

2017 年东润丘成桐科学奖参赛作品

参赛队员姓名： 李 晨 天

中学： 珠海市第一中学

省份： 广东省

国家/地区： 中 国

指导教师姓名： 梁庆生

论文题目： 通用电源适配协议（UPP）及其实现

论文题目：通用电源适配协议（UPP）及其实现

摘要：

现有电源适配技术方案及其实践装置存在两个显著的缺陷：第一个缺陷同时存在于交流和直流电源适配中，这个缺陷就是供电端和用电端之间只有单纯的电气连接，这样的连接使直流和交流电源适配均对意外触电、偷电和过流、过压、过热等导致严重事故的问题一直无法避免，第二个缺陷主要存在于直流电源适配装置中，这个缺陷就是一种电源适配装置只提供一种或几种特定参数的电源，也就是一种电源适配装置基本上只能为特定的一种或几种用电装置供电，这导致两个问题，其一是只要用电装置报废，与之配套的电源适配装置也随之废弃，造成极大的资源浪费和环境污染，其二是给用户带来极大的不便，每次出门都要带一大堆各式各样的电源适配装置。

为解决现有电源适配技术方案及其实践装置的上述缺陷，本课题提出了让供电端和用电端先进行“沟通协商”再确定是否供用电的电源适配技术方案，这个方案最为显著的特点在于：**第一，首次尝试为电源适配设计一个供用电标准。**根据这个标准，所有电源适配行为都将不再是仅建立在导体的物理接触上的电气连接，而是基于“协商”后才开始供电和用电的建立在数据连接上的电气连接，这样的连接方案将确保电源适配过程中各电参数始终在设计范围内，从而基本避免意外触电、偷电和过流、过压、过热等安全问题；**第二，首次实现了一个适配器为任意种用电器供电的目标。**在设计值范围内，供电端可以根据用电器的请求提供其需要的电源，即这样的电源适配装置可以

为该参数范围内的所有的用电需求的用电器供应电源, 这将使一个电源适配装置即可为绝大多数用电器供电成为可能, 从而为解决现有电源适配装置导致的资源浪费、环境污染和携带累赘等问题扫清障碍。

这个协议从通讯的拓扑架构、交互模式、数据结构和格式等方面进行了研究和探索, 从而为电源适配设计了一套可以完成“沟通”的电源适配标准, 同时, 还设计了适用这一协议的物理实现装置---“UPP 电源适配装置”。从测试的结果看, 这一装置完全实现了“通用电源适配协议”的技术目标, 在设计值范围内, 可以供应任意参数的电源。

可以预计, “通用电源适配协议 (UPP)” 的广泛推广和应用将像 USB 协议统一电脑外设一样使种类繁杂、互不通用的电源适配装置统一到运行 UPP 协议的电源适配装置中来, 这不但将极大的方便人们的生产生活活动, 而且必将对减少污染和环保节能做出积极的贡献。

关键词：电源适配、电源适配协议、供电端、用电端、纯电气连接、数字化电器连接

Title

Design & Realization of Universal Power Adapting Protocol

Abstract

Two noted drawbacks can be found in nowadays' power adapting technological scheme: the first is found in both of AC & DC adapters which is that the connections between power supply and appliance is only electrical connections. Such a connection can almost do nothing for such accidents as electric shock, illegal electricity-using, and accidents resulted from overcurrent, overvoltage, overheat and the like; the second is mainly found in DC power adapters, which is that one power adapter can only supply power with specified electrical parameters, it means that one adapter can only power its designated electrical appliance, which will inevitably lures two issues: one is that once the electrical appliance become out of work, its power adapter would also have to be abandoned, even if it is still in good conditions, such an outcome will bring waste of resources and environmental pollution, in addition to inconvenience on users who would have to take various kinds of adapters with them during their work and life.

To solve the drawbacks above, here puts forward an adapting scheme in which the electricity adapters and appliances will first have “communication and negotiation” prior to power delivery. The noted features within this scheme show as following: the first, it is the first set

of protocols designed for power adaptation by which all power delivery will no longer only be a simple electrical-only connection marked as **“Contact and Power”**, but one marked as digital electrical connection in which power delivery will not happen unless a “negotiation” between the power supply and the appliance have been done in advance, i.e. the power supply and the appliance have known each other in advance. Such an electrical adapting scheme will certainly ensure that all electrical parameters may stay within the range specified in the course of electrical adaption so as to avoid almost all safety issues resulted from electric shock, illegal electricity-using, overcurrent, overvoltage, overheat and so on; and the second, it is first time achieving the goal of which one adapter is able to provide electricity for various kinds of appliances within the designated range automatically , i.e. the power supply will be able to provide parameters-correct electricity for appliances according to their requests. Such a feature will make a way for solving issues of waste of resources, environmental pollution and inconvenience of carrying different kinds of traditional adapters.

This scheme thus designed a protocol which had taken much effort on the development of Topology, Connection Methods, Data Structures and the like and thus built up a set of standards related to communications necessary for negotiation between the power adapters and appliances. Further, here also developed a physical device which implemented the

UPP, the “UPP Power Adaptor”. According to the experiments and tests, the device reached to all engineering goals: it can supply correct electricity and provide parameter-specified safety protection according to the requests of appliances automatically within its specified range

It can be seen that UPP will soon let adaptors marked as great variety and low-compatibility nowadays to unity with UPP’s more and more application just as USB had ever done on uniting computer peripherals. It will undoubtedly not only make peoples’ work and life more conveniently and comfortably, but also positively contribute much to reducing pollution, protecting environment and saving resources.

【Key Words】 : Power Adaption, Power Adaptation Protocol, Power Supply Device, Appliance, Electrical-only Connection, Digital Electrical Connection.

创新性申明

本参赛团队声明所提交的论文是在指导老师下进行的研究工作和取得的研究成果。尽本团队所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人或本团队已经发表或撰写过的研究成果。若有不实之处，本人愿意承担一切相关责任。

参赛团队签名： 李晨天

日期： 2019 年 09 月 14 日

目 录

选题背景及由来-----	12
一、电源适配的含义-----	12
二、电源适配中存在的问题-----	12
首先是安全方面的问题	
其次是方便性的问题	
最后是资源浪费的问题	
电源适配中的主要问题及其产生的原因-----	14
一、安全性方面的问题分析-----	15
(一) 首先看看交流电源适配中安全措施	
(二) 现有电源适配安全措施局限	
第一个局限可以归纳为：“总量控制，控而不制”	
第二个局限可以归纳为：“隔靴搔痒，无法止痒”	
第三个局限可以归纳为：“是非不分，制造是非”	
第四个局限可以归纳为：“单一指标，有指无标”	
(三) 再来看看直流电源适配中的安全措施。	
二、方便性/舒适性方面的问题分析-----	20
三、环保方面的问题分析-----	20
四、问题成因分析-----	21
(一)、安全问题的产生原因：	
(二)、环保方面问题产生的原因：	

(三)、舒适性/方便性问题产生的原因:

电源适配技术方案的设计及其评估-----22

一、技术方案应该满足的条件-----22

①: 特征识别

②: 按需适配

③: 按需保护

④其他条件

二、技术路线的选择和评估: -----23

(一)UPP 方案的总体思想: 建立供、受电端之间的沟通-----24

(二) 建立供、受电端之间沟通的物理环境的技术方案选择及其评估
-----24

1、构建获取用电端信息的物理环境的技术方案评估及选择:

1.1 信息获取/识别的方式及其选择。

1.2 存储技术方案及其选择。

2. 实现“按需适配”所需物理环境的技术方案的评估和选择:

2.1 高压交流类用电器电源适配物理方案的评估与选择。

2.2 低压直流类用电器电源适配物理方案的评估与选择

3、实现“按需保护”物理环境的技术方案评估和选择:

3.1 纯模拟电路保护技术方案评估:

3.2 数字化保护技术方案评估:

(三)、供用电通讯协议的设计和评估-----45

1. 供用电通讯协议的拓扑架构评估与选择

2. 供用电通信协议的交互模式选择:

3. 供用电通信协议的数据内容和格式设计与评估:

(1) 用电端身份识别部分:

(2) 用电端友好名称 (面向用户名称) 部分:

(3) 用电端电源需求描述部分:

(4) 数据校验部分:

(5) 供用电通信协议数据包格式设计

供电端、用电端物理结构设计-----61

一、高压交流类用电器电源适配方案供电端物理结构----61

二: 高压交流类用电器电源适配方案用电端物理结构-----64

三、低压直流类用电器电源适配方案供电端物理结构----65

四、低压直流类用电端物理结构-----67

电源适配工作流程设计-----67

①用电器接入检测:

②用电器鉴权:

③用电器参数读取和处理:

④按需供电:

⑤按需保护:

⑥断开复位:

UPP 实现装置及其运行效果测试-----70

一、运行 UPP 的电源适配实现装置 DEMO 样机实物图

二、UPP 电源适配装置效果测试报告

三、测试结论

通用电源适配协议（UPP）的创新性、科学性和实用性-----75

一、创新性-----75

（一）、创建了“协议化”电源适配的供用电模式

（二）、创建了“按需供电”的电源适配模式

（三）、创建了“按需保护”的电源适配安全保护模式

（四）、创建了“鉴权供/用电”的电源适配模式，为防止偷电和意外触电提供了保证。

（五）、创建了“以一对多”的电源适配模式

二、科学性-----79

（一）课题源于现实问题

（二）方案源于现有技术

（三）应用源于仿真和实验

三、实用性-----80

四、科学意义-----80

参考书目-----83

作者简介-----85

论文题目：通用电源适配协议（UPP）及其实现

论文正文：

选题背景及由来

一、电源适配的含义：电源适配，指的是根据用电器的用电需求（如电流、电压等），将市电转换为相应规格/参数的电源供应给用电器，使用电器正常工作的电气行为。

在当今的电气化社会，电源适配已经成为了我们生活中一个不可或缺的部分，无论是像手机、笔记本电脑这样通过“看得见的”独立电源适配器进行电源适配的用电器，还是像电风扇、加湿器这样直接适配交流电源的用电器，都需要电源适配的支持才能正常运作。

因此，可以说，电源适配已经深入到了我们工作和生活的方方面面，甚至可以说在电气化生活高度发达的今天，没有了电源适配我们甚至寸步难行。但是，电源适配在为我们的工作和生活带来巨大便利的同时，也给我们带来了许多烦恼。

二、电源是配中存在的问题：简单梳理一下，就普通用户而言这些烦恼至少包括如下三个：

首先是安全方面的问题：我们应该都经历这样一个场景，就是我们在使用电热水壶、电火锅等大功率用电器的过程中，插座板突然冒烟起火。又如，打着果汁的果汁机突然被异物卡住不转了，很快就闻到一股燃烧的异味，接着就发现果汁机被烧毁了等等。就安全方面的问题而言，这段时间以来，我们还常常听到这样的新闻，那就是手机

等电子产品在充电的时候电池突然燃烧、爆炸了，或者某人在手机充电的时候使用手机导致触电以及插座因受潮或滴入液体、金属碎片造成短路/漏电导致火灾等事故等等。

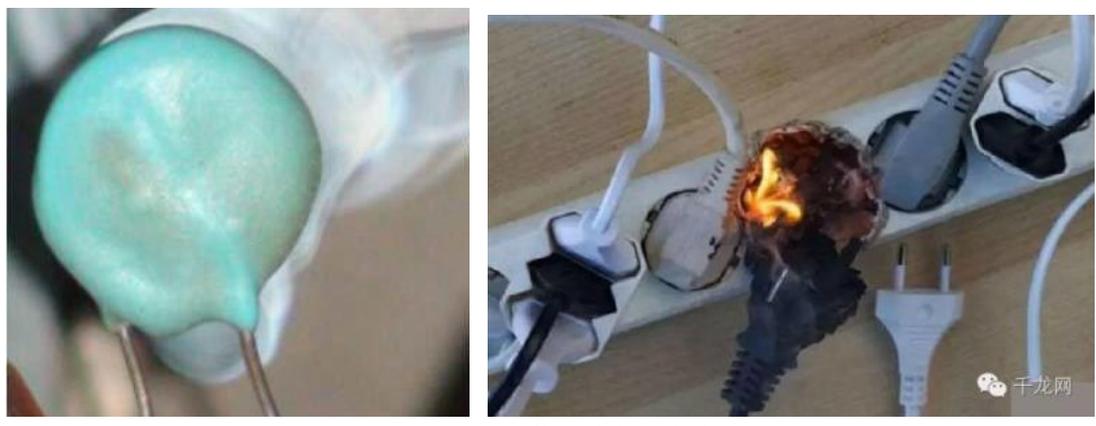


图 1-2 过载造成插座毁损

其次是方便性的问题：我们在出差旅行的时候，为了使我们携带的照相机、手机、笔记本电脑等移动终端正常工作，不得不让一大堆形式各异的电源适配器塞满小小的旅行包，成为不小的累赘。



图 3-4 令人头疼的各种电源适配器让你爱恨交加

最后是资源浪费的问题：相信许多人回到家里，打开某个抽屉，都会看到琳琅满目的一大堆废弃不用的电源适配器，这些大小和形状各异的电源适配器都是因为每更新一次手机、笔记本电脑或照相机等移动终端，原来的电源适配器都不得不同时被淘汰所带来的结果。



图 5 不得不堆在箱角的一大堆性能完好的各种电源适配器

上述几个方面的问题不但影响着我们的出行和工作,甚至很多时候危及到我们的财产乃至人身安全,因此不可谓不严重,因而找到一个可以解决或至少减少这些问题的产生,或降低问题造成的后果的严重性的方案对提高人们工作和生活的安全和舒适程度,减少资源浪费等无疑具有非常重要的意义,而这就是本项目选题的原因和理由。

电源适配中的主要问题及其产生原因

综上所述,电源适配中的问题至少有三类:第一是安全性方面的,第二是舒适性/方便性方面的,第三就是环保方面的。

为了找到可以解决问题的方法,我们先对上面几个问题做一个简单的分析,看看造成这些问题的原因是什么。

一、安全性方面的问题分析：

对于上述各种电源适配过程中发生安全问题的种种现象稍加分析，不难发现，之所以发生上述问题，主要是因为电源适配中各种预设的安全措施不能发挥作用造成的。而不能发挥作用的主要又与目前电源适配中安全措施本身的局限性有密切的关系。

