

doi: 10.7690/bgzdh.2018.07.017

应用于飞机环形配电系统的方向纵联保护研究

刘艳平¹, 姜忠山²

(1. 中国人民解放军 91404 部队, 河北 秦皇岛 066001; 2. 海军航空大学作战勤务学院, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对飞机环形配电系统保护装置无法有效保护配电系统的问题, 将方向闭锁纵联保护引入到飞机环网供电系统中。基于 Matlab 软件对飞机环网供电系统进行建模并故障仿真, 并基于故障特征提出闭锁式方向纵联保护方法。仿真试验结果证明: 该保护方法能实现环网故障时自动隔离, 确保飞机配电系统的安全性, 能有效提高飞机配电的可靠性。

关键词: 电流突变; 汇流条保护; 环形配电系统; 闭锁式方向纵联保护

中图分类号: V242 **文献标志码:** A

Research on Direction Longitudinal Protection to Aircraft Ring Power Distribution System

Liu Yanping¹, Jiang Zhongshan²

(1. No. 91404 Unit of PLA, Qinhuangdao 066001, China;

2. College of Combat Service, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In view of the problem that the protective device of aircraft ring distribution system can't effectively protect the power distribution system, the directional locking longitudinal protection is introduced into the power supply system of the aircraft ring-network. Based on the Matlab software, the aircraft ring-network power supply system is modeled and the fault is simulated. The directional locking longitudinal protection method is proposed based on fault characteristics. The simulation results show that the protection method can automatically isolate the faults of the ring-network, ensuring the safety of the power distribution system, and the reliability of the power distribution effectively.

Keywords: current mutation; bus-bar protection; ring power distribution system; directional locking longitudinal protection

0 引言

现代飞机的电气系统由众多的控制元件、大功率发电机、大量的用电照明设备以及复杂的输配电线路网络构成^[1]。当电网线路出现短路时, 产生短路电流、大量热量和机械力, 从而导致仪器设备损坏和供电中断, 甚至造成安全事故; 对此, 须采取强制而有效的保护措施, 比如在电网电路中安装保护装置, 当电网系统发生故障或者处于非正常工作状态时, 可迅速切除故障^[2], 实现对电网系统的保护。

电路保护装置可以分 2 大类。一是保护电源系统的过压、反流、过频、欠频、欠压等故障的保护装置^[3]; 由电流互感器组成的差动保护装置结构主要应用于电源主干线路的短路保护中。差动电流保护主要应用于飞机配电系统的交流电网中, 此类保护装置尽管反应迅速, 但由于结构复杂、质量大等原因, 难以在直流电网中得到实际应用^[1]。二是最大电流保护装置, 主要应用于短路和过载故障时的

保护电路中, 此类保护有断路器、熔断器等。在飞机环网汇流条保护中, 采用最大电流保护无法实现选择性保护, 单靠断开、熔断不能对飞机环网汇流条进行科学、合理、有效保护。

笔者将方向闭锁纵联保护引入到飞机环网供电系统中, 提出了以 MCU 控制与处理的保护系统, 从而提高飞机供电系统的可靠性。

1 环网配电系统

新设计的环形配电系统主电源由 4 台发动机驱动的 8 台发电机 (F1-F8) 组成, 辅助电源由辅助发电机 APU 组成, 地面电源从 1、2 号插座接入, 4 组航空蓄电池构成应急电源, 如图 1 所示。环形配电系统的主电源采用分组并联方式接入环网, 而环网又被环网开关 1、2、3、4 分成 4 个子配电系统: 前舱配电系统、右舱配电系统、左舱配电系统以及尾舱配电系统。环形配电系统上的电源采用分组并联的方式, 有利于增强配电系统的故

