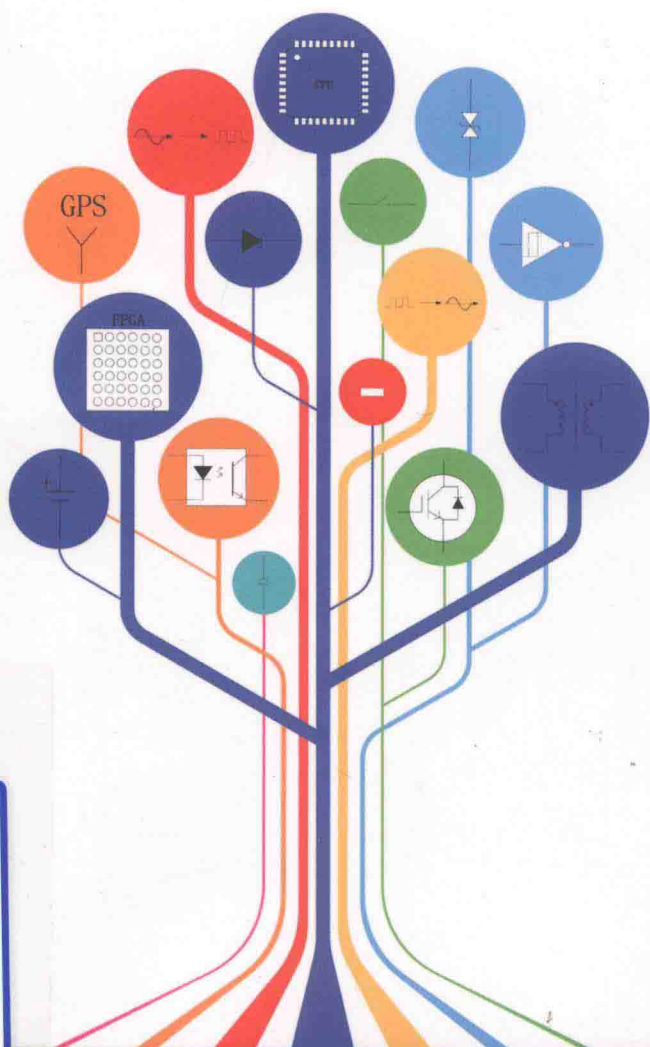


智能变电站二次设备 硬件开发

徐丽青 陈新之 © 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

智能变电站二次设备硬件开发

徐丽青 陈新之 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内 容 简 介

本书主要从可靠性、电磁兼容性、最优化、一致性方面,采用项目管理知识架构,总结智能变电站二次设备硬件开发在理论分析、软件仿真、原理图与 PCB 设计、实验验证等方面的输入、工具与技术和输出,归纳硬件开发的基础理论知识及构成硬件开发的四大类设计——可靠性设计、电磁兼容性设计、最优化设计、一致性设计,形成一套比较完善的硬件开发技术体系。

通过运用上述四大类设计方法,可以提高智能变电站二次设备产品开发效率,缩短产品开发周期,提高产品开发质量,降低产品开发成本,从而适应激烈的市场竞争,更好地帮助从事硬件开发的工程师。

本书具有较强的实用性,适合从事电力系统二次设备产品开发、设计、生产、管理、运维的电气工程师和 EMC 工程师使用,也可供高等学校电子、电气类专业的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站二次设备硬件开发 / 徐丽青, 陈新之

著. —南京: 东南大学出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-5641-7838-3

I. ①智… II. ①徐… ②陈… III. ①智能系统-变电所-二次系统-硬件-开发 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 141200 号

智能变电站二次设备硬件开发

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京四牌楼 2 号(邮编: 210096)

出 版 人 江建中

责任编辑 吉雄飞(联系电话: 025-83793169)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 700mm×1000mm 1/16

印 张 10.25

字 数 201 千字

版 次 2018 年 7 月第 1 版

印 次 2018 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-7838-3

定 价 36.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830。

前 言

硬件开发就是研究硬件平台系统的产品设计方法,是一项复杂的系统工程。由于硬件开发周期长、生产成本低,如何提高开发效率、加快产品入市,是每个企业和工程师面临的首要问题。

