

二、技术指标

1. HWY系列厚膜稳压电源的技术指标：

表1 HWY系列厚膜稳压电源的技术指标

项 目	代 号	单 位	测 试 条 件	HWY4	HWY5	HWY6	HWY9	HWY12	HWY15	HWY18	HWY24	HWY36
输出电压	V_o	伏	$V_{AC}=220V$ $I_o=1A$	4±0.1	5±0.1	6±0.1	9±0.3	12±0.3	15±0.3	18±0.3	24±0.3	36±1
输出电流	I_o	安		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
稳 定 度	K	%	$V_{AC}=193\sim242V$ $I_o=1A$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1
波纹电压	V_{rp}	毫伏	$V_{AC}=193\sim242V$ $I_o=1A$	1	1	1	1	1	1	1	1	3.5
内 阻	R_o	欧姆	$V_{AC}=220V$ $I_o=1A$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
温度系数	α_T	毫伏/°C	$V_{AC}=220V$ $I_o=1A$ $T_a = -25\sim+55^\circ C$	3	3	3	5	5	5	5	5	10
外壳温度	T_C	°C		+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75
付边电压不低于	主电源	V_{b1}	伏	10	11	12	14	17	20	23	28	38
	辅电源	V_{b2}	伏	22	22	22	22	22	22	22	22	38
备 注	有 过 流 保 护, 能 自 动 复 原											

2. HGF厚膜音频功率放大器技术指标:

表2 HGF厚膜音频功率放大器技术指标

项 目	代 号	单 位	测 试 条 件	指 标
额定输出功率	P_o	瓦	$R_L=16\Omega, f=1\text{KHZ}$	20
最大不削波功率	$P_{o\max}$	瓦	$R_L=16\Omega, f=1\text{KHZ}$	26
频 响	f_c	赫	$\pm 2\text{db}$	40~20K
失 真 度	K_F	%	40~20KHZ	<1
信 杂 比		分贝		-63
静 态 电 流	I_{CC}	毫安		<50
电 源 电 压	V_{CC}	伏		± 36

三、电 路 结 构

厚膜混合功率集成电路的结构设计主要考虑发热部件的配置, 电路所用的材料和部件的选择, 焊接和封装。现以厚膜稳压电源为例, HWY厚膜稳压电源是由直接安装在公共底座上的几个独立部分组成的。HWY厚膜稳压电源的平面配置如图4。

第一部分: 电路中所有的小功率元件都组装在75%的氧化铝基片上, 该基片又用环氧树脂粘接到铜底座上。由于该部分的元、器件发热量小, 所以使用导热性差的75%氧化铝基片和使用比焊料的导热性差的树脂接触剂。没有必要特殊地考虑散热问题。而且75%的氧化铝基片价格便宜, 使用环氧树脂粘接种片也是为了减小由于氧化铝基片与铜底座的热膨胀系数不一致所造成的应力。

在集成度较高和大电流的电源电路中, 若导电带比较窄, 它本身的固有电阻就不能忽视, 为了解决这一问题, 采取在导电带上涂锡的办法加以解决。

第二部分: 两个功率调整管。电路中最大的发热量是由调整管产生的。功率调整管的焊接方法不同, 对其散热影响也极明显。首先, 采用氢气烧结的方法, 使管子集电极面均为散热面, 散热效果好。其次在考虑功率调整管在铜底座上的配置时, 应从电路内部温度分布的均匀性出发。第三, 为了使功率晶体管中得到充足的热流常采用四种典型结构(见下文)。

第三部分: 电路中的主电源和辅助电源的整流桥堆。它们是用四个整流二极管烧焊到基片上, 基片又用环氧树脂粘接到铜底座上。

第四部分: 电路中一个低阻值大功率电阻。该电阻在电路中作保护电路之用, 即限流电阻。典型阻值为 1Ω 。应用常用的电阻浆料难易达到, 在本电路中采用 Au-Ag-Pt 浆料, 它具

