

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.10.023

利用 BIT 提高二次雷达系统任务可靠性的新方法^{*}

崔旭辉^{**}

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:利用一种机内测试(BIT)设计提高了二次雷达系统的任务可靠性,将二次雷达集成系统中原本独立的雷达敌我识别(IFF)和航管(ATC)二次雷达通道变为互备份通道,在一路通道正常的情况下就能成功执行两种二次雷达任务,无需人工干预,切换时间为微秒级,大大提高了任务实时、可靠的完成能力。同时,系统 BIT 设计中采用了集中-分布式相结合的 BIT 设计方式,融合两者的优势,完成通道状态的准确判断,能够将故障定位到现场可更换单元(LRU)。这种 BIT 设计方法的优点在于提高故障检测率的同时有效降低了系统的虚警概率,提高了系统的测试性和维修性;在不增加硬件资源的情况下,提供了一种简单灵活的热备份方法,大大提高了系统的任务可靠性。这种设计方法已成功应用于实际工程,提高了系统的综合性能。

关键词:二次雷达;机内测试;环绕测试;任务可靠性

中图分类号:TN958.96 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)10-1374-05

A New Design Method for Improving Mission Reliability of a Secondary Surveillance Radar System Based on Built-in Test

CUI Xu-hui

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: Built-in test (BIT) is used to improve mission reliability of a secondary surveillance radar (SSR) system. The independent Identification Friend or Foe (IFF) channels and the SSR for air traffic control (ATC) channels become mutual backup channels, as long as there is one normal channel, the system can successfully execute the two tasks of SSR without human intervention. Thereby the ability to complete the task quickly and reliably is greatly improved. At the same time, the approach uses centralized BIT design and distributed BIT design, combines the advantage, and judges the state of channels accurately, and fault location in the line replaceable unit (LRU) is realized. The advantage of this design method is to improve the fault detection rate and reduce the false alarm rate in the system, increase testability and maintainability of the system. This design method provides a simple and flexible method of hot backup without increasing the amount of hardware, thus improving mission reliability of the system. This design method has been applied in an engineering project and the overall performance of the system has been improved.

Key words: secondary surveillance radar; built-in test (BIT); wrap-around test; mission reliability

1 引 言

雷达敌我识别系统(IFF)采用二次雷达“询问/应答”的协同方式工作^[1],航管(ATC)二次雷达广泛应用于各个国家的民航管理和监视^[2],由于两种系统工作方式相同,且天线可以共用,因此两种二次

雷达(SSR)系统的一体化、集成设计是新型装备发展的必然趋势。

在 IFF 与 ATC 二次雷达的一体化系统中,常规的设计方法是保持 IFF 和 ATC 二次雷达的功能相对独立,信道独立,信号处理独立,这种设计工作流

^{*} 收稿日期:2013-05-28;修回日期:2013-09-09 Received date:2013-05-28;Revised date:2013-09-09

^{**} 通讯作者:cxhuier@sina.com Corresponding author:cxhuier@sina.com

• 1374 •

程控制简单,但是当某一功能的通道故障时,系统就丧失了该功能,直至手动更换了正常备件才能恢复该功能。此外,装备的传统备份方法一般有两种,一是增加随机备件,其弊端是更换备件时需要人工操作,系统开关机时间与更换备件的时间大于5 min,在作战等紧急情况下其弱点更为明显;二是增加一套相同设备进行热备份,其弊端是增加了系统数量,也就相应增加了系统各项成本,增大了加装、管理和维护难度。

针对上述常规设计中设备任务可靠性低、备份成本开销大的缺点,本文提出一种简便、实用的设计方法,通过有效的机内测试(BIT)选择正常的任务通道,在一路通道正常的情况下也能完成IFF和ATC二次雷达功能;同时还能有效利用已有的硬件资源,使原本独立的通道变为互为备份通道,提供了一种简单灵活的热备份方法。这种设计方法适用于IFF和ATC二次雷达一体化、集成设计平台,也可以在其他综合集成平台上推广。同时,在系统BIT设计中采用了集中-分布式^[3]相结合的BIT设计方式,在集中式BIT设计中采用环绕测试方式^[4],通过融合集中式BIT结果和分布式BIT结果,完成通道状态的判断,能够将故障定位到现场可更换单元(LRU)。这种BIT设计方法在提高故障检测率的同时有效降低了系统的虚警概率,提高了系统的测试性和维修性。

