

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.01.020

CPR1000 核电厂核级 DCS 平台缺省 值实现方案研究

王少威, 李公杰, 孙 伟, 田 勇
(深圳中广核工程设计有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要:针对 CPR1000 核电厂核级 DCS 无平台功能实现缺省值问题,对 MELTAC DCS 平台的信号失效诊断机制进行了分析,对信号质量位传递管理进行了研究,并考虑避免缺省值输出抖动,确定了缺省值替换逻辑方案。同时针对工程实施中 CPU 负荷超标风险对缺省值实现方案进行了调整,将缺省值替换逻辑实现位置由信号输入机柜转移到控制指令的输出机柜或非安全级 DCS 网关。最终获得了信号失效诊断、信号质量位传递管理、缺省值替换配合实现缺省值功能的方案。将该方案在多项目进行了试验及应用。结果表明,缺省值实现方案能够在预期信号故障情况下实现缺省值无抖动输出,并且未造成 CPU 负荷超标。

关键词: CPR1000;核级 DCS;缺省值

中图分类号: TP23

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2017)01-0100-05

Default value realization research of CPR1000 safety classified DCS platform

WANG Shao-wei, LI Gong-jie, SUN Wei, TIAN Yong
(China Nuclear Power Design Co., Ltd. (Shenzhen), Shenzhen 518172, China)

Abstract: Aiming at the problems of the safety DCS used in CPR1000 nuclear power plants had no platform function of default value, the signal fault self-diagnosis mechanism of MELTAC DCS platform was analyzed, signal quality transmitting management was researched, and default value switchover was established as a counter-measure to output disturbing. Meanwhile, because the risk of CPU over load, the scheme was adjusted, the default value realization location was changed from signal input cabinet to command output cabinet or NC DCS gateway. Finally, the scheme base on corporation of signal unavailable diagnosing, signal quality transmitting management and default value switchover was established. The scheme was tested and implemented in multi-projects. The results show that the default value scheme can avoid risk of CPU overload and meanwhile fulfill the requirement of default value function.

Key words: CPR1000; safety DCS; default value

0 引 言

缺省值指的是设置一个替换值,使得当传感器故障或其他原因导致的输入信号失效的情况下,使用预先设置好的替换值代替“坏值”,参与控制系统的计算与控制。

核电厂分散控制系统(DCS)缺省值的设置需求是

在考虑核电机组安全性、可用性,设备及人员保护的基础上进行设置^[1]。以 CPR1000 核电项目为例,秉承了岭澳二期的设计思想,提出缺省值的设置需求。设计需求中除了要求部分信号失效后保持为特定值,还要求部分模拟量信号在失效后保持最后有效值(last valid value)。

基于核电厂 DCS 平台的特点,如何可靠、高效实现缺省值的设计要求,是核电厂 DCS 系统设计时需要重点考虑的问题。CPR1000 核电厂使用三菱的

MELTAC-N 平台实现反应堆保护及专设安全保护功能^[2],作为核级 DCS 平台,由于其平台特性,在实现缺省值功能时,并不能通过类似于非核级 DCS 平台修改平台配置文件的方式实现。