收稿日期: 2018-04-06; 修回日期: 2018-04-28

作者简介: 刘艳平 (1985—), 男, 四川人, 硕士研究生, 从事航空兵总体、电力系统研究。

障隔离以及容错重构的能力，对提高飞机可靠性有着重要意义。

环形配电系统实现故障隔离和环网重构的核心在于采用不同保护方法的继电保护装置。保护装置可分为 2 类：一是保护发电机输出线路的保护装置 1^[3]，二是能实现环网重构和隔离中的保护装置 2。环网汇流条故障包括开路和短路故障。当发生短路故障时，故障区间两端的保护装置 2 感应到相应的电气量变化，启动保护装置，通过跳闸对故障区间实现隔离，达到保护环网系统的目的。当汇流条 5

出现短路故障时，两端的保护装置 m 和 n 就会启动跳闸，将故障进行隔离，如图 1 所示。当出现开路故障时，环网中用电设备影响不大，而处于开路的负载将受到直接影响。被隔离的故障区间上的负载以及处于开路上的负载将分级对待，根据负载的优先级决定，优先级低的负载被切除，不再供电，而优先级高的负载由临近的 ELMC 或应急电源进行供电^[4]。笔者主要就环网汇流条发生短路等故障设计保护装置 2，以实现故障区间有效隔离，保证非故障区间正常工作。

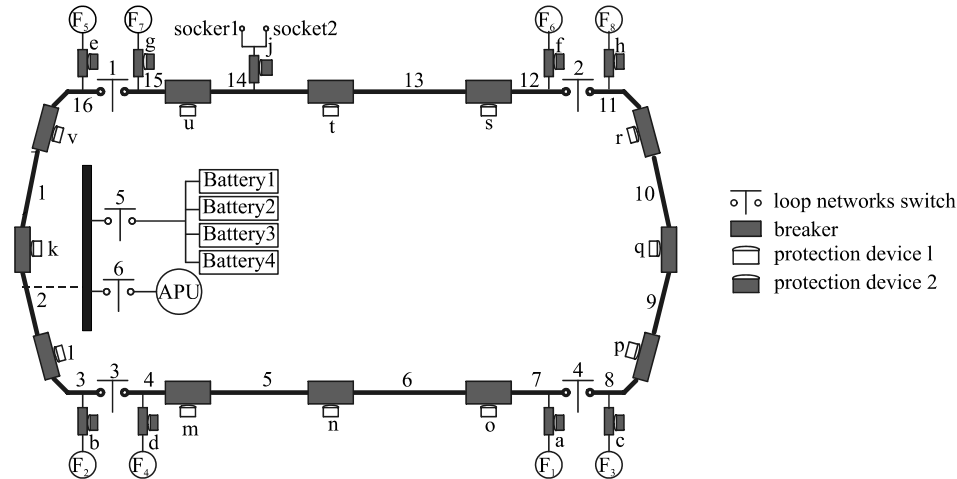


图 1 飞机环形配电系统总体方案^[5]

2 故障分析

对环网汇流条的保护，具体要求是故障区间保护装置不拒动，后备保护装置不误动，且要求保护装置能够迅速可靠动作。要达到这样的要求，首先需要对汇流条故障进行相应分析。故障分析以选取右舱配电系统为例，假如汇流条 13 发生故障，潮流分别从左和从右涌向故障点。电流离开母线为正，流向母线为负，以此可以界定汇流条上的电流方向，如图 2，汇流条 13 故障，汇流条左右端的电流方向同时为正。

在 Matlab 中建模，检测不同电源情况、不同拓扑结构和不同飞行状态下的汇流条电流，试验发现运×飞机系统最大电流不超过 500 A。当系统发生金属性接地、故障临界值和 0.5 个故障临界值故障时，突变电流最小值超过 1 500 A，最大值超过 15 000 A，由于飞机正常飞行的最大电流与故障时的最小电流相差甚大，比较容易界定故障。