2 IFF 和 ATC 综合系统设计

二次雷达综合系统集成 IFF 功能和 ATC 功能,主要包括询问天线、信道、信号处理分机、综合控制分机及开关矩阵等。在图 1 所示的 IFF 与 ATC 一体化设备中,IFF 与 ATC 通常的连接方法是在询问天线和信道间微波开关或功分器相连,信道与信号处理分机直接相连。

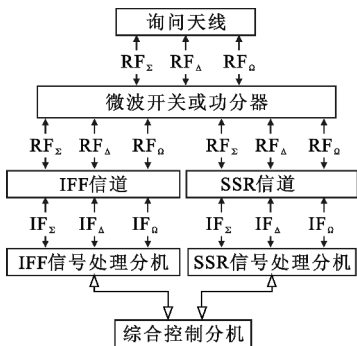


图 1 IFF 与 ATC 一体化设备常规设计框图
Fig.1 The ordinary IFF and ATC integration equipment

上述设计中,IFF 与 ATC 功能相对独立,控制流程简单,但是这种集成设计没有系统功能重构的能力,只能通过更换备件的方式恢复功能。因此,为了提高系统的生存能力,可以在图 1 设计的基础上进行改进,IFF 与 ATC 二次雷达的信道、信号处理分机设计完全相同,即信道、信号处理分机的设计兼容 IFF 与 ATC 二次雷达的需求。系统主要组成部分的原理框图如图 2 所示。

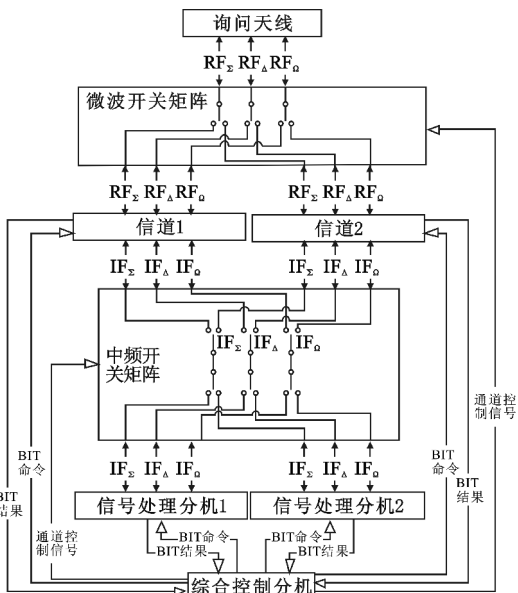


图 2 系统主要组成部分原理框图
Fig.2 The main components of the system

图 2 中,两路信道通过一个微波开关矩阵与询问天线相连,通过综合控制分机的控制,可以选择某一信道与询问天线相连;两路信道通过一个中频开关矩阵分别连接两路信号处理分机,通过综合控制分机的控制,可以选择信道与某一信号处理分机连通,这样系统就具有了系统重构功能。

中频开关矩阵由两级 N 组单刀双掷开关组成,其中 N 值由信号处理与信道间的信号通道数决定。综合控制分机可以通过一组控制线或一路通信接口等方式控制此中频开关矩阵,实现两级开关 4 种状态的控制,即导通信道 1 与信号处理分机 1、导通信道 1 与信号处理分机 2、导通信道 2 与信号处理分机 1、导通信道 2 与信号处理分机 2。

微波开关矩阵由 N 组单刀双掷开关组成,其中 N 的值由射频信号 RF 的通道数决定。综合控制分机可以通过一组控制线或一路通信接口等方式控制此微波开关矩阵,实现 N 组开关两种状态的控制,即导通询问天线与信道 1、导通询问天线与信道 2。