本研究将基于 MELTAC-N 平台特点,研究获得其缺省值实现方案,针对方案在工程应用中可能存在的问题对方案进行调整,并最终在实际项目中进

行验证。

1 CPR1000 核电厂核级 DCS 系统简介

核电厂分散控制系统(DCS)系统作为核电厂的神经中枢,对核电厂的运行参数进行监视,对设备运行状态进行控制^[3]。

CPR1000 核电厂控制系统结构如图 1 所示。

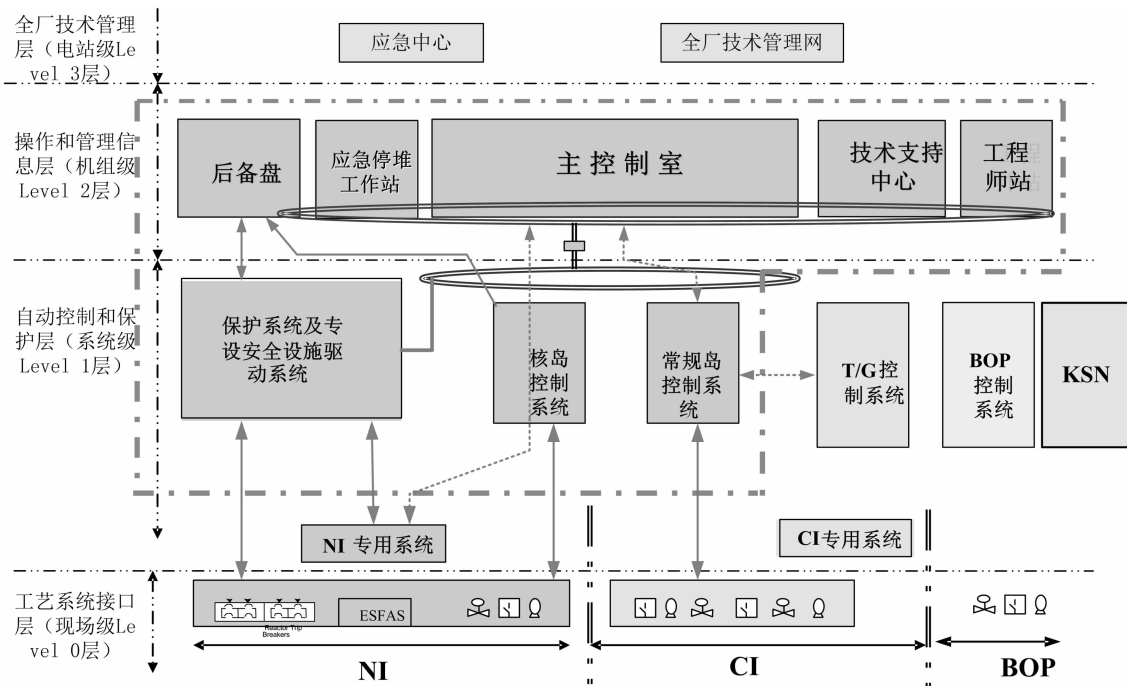


图1 CPR1000 核电厂控制系统结构图

其中粗虚线框部分为 DCS 系统实现的控制功能。

根据是否执行安全功能,CPR1000 DCS 系统区分为核级及非核级 DCS 系统。考虑核级及非核级系统设计要求有较大不同,核电厂的核级与非核级 DCS 系统往往由不同的 DCS 平台来实现。

图1中保护系统及专设安全设施驱动系统由三菱电机公司的 MELTAC-N 核级 DCS 平台实现,核岛控制系统及常规岛控制系统由 Hollias-N 非核级 DCS 平台实现。

对于非核级 DCS 平台,由于受限制的因素少^[4],其平台开发之初也更加灵活,其缺省值功能往往开发集成于其平台功能之中。例如作为 CPR1000 非核级 DCS 平台而广泛应用的 Hollias-N DCS 系统平台,其缺省值功能通过系统数据库中的相关参数设置来实现。

核级 DCS 平台承担核安全保护功能,并受一系列法规标准的严格约束^[5-6],其缺省值功能的实现往往更加谨慎,受核级 DCS 平台的限制更多,实现方案也更加复杂。

因此本研究重点介绍对核级 DCS 平台缺省值实现方案的研究。

2 CPR1000 核级 DCS 系统缺省值实现方案

由于平台特性,MELTAC-N DCS 平台不具备实现缺省值的平台功能,其缺省值功能主要通过信号失效诊断,信号质量位传递管理,缺省值替换来配合实现。

2.1 信号失效诊断

缺省值功能是在信号失效后作用,对 DCS 系统缺省值实现方法进行研究,则首先需了解可能发生的信号失效模式。

根据梳理,信号失效的模式大致可以区分为以下的几类:

(1)Level0 侧故障。包括传感器故障及传感器断线(主要针对模拟量传感器,对于数字量输入信号,短路及断路均无法检测)。

(2)Level1 设备故障。包括信号输入端信号采集卡件故障,level1 设备失电等。

(3)Level1 设备间通讯网络故障。包括网络链路故障,网卡故障等。

根据不同故障类型,信号失效诊断通过不同平台功能实现。

2.1.1 level0 侧故障诊断

Level0 侧故障的诊断,往往通过 DCS 采集板卡的诊断功能实现。传感器故障及传感器断线的情况发生时,采集板卡根据输入的电信号的特殊变化判断 level0 侧故障,保存故障发生前一刻的好值,并通知 CPU,将对应输入信号的质量位置为‘坏’。

对于传感器断线故障,由于断线故障下的电气特性,包括 CPR1000 项目的三菱 MELTAC-N DCS 平台及阿海珐 TXS 核级 DCS 平台,如果不在软件中增加额外处理软件逻辑的话,均不能保证传感器断线故障发生的前一刻的好值能够被有效识别及保持。

MELTAC-N 平台对 Level0 故障诊断的典型功能:

超量程诊断、通过在线计算的输入回路诊断。

2.1.2 Level1 设备故障诊断

针对采集卡件故障等 Level1 设备故障,MELTAC-N 平台 CPU 完成卡件故障诊断后,置对应信号质量位为差,并保持故障发生前一 CPU 周期的好值。

MELTAC-N 平台对 Level1 故障诊断的典型功能:IO 卡件看门狗计时器诊断、IO 卡件与 CPU 通讯故障诊断等。

2.1.3 Level1 设备间通讯网络故障诊断

反应堆保护机柜采集反应堆状态参数,做阈值逻辑处理后,将相关信号通过点对点(Data-link)网络传递给专设安全逻辑等机柜。主要的信号流为:传感器 -> RPC(反应堆保护机柜) -> ESFAC(专设安全驱动机柜) -> SLC/SRC(安全逻辑机柜、安全相关机柜) -> 执行设备。CPR1000 1E DCS 通讯网络结构如图 2 所示^[7]。

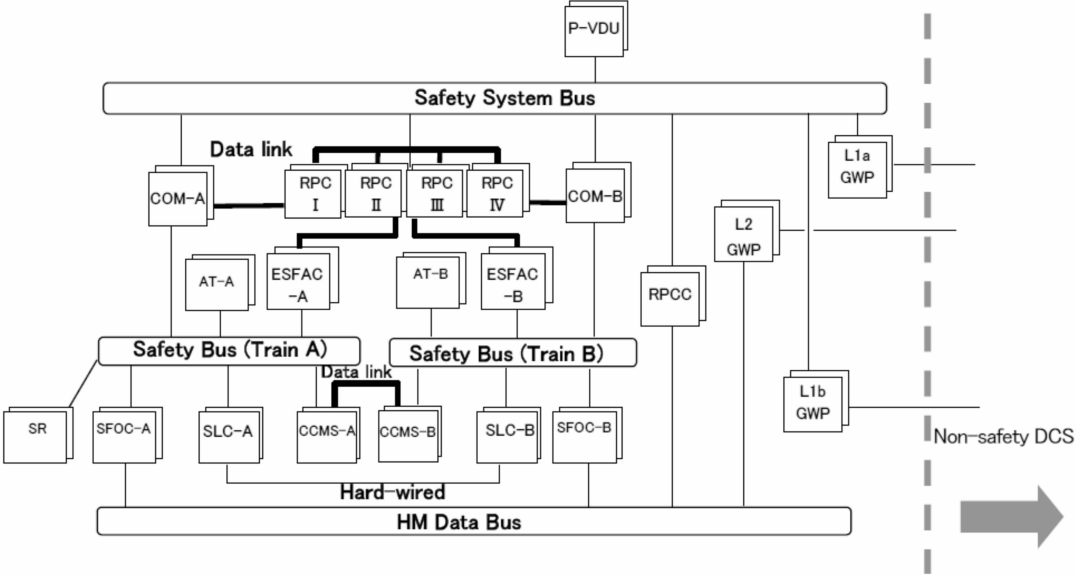


图 2 CPR1000 安全级 DCS 平台网络系统结构图

当机柜间网络信号传输故障时,信号接收机柜通过网络诊断功能,判断信号传输故障后,置网络信号质量位为差,并将网络信号故障前的数值保持,并参与到后续的逻辑运算中。

2.2 信号质量位管理

信号质量位作为信号除了数值之外的属性,随着信号产生及传递。当通过某一环节的诊断,信号质量状态变化时,则对信号质量位的对应状态位进行修改。信号质量位将随着信号的传递而一起传递,不同信号处理环节可以对信号的质量位进行读取或修改。当参与逻辑运算的某一输入信号的信号质量位为‘坏’时,即信号的质量位中有状态为‘1’的状态值时(此时判