本书系统阐述了智能变电站二次设备硬件平台的开发设计方法,并给出了工程项目案例。全书共分为 12 章:

第 1 章介绍智能变电站二次设备硬件平台的特点,提出四大类设计方法,即可靠性设计、电磁兼容性设计、最优化设计、一致性设计,并分析了它们之间的相互关系。

第 2 章介绍硬件平台系统可靠性基础知识。

第 3 章介绍 CPU 硬件系统,分析了变电站综合测试系统——ZYNQ 硬件平台的设计思路及方法。

第 4 章介绍 I/O 硬件系统,分析了智能变电站装置类常用的开入回路、开出回路、互感器回路、A/D 回路、D/A 回路的设计方法。

第 5 章介绍硬件平台系统电磁兼容性基础知识。

第 6 章介绍静电放电抗扰度试验的特点,分析了 PNL 回路抗静电放电干扰的设计方法。

第 7 章介绍电快速瞬变脉冲群抗扰度试验的特点,分析了电压互感器回路、IGBT 驱动回路抗电快速瞬变脉冲群干扰的设计方法。

第 8 章介绍浪涌抗扰度试验的特点,分析了继电器开出回路、IGBT 开出回路抗浪涌干扰的设计方法。

第 9 章介绍阻尼震荡波抗扰度试验的特点,分析了积分回路抗阻尼震荡波干扰的设计方法。

第 10 章介绍工频磁场抗扰度试验的特点,分析了电流互感器回路抗工频磁场干扰的设计方法。

第 11 章介绍最优化基础知识,分析了开入回路在最坏情况下的设计方法以及积分回路中元器件参数的最优化设计方法。

第 12 章介绍一致性基础知识,建立连接器接触阻抗仿真模型,分析了一致

性检查的设计方法。

本书具有较强的实用性,适合从事电力系统二次设备产品开发、设计、生产、管理、运维的电气工程师和 EMC 工程师使用,也可供高等学校电子、电气类专业的学生参考。

在本书编写过程中,作者查阅了大量文献,并得到了南京国电南自电网自动化有限公司研发中心陈庆旭、岳峰、周兆庆、石建、史志伟、吴焱、叶品勇、潘可等同事的大力支持和帮助,在此向他们表示真诚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有错误和疏漏之处,欢迎广大专家和读者指正。电子邮箱:xuliqing28@126.com。

徐丽青

2018 年 3 月于南京

目录

第一篇 引 论

1 引论	2
1.1 智能变电站概述	2
1.1.1 背景	2
1.1.2 IEC 61850 标准	3
1.1.3 智能变电站特点	4
1.2 二次设备硬件技术	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 特点	5
1.2.3 分类	6
1.2.4 硬件的未来技术	9
1.3 研究内容	9
1.3.1 硬件开发中的四大类设计	9
1.3.2 硬件开发的过程	10

第二篇 可靠性设计

2 可靠性基础知识	14
2.1 简介	14
2.1.1 概述	14

2.1.2	技术要求	14
2.1.3	过程分析	15
2.2	基础知识	16
2.2.1	电压匹配	16
2.2.2	阻抗匹配	16
2.2.3	滤波特性	17
2.2.4	选型公式	19
2.2.5	误差估计	21
2.2.6	仿真工具软件	23
2.2.7	开发工具软件	25
2.3	本章小结	28
3	CPU 硬件系统	29
3.1	ZYNQ 硬件平台的输入	29
3.1.1	概述	29
3.1.2	技术要求	30
3.2	ZYNQ 硬件平台的工具与技术	31
3.2.1	总体设计	31
3.2.2	器件选型	32
3.2.3	原理图设计	34
3.2.4	PCB 设计	39
3.3	ZYNQ 硬件平台的输出	40
3.4	本章小结	40
4	I/O 硬件系统	41
4.1	开入回路	41
4.1.1	开入回路的输入	41
4.1.2	开入回路的工具与技术	41
4.1.3	开入回路的输出	43
4.2	开出回路	43
4.2.1	开出回路的输入	43
4.2.2	开出回路的工具与技术	44

