

doi: 10.7690/bgzd.2024.06.020

一种系留多旋翼无人机备用电源设计

胡俊, 罗志豪, 孙远航, 蒋仁炎

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司无人机事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对系留多旋翼无人机在地面电源异常断电时的安全降落需求, 以提高系留多旋翼无人机的定位稳定性为目的, 设计一种基于超级电容器的国产化备用电源。该备用电源由主控单元、充电单元、放电单元、均衡单元和超级电容器组构成, 主控单元实时监控超级电容器组的运行状态, 充电、放电和均衡单元分别控制超级电容器组充电、放电和均衡过程。结果表明: 该备用电源具有宽温度适应性、免维护、结构简单和国产化率较高等特点, 能有效地应用于系留多旋翼无人机装备中。

关键词: 系留多旋翼无人机; 备用电源; 超级电容器; 电压均衡

中图分类号: V279 **文献标志码:** A

Design of Backup Power Supply for Tethered Multi-rotor Unmanned Aerial Vehicle

Hu Jun, Luo Zhihao, Sun Yuanhang, Jiang Renyan

(Department of UAV, Automation Research Institute Co., Ltd. of
China South Industries Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to improve the positioning stability of tethered multi-rotor unmanned aerial vehicle (UAV), a domestic backup power supply based on supercapacitor is designed to meet the requirements of safe landing of tethered multi-rotor UAV when the ground power supply is abnormally cut off. The standby power supply consists of a main control unit, a charging unit, a discharging unit, an equalizing unit and a super capacitor bank, wherein the main control unit monitors the running state of the super capacitor bank in real time, and the charging, discharging and equalizing units respectively control the charging, discharging and equalizing processes of the super capacitor bank. The results show that the standby power supply has the characteristics of wide temperature adaptability, maintenance-free, simple structure and high localization rate, and can be effectively applied to tethered multi-rotor UAV equipment.

Keywords: tethered multi-rotor UAV; backup power supply; supercapacitor; voltage equalization

0 引言

系留多旋翼无人机是将多旋翼无人机和系留缆绳组合起来的一种新型无人机系统^[1]。通过系留缆绳将地面电源的高压电输送给多旋翼无人机, 使无人机可以不受动力能源的限制在空中长时间悬停, 解决了普通多旋翼无人机的续航难题, 被广泛地应用于应急救援、安全监控、通信中继、无线电侦测等领域^[2-4]。鉴于系留多旋翼无人机的不间断工作严重依赖卫星信号^[5], 为确保空中卫星导航设备的定位不受地面电源异常断电的影响, 提升无人机在地面电源故障时降落的安全性, 需设计一种备用电源为地面卫星导航设备及其导航信息传输链路供电。超级电容器作为新型储能器件, 具有功率密度高、充放电速度快(>90%)、循环寿命长(百万次以上)和工作温度范围宽(-40~70℃)等优点^[6-7]。因这些独特的性能, 也使得超级电容器在不间断电源供应、

制动能量再生、应急电源支持和航空航天等高功率场景下具有广阔应用前景。笔者针对系留多旋翼无人机在地面电源异常断电时的安全降落需求, 利用超级电容器宽温工作优点, 设计一种基于超级电容器的国产化备用电源, 并进行试验验证。

1 总体方案设计

备用电源的输出与地面北斗卫星导航板卡和光端机的电源输入相连接, 在系留多旋翼无人机地面电源异常掉电时, 自动切换为超级电容器组供电, 地面北斗卫星导航板卡和光端机正常工作, 确保空中北斗卫星导航板卡处于差分状态, 提高无人机备电降落的安全性。限于系留多旋翼无人机装备-40~50℃宽温环境使用要求, 锂电池作为储能器件的备用电源需采用加热处理解决低温充放电问题, 设备的复杂度和维护成本较大, 考虑到超级电容器的宽温工作特性, 备用电源采用超级电容器作为储能