断信号为失效状态),其信号质量位状态会传递给所有逻辑运算的输出信号,导致逻辑运算输出信号的质量位均为‘坏’。

MELTAC-N 平台信号质量位由 1 个字节共 8 位构成,卡件故障、超量程等信号质量状态信息包含在其中,其每一位的具体含义如图 3 所示。

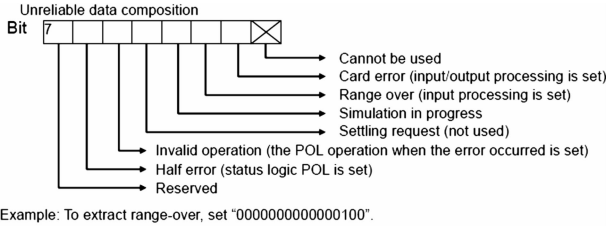


图 3 CPR1000 安全级 DCS 平台质量位数据组成

2.3 缺省值替换

MELTAC-N DCS 平台需要通过设计专门逻辑功能来实现缺省值替换功能。因此若依据缺省值设置需求,在 MELTAC-N 平台实现缺省值功能,则需要在反应堆保护系统反应堆保护机柜(RPC)等信号输入机柜增加缺省值替换逻辑。

具体缺省值替换逻辑的设计原理如图 4 所示。

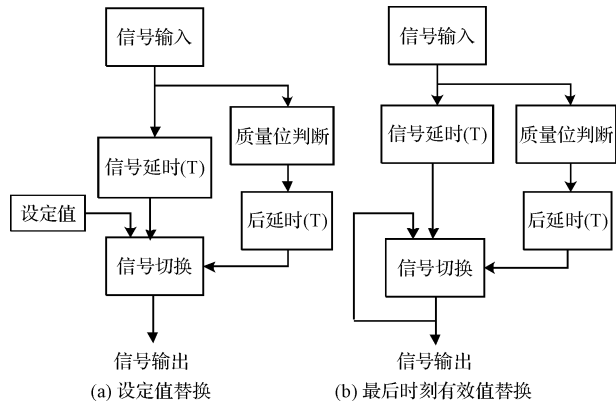


图 4 缺省值替换功能原理图

对于数字量的缺省值替换功能及除了断线及传感器故障情况以外的模拟量信号缺省值替换功能,无需示意图中的信号延时(T)模块及后延时(T)模块,也可以实现缺省值的正确替换。

当信号质量位判断为‘0’时,信号质量好,信号切换模块选择正常输入信号进行输出。当信号质量位判断为‘1’时,信号质量差,信号切换模块选择设定值或当前输出值保持输出。

当发生模拟量信号断线或传感器故障时,由于线路的电气特性,输入信号在传感器故障或断线的情况下需要 75 ms ~ 100 ms 后降低到信号质量位判断的限值之下,若没有设置信号延时模块,设定值输出的情况下,断线后失真的信号可能输出,造成模拟量输出的扰动,最后时刻有效值替换的情况下,则可能将断线后失真的信号错误信号作为最后时刻有效值保持输出。

加入信号延时模块后,为了避免信号恢复(质量判断由‘1’变‘0’)时,将恢复前 T 时刻的坏数值输出,在质量位判断模块后增加后延时模块(当信号质量恢复正常后,延时 T 时间由缺省值切换为正常信号输出)。