4.2.3	开出回路的输出	47
4.3	互感器回路	48
4.3.1	互感器回路的输入	48
4.3.2	互感器回路的工具与技术	49
4.3.3	互感器回路的输出	52
4.4	A/D回路	52
4.4.1	A/D回路的输入	52
4.4.2	A/D回路的工具与技术	52
4.4.3	A/D回路的输出	58
4.5	D/A回路	58
4.5.1	D/A回路的输入	58
4.5.2	D/A回路的工具与技术	59
4.5.3	D/A回路的输出	61

第三篇 电磁兼容性设计

5	电磁兼容性基础知识	64
5.1	简介	64
5.1.1	概述	64
5.1.2	技术要求	65
5.1.3	总结	68
5.2	基础知识	68
5.2.1	电压/电流变化率	68
5.2.2	电磁场分析	69
5.2.3	空间分离	69
5.2.4	电气隔离	69
5.2.5	防护元器件	69
5.2.6	接地系统	71
5.3	本章小结	72

6 抗静电放电干扰	73
6.1 静电放电抗扰度试验分析	73
6.1.1 试验标准	73
6.1.2 试验波形	73
6.2 PNL 回路	74
6.2.1 PNL 回路的输入	74
6.2.2 PNL 回路的工具与技术	75
6.2.3 PNL 回路的输出	75
7 抗电快速瞬变脉冲群干扰	76
7.1 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验分析	76
7.1.1 试验标准	76
7.1.2 试验波形	76
7.2 电压互感器回路	78
7.2.1 电压互感器回路的输入	78
7.2.2 电压互感器回路的工具与技术	79
7.2.3 电压互感器回路的输出	84
7.3 IGBT 驱动回路	85
7.3.1 IGBT 驱动回路的输入	85
7.3.2 IGBT 驱动回路的工具与技术	85
7.3.3 IGBT 驱动回路的输出	91
8 抗浪涌干扰	92
8.1 浪涌抗扰度试验分析	92
8.1.1 试验标准	92
8.1.2 试验波形	92
8.2 继电器开出回路	93
8.2.1 继电器开出回路的输入	93
8.2.2 继电器开出回路的工具与技术	93
8.2.3 继电器开出回路的输出	96
8.3 IGBT 开出回路	96
8.3.1 IGBT 开出回路的输入	96

8.3.2	IGBT 开出回路的工具与技术	97
8.3.3	IGBT 开出回路的输出	101
9	抗阻尼震荡波干扰	102
9.1	阻尼震荡波抗扰度试验分析	102
9.1.1	试验标准	102
9.1.2	试验波形	102
9.2	积分回路	103
9.2.1	积分回路的输入	103
9.2.2	积分回路的工具与技术	103
9.2.3	积分回路的输出	108
10	抗工频磁场干扰	109
10.1	工频磁场抗扰度试验分析	109
10.1.1	试验标准	109
10.1.2	试验方法	110
10.2	电流互感器回路	110
10.2.1	电流互感器回路的输入	110
10.2.2	电流互感器回路的工具与技术	111
10.2.3	电流互感器回路的输出	114

第四篇 最优化设计

11	最优化设计	117
11.1	最优化基础知识	117
11.1.1	概述	117
11.1.2	过程分析	117
11.1.3	基础知识	117
11.2	积分回路	119
11.2.1	积分回路的输入	119
11.2.2	积分回路的工具与技术	120

11.2.3 积分回路的输出	127
11.3 开入回路	129
11.3.1 开入回路的输入	129
11.3.2 开入回路的工具与技术	129
11.3.3 开入回路的输出	132

第五篇 一致性设计

12 一致性设计	135
12.1 一致性基础知识	135
12.1.1 简介	135
12.1.2 过程分析	135
12.1.3 基础知识	135
12.2 连接器	138
12.2.1 连接器的输入	138
12.2.2 连接器的工具与技术	139
12.2.3 连接器的输出	144

第六篇 附录

附录一 术语、英文全拼及缩写	146
附录二 标准	149



第一篇

引 论

本篇仅有 1 章(第 1 章),主要介绍智能变电站二次设备硬件平台的特点,提出硬件开发的四大类设计方法,并采用项目管理的“输入、工具与技术和输出”模型分析了四大类设计的特点及相互关系。