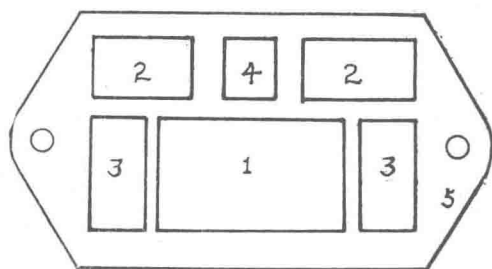


图4 HWY稳压电源平面配置图

有较低的方阻($R_s=1\Omega/\square$)和较高的比功率,它的最大功率耗散可超过12瓦,此耗散相当于比功率 $P_D=35\text{瓦}/\text{cm}^2$ 。

第五部分:为了保证电源内部所有元、器件有较低的热阻,有较好的散热条件,把芯片直接与铜底座连结。选用铜作电源的散热底座是因为铜的热导率较大。其次铜易于烧焊。加工成型的铜底座需要退火,其目的主要为了消除内应力,使材料的热膨胀系数比较稳定一致。紫铜要求在真空炉中退火,其原因是为了防止紫铜因在氢气炉中退火而出现“氢脆”现象,使铜的机械强度变差,而且在表面将产生许多气泡的鼓包而影响表面的平整度和光洁度。

四、功率管的结构分析

功率管的结构设计就是采用恰当的结构和材料使其热通路具有低热阻。因此,要考虑功率管的结构形式,选择材料和封装形式等等,

在功率IC里导热和导电这两个不同的物理现象密切相联,既要求导热性好,而在电气上又能保持绝缘,这两者是相互矛盾的。这一点不能恰当处理好,功率集成化成就较困难。换句话说,要保持绝缘性,势必要牺牲了哪个地方的一定的导热性。在功率IC中一般采用导热性能良好的氧化铍陶瓷。在功率耗散较小的场合下,往往可以采用导热性能较好的纯度高的含99%的氧化铝陶瓷。

其次在功率IC里必须考虑到热循环会造成因材料热膨胀系数不同的各接触部分的热形变或热疲劳。因此,根据具体条件,合理的设计结构和选择材料是非常重要的。

第三,在功率电路里消耗功率较大,它所产生的热量单靠陶瓷基片是难以完全散发出去。因此,要考虑选用金属散热底座。如铜、铝、铁。在我们生产的功率集成电路中为了保证功率管和其它元件有较低的热阻,有较好的散热条件。因此,把功率管与其他各部分直接与金属底座连接。

1. 第一种结构 把功率管芯直接烧到铜底座上 如图5

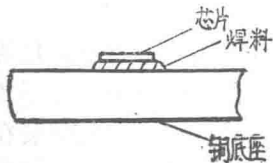


图5 第一种结构示意图

此种结构是把管芯背面镀镍,然后用铅—锡合金片在氢气炉中,直接烧焊到铜底座上。它有较短的热通路和较大的热容。因此,这种结构的功率管具有较低的稳态热阻和二次击穿耐力较高。但缺点是底座不能达到电气绝缘,这种结构使底座和功率管的集电极制成相同的电位,给实际使用带来了不便。

这种结构热阻的理论计算和实测值如表3

表3

序号	名称	材料	热导率K W/cm ² °C	热阻 R °C/W	
				理论值	实测值
1	芯片	硅	0.84	0.053	
2	焊料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.058	
3	底座	紫铜	3.80	0.07	
合计				0.18	0.89

2. 第二种结构 功率管用氧化铍陶瓷绝缘如图 6。

此种结构是把管芯烧焊到导热性良好的氧化铍陶瓷衬底上,该衬底又烧焊到铜底座上,热阻值随氧化铍陶瓷衬底的尺寸大小,厚度和管芯与铜底座之间的连接材料,结合方法不同而异。目前我们在功率集成电路中采用的这种结构其耗散功率可以达到30~40瓦。