3 系统 BIT 流程及通道控制

综合控制分机每隔 5 ~ 30 min 向两路信道和信号处理分机发送周期 BIT 命令;信道和信号处理分机收到综合控制分机的周期 BIT 命令后分别进行自检,并将 BIT 结果送综合控制分机;综合控制分机会保存最近一次的自检结果,在执行每次的任务前都要根据此结果配置正常的通道以保证顺利完成任务。综合控制分机通道控制流程如图 3 所示。

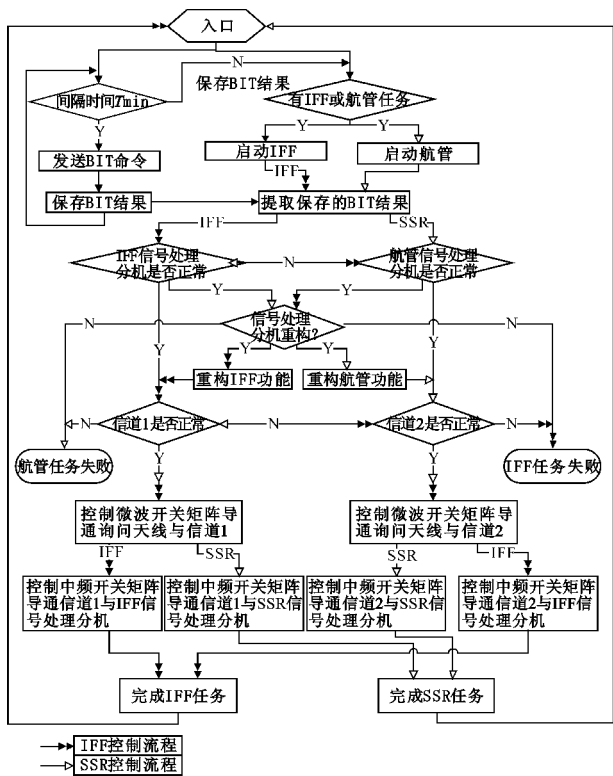


图3 综合控制分机通道控制流程图

Fig. 3 Design flow of the integrated control extension control channels

如当前启动的是 IFF 任务时,综合控制分机根据保存的最近一次 BIT 结果先判断 IFF 信号处理分机(初始为信号处理分机 1)是否正常,如正常再判断信道 1 是否正常;如 IFF 信号处理分机不正常,再判断 ATC 信号处理分机(初始为信号处理分机 2)是否正常,并根据任务优先级选择是否将 ATC 信号处理分机重构为 IFF 信号处理分机。配置好信号处理分机后判断信道 1 是否正常,如信道 1 正常,则控制微波开关矩阵和中频开关矩阵将询问天线-信道 1-IFF 信号处理分机连通,利用信道 1 完成 IFF 任务;如信道 1 不正常,再判断信道 2 是否正常,如信道 2 正常则控制微波开关矩阵和中频开关矩阵将询问天线-信道 2-IFF 信号处理分机连通,利用信道 2 完成 IFF 任务;如两信道均不正常则不能完成 IFF 任务。当 ATC 任

务启动时与 IFF 任务执行流程相似。

由于 IFF 和 ATC 二次雷达分时工作的方式决定了 IFF 和 ATC 二次雷达功能不会产生信道使用上的冲突,采用本设计方法可保证每个功能均有两个信道保障其顺利完成任务。

系统加电时需对信号处理分机进行初始功能配置,如 IFF 占用信号处理分机 1、ATC 占用信号处理分机 2,由于信号处理分机内程序动态加载时间较长,在两路信号处理分机均正常的情况下不进行重构,仅自动根据信道故障情况选择正常信道工作。当一路信号处理分机出现故障时,是否需要进行重构根据执行任务的优先级进行判断;如 IFF 任务优先级高于航管任务,而初始默认 IFF 信号处理分机故障时,可将原默认的 ATC 信号处理分机重构为 IFF 信号处理分机。关于信号处理中 DSP、FPGA 动态重配置的相关技术文献较多,本文不再重点描述。