1 引论

1.1 智能变电站概述

1.1.1 背景

21 世纪以来,随着 IEC 61850 标准的不断推广及光纤网络通信的快速发展,为基于模拟信号、电缆连接、数据繁杂的传统变电站转变为数字信号、光纤连接、数据统一的智能变电站提供了强有力的理论支撑。目前,智能变电站的建设已由理论研究阶段走向工程实践阶段,智能变电站必然是未来变电站自动化系统发展的趋势^①。

在 Q/GDW 383—2009《智能变电站技术导则》中给出了智能变电站的定义:采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能,并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站。

智能变电站概念示意图如图 1-1 所示。智能变电站有比常规变电站范围更

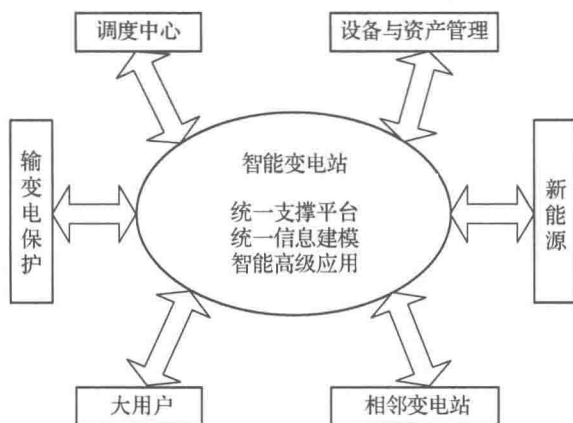


图 1-1 智能变电站概念示意图

^① 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

宽、层次和结构更复杂的信息采集和信息处理系统,其信息交互能力更强,集成化程度更高,维护性能更可靠^①。

1.1.2 IEC 61850 标准

变电站自动化系统在我国应用发展十多年来,为保障电网安全经济运行发挥了重要作用。但是,变电站自动化系统还面临许多问题,如常规互感器的动态测量范围存在局限性,通信标准的不统一导致站内信息难以高效共享,二次设备间互操作困难等。这些问题限制了变电站自动化系统的进一步发展。

IEC 61850 标准是新一代变电站通信网络和系统协议,通过对站内设备的数据对象统一建模,采用面向对象技术和抽象通信服务接口,实现变电站内不同厂商间 IED 的互操作性和可扩展性。该标准主要涵盖了以下四个方面:

(1) 采用面向对象的数据建模方法,定义了基于服务器/客户机结构的数据模型;

(2) 从变电站自动化通信系统的通信性能要求出发,定义了变电站自动化系统功能模型;

(3) 定义了数据访问机制和向通信协议栈的映射,在间隔层与过程层合并器设备采用 IEC 61850-9-2 通信协议,在间隔层与过程层智能接口单元采用 GOOSE 通信协议,在站控层与间隔层保护测控等设备采用 IEC 61850-8-1 通信协议;

(4) 定义了基于 XML 的结构化语言,描述了变电站和自动化系统的拓扑以及 IED 结构化数据,为验证互操作性提供了一致性测试。

IEC 61850 标准按照变电站自动化系统所要实现的监视、控制和继电保护三大功能,在逻辑结构上分为三层——过程层、间隔层和站控层,各层结构及逻辑接口的关系如图 1-2 所示^②。

在图 1-2 中,各层间的通信接口定义如下:① 间隔层和站控层之间保护数据交换;② 间隔层与远方保护之间保护数据交换;③ 间隔层内数据交换;④ 过程层和间隔层之间采样数据交换;⑤ 过程层和间隔层之间控制数据交换;⑥ 间隔层和站控层之间控制数据交换;⑦ 站控层与远方主站之间数据交换;⑧ 间隔之间直接数据交换;⑨ 站控层内数据交换;⑩ 变电站装置和远方控制中心之间控制数据交换。

IEC 61850 标准提供了变电站自动化系统功能建模、数据建模、通信体系,以及变电站自动化系统工程和一致性测试,是国际标准组织发布的最新变电站自动化系统标准,旨在统一目前一个或多个厂家制造 IED 之间的互操作。

① 郑玉平. 智能变电站二次设备与技术[M]. 北京:中国电力出版社,2014.