这种结构热阻的理论计算值和实测值如表 4

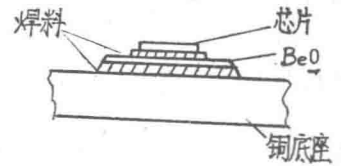


图 6 第二种结构示意图

表4

序号	名称	材料	热导率 K W/cm ² °C	热阻值 R ^{°C} /W	
				理论值	实测值
1	芯片	硅	0.84	0.053	
2	焊料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.058	
3	衬底	氧化铍	1.18	0.14	
4	焊料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.036	
5	底座	紫铜	3.80	0.046	
合计				0.33	0.94

3. 第三种结构 功率管用氧化铝陶瓷绝缘如图 7。

此种结构是把管芯烧焊到具有较好导热性能的铜传热器上,铜传热器又烧焊到金属化的电绝缘的99%氧化铝陶瓷衬底上,其衬底又烧焊到铜底座上。装架按照自下而上的顺序用铅锡合金片将管芯,铜传热器,氧化铝陶瓷衬底,铜底座装在一起,并在氢气炉中一次进行烧焊。上述全部连接都采用焊料连接,是为了减小热阻和防止功率管产生局部过热现象和引起的热失配。

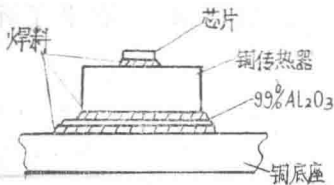


图 7 第三种结构示意图

功率管直接安装在氧化铝陶瓷衬底上所产生的热阻很高,而在管芯和氧化铝衬底中间加一层铜传热器使热阻下降。这是因为导热性能好的铜传热器具有扩大发热源面积的作用。它改进了功率管在稳定状态下功率控制的能力,并增加了二次击穿的耐力,铜传热器的热容可阻止功率管因过载而使结温迅速上升,因此,瞬变功率容量可提高。

此种结构的耗散功率可达20~30瓦。如果将目前实际使用的氧化铝陶瓷衬底的厚度在保证机械强度和衬底平直度的前提下,磨得更薄,达到0.4~0.6mm,那末此种结构的热阻还会明显减小,耗散功率将可以达到30~40瓦。

这种结构的热阻理论计算值和实测如表 5。

表5

序号	名称	材料	热导率K W/cm ² °C	热阻 R °C/W	
				理论值	实测值
1	芯 片	硅	0.84	0.053	
2	焊 料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.058	
3	传 热 器	紫 铜	3.80	0.07	
4	焊 料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.025	
5	衬 底	99% Al ₂ O ₃	0.33	0.26	
6	焊 料	Pb-95% Sn-5%	0.35	0.017	
7	底 座	紫 铜	3.80	0.024	
合 计				0.51	3.69

4. 第四种结构 功率管用铝板阳极氧化膜绝缘如图 8。

此种结构是把管芯烧焊到铜传热器上，其又用导电胶粘到经过阳极氧化后生成一层极为薄的氧化铝膜 (20μ厚) 的铝底座上。这可获得较好的散热性能。此种结构的热阻实测值为 $R = 2.4^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，耗散功率也可以达到 20~30 瓦。

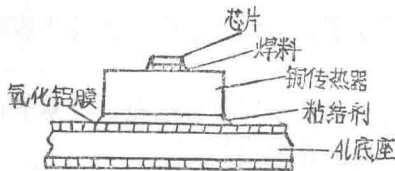


图 8 第四种结构示意图

从以上分析中，这四种结构功率管的实测热阻都比理论值大这是由于：

(1) 实际生产中焊料片，传热器、衬底、底座的光洁度，平整度较差。

(2) 采用铅系合金焊料它的流动性较差，在实际烧结中易造成沾润不良（焊料流向一侧，不均匀，出现空洞；出现蜂窝状）因此，层与层之间的有效接触面积并非与理论计算的那样达到 100%。