AI 及 DI 信号缺省值替换的实现基本相同,但考虑核级 DCS 平台特性、LEVEL 0 故障无法检测、LEVEL 1 故障 DCS 平台具备自诊断及快速故障排除能力等综合因素,DI 信号缺省值较少在 CPR1000 核级 DCS 平台进行功能实现。

2.4 缺省值实现方案分析

以上缺省值实现方案充分考虑 CPR1000 核电厂使用的核级 DCS MELTAC-N 平台的特点,能够完整实现缺省值功能需求。并且缺省值替换功能设置于信号源点位置,缺省值实现方案只需使用期望的数据(最后有效数值或某一预先设定数值)进行信号数值替换,无需针对输入输出逻辑进行详细的分析。设计思路直接、简单。

由于延时模块的加入,输入信号相关下游逻辑的响应时间将受到影响而延长。并且由于相关缺省值替换逻辑集中于信号输入源点侧,本研究增加了信号输入源点侧机柜 CPU 的运算负荷。特别是对于模拟量信号用最后有效数值作为缺省值进行替换的情况,由于需实时保存前一固定时间段内的模拟量信号的数值,对于 CPU 内存及运算负荷的影响将更大^[8]。信号缺省值的设置,将对使得 CPR1000 MELTAC-N 核级 DCS 平台反应堆保护机柜 CPU 负荷升高。由于部分缺省值设置的目标机柜(反应堆保护机柜) CPU 负荷已接近于设计要求限值。设置缺省值后,存在 CPU 负荷超标的风险,因此缺省值实现方案还需根据工程实际情况进行调整。

3 缺省值实现方案调整

为了解决信号源点位置设置缺省值的方案对 RPC 机柜 CPU 负荷的不利影响,需对缺省值实现方案进行调整。

3.1 在 SLC/SRC 侧执行缺省值替换

对于模拟量信号由 RPC 采集,影响的设备输出指令在 SLC/SRC(安全逻辑柜及安全相关柜)的信号,将缺省值设置在有较大 CPU 负荷裕量的 SLC/SRC 等控制指令输出侧。SLC/SRC 侧缺省值实现方法如图 5 所示。

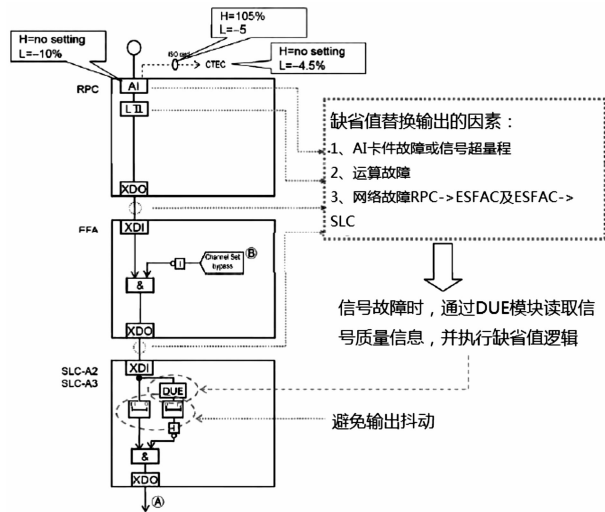


图 5 SLC/SRC 侧缺省值实现方法

DUE 模块判断缺省值执行条件。当上游输入信号失效时, DUE 模块判断输出‘1’, 并通过延时及非模块后闭锁输出(输出缺省值‘0’)。同理可以通过或模块设置输出缺省值‘1’。其中信号路径上的前延时及后延时设置用来避免缺省值输出的抖动, 但同时由于前延时模块的加入, 也增长了系统正常输出的响应时间。该方案取消了 RPC 机柜缺省值设置, 并由 SLC 实现缺省值设置功能, 并且有效避免输出抖动导致具有锁存功能设备误动的可能。

3.2 在 NC 网关执行缺省值替换

根据设计需求, 部分信号在核级 DCS 侧采集, 除了核级 DCS 侧参与逻辑, 还通过通讯送至非核级 DCS 侧参与逻辑运算, 其缺省值的设置主要目的在参与非核级 DCS 侧的逻辑功能, 例如非核级 DCS 二层画面显示及非核级设备控制。