② 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

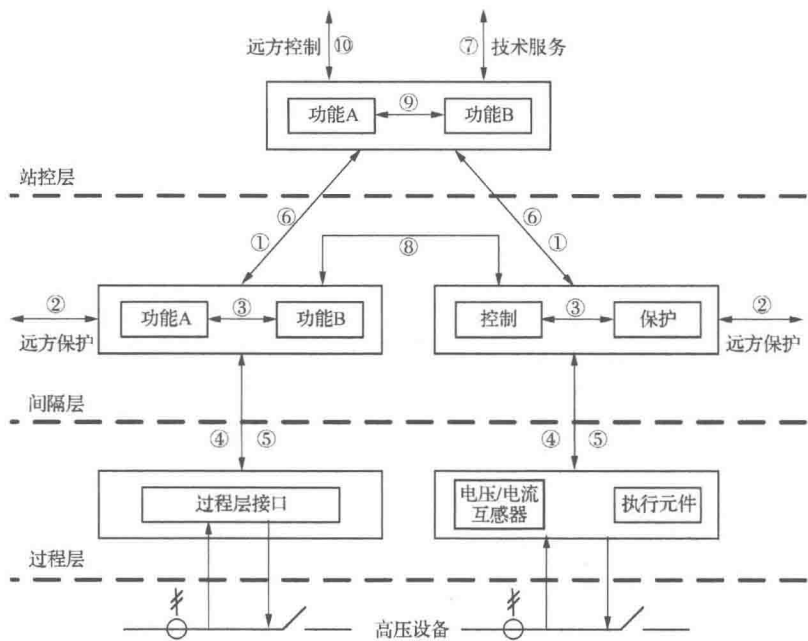


图 1-2 智能化变电站自动化系统结构模型

1.1.3 智能变电站特点

与传统变电站相比,智能变电站采用统一的 IEC 61850 系列标准,用光缆代替电缆,站控层与过程层信息传输基于光纤通信方式,分为 SV 传输和 GOOSE 传输两类(见图 1-3)。两种模型报文的传输都是采用以太网方式,符合 ISO 网络七层协议。

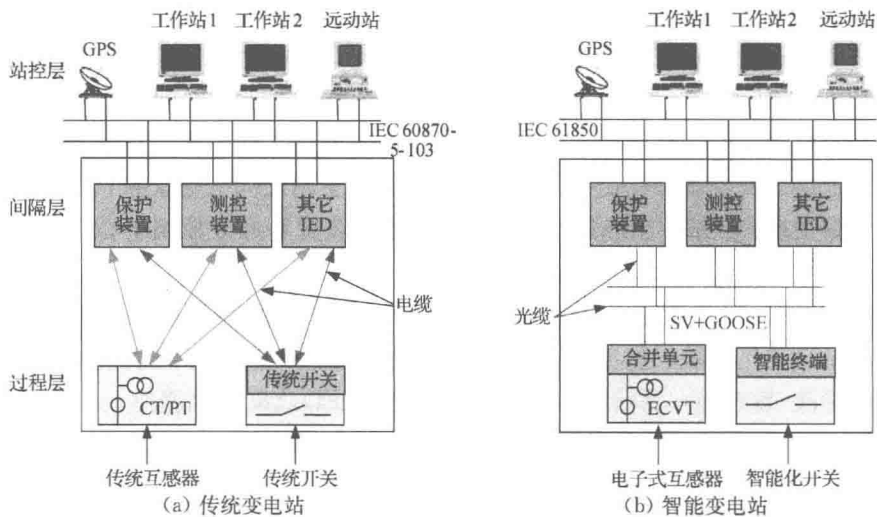


图 1-3 传统变电站与智能变电站结构对比框图

智能变电站二次设备间交换的信息用数字编码表示,信息采集、传输、处理、输出过程完全数字化。其主要特点如下:

- (1) 采用统一的标准,支持多个厂家制造 IED 之间的互操作;
- (2) 简化二次接线,少量光纤代替大量电缆可减少电缆之间的相互干扰,提高二次设备的抗干扰能力;
- (3) 采用电子式互感器,无 CT 饱和、CT 开路、铁磁谐振等问题;
- (4) 节约主控室及保护小室等的占地面积,减少费用等。