为了了解它的局限，不妨先看看目前电源适配中安全措施的结构。

（一）首先看看交流电源适配中安全措施

交流电源适配中的安全措施的实施方式，一般都是这样的：

1、根据使用需求，如最大功率、额定电压等，预估供电干线（如家居内的所有插座的共用总线）的各项电参数指标，如电流、电压、功率等。

2、根据预估结果，选择相应的导线和各种保护元件，且主要为过流保护元件（保险丝/空气开关）和剩余电流保护元件（即“漏电断路器”）。

3、在供电干线上直接连接若干供电支线，并在各个支线上面设置若干个供电节点（插座）。



图 6-7 目前的交流电源适配中最常见的安全保护措施

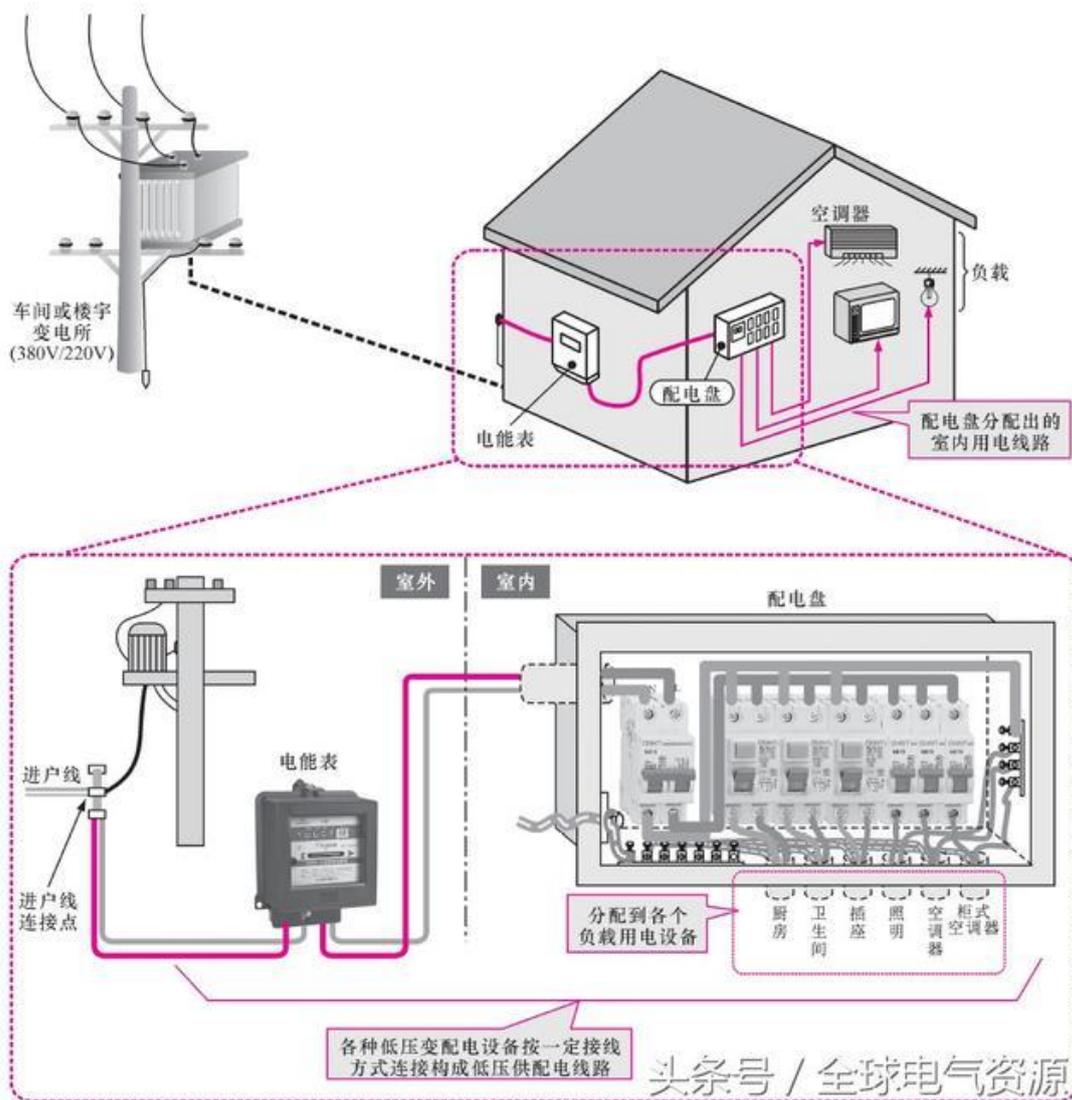


图 8 典型交流电电源适配示意图

(二)、现有电源适配安全措施局限

以上是当前交流电源适配安全保护中最常见的技术方案，这样的安全技术方案不可避免的具有如下一些局限：

第一个局限可以归纳为：“总量控制，控而不制”

由于上述交流电的电源适配安全措施主要着眼于供电干线的承受能力，因此，只有当供电干线上的电流等超过预设值的时候，干线上的保护才会生效，而这样的保护是远远不够的，因为很多时候，每个干线会分出很多支线，而支线，尤其是直接连接用电端的支线一般

不再设独立的保护元件（因为每个供电节点必然会连接规格和电参数相差甚大的用电器，例如，家居插座所连接的用电端包含从一千瓦左右的吸尘器到几瓦的小夜灯，这种情况下，选定固定动作值的保护元件几无可能）。由于一般支线连接的日常用电器基本都不足以使干线上的电流等超过预设值，却极有可能超出支线本身的承受能力（如一条最大电流为 60A 的干线分出的 6 条 10A 的支线，而其中一条支线连接了一个电流达 15A 的用电器），因此，在这种情况下，保护装置就完全不能起到保护作用，我们只能坐等损害结果的出现，这就是为什么我们的热水器煮水的时候，插座会突然冒烟起火的根本原因——支线供电端的供应电源超过了该支线的安全范围。

第二个局限可以归纳为：“隔靴搔痒，无法止痒”

再有一个就是目前电源适配的安全保护模式，它的安全保护目标在于供电端电路的安全保护，而不在于用电端的安全保护，因此对于用电端产生的异常和用电端的实际用电状况基本是忽略的，除非这个异常已经超出供电端自身的承受能力，否则，即使用电端发生危险和（或）损毁，安全保护机制仍然不能生效。这种情况在类似电机堵转，电流急剧增大、电机严重过热但由于尚未达到供电端过流保护值，保护形同虚设，无法生效，最终导致电机烧毁的事故中最为典型。

第三个局限可以归纳为：“是非不分，制造是非”

还有就是这个电源适配技术方案，对于用电端的性质和合法性是完全忽略的，无论接入何种物体，只要可以接通电路，这个电路都开始供电，这样的工作模式在某些情况下可能导致严重的危险，同时也

为违规用电、偷电留下了后门。例如，许多孩子之所以触电其实非常多的时候就是因为他手上抓了某些导体（如铜丝、金属棒等），并把这些东西插入了供电端的连接器（如墙壁式插座）里面，进而接触到了危险的电压。又如，住宅楼有时会有居民在应急灯插座等处偷取公共电源的情况发生。



图 9-10 极易给小孩带来危险的电源适配方案

第四个局限可以归纳为：“单一指标，有指无标”

最后，这个电源适配技术方案，还有一个非常明显的局限：就是它的安全保护基本上只基于“电流”这个单一电参数指标来实施，这种基于单一指标的保护方案并不能应付可能引起安全问题的其他各种因素。例如很多时候，供电/用电过程中的**电流(I)**没有任何问题，但是由于某种原因导致**电压(V)**陡然升高，直到超出安全范围，这个时候作为安全保护启动指标的电流参数就完全没有意义，进而导致安全机制失效。