(3) 与陶瓷金属化层质量有关

(4) 与清洁度有关。因此，电源底座、陶瓷衬底，传热器，合金片，芯片背后都必须进行严格的清洁处理。

5. 功率管的瞬时功率冲击

对于功率管的结构除了考虑其稳态热阻外，还必须考虑功率管的抗烧能力即考虑功率管的瞬态热阻。

瞬态热阻定义为：从加功率瞬间算起，某一瞬间后结的温升和所加功率之比。

$$\text{瞬态热阻: } \theta(t) \propto \sqrt{\frac{t}{\rho, C, K}}$$

式中： ρ ——物质的密度
 c ——物质的比热
 k ——物质的热导率
 t ——加功率时间

由此可见，瞬态热阻除了与功率管结构材料的热导率有关，还与材料的密度，比热有关。

我们对四种结构的功率管进行了瞬时功率冲击试验，试验数据如表6。

表6

数 据 项 目 种 类	功 率 冲 击 条 件			损 坏 % 率
	V_{ce} 伏	I_c 安	P_c 瓦	
第一种结构	30	6	180	0
第二种结构	30	6	180	20
第三种结构	30	3 ~ 4	90~120	50
第四种结构	30	6	180	30

为了减小瞬态热阻 $\theta(t)$ ，提高二次击穿耐力，因此在功率管结构上必须考虑：

(1) 应尽量缩短热通路路径。

(2) 选择温度上升率越小的金属材料作为直接与芯片连接的传热器。

(3) 在封装结构允许的条件下，应尽量增加传热器的体积，这实际上增大了传热器的热容量，改变了 $\theta(t)$ 。

(4) 提高陶瓷金属化层的质量。金属化层与陶瓷的结合力要牢固，金属化层应易于在高温氢气炉中钎焊，而不产生焊灰；金属化层被常用的焊料浸润性能要好。

(5) 功率管结构中各层材料的接触要好，要避免沾润不良和虚焊。

6. 功率管的环境试验：

我们采用功率管的第一和第二种结构作了如下几项环境试验：

(1) 温度冲击试验：

条件： $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 冲击10次

(2) 高温贮存试验

条件： $+125^{\circ}\text{C}$ 贮存12小时

(3) 低温贮存试验

条件： -55°C 贮存12小时

(4) 功率老化试验

条件：3DD6按20瓦， $V_{ce}=20$ 伏， $I_o=1$ A
 3DD4按2瓦， $V_{ce}=20$ V， $I_o=0.1$ A工作4小时。

参加试验的功率管其参数变化如表7。

从表中可知，二种结构的十五只功率管经过四项试验，其中第1号的3DD4经过低温贮

存12小时后 BV_{ebo} 下降显著。其余功率管的电参数都没有明显变化。

表7

类型	编号	型号	试前			-55°C~+125°C 温度冲击十次			高温(+125°C) 贮存12小时			低温(-55°C) 贮存12小时			功率老化 4小时			
			BV_{ceo}	BV_{ebo}	β	BV_{ceo}	BV_{ebo}	β	BV_{ceo}	BV_{ebo}	β	BV_{ceo}	BV_{ebo}	β	BV_{ceo}	BV_{ebo}	β	
第一 种 结 构	1	D ₆	200	10	70	200	10	60	200	10	70	200	10	60	200	10	70	
		D ₄	35	12	60	35	13	80	35	13	80	35	0.5	50	35	0.5	50	
	2	D ₆	140	15	400	130	15	400	130	17	400	140	17	400	140	150	400	
		D ₄	55	9	35	55	9	30	55	9	30	55	10	30	55	9	35	
	3	D ₆	200	10	40	200	10	40	200	10	40	200	10	40	200	10	40	
		D ₄	80	6	10	85	5	15	85	7	15	85	7	15	80	6	10	
	4	D ₆	180	10	30	200	9	30	200	10	30	200	10	20	180	10	30	
		D ₄	80	12	20	80	12	20	80	10	20	80	12	20	80	12	20	
	6	D ₆	120	10	30	200	10	40	200	10	40	200	10	30	200	10	30	
		D ₄	60	10	20	60	10	20	60	10	20	60	10	25	60	10	20	
	第二 种 结 构	7	D ₆	200	10	80	200	10	60	200	10	60	200	10	80	200	10	20
		9	D ₆	200	12	120	200	11	150	200	13	100	300	12	120	200	12	120
10		D ₆	200	7	40	200	6	40	200	8	40	200	7	40	200	7	40	
11		D ₆	200	11	150	200	11	150	200	12	150	200	10	120	200	11	150	
12		D ₆	200	10	20	200	10	25	200	10	20	200	10	20	200	10	20	