1.2 二次设备硬件技术

1.2.1 概述

变电站中的电气设备按功能的不同可分为一次设备和二次设备^①。一次设备是指直接进行电能的生产、输送、分配的电气设备,主要包括发电机、变压器、高低压开关柜、断路器、隔离开关、避雷器、互感器、架空线路、电力电缆等;二次设备是指对一次设备的运行状态进行监测,给出是否有故障,并分析故障种类、故障部位、故障严重程度、故障发展变化趋势,判断设备性能劣化趋势,并制定出相应对策和处理结果的设备,主要包括合并单元装置、智能终端装置、保护装置、测控装置、通信装置、稳控装置、录波装置、对时装置等。

1.2.2 特点

二次设备经过近几十年的发展和应用,不同功能的设备逐渐被划分成不同的硬件平台。在初始硬件规划设计中,常利用硬件平台的特点,采用“平台+应用”的开发模式(如表 1-1 所示)。

表 1-1 “平台+应用”开发模式

应用层	应用软件		
软件平台层	支撑软件		
操作系统层	VxWorks	Linux	Windows
硬件平台层	ARM/FPGA/DSP		IO 外设

采用“平台+应用”开发模式,主要有如下优势:

- (1) 结构层次化,开发变得更加方便、专业;
- (2) 平台通用化,集成度高,扩展性强,便于不同的专业使用;
- (3) 应用专业化,方便功能扩展,满足不断发展的智能变电站新需求。

^① 郑新才,陈国永. 220kV 变电站典型二次回路详解[M]. 北京:中国电力出版社,2011.

1.2.3 分类

1) 按功能分类

对二次设备硬件按功能划分,可分为 CPU 硬件系统和 I/O 硬件系统(如图 1-4 所示)。CPU 硬件系统主要由处理器、存储器等组成,而 I/O 硬件系统主要包括各种 I/O 外设。本书的这种划分主要是便于后续章节的介绍,在这里不做特定的定义。

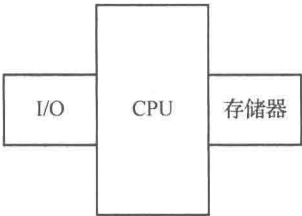


图 1-4 硬件的组成

2) 按回路分类

对二次设备硬件按回路划分,CPU 硬件系统主要由 CPU、DDR、FLASH、JTAG、USB、晶振等外围回路组成,I/O 硬件系统主要由开入回路、开出回路、交流回路、模拟量输出回路、直流量输入回路、积分回路、对时回路、以太网回路、通信回路、电源回路等组成(如图1-5所示)。这些回路的主要功能如下:

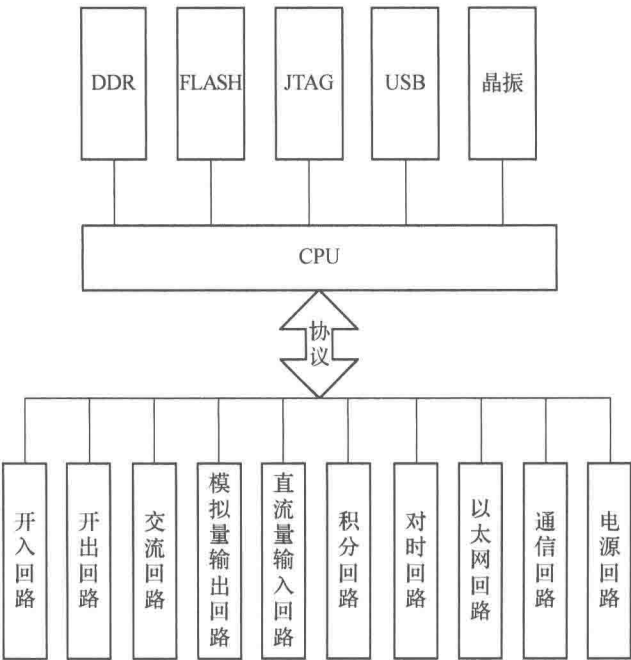


图 1-5 按回路划分的硬件组成框图