综上所述，交流电源适配的安全技术方案由于上述的局限性和技术缺陷，在很多情况下不能有效地达成安全保护目标，进而导致上述各类安全问题。

（三）再来看看直流电源适配中的安全措施

目前直流用电器的电源适配主要采取的是市电经过交流电源适配后再经过独立电源适配器或内藏式电源适配器（如台式电脑）转化为相应的直流电源供给直流用电器的形式，而直流电源适配中的安全措施，基本上就是在电源适配器的电路中加入自恢复保险丝等过流保护元件和热敏电阻等过热保护元件，也就是电源适配器的供应商说的最多的过流保护和过热保护功能。至于很多电源适配器供应商宣称的过压保护，由于检测电压并执行保护动作必须的电子器件如电磁继电器、运算放大器、窗口比较器、电压反馈用光电耦合器等体积比较大，几乎不能放进有强烈体积要求的电源适配器有限的狭小空间内，因此，一般的电源适配器，尤其是常见的小型电源适配器是没有所谓的过压保护的功能的。

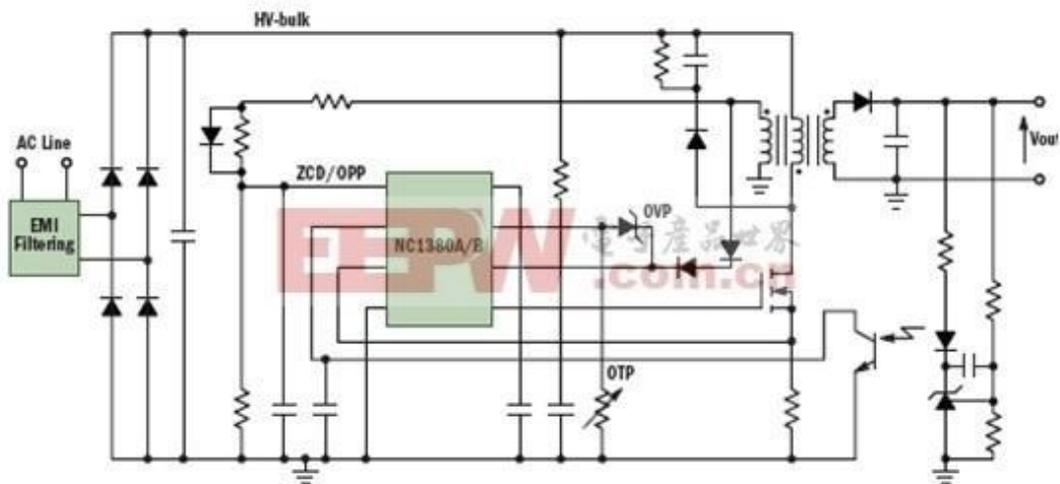


图 11 一般直流电源适配器的典型电路

从图 11 的一般直流电源适配器的典型电路上可以看到，目前一般直流电源适配器的安全保护技术方式和手段与交流电源适配中采用的技术方案基本是一样的，它的保护机制也是基于作为**供电端**的适配器本身参数和安全范围来设定的，而不是基于**实际用电端**的参数和

安全范围来设定的, 而且一般也是只有电流和温度的指标, 因此其局限性和导致的安全问题也就与交流电的电源适配基本一致, 这里就不再赘述了。

二、方便性/舒适性方面的问题分析:

由于交流电源适配系统在建筑物的电路安装之时就已经装置完毕, 而且, 交流电源供应规格也比较简单和统一, 因此, 对人们生活舒适性影响比较明显的就主要是直流电源的电源适配。

直流电源适配给人们带来的不便主要是种类繁多, 互相之间几乎无法兼容, 而导致这样问题的主要原因是目前几乎所有直流电源适配方案都采用“一对一适配”技术方案。

所谓“一对一适配”就是每一个电源适配器都只能供应一种或某几种用电器所需参数的直流电源, 这种“一对一适配”方案必然形成的一个结果是: 一种用电器一种适配器, 有多少种直流用电器就必然有多少种与之对应的适配器的局面, 进而给人们带来种种如前所述的不便。随着电子信息技术的普及和其与人们生活结合紧密程度的日渐提升, 直流用电器(大多数电子产品)的数量必然与日俱增, 这样的情况也会越来越严重。

三、环保方面的问题分析:

就上文所述的常见现象来说, 电源适配在环保方面带来的问题主要有电源适配装置的重复生产造成的资源浪费问题和电源适配装置报废后的电子垃圾污染环境的问题。显而易见, 这些问题是目前电源适配, 尤其是直流电源适配中“一对一适配”的模式固有的局限性带

来的必然结果。

由于每一种电源适配器都只能设计成供应一种特定用电器所需的特定参数的直流电源，故每开发、生产一种新的直流用电器（如新的手机、笔记本电脑等），就必须开发与之对应的直流电源适配器以满足其对直流电源的特定需要，这样，势必导致直流电源适配器反复开发和生产，从而造成资源浪费、客观上成本增高的问题。

同时，由于每一种电源适配器都只能固定满足一种特定用电器的直流电源需求，而不能满足其他用电器对直流电源的需求，因此，当该种或该类用电器因各种原因不再使用之时，与之对应的电源适配器必然面临成为电子垃圾的局面，而不能为其他种类用电器的供应电源从而循环利用。目前电子信息产品、消费电子产品等更新换代的节奏很快，随着电子产品的淘汰，对应的电源适配器必然随之被淘汰成为大量电子垃圾，从而带来回收处理、环境污染等一系列环保问题。

四、问题产生的原因分析

综合上文对安全、环保、舒适/方便性等方面的问题极其原因分析，笔者将造成这些问题的原因归纳总结如下：

（一）、安全问题的产生原因：

1、主要基于供电干线的参数进行安全设计的技术方案通常与实际用电端的安全需求不匹配，导致安全机制失效。

2、基于单纯阈值判断的安全保护对阈值范围内的异常变化无保护，导致安全机制失效。

3、基于模拟电子技术、简单机械技术（如双金属片脱扣器）等

的安全保护方案，由于固有的滞后效应和较低的精度，很多时候无法提供现代电子产品的安全保护要求的精度、敏感度、速度的需求，也难以提供全面的安全保护能力，导致安全机制失效。

4、基于供电端承受能力而无法顾及用电端的电参数和承受能力的技术方案导致安全机制失效。

5、对用电端性质和合法性无识别的“物理接触即通电”的“是非不分”的供电模式导致安全机制失效。

6、基于较为单一的电参数判断的安全机制启动模式，由于不能对多个参数的变化进行判断导致安全机制失效。

(二)、环保方面问题产生的原因：

电源适配装置只能“一对一适配”的局限性导致电源适配装置重复开发、生产，同时淘汰电源适配装置难以循环使用，形成大量电子垃圾，带来资源浪费和环境污染的问题。

(三)、舒适性/方便性问题产生的原因：

电源适配装置只能“一对一适配”的局限性导致几乎每个终端必须配备专一的电源适配器，结合目前电子产品/直流用电器数量和种类日益增多的现实，大量的电源适配器必然带来运输、携带、使用上的累赘繁琐的问题。

电源适配技术方案的设计及其评估

一、技术方案应该满足的条件

根据上面所述造成问题的原因分析,为了全面而有效地解决上述问题,相应的技术方案应该包含如下几个要素:

①: 特征识别,即供电端能识别受电端的信息,包括但不限于用电端的身份、电参数和安全需求,这是实现要素②、③的必要条件。

②: 按需适配,即一个供电端可以根据用电端的实际情况,在一定范围内提供不同参数的交流或直流电源,满足范围内不同的用电端的不同用电需求。

③: 按需保护,即供电端可以自动地根据不同用电端的实际情况和自身的承受能力整定安全装置的参数,满足供、用电双方的安全需求。

同时,为了使技术方案实施后能达到相当的技术指标,能较好地满足目前科技和社会发展水平下人们的实际需求,本项目的技术方案还应满足包括但不限于如下条件:

①: 安全机制的启动不应该只基于预设的阈值,而应该基于阈值范围内的异常波动预示的变化趋势。

②: 安全机制的触发机制应能满足目前电子类用电器特别是低功耗用电器对于电源适配和安全保护的精度、速度、灵敏度的需求。

③: 安全机制的启动不应该只基于单一电参数,而应该以多个电参数(如电流、功率、消耗能量等)的综合判断/状态分析结果作为启动的条件。

④: 能识别用电端身份和权限,对一般的非法用电具有拒止能力。

二、技术路线的选择和评估

综合上述的技术方案应该满足的基本要素和相关要求并根据对这些要求和要素的分析研究，本项目提出“通用电源适配协议（英文缩写 UPP, Universal Power-adapting Protocol）”方案，方案的总体思想和技术路线简述如下：

（一）UPP 方案的总体思想：建立供、用电端的沟通，将供、用电端的纯电路连接转化为数据连接。

在这个方案内，供电端可以“读懂”用电端的用电需求（包括但不限于电源适配需求、安全保护需求等）并将用电需求相关参数与自己可以提供的电源类别进行比对，如果供电端可以满足用电端的所有需求时，建立满足“特征识别”、“按需适配”、“按需保护”三要素的电源适配关系。若供电端无法满足用电端的电源需求，供电端不向用电端供电。

在供电端可以满足相应需求并开始对用电端供电时，供电端将对供电和用电端的电参数进行动态实时的监视，并将实时监测到的数据与用电端用电需求中的各项参数进行分析、比较，并根据比较结果做出供电和受电是否正常的判断，并向用户发出警示和/或直接启动保护机制。

（二）建立供、受电端之间沟通关系的技术方案选择及其评估

1、获取用电端信息的数据链路的技术方案评估及选择：

要实现对不同的用电端（用电器）进行电源适配以及根据用电端的实际参数属性进行安全保护（即按需保护），首先要实现对实际用电端的识别和用电端信息的获取，这就需要构建一个具有获取用电端

信息功能的数据链路，建立这样一个链路至少需要解决如下几个主要方面的问题：

1.1 信息获取/识别的方式及其选择。

就目前的技术看来，获取用电端信息的方式有两种：

①有源信息标签方案：用电端安装自备电源（通常是电池）的信息存储标签，供、用电端连接时，标签主动“广播”使供电端发现并与之通讯（类似蓝牙主机发现蓝牙设备）。

②无源信息标签方案：用电端安装无自主电源的低能耗信息存储标签，供、用电端连接时，由供电端通过信息-辅助电源合并的线路（例如 RFID 线圈）向标签供电并读取信息（类似无源 RFID 标签）。

上述方案中，如果用第一种方案，那么用电端在其尚未获得供电的情况下需要有保证信息标签工作的电源，因此用电端就必须有一个电池等辅助电源存在，安装电池不仅增加了用电端的成本和复杂度，并且有一定的使用期限，其中的能量还会被逐渐消耗，这必然需要用户定期的更换、充电，加之报废电池有一定的环境污染，这些都是这个方案的缺点。

而第二种方案，由于是采用的是“被动”供电和“被动”读取的无源信息标签，因此，识别和读取需要的电源和装置均将在供电端装置，而用电端仅需一个体积微小的存储芯片（以常见的 WSON-8 封装为例，一般不大于 0.1cm^3 ），这样用电端的体积就几乎不会因信息识别而变大，考虑到供电端本身已经有现成的辅助电源，因此，在这个方案中，其所需要增加的部分就只是一个识别接口，体积方面的影响

非常有限。加上供电端一般体积限制较宽，因此，这样的增大对用户的用电几乎没有任何消极的影响。

综上，本项目选用第二个方案，即用电端无源信息标签方案，信息标签读写所需的电能由供电端提供。

1.2 信息标签技术方案及其选择分析。

根据目前电子技术发展水平，构建被动存储和识别的物理环境的主要途径有：

①无源 RFID 标签方案。

②端口供电的有线存储器（例如 SD 卡、EEPROM 卡）方案。

先看一下 RFID 标签方案。

通常供电端为插座形式，相邻两个用电器插头距离较近（常见 <10cm），由于 RFID 标签能在一定范围（距离读取天线 5~10cm）内读写，容易发生相邻供电端交叉读写受电端现象，使各个供电端得到错误的用电端信息，因此，只有在多个供电端之间的间距较大时，才可能采用 RFID 标签作为用电端信息识别的技术方案。

再来看看有线连接存储器方案。

有线连接存储器/卡虽然不会发生相互干扰的现象，结构也比较简单，但需要较多的引脚数目（见图 12），而实际的电源连接器（USB 插口、DC 插口等）不具有足够的针脚数目，较多针脚的连接器则无法满足耐电流和耐压方面的需求，也不符合人们的使用习惯，因此，**有线存储器方案**不太适合作为用电端信息存储和识别的技术方案。

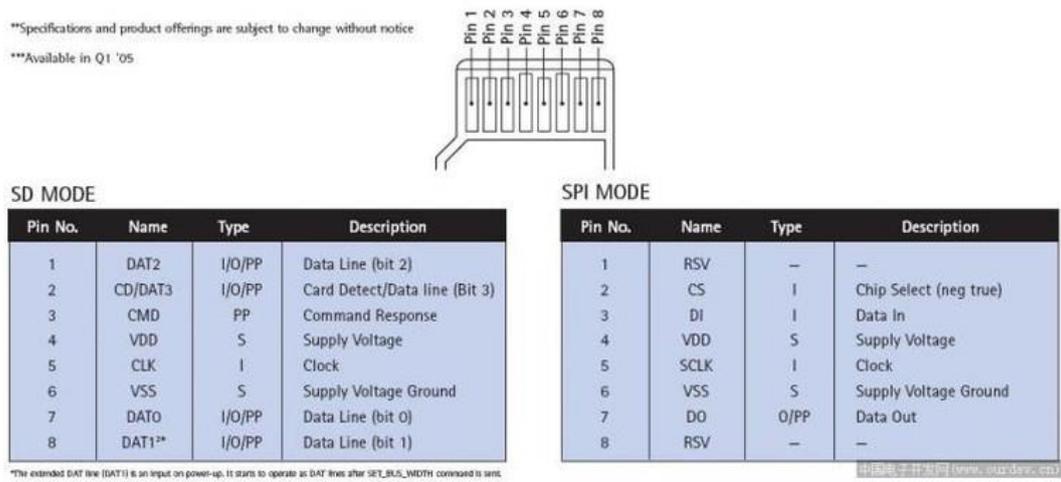


图 12 标准 SD 卡引脚图，可见引脚数目达到了 8 根之多

③WID 存储方案

综上所述，目前已有的无源存储和识别方案均不能很好地满足实际使用的正常要求，为了能够使本项目能够顺利实施并达到预定的技术指标，笔者自主开发了一种新型的有线无源存储识别技术方案——WID(Wired IDentification)存储方案，简述如下：

如图 13 所示，WID 存储识别技术包含两个基本角色：①：主机，②：WID 标签（有 96 位光刻全球唯一 UID 和其他可存储的信息）。当主机欲读取 WID 标签时，如 WID 协议时序图（图 14）所示，先由主机的 CLK/P 引脚送出标签储能脉冲串，WID 标签中能量收获和电源管理单元将其储存在电容器中，标签储能后，主机发出时钟脉冲信号和读写指令信号，经由时钟分配单元、逻辑控制器、数据/地址门锁器、地址计数器转换和控制，完成 UID 的读取操作和铁电存储器中信息的读/写操作。