五、厚膜稳压电源的热设计

关于厚膜稳压电源的热设计就是要通过实际测量或计算求出电路中各元、器件的耗散功率，由此求出电路的总耗散功率；求出电路中过热点的温度和各发热源的内热阻和电路向外扩散热阻，从而求出封装尺寸或散热器尺寸。

1. 散热等效网络

通常电路内部所产生的热量通过电路内部的热传导并从外壳、引线、散热器的表面向周围环境以传导、对流和辐射的方式散发出去，电源的散热等效网络如图9。

在厚膜稳压电源内部的发热源有调整管 BG_1 、 BG_2 ，有大功率保护电阻 R_6 ，有主电源的整流桥堆，还有主基片上的电阻、小功率芝麻管和稳压管等。这实际上是个多热源的问题。

众所周知，对于多热源的稳态温度分布要用泊松方程并作富里埃变换，由于边界条件存在问题变得极其复杂。因此，在实际作热设计时，把问题简化，看作单一的发热源来考虑。

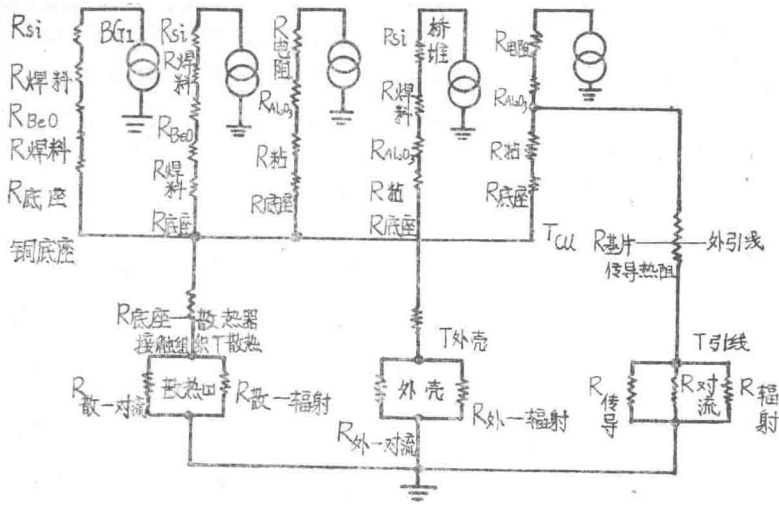


图9 散热等效网络

只看作调整管BG₁单一的发热源来考虑。从电源内部消耗功率计算中可以看到BG₁的消耗功率远远大于其他各元、器件的消耗功率。电源内部的发热量主要来自BG₁。因此，在计算热内阻时，可将其余各部分忽略考虑，而它们的消耗功率，在计算外热阻时，作为对电源总消耗功率的一部分贡献予以考虑。这样，电源的散热等效网络由图9简化为图10。

于是等效热阻为：

$$\begin{aligned}
 R_T &= \frac{T_j - T_a}{P_d} \\
 &= R_{BG_1} + R_{接触} + R_{散} \\
 &= R_{内} + R_{外}
 \end{aligned}$$