4 系统 BIT 设计

由于对系统任务进行通道分配时要依据 BIT 结果,就需要系统 BIT 虚警率低,且能够将故障定位到 LRU(现场可更换单元)。因此,采用了集中-分布式 BIT 设计,以集中式 BIT 为系统 BIT 框架,在 LRU 间采用分布式 BIT,通过集中与分布式 BIT 相结合的方式对任务通道进行快速检测与诊断,将故障定位到 LRU,并完成执行任务通道的选择。

LRU 间的分布式 BIT 设计原理框图见图 4,针对 LRU 的关键部件、典型故障进行相应的 BIT 设计。综合控制分机向信号处理分机发出 BIT 命令,信号处理分机对关键处理部件 CPU、FPGA、A/D、D/A 等的状态进行检查,并将自检点结果送至综合控制分机;综合控制分机向信道分机中的接收机、发射机、频率源发出 BIT 命令,并由综合控制分机收集各个 LRU 的自检点信息,进行汇总后判断出该信道分机是否正常。其中,信道分机的各个自检点主要包含接收输出电平、发射功率输出、发射检波信号、驻波、频率源锁定等信息^[5-6]。

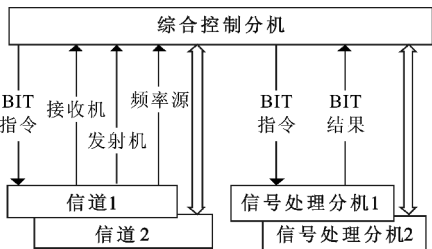


图4 分布式 BIT 设计原理框图

Fig. 4 The block diagram of distributed BIT design

如果系统 BIT 只采用上述分布式 BIT 设计,由于 BIT 设计的局限性或 BIT 设计本身可靠性低等原因,会存在 BIT 虚警率较高的情况,因此本设计还采用了一种环绕测试方法,此方法是将主动激励信号或者电路既有输出信号回绕到输入端进行采集,通过分析这个回绕信号来判断电路是否发生故障的方法,具体设计如图 5 所示。综合控制分机向信道分机、信号处理分机发出环绕测试命令后,频率源输出的接收本振和发射载波信号使得接收机和发射机工作在相同频点;信号处理分机将一组约定的 IF 信号输出给发射机;IF 信号经发射机功率放大后输出 RF 信号并通过空间耦合至接收机;RF 信号经接收机混频、放大、滤波后输出 IF 信号,再送至处理分机;信号处理分机将收到的信号与发送的信号进行对比,如一致则认为该通道正常,否则异常,最后将环绕测试结果送综合控制分机。这种环绕测试设计的优点在于测试的准确度高,只要通道中出现影响系统功能的故障,通过这种环绕测试均能判断,可以消除分布式 BIT 的虚警。此外,这种环绕测试设计中没有增加任何硬件投入,也就没有对系统的基本可靠性产生影响。

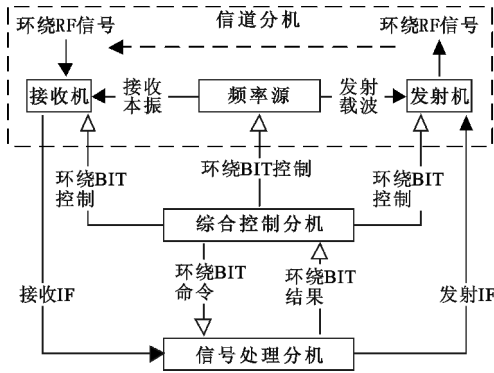


图 5 环绕测试设计原理框图
Fig. 5 The block diagram of wrap-around test

但是,如果只采用上述环绕测试,不结合分布式 BIT 结果,就不能将故障定位到 LRU,那么系统的故障隔离率将不能满足要求。因此需要采用集中-分布式相结合的 BIT 设计方式,综合控制分机将分布式 BIT 结果和环绕测试结果融合处理,既可完成通道状态的判断,又能够将故障定位到 LRU 并上报至系统。综合控制分机的综合诊断流程如图 6 所示。