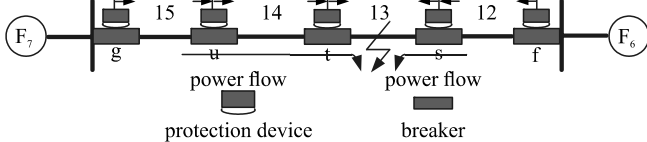


图 2 故障示意图

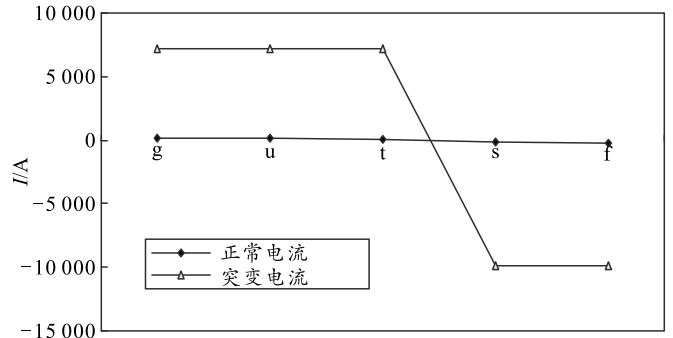


图 3 突变电流

汇流条故障时，其电流发生变化。图 3 是右舱配电系统汇流条 13 发生金属性接地故障前后电流对比，可以看出两者差距相差甚大。突变电流^[6]是故障发生的重要判据，只有突变电流存在，才能判断系统出现故障，因而需要对突变电流进行界定。

3 保护方案

运×飞机为直流系统，电力系统中的很多保护方法都可以借鉴到飞机配电系统中，其中最常使用的是过电流、过电压保护^[7]。由于要提高飞机配电

系统的可靠性，实现自动化保护，因而简单的保护方法远远不能满足要求，需要寻找一种适合直流系统的保护方法。三段式保护只能保护线路全长的 85%，对于另外 15% 线路要采取延时保护，这样既不能全线保护，又不能迅速动作，使得三段式保护在环网直流系统中不太适用。定时限方向过流保护在各个子配电系统中是适用的，然而在环网重构以后，保护线路延长，需要的时间阶梯累计值很大，将会对电气设备造成较大的影响。闭锁式方向纵联保护比较适用在直流环网系统中，但是其一定程度上依赖于通信，一旦通信故障，会导致保护装置误跳，误跳后的影响较小，因而对于直流环网保护来说是较为理想的保护方法。将各个保护装置处的采集信号给计算中心，由计算中心控制保护装置是否跳闸，这样构成集中式保护，缺点就是一旦计算中心出故障，环网的整个保护系统就遭到破坏，因此这种保护措施是不可取的。

3.1 闭锁式方向纵联保护^[8]

电流方向由母线流出为正，流入为负。在闭锁式方向纵联保护原理如图 4。由图可知：当 BC 段线路发生故障时，保护 2 和 5 的功率方向为负，其余的保护功率方向为正。保护 2 和 5 启动信号发生器发出闭锁信号，将 A-B 线路上保护 1 和 2 闭锁，将 C-D 线路上保护 5 和 6 闭锁，非故障线路保护不跳闸。故障线路 B-C 上保护 3 和 4 功率方向全为正，不发闭锁信号，保护 3 和 4 判定有正方向故障且没有收到闭锁信号，则保护 3 和 4 分别跳闸。

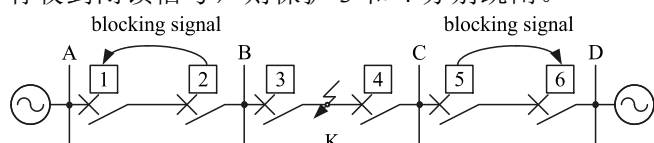


图 4 闭锁式方向纵联保护原理

这种保护的优点在于利用非故障线路一端的闭锁信号，闭锁非故障线路不跳闸，而对于故障线路跳闸，则不需要闭锁信号^[9]。这样，在区内故障伴有通道破坏时，或者单端供电时，两端保护仍能可靠跳闸。

3.2 直流环网保护原理

直流环网保护采用闭锁式纵联保护的方法。由于整个环网属于配电系统，配电系统中的汇流条上接有负载（部分不接负载），大负载接入时会造成“假”故障，即如图 4 所示 BC 段接入大负载时亦可能造成 3 和 4 处的功率方向为正，使得保护装置