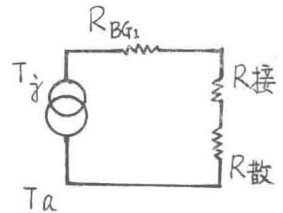


图10 简化后的散热等效网络

2. 电源内部功耗计算

以HWY24稳压电源为例。在分析其内部消耗功率中，我们认为调整部分的功率管（BG₁和BG₂）主电源的整流桥堆，大功率保护电阻R₀，占了极大部分。其余部分的功率消耗很小，可以忽略。

求调整管BG₁的功耗P_{d1}

调整管BG₁的消耗功率（P_{d1}）由输出电流（I₀）和调整管的集电极与发射极间的管压降（V_{ce}）决定。

HWY24，当电网电压为220伏时，主电源的付边电压为28伏，当电网电压波动到242伏时，主电源的付边电压为30.8伏。因此，经桥式整流后的直流输入电压V_{sr(max)}为：

$$V_{sr(max)} = 1.2 \times 30.8 = 37 \text{ (V)}$$

在电路设计时，考虑负载电流为额定输出电流（I₀）的1.2倍时，保护电流动作开始。所以电路的最大输出电流为：

$$I_{O(\max)} = 1.2 \times I_0 = 1.2 \times 1 = 1.2 \text{ (A)}$$

BG₁上的最大管压降 $V_{ce1(\max)}$ 为:

$$V_{ce1(\max)} = V_{sn(\max)} - V_0 = 37 - 24 = 13 \text{ (V)}$$

BG₁上的最大消耗功率 P_{d1} 为:

$$P_{d1} = V_{ce1(\max)} \times I_{O(\max)} = 13 \times 1.2 = 15.6 \text{ (W)}$$

(2) 求调整管BG₂的功耗 P_{d2}

调整管BG₂上的管压降 $V_{ce2(\max)}$ 为:

$$V_{ce2(\max)} = V_{ce1(\max)} - 0.6 = 13 - 0.6 = 12.4 \text{ (V)}$$

调整管BG₂上的最大电流 $I_{c2(\max)}$ 为:

$$I_{c2(\max)} = \frac{I_{O(\max)}}{\beta} = \frac{1.2}{10} = 0.12 \text{ (A)}$$

式中 β_1 为调整管BG₁的电流放大倍数,一般取10。因此调整管BG₂上最大的消耗功率为:

$$P_{d2} = V_{ce2(\max)} \times I_{c2(\max)} = 12.4 \times 0.12 = 1.49 \text{ (W)}$$

(3) 求主电源整流桥堆的消耗功率 P_{d3}

整流二极管的消耗功率是由输出电流决定的,于是它的消耗功率 P_{d3} 为:

$$P_{d3} = V_f \times \frac{I_{O(\max)}}{2}$$

V_f 为整流二极管的正向压降。

$\frac{I_{O(\max)}}{2}$: 对于桥式整流,每个整流二极管流过的电流为最大输出电流 $I_{O(\max)}$ 的一半。由于最大输出电流 $I_{O(\max)}$ 为1.2A,所以,流过整流二极管的最大电流为

$$\frac{I_{O(\max)}}{2} = 0.6 \text{ A。此时二极管的正向压降为} 1.73 \text{ V。}$$

所以桥堆总的消耗功率 P_{d3} 为:

$$P_{d3} = 4 \times V_f \times \frac{I_{O(\max)}}{2}$$

$$= 4 \times 1.73 \times \frac{1.2}{2}$$

$$= 4.15 \text{ (W)}$$

(4) 求保护电阻 R_0 的消耗功率 P_{d4}

$$P_{d4} = I_{O(\max)}^2 \times R_0$$

$$= 1.2^2 \times 1$$

$$= 1.44 \text{ (W)}$$

$\therefore R_0 = 1 \Omega$

求电源的总功耗 P_d

$$P_d = P_{d1} + P_{d2} + P_{d3} + P_{d4}$$

$$= V_{ce1(\max)} \times I_{O(\max)} + [V_{ce1(\max)} - 0.6] \times \frac{I_{O(\max)}}{\beta_1}$$

