

高精度 30kV 高压稳压电源的研制*

陈振生

(山东工业大学, 济南)

摘要 本文介绍了为新型电子束曝光机研制的高精度 30kV 高压稳压电源。该电源采用双闭环调整, 集中补偿和分散补偿相结合的设计方案。对电源的关键性技术采取了有力措施, 使各项技术指标均达到设计要求。

关键词 高压稳压电源; 高精度; 高稳定性

1. 引言

电子束曝光机的高压电源波动直接影响制版精密度。提高高压电源的稳定性和可靠性是使电子束曝光机由实验阶段走向实用阶段的重要手段。本文介绍的 30kV 精密高压电源的各项技术指标如下:

输出电压: 20kV, 25kV, 30kV

输出电流: 额定值 $100\mu\text{A}$, 最大值 $300\mu\text{A}$

电压调整率: ($\sim 220\text{V} \pm 10\%$) 20kV: $\leq 3.5 \times 10^{-6}$; 25kV: $\leq 2 \times 10^{-6}$;
30kV: $\leq 4 \times 10^{-6}$

负载调整率: (负载电流变化 $100\mu\text{A}$) 20kV: $\leq 2 \times 10^{-5}$; 25kV: $\leq 4 \times 10^{-6}$;
30kV: $\leq 3 \times 10^{-6}$

纹波系数: $\tilde{U}_{p-p}/V_0 \leq 5 \times 10^{-6}$

长期稳定性: (负载电流 $100\mu\text{A}$) $\leq 2.5 \times 10^{-5}/\text{h}$; $\leq 4 \times 10^{-5}/4\text{h}$

温度系数: $\leq 1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

2. 主要设计特点

该电源系统的原理框图如图 1 所示, 其主要设计特点如下:

(1) 采用稳压变压器对工频电压进行交流预稳 稳压变压器具有交流预稳, 抑制过载电流, 短路保护和抗干扰等功能^[1]

(2) 采用双闭环调整 调整闭环 I 由图 1 中所示的取样分压器, 比较放大器 (由 K_1, K_2, K_3 组成), 补偿网络 I 和调整元件等单元电路组成。该调整闭环在高压回路内采用直接调整方式。直接调整具有调整速度快, 动态稳定性好等优点, 从而可以在高环路增益和具有交流负反馈的情况下不自激, 为提高电源的精度提供了有利条件。调整闭环 II 由取样分压器, 比较放大器, 补偿网络 II, 跟随器, 5kC 振荡器, 升压变压器和倍压整流滤波器等单元电路组成。调整闭环 II 是调整元件设在低压侧的间接调整。其主要作用

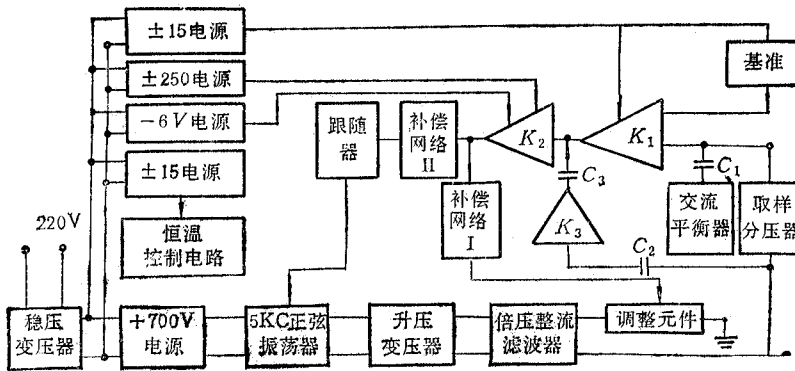


图 1 高精度 30kV 高压稳压电源原理图

是对整流滤波器的输出电压进行前级预稳。这就为调整闭环 I 中的调整管有一个尽可能小的管压降设计值提供了条件,从而使调整管的寿命延长。

(3) 集中补偿和分散补偿相结合 该电源是两级稳压调节系统,而且环路增益设计的足够高以满足静态精度的要求,这就存在着动态稳定性问题。为了解决这一矛盾,采用了集中补偿和分散补偿相结合的补偿方式。

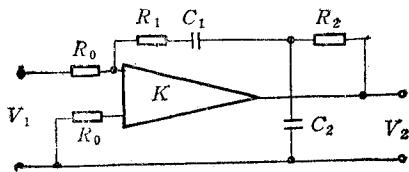


图 2 PID 放大器原理图

集中补偿通过把放大器 K_1 设计为一个 PID 放大器实现。PID 放大器的原理图如图 2 所示^[2]。为了减小各参数之间的相互影响,使 $C_2 > C_1$; $R_1 \gg R_2$ 。PID 放大器的传输函数由下式表示^[2]:

$$G_{(s)} = \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{T_0 s}$$

式中: $T_1 = C_1 R_1$, $T_2 = C_2 R_2$ 为微分时间常数。 $T_0 = C_1 R_0$ 为积分时间常数。

在比较放大器的输出端分别对两个调整闭环设计不同的补偿网络,达到分散补偿的目的。在调试中,先调整集中补偿网络的时间常数以达到最佳稳定状态,再调整分散补偿网络的时间常数以达到最佳稳定状态。反复调整数次,就可实现动态稳定的目的。