没有闭锁信号，从而导致误跳。为了避开误跳，可以给保护装置增加一个触发信号：突变电流。只有当突变电流存在时，图 5 闭锁式方向纵联保护才成立。如图所示，电流采集单元发现有突变电流信号时，给 MCU 一个触发指令，功率方向元件检测为正时亦给 MCU 一个正信号，只有当 MCU 同时接收到这 2 个信号时，才给信号发生器发送一个控制信号，控制信号发生器不向对端发送闭锁信号。当接收到电流采集单元发送的突变电流信号，同时信号接收器没有收到的闭锁信号时，MCU 向执行元件发送 Trip 信号，指示保护装置跳闸，同时执行元件向 MCU 回馈一个是否已经跳闸的信号。当执行元件没有动作出现拒动时，执行元件向 MCU 发出一个未动作信号，MCU 接收到信号后立即向信号发生器发送闭锁信号，使得信号发生器不能向对端发送闭锁信号，这时最近的后备保护将启动。

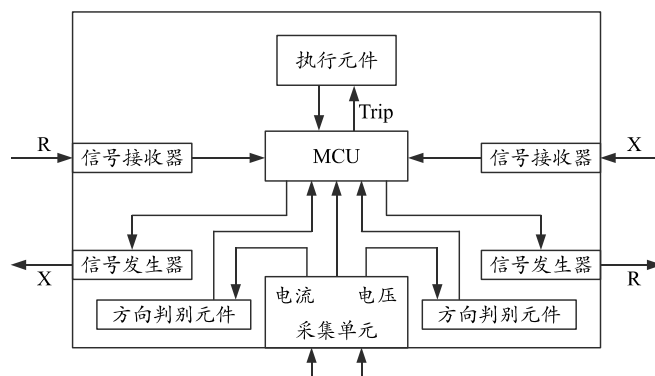


图 5 环网保护功能模块

3.3 保护装置误跳分析

闭锁式方向纵联保护利用的是非故障线路对端的闭锁信号控制保护装置不跳闸，当非故障线路的通信线路出现故障或破坏时，会导致该区间两端的保护装置误跳。如图 4 中 AB 段的通信线路出现故障，保护装置 A、B 是否跳闸分为 2 种情况：一是整个配电系统原本无故障；二是 AB 段通信线路出现故障前配电系统已经出现故障。前者没有影响，因为保护装置在没有突变电流作为触发信号时，保护装置不会跳闸，因而不会出现误跳；对于后者，保护装置会出现误跳。当保护装置误跳时，影响最大的是被隔离区间上的负载，根据负载的优先等级对负载再考虑是否选择其他电源供电。当配电系统为双端供电时，对于该汇流条以外的负载没有影响；当配电系统为单端供电时，出现误跳后，配电系统中的部分汇流条将没有电源供电，这时环网开关^[10]启动，这些汇流条将由临近的发电机供电。

4 试验数据

保护方案在 Matlab 中实现,以右舱配电系统上的汇流条 13 故障为例,查看保护装置动作前后电流、电压变化情况。图 6(a)反映了故障线路电流变化情况,当故障时电流发生剧烈突变,保护装置动作后,电流经过短暂跃变后恢复正常状态。由于短路线路原本开路,因而电流的正常状态为零。图 6(c)

和(d)分别反映的是汇流条 14 上保护装置动作和未动作情况下电压、电流的变化情况;图 6(e)和(f)分别反映的是汇流条 12 上保护装置动作和未动作情况下电压、电流的变化情况。整体情况是保护装置不动作时电压出现跌落,动作后电压出现短暂突变后,又恢复常态,保护装置不动作时电流出现突变,动作后,电流经过短暂波动后恢复常态。