$$+ 4 \times V_f \times \frac{I_{O(\max)}}{2} + I_{O(\max)}^2 \times R_0$$

$$= 15.6 + 1.49 + 4.15 + 1.44 = 22.68 \text{ (W)}$$

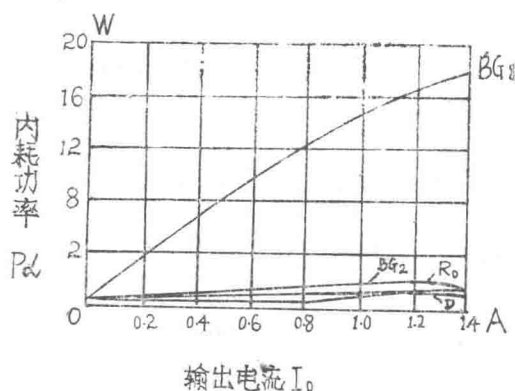


图11 电路各部分与消耗功率曲线

(6) 电源的实测功耗

图11为电源的付边电压为31伏时，在不同的输出电流条件下电路内部各部分消耗功率。

3. 计算内热阻

假使电源中的BG₁调整功率管采用第三种结构，根据实际测得的热阻 $R_{BG1} = 3.69^\circ\text{C}/\text{W}$

4. 计算铜底座温度

因为 R_{BG1} 为BG₁的结到铜底座的热阻值。BG 所采用的芯片是硅材料，它的最高结温 $T_j = 175^\circ\text{C}$

$$R_{BG1} = \frac{T_j - T_{Cu}}{P_{d1}}$$

式中： T_j ——BG₁的结温

T_{Cu} ——铜底座温度

R_{BG1} ——BG 的内热阻

P_{d1} ——BG 上的消耗功率

$$\therefore R_{BG1} = 3.69^\circ\text{C}/\text{W} \quad T_j = 175^\circ\text{C} \quad P_{d1} = 15.6\text{W}$$

$$\begin{aligned} \therefore T_{Cu} &= T_j - R_{BG1} \times P_{d1} \\ &= 175 - 3.69 \times 15.6 \\ &= 117 (\text{C}) \end{aligned}$$

5. 计算外热阻

外热阻为衬座到它的周围环境间的热阻

$$R_{外} = R_{接触} + R_{散} = \frac{T_{Cu} - T_a}{P_d}$$

式中：

T_{Cu} ——铜底座温度

T_a ——环境温度

P_d ——电源的总耗散功率

$$\therefore T_{Cu} = 117^\circ\text{C} \quad T_a = \text{环境温度} 55^\circ\text{C} \quad P_d = 22.68\text{W}$$

$$\therefore R_{外} = \frac{117 - 55}{22.68} = 2.73 (\text{C}/\text{W})$$

$$\begin{aligned} \text{总热阻 } R_T &= R_{内} + R_{外} \\ &= R_{BG1} + R_{外} \\ &= 3.69 + 2.73 \\ &= 6.42 (\text{C}/\text{W}) \end{aligned}$$

6. 计算铜底座与散热器的接触热阻

接触热阻 $R_{接}$ 产生于电源底座和散热器接触面的交界处，它的大小取决于底座和散热器表面的光洁度、平整度、接触界面的大小、接触压力和填充料。如果在底座与散热器需绝缘的情况下（指第一种功率管结构），它还取决于绝缘片的材料和厚度。

(1) 无绝缘片情况

$$R_{接} = \frac{1}{\sigma \cdot A}$$