(4) 采用交流平衡电路消除输出电压中 50Hz 的交流干扰 交流平衡器的输出信号由比较放大器放大。通过调整交流平衡器输出信号的幅度和相位,就可消除输出电压中 50Hz 的交流分量。

3. 提高精度的措施

稳压电源的精度主要由基准电源的精度,比较放大器增益高低及其稳定性,取样分压比的稳定性等因素决定^[3]。该电源在这三方面采取了如下的措施。

(1) 比较放大器的设计 如图 1 所示,比较放大器是由直流通路和交流通路构成的双通路放大器。直流通路由 K_1 和 K_2 组成,交流通路由 K_2 和 K_3 组成。这样既兼顾了直流和交流的放大增益,又为低漂移提供有利条件。解决放大器的漂移问题,关键是对前置级 K_1 采取得力措施。前置放大器 K_1 是由高增益,低漂移运算放大器 DY-01 构成的反比例放大器。DY-01 型运算放大器的技术指标如表 1 所示。放大器中所用电

表 1 DY-01 运算放大器的技术指标

型 号	输入失调电压 (μV)	输入失调电流 (nA)	差模输入电阻 ($\text{M}\Omega$)	开环增益 (dB)	共模抑制比 (dB)	失调电压 漂移 ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	低频噪声 (μV)
DY-01	20	0.5—5	5	140	140	0.5	0.2—1

阻全部选用 0.01% 级精密线绕电阻 RX70-0.5 型, 其温度系数 $\alpha \leq \pm 10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

(2) 保证基准电源有足够的精度 基准电源的原理如图 3 所示。运算放大器采用 DY-01 型运算放大器。稳压管采用低漂移低噪声 WGY₁ 型, 其温度系数 $\leq 5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 低频噪声 $\leq 12\mu\text{V}$ 。根据文献[4]所介绍的零温度系数工作电流测试方法, 对稳压管采用零温度系数工作电流。电路所有电阻都采用 RX70-0.25 型精密电阻, 电解电容选用铝电容, 高频电容选用聚苯乙烯电容。三极管选用低噪声低穿透电流的硅管 3CG3C。

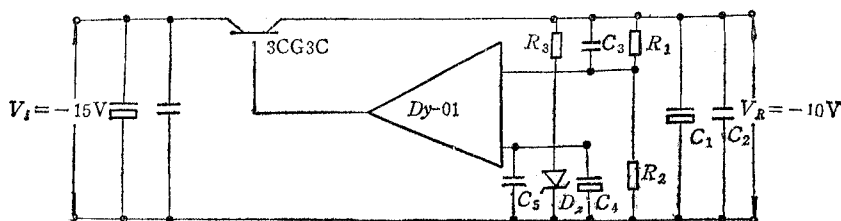


图 3 基准电源原理图

(3) 保证取样分压比的稳定性 全部分压电阻都选用精密电阻 RX70 型。高压臂电阻全部镶入有机玻璃圆筒内。低压臂电阻全部放入电磁屏蔽盒内。

(4) 基准电压源和前置放大器 K_1 设在恒温槽内 对恒温槽采取良好的电磁屏蔽措施。

4. 技术指标的检测

高压输出端经过高压电容隔直后, 将交流量耦合在 $4\text{M}\Omega$ 的电阻器上。用 SBT-5 型示波器检测 $4\text{M}\Omega$ 电阻上的纹波电压。根据测量值再计算出输出纹波电压。输出高压由精密电阻所组成的分压器取得一低值电压, 用 HP 3455A 7 位数字电压表对这一低值电压进行测量。由测量值求得各项技术指标。检测结果如前所述。

5. 结束语

该高压电源是由晶体管, 集成运算放大器和电子管混合组装而成, 全部使用国产元器件。由于采取了合理的设计方案和关键的技术措施, 保证了高精度技术指标的实现。自从 1986 年研制成功以来, 多次对电源进行带载测试, 证明指标稳定, 性能可靠, 并于 1987 年 6 月通过了技术鉴定。

本文承裘培勇教授审阅, 指导。在此谨致以谢意!

参 考 文 献

- [1] 刘恩玺, 第三届电源技术年会论文集, 1980 年, 第 198 页。

- [2] 莫忠学,第三届电源技术年会论文集,1980年,第113页.
[3] 倪本来编著,高稳定度电源,人民邮电出版社,1982年12月.
[4] 顾晓红,陈志坚,模拟电路交流资料之三,1982年5月,第34页.

DEVELOPMENT OF HIGH-PRECISION REGULATED POWER SUPPLY WITH 30kV HIGH VOLTAGE

Chen Zhensheng

(*Shandong Polytechnic University, Jinan*)

Abstract A high-precision regulated power supply for a new type electron beam lithography system with 30 kV high voltage is recommended. The design scheme of double closed loop regulation and the design scheme of centralized compensation combined with dispersed compensation are adopted. In accordance with the technical requirements of regulated power supply, some key techniques have been properly handled. All its qualifications satisfy or exceed the original design requirements.

Key words High voltage regulated power supply; High-precision; High stability.