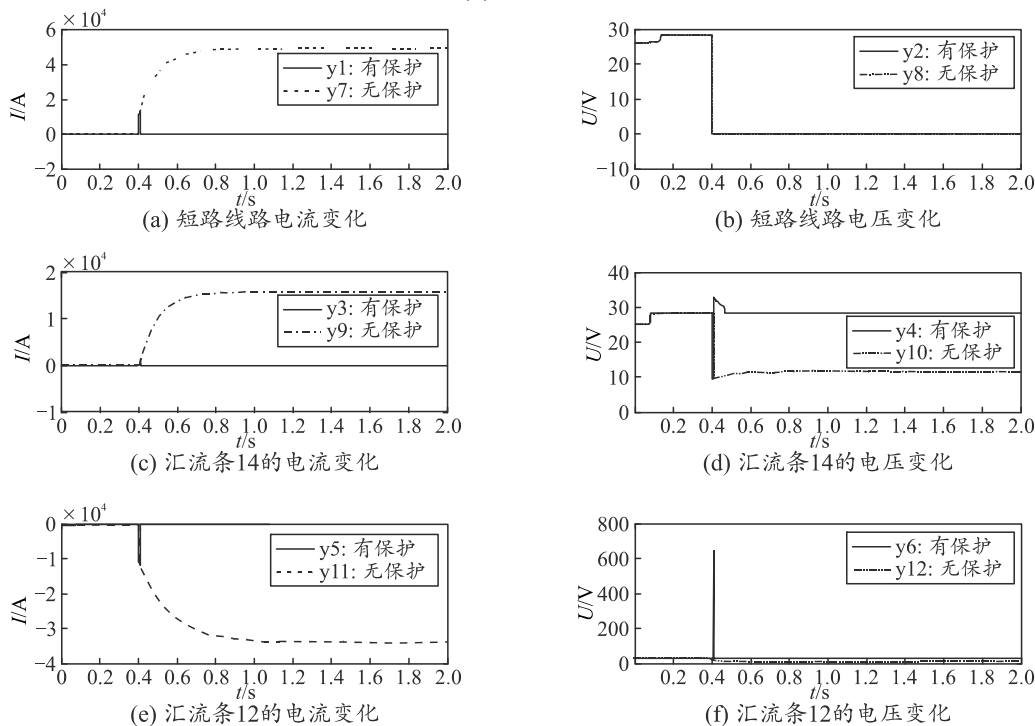


图 6 右舱配电系统汇流条 13 故障

5 结论

笔者将电力系统中的闭锁式方向纵联保护的方法应用到飞机直流环网上,对飞机配电系统革新以及航空领域有着重要意义,有利于实现故障时汇流条自动隔离,并有效地缩小故障范围,极大地增加飞机配电系统的可靠性。依靠 Matlab 平台实现保护方案,结果显示保护装置能够有效地隔离故障。

参考文献:

[1] 严东超. 飞机电气系统总体设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001: 84-86.
 [2] 刘麦玲, 胡兴荣. 民用飞机配电路保护装置的选取分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2008(4): 21-23.
 [3] 姜忠山, 刘艳平, 陈军青. 基于 MATLAB 某型飞机航空直流供电保护研究[J]. 航空计算技术, 2011(4): 23-25.

[4] 巩建英, 谢拴勤. 先进飞机配电系统电气负载管理中心控制器设计[J]. 计算机测量与控制, 2007(10): 38-42.
 [5] 姜忠山, 于开民, 张树团. 分布式环形飞机配电系统设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(9): 144-146.
 [6] 高淑萍, 索南加乐, 宋国兵, 等. 利用电流突变特性的高压直流输电线路纵联保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2011(5): 86-89.
 [7] 吴姗姗, 郑建, 窦连财. 民用飞机配电网过流保护分析方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2011(1): 41-44.
 [8] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 154-156.
 [9] 李海锋, 张璞, 王钢, 等. 直流馈入下的工频变化量方向纵联保护动作特性分析(三)非故障线路的方向保护[J]. 电力系统自动化, 2009(11): 25-29.
 [10] 姜忠山, 刘艳平. 飞机环形配电系统环网重构设计[J]. 计算机测量与控制, 2011(10): 32-36.