为了实现其缺省值功能而在核级 DCS 源点侧实现缺省值功能, 则将对核级 DCS 产生一定影响。因此对于缺省值设置需求的出发点为非核级 DCS 二层画面缺省显示及非核级设备缺省控制的情况, 本研究将缺省值替换功能移至与核级 DCS 通讯的非核级 DCS 网关侧, 避免了核级 DCS 侧的缺省值设置, 同时由于非核级 DCS 网关的平台特点, 缺省值功能的设置将比较简单, 并且不会对非核级 DCS 网关的正常运行造成影响。

3.3 调整后方案分析及验证实施

调整后的缺省值实现方案实现了缺省值功能的同时, 转移了运算负荷, 避免 RPC 机柜系统 CPU 负荷超出规范要求的风。同时转移后, 模拟量的运算被转换成了设备控制输出端的数字量运算, 降低了运算量, 对转移后缺省值实现位置 CPU 负荷的影响较小。对比调整前方案, 调整后的方案也能够实现核级 DCS 内部子系统间的网络故障情况下的缺省值功能。由于将缺省值的实现转移到相关设备控制指令输出端, 由信号延时模块引入的响应时间的增加的影响将被限制于需要进行缺省值输出控制的设备, 对于无需进行缺省值输出控制的设备逻辑及报警、显示逻辑则没有影响。

缺省值方案在红沿河、宁德、阳江、防城港等项目共 14 台核电机组进行了验证实施, 验证结果表明, 本研究设定的缺省值能够在预期信号故障情况下实现无

抖动输出, 并且, 方案未有对 DCS 系统的 CPU 负荷造成大的影响, 方案实施后 CPU 负荷未有超出指标要求。

4 结束语

本研究对 MELTAC DCS 平台的信号失效诊断机制进行了分析, 对信号质量位传递管理进行了研究, 确定了缺省值替换逻辑方案, 并结合工程实际应用可能的 CPU 负荷超标风险, 对缺省值方案进行了分析、调整。该方案在 CPR1000 多项目验证实施, 实施后设定的缺省值能够在预期信号故障情况下实现无抖动输出, 并且, 方案未有对 DCS 系统的 CPU 负荷造成大的影响, 方案实施后执行缺省值替换逻辑的 CPU 负荷未有超出指标要求。

实施结果表明, 研究的 CPR1000 核电厂核级 DCS 平台缺省值实现方案能够满足核电厂缺省值功能需求。

参考文献(References):

- [1] 刘志云. 核电站反应堆保护机柜失电缺省值分析研究[J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(4): 416-420.
- [2] 魏海峰. CPR1000 核电厂安全级 DCS 研究[J]. 科技视界, 2012, 2(24): 295-297.
- [3] 冯静阁. 分散控制系统在核电厂的应用[J]. 中国核电, 2012, 5(9): 219-224.
- [4] 苟国楷. 核电站安全分级对 DCS 系统设计影响分析[J]. 核动力工程, 2011, 32(10): 23-27.
- [5] IEC 61513. Nuclear power plants Instrumentation and control for systems important for safety General requirements to systems[S]. Geheva: International Electro Technical Commission, 2001.
- [6] IEC 60880. Nuclear power plants Instrumentation and control systems important to safety Software aspects for computer-based systems performing category A functions[S]. Geheva: International Electro Technical Commission, 2006.
- [7] 王少威. 基于 MELTAC-N 平台核电厂安全级 DCS 环网的实现研究与测试验证[J]. 机电工程, 2015, 32(1): 123-127.
- [8] 董伟鹤. 降低核级数字化控制系统中央处理单元负荷的解决方案与应用[J]. 广东电力, 2015, 28(10): 30-36.

[编辑: 周昱晨]

本文引用格式:

王少威, 李公杰, 孙 伟, 等. CPR1000 核电厂核级 DCS 平台缺省值实现方案研究[J]. 机电工程, 2017, 34(1): 100-105.

WANG Shao-wei¹, LI Gong-jie¹, SUN Wei, et al. Default value realization research of CPR1000 safety classified DCS platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(1): 100-105.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>