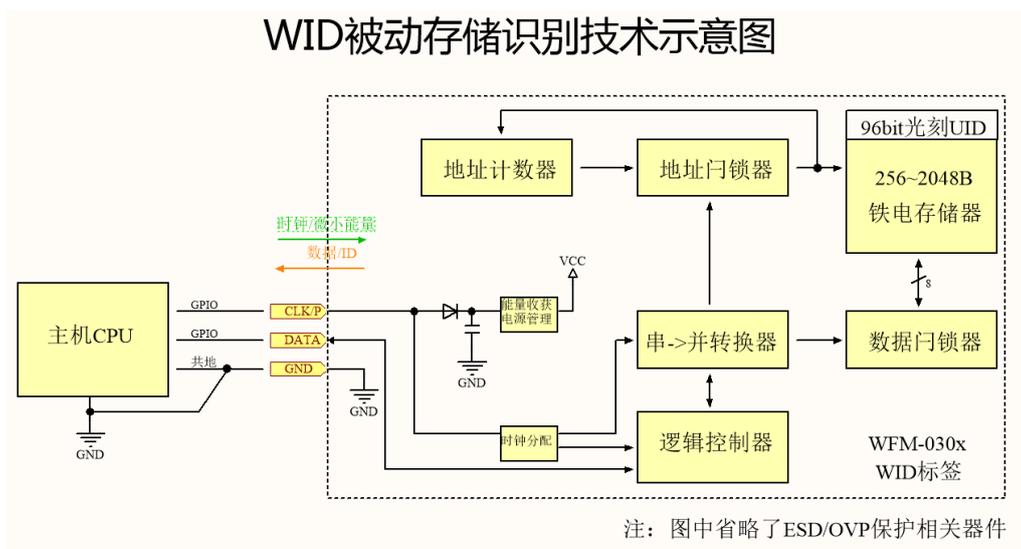


图 13: WID 存储识别技术（直接连接版本）示意图

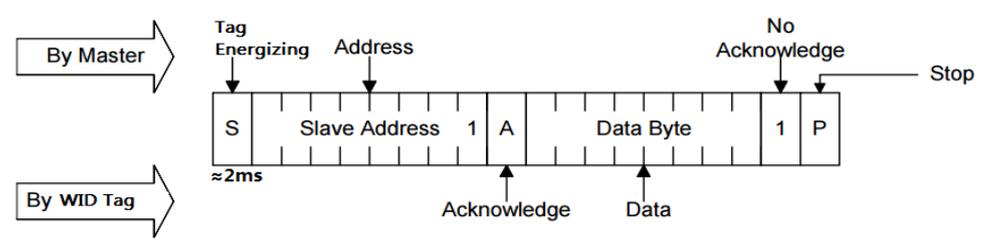


图 14: WID 存储识别技术时序示意图

如WID技术示意图（图13）所示，WID标签与主机之间仅需2条数据线连接（CLK/P线和DIO线），加上地线，只有三个引脚，甚至，基于WID标签工作电流仅为 μA 级的特性，还可以利用串接小容量安规电容（一般选用1nF/275Vac）的形式，将数据引脚直接并联在电源连接器的电源引脚上（即日常说的零/火线插脚）作载波接法，从而可进一步减少引脚数量。

据此，WID技术克服了常规有线被动识别和存储技术数据引脚数多而不能与常用的电源连接器连接的问题，能够方便地和常规电源连接器接合，基本不影响人们的使用习惯和现有连接器的总体结构，同时，由于WID技术是一种有线存储识别技术，只要读取装置和标签之

间无电气连接, 就无法读取信息, 因此不会出现 RFID 标签方案存在的标签交叉错误识别的现象。

综上所述, 笔者自主开发的 WID 存储识别技术能够很好地满足电源适配的现实需求, 因此 WID 存储方案可以作为构建具有获取用电端信息功能的物理环境的信息标签技术方案。

2. 实现“按需适配”所需的技术方案的评估和选择:

由于各种用电器功能、设计和结构上的差异, 用电端必然有多种规格、参数的电源需求, 为了实现“按需适配”技术要求中所含的“一对多适配”的技术目标, 本项目电源适配的供电端必须具备为不同用电端提供其所适用的电源的能力, 即电源按需适配的能力及其相应的物理环境。

2.1 高压交流类用电器电源适配技术方案的评估与选择。

由于高压交流类用电器直接使用市电 [115/220(230)V_{ac}, 50/60Hz] 即可工作, 通常不需要对电源的其他参数进行调整, 故电源适配只需具备电源的通断控制功能(检测到合乎规格的用电器时接通电源, 出现故障时断开电源即可), 不需要具备电源的电参数调整功能。

根据目前电子技术的发展情况, 完成高压交流电源的通断控制功能的器件主要有:

- ①电磁继电器。
- ②磁保持继电器。
- ③双向可控硅。

④ 共源极隔离触发式交流场效应管 (AC-MOSFET)。

由于高压交流电源适配中，交流电源通断控制的主要目的是根据其用电负载的识别结果接通/断开电源，或者在用电过程中发生危险时紧急切断电源，因此，选择的技术方案必须具备相当的载流能力（一般高压交流类用电器所用插座每个最大电流 5~10A）、通断速度快（一般要求 $\leq 20\text{ms}$ ）和关断后泄漏电流足够小（根据 IEC 相关标准，要求在 230Vac 时 $\leq 5\text{mA}$ ）的特性。据此，下面将根据上述技术要求，对四个待选技术方案的优劣分别进行评估并做出选择：

① 电磁继电器方案评估：

Coil Parameter								
Dash numbers	Coil voltage VDC		Coil resistance $\Omega \pm 10\%$	Pick up voltage VDC (max) (75% of rated voltage)	Release voltage VDC (min) (5% of rated voltage)	Coil power consumption W	Operate Time ms	Release Time ms
	Rated	Max						
003-200	3	3.9	45	2.25	0.15	0.20	< 8	< 5
005-200	5	6.5	125	3.75	0.25			
006-200	6	7.8	180	4.50	0.30			
009-200	9	11.7	405	6.75	0.45			
012-200	12	15.6	720	9.00	0.60			
018-200	18	23.4	1620	13.5	0.90			
024-200	24	31.2	2880	18.0	1.20			
003-450	3	3.9	20	2.25	0.15	0.45	< 8	< 5
005-450	5	6.5	56	3.75	0.25			
006-450	6	7.8	80	4.50	0.30			
009-450	9	11.7	180	6.75	0.45			
012-450	12	15.6	320	9.00	0.60			
018-450	18	23.4	720	13.5	0.90			
024-450	24	31.2	1280	18.0	1.20			

表 1: JZC-32F 小型电磁继电器相关参数

从表 1 中可以看到，常规电磁继电器（以 JZC-32F 型为例）的技术性能在载流能力、通断速度（见表中 Operate Time 项，小于 8ms）、泄漏电流（泄漏电流由于触点物理断开，可忽略不计）等技术性能方面均可以满足实际要求，同时在体积方面，已经有小到足以装进 86 型插座的供电端的继电器，因此，电磁继电器方案中的电磁继电器可以提供实现相关要求的物理条件，这样电磁继电器方案就可以作为高

压交流电源适配中完成电源通断控制的待选方案。

②磁保持继电器方案评估:

线圈参数						
额定线圈功率			单线圈: 约400mW 双线圈: 约600mW			
线圈规格表						23°C
单线圈						
额定电压 VDC	动作电压 VDC	脉冲宽度ms		复归电压 VDC	最大电压 VDC	线圈电阻 Ω
		典型值	最小值			
5	≤3.5	≥50	30	≤3.5	6	62×(1±10%)
6	≤4.2	≥50	30	≤4.2	7.2	90×(1±10%)
9	≤6.3	≥50	30	≤6.3	10.8	202×(1±10%)
12	≤8.4	≥50	30	≤8.4	14.4	360×(1±10%)
24	≤16.8	≥50	30	≤16.8	28.8	1440×(1±10%)
双线圈						
额定电压 VDC	动作电压 VDC	脉冲宽度ms		复归电压 VDC	最大电压 VDC	线圈电阻 Ω
		典型值	最小值			
5	≤3.5	≥50	30	≤3.5	7.5	42×(1±10%)
6	≤4.2	≥50	30	≤4.2	9	55×(1±10%)
9	≤6.3	≥50	30	≤6.3	13.5	135×(1±10%)
12	≤8.4	≥50	30	≤8.4	18	240×(1±10%)
24	≤16.8	≥50	30	≤16.8	36	886×(1±10%)

表 2 HF-115 型磁保持继电器相关参数

从表 2 中可以看到, 常规磁保持继电器 (以 HF-115 型为例) 的通断速度 (见表 A 中脉冲宽度项) 较慢 (最小 30ms), 体积也较大, 不便于集成在体积有限的供电端内部, 故磁保持继电器方案中的磁保持继电器不具备提供相关物理条件的性能, 也就是说磁保持继电器方案并不适合作为高压交流类用电器电源适配方案。

③双向可控硅方案评估:

STATIC CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.			UNIT
					...F	...G	...	
I_{GT}	Gate trigger current	BT136- $V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$			
		T2+ G+	-	5	35	25	50	mA
		T2+ G-	-	8	35	25	50	mA
		T2- G-	-	11	35	25	50	mA
I_L	Latching current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$						
		T2- G+	-	30	70	70	100	mA
		T2+ G+	-	7	20	20	30	mA
		T2+ G-	-	16	30	30	45	mA
I_H	Holding current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$						
		T2- G-	-	5	20	20	30	mA
V_T	On-state voltage	$I_T = 5\text{ A}$	-	1.4	1.70			V
		$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.7	1.5			V
V_{GT}	Gate trigger voltage	$V_D = 400\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A};$ $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	0.25	0.4	-			V
I_D	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)};$ $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.1	0.5			mA

表 3 BT136 型双向可控硅相关参数

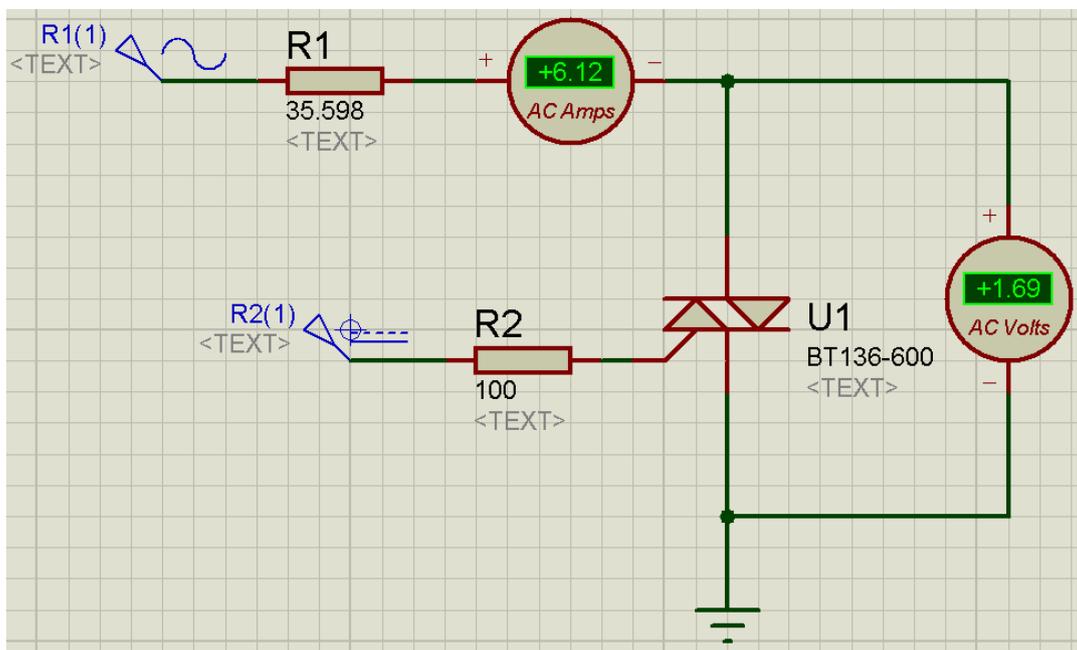


图 15 BT136 型双向可控硅控制 220V/1500W 阻性负载仿真实验

根据表 3、图 15 可知，常规双向可控闸流元件（以 BT136 型为例）的在载流能力、通断速度（根据可控硅在交流电过零时关断的原理，在交流电频率为 50Hz 时，约为 10ms）、泄漏电流（见表中 Off-state leakage current 项，为 0.1~0.5mA）等方面的技术性能是可以满足高压交流类用电器电源适配的技术要求的，但从上表中可以看到，由于双向可控硅结构上的原因，其导通时具有较大的 PN 结压降（见表中 On-state voltage 项，为 1.4~1.7V），这个 PN 结压降在负载电流流经会产生电能消耗而发热，这个发热有时还比较大，当这些发热发

生在体积较为狭小的供电端内部时很难散去, 发热量较大时则极易发生危险。

同时也不利于节能, 这可以通过简单的计算及仿真得到证明: 若采用双向可控硅作为交流电源通断控制元件的供电端连接常见的 220V/1500W 的电水壶, 计算得 $I = (P_{\text{负载}} \div U) \div \cos \Phi \approx 6.82\text{A}$, $P_{\text{损耗}} = I \times U_{\text{降}} (\text{取 } 1.7\text{V}) = 11.594\text{W}$ (如图 15 计算机仿真实验, 仿真结果也与计算结果几乎一致), 可见损耗在通断器件上的功率相当可观, 发热自然非常严重。可见双向可控硅方案也不是一个很合适的方案。

④ 共源极隔离触发式交流场效应管 (AC-MOSFET) 方案评估:

9. Electrical Characteristics (Unless otherwise specified, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

	Characteristics	Symbol	Note	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
LED	Input forward voltage	V_F		$I_F = 10 \text{ mA}$	1.1	1.27	1.4	V
	Input reverse current	I_R		$V_R = 5 \text{ V}$	—	—	10	μA
	Input capacitance	C_t		$V = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	—	50	—	pF
Detector	OFF-state current	I_{OFF}		$V_{\text{OFF}} = 60 \text{ V}$	—	—	1	μA
	Output capacitance	C_{OFF}		$V = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	—	10	—	pF

12. Switching Characteristics (Unless otherwise specified, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Characteristics	Symbol	Note	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Turn-on time	t_{ON}		See Fig. 12.1. $R_L = 200 \Omega, V_{\text{DD}} = 10 \text{ V}, I_F = 2 \text{ mA}$	—	1	5	ms
Turn-off time	t_{OFF}			—	1	5	

表 4, 5 TLP175 型 AC-MOSFET 相关参数

根据表 4、5 所示常规 AC-MOSFET (以 TLP175 型为例) 的技术参数可知, AC-MOSFET 在载流能力、通断速度 (见表中 Turn-on time 和 Turn-off time 项, 为 1~5ms)、泄漏电流 (见表中 Off-state current 项, 为 $1 \mu\text{A}$) 等技术性能上不但可以满足高压交流电源适配的技术要求, 而且各个技术指标明显优于第一个待选方案——电磁继电器的技术指标, 同时因为 AC-MOSFET 具备电磁继电器所没有的、良好的原