收稿日期: 2024-04-17; 修回日期: 2024-05-16

第一作者: 胡俊(1990—), 男, 河南人, 硕士。

器件。

备用电源采用模块化设计，由主控单元、充电单元、放电单元、均衡单元和超级电容器组组成，组成框图如图 1 所示。

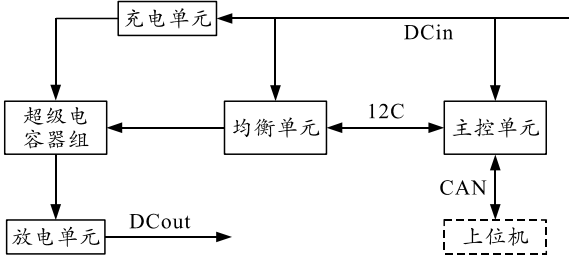


图 1 备用电源组成框图

备用电源功能性能要求：1) 具备状态上报功能；2) 工作温度为 -40~55 ℃；3) 放电电压为 5 V；4) 放电功率大于等于 10 W；5) 放电时间大于等于 180 s。

功率与能量的关系为：

$$Q = \int_0^t p(\tau) \tau \quad (1)$$

式中 $p(\tau)$ 为 τ 时刻放电功率。

电容储存的能量公式为：

$$Q = CU^2/2 \quad (2)$$

式中 Q 为容量 C 的电容在电压 U 时的能量。

根据能量守恒定律，超级电容从电压 U_1 到电压 U_2 释放的能量为：

$$Q = C(U_1^2 - U_2^2)/2 \quad (3)$$

超级电容器组由 5 个超级电容单体串联组成，考虑到电源管理芯片 SGM61230 在 5 V 输出电压时建议输入电压大于等于 7 V，根据备用电源设计要求，可得出超级电容单体电容 C 大于等于 102.272 7 F。针对备用电源的高原和低温使用工况，需降额使用，参考贵州梅岭电源的 DY-CD-3.0V 国产化选型建议，选用 DY-CD-3.0V/370F 型的超级电容器。

超级电容器内阻放电损耗为：

$$Q = \int_0^t (p(\tau)/U_o)^2 R \tau \quad (4)$$

式中： U_o 为备用电源的输出电压； R 为超级电容的内部 ESR (等效串联电阻)。

放电时间为：

$$T = \frac{C(U_1^2 - U_2^2)/2 - \int_0^t (p(\tau)/U_o)^2 R \tau}{P} \quad (5)$$

考虑单体超级电容器安全，满电电压控制到 14.3 V，可得出放电时间为 651.196 4 s，满足设计需求。

2 硬件设计

2.1 主控单元设计

主控单元由兆易创新单片机 GD32F405RGT6 及其外围电路组成，通过 I²C 总线读取超级电容管理芯片的寄存器数据，实时获取超级电容器组的电压、电流和温度等数据，根据状态控制充电 MOS 管开关为超级电容器充电；通过 CAN 总线接口与上位机通信，实时上报超级电容器组的状态信息，有利于监控备用电源的工作状态。

2.2 充电单元设计

充电单元由同步降压转换芯片 AAP6010A 及其外围电路组成，其中 R_{31} 、 R_{37} 和 R_{39} 用来配置充电电压， L_1 和 C_{47} 组成滤波电路抑制电流突变及电源纹波。

2.3 放电单元设计

放电单元由电源管理芯片 SGM61230 及其外围电路组成， R_{49} 和 R_{52} 组成输出电压配置电路， L_4 、 C_{52} 、 C_{53} 和 C_{54} 组成 LC 滤波电路。

2.4 均衡单元设计

均衡单元由超级电容器管理芯片 BQ33100 及其外围电路组成，CAP1 为超级电容单体， R_{22} 、 R_{29} 、 Q_4 和 C_{33} 构成超级电容单体均衡电路，电路结构形式简单，易于扩展，可以类推 5 级超级电容均衡电路。超级电容管理芯片监测超级电容电流、电压及温度等信息，通过 I²C 总线上报给主控单元，并根据超级电容单体电压状态触发均衡机制，有效地控制了超级电容单体的电压一致性。

均衡单元采用一种改进的能量消耗型均压法，每个单体超级电容器通过外部并联旁路负载，并根据每个单体超级电容器电压水平启用旁路负载来实现电压均衡。

3 软件设计

超级电容软件的主要功能是读取超级电容状态，并将相关状态上报上位机；当读取的电压值 > 8.5 V 且 < 14.3 V 时，打开充电开关，开始充电；当电压值 < 8.5 V 关闭充电开关，由硬件电路进行充电。超级电容状态读取功能、数据上报功能、充电控制等在主循环中轮询执行，定时器计时中断中确定执行某一功能，系统初始化以后就一直执行。