这种 BIT 设计方法在提高故障检测率的同时有效降低了系统的虚警概率,除必要的分布式 BIT 硬件设计外,集中式 BIT 设计不需要增加额外 BIT 硬

件电路,不会对系统的基本可靠性带来不利影响^[7]。

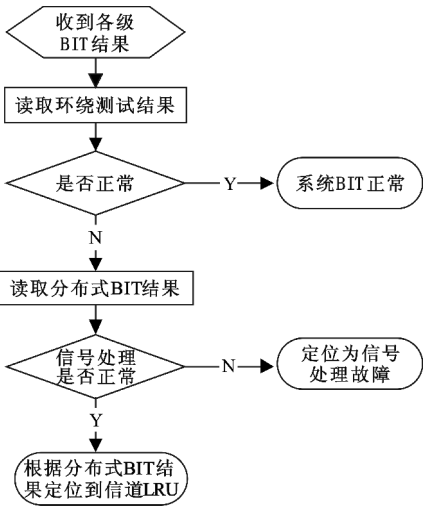


图 6 综合诊断流程
Fig. 6 The flow of the integrated diagnosis

5 结束语

双通道互备份设计和集中-分布式 BIT 设计技术为本设计方法的关键技术,巧妙组合两种技术,可充分利用 IFF、SSR 双系统通道资源,能自动、准确地获取 BIT 结果,并即时地动态修改连接通路,不需额外增加备份系统,便捷实现双系统的热备份。

通过采用集中-分布的 BIT 设计方式,在提高系统故障检测率的同时有效降低了系统的虚警概率,提高了 IFF 与 ATC 二次雷达系统的测试性、维修性和可靠性。在不增加设备数量的前提下,有效利用已有的信道资源,根据 BIT 结果通过开关控制将原本独立的 IFF 和 ATC 通道设计为对方的备份通道,通过重构使 IFF 和 ATC 功能在有一路通道正常的情况下就能成功执行两种二次雷达任务,不用人工干预自动完成切换,大大提高了任务实时、可靠的完成能力。本设计方法在实际工程项目中得到了较好的应用,提高了系统的综合性能。

参考文献:

[1] 修小林,时宏伟,王越,等. 对雷达敌我识别系统中若干问题的研究[J]. 电讯技术,2002,42(2):1-7.
XIU Xiao-lin, SHI Hong-wei, WANG Yue, et al. Study on Problems in Radar IFF System [J]. Telecommunication Engineering, 2002, 42(2): 1-7. (in Chinese)
[2] 张军. 现代空中交通管理[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.

- ZHANG Jun. Modern Air Traffic Management[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005. (in Chinese)
- [3] GJB 2547—95, 装备测试性大纲[S].
GJB 2547—95, Testability program for materiel [S]. (in Chinese)
- [4] GJB 3385—98. 测试与诊断术语[S].
GJB 2547—95. Trems for testing and diagnostics [S]. (in Chinese)
- [5] 胡文华, 史林, 薛东方. 雷达智能 BIT 中整机性能监测系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(7): 1183–1185.
HU Wen-hua, SHI Lin, XUE Dong-fang. Design and Realization of Integrated Performaance Monitoring System in Intelligent BIT for Radar Equipment[J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(7): 1183–1185. (in Chinese)
- [6] 侯其坤. 机载雷达系统的 BIT 设计[J]. 现代雷达, 2003, 25(11): 7–9.

HOU Qi-kun. Built in Test Design for the Airborne Radar System[J]. Modern Radar, 2003, 25(11): 7–9. (in Chinese)

- [7] 李海皓. BIT 的设计准则和评估方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.

LI Hai-hao. The Design Rule and Evaluation Method of the BIT[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007. (in Chinese)

作者简介:



崔旭辉(1978—), 女, 河北保定人, 2000 年获学士学位, 现为工程师, 主要研究方向为二次雷达。

CUI Xu-hui was born in Baoding, Hebei Province, in 1978. She received the B. S. degree in 2000. She is now an engineer. Her research direction is secondary surveillance radar.

Email: cxhuier@sina.com