生隔离特性及较低的导通阻抗(即较低的损耗), 加上芯片级的微小体积, 故 AC-MOSFET 方案应该是作为高压交流电源适配最优的技术方案。

综上所述, 电磁继电器技术方案和 AC-MOSFET 技术方案均可以提供本项目对高压交流类用电器电源适配涉及到的交流电源的通断控制的相关技术要求的物理环境, 两个技术方案可以根据实际需要选用(电磁继电器方案一般仅用于体积要求不高, 但成本敏感的产品)。

2.2 低压直流类用电器电源适配物理方案的评估与选择

低压直流用电器, 由于其设计、电路原理和结构差异较大, 不同的低压直流用电器对电源参数的需求差异很大(常见的电子产品, 单电压一项就从 4.5V 到 24V 不等), 因此供电端必须具备提供范围内任意一种电参数(电压、电流)的直流电源的能力。根据目前电子技术的发展情况, 可以完成上述技术子目标的技术方案主要有:

- ①机械——电子式可调直流电源方案。
- ②数控开关可调直流电源方案。

测试项目及标准		可靠性项目及标准			
测试项目	测试内容及方法	试验项目	试验内容及方法	技术要求/标准	
输入特性	AC输入电压	充电器通电输入 100VAC/240VAC (国内标准), 测试 DC端电压, 电压应是5V±0.25V	5.0-5.4 常温老化试验	充电器通电带额定负载, 在环境温度 25±5°C的条件老化6小时	OK 满载工作6小时以后的外壳最大温升小于35摄氏度, 接上匹配手机完整充电中外壳最大温升要小于30摄氏度
	电压/频率	额定输入电压为AC220V, 允许输入电压范围为 100VAC/240VAC (国内标准). 频率为 47Hz-63Hz	OK 高温试验	充电器通电带额定负载, 储存温度为75°C±3°C, 持续实验时间为12小时	未测 外观完好, 电性能及安规性能合格
	输入电流 (满载时)	当输入交流电压AC220V/50Hz时, 最大输入电流应小于0.15A	OK 低温试验	充电器通电带额定负载, 储存温度为-20°C±3°C, 持续实验时间为12小时	未测 外观完好, 电性能及安规性能合格
	工作效率	在输入 100VAC/240VAC (国内标准) 范围内和输出500mA时, 工作效率 (输出功率/输入功率) ≥ 60%	OK 高温贮存	实验温度 70°C±2°C, 实验持续时间 48h, 结束后恢复两小时后测试	OK 外观完好, 电性能及安规性能合格
	浪涌电流	在冷开机的情况下, 当输入220V电压后10ms内, 最大浪涌电流小于25A	OK 低温贮存	实验温度-20°C±2°C, 实验持续时间 48h, 结束后恢复两小时后测试	OK 外观完好, 电性能及安规性能合格
	输入无负载能耗	无负载能耗小于300mW	OK 恒定湿热试验	实验温度 40°C±2°C, 相对湿度90-95%带电工作实验持续时间 48h	未测 外观完好, 电性能及安规性能合格
输出特性	额定输出电压	DC5.0V	OK 振动试验	频率为10-55Hz, 振幅为0.35mm, 分别在X, Y, Z三轴的每个方向上循环振动各5次周期, 实验后对外观进行检查, 并进行绝缘电阻、绝缘强度和指示功能及电性能进行重新测试	OK 外观应平整无划痕、毛刺以及其他机械损伤, 外露金属部分不应有锈蚀; 无击穿、飞弧现象; 绝缘电阻大于7MΩ; 指示功能及电性能正常
	输出电压/电流范围	电压 DC5.0V±0.25V 450mA 电流: ≥	OK 热插实验	将DC插头在旅行充电器的USB处进行插拔3000次。频率为200次/小时	未测 插拔结束后机械应无损坏, 将连接插头从插座中完全拔出所需的力最小不得小于8N
	输出纹波	≤200mV; 测试方法: 任何负载正常工作下, 使用示波器带宽为20MHz连接到充电器的输出端, 同时输出端并连一个104pF陶瓷电容和一个10V的电解电容	OK 拉力实验	1. 充电器输出插头与连接线以及充电器壳体与连接线以 10N 拉力拉动 2. 插头与插座之间进行插拔, 当插拔的速率不超过12.5mm/min时, 将插头完全插入插座所需的力最大不超过15N, 将插头从插座中完全拔出所需的力最小不得小于10N	国标 USB, 未与客户手机配件实测 连接可靠, 无松动或脱落且功能正常

表 6 电子信息产品电源适配器行业标准 (以 5V/500mA 手机充电器为例)

由于一般情况下供电端为插座形式, 而常用的插座一般都是 86 型插座 (86 型底盒内部空间为 60mm×60mm×20mm), 因此, 要求相应的直流电源调整装置具有较小的体积和较高的效率 (因为效率较低不仅不利于节能, 而且若发热较大则易发生危险), 同时, 由于直流电源调整的目的是为以电子信息产品为主的较为精密的直流用电器供应电源, 因此, 相应的技术方案还需满足电压精度和纹波的要求 (见表 6 行业标准要求, 纹波≤200mV, 电压精度±5%U_{额定}), 否则容易干扰用电器, 甚至造成部分用电器损坏, 根据这些标准或者要求, 下面对上述方案的技术性能进行综合评估:

①机械——电子式可调直流电源方案。

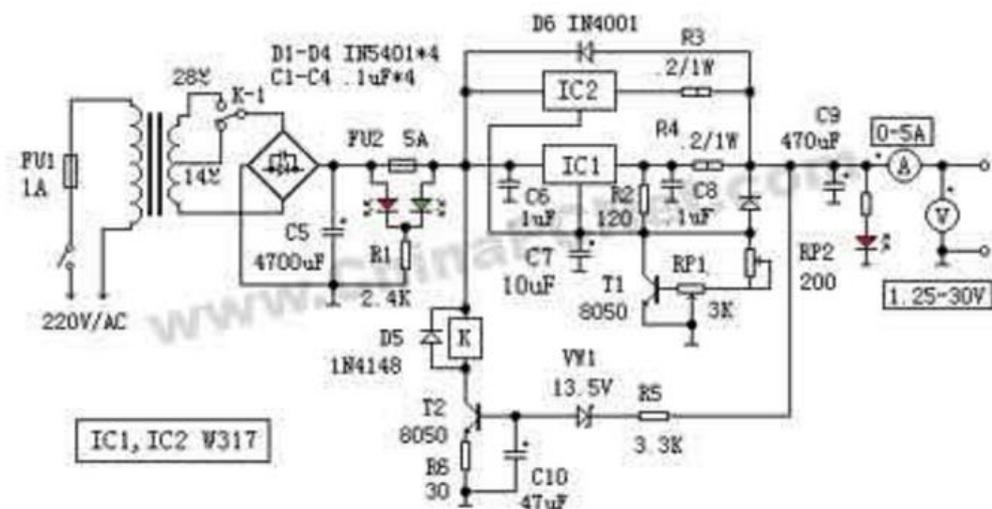


图 16 典型的机械—电子式可调直流稳压电源电气原理图



图 17 典型的机械—电子式可调直流稳压电源实物图

由图 17 可知，“机械—电子式可调直流稳压电源方案”是通过多抽头的工频变压器、机械触点和功率管完成电压/电流精密调整和稳定，实现电源调整功能的，属于一种线性稳定电源。一般情况下，线性稳定电源输出纹波极低（0.5~5mV 左右），完全可以满足电子信息产品等精密用电器对于电源纹波的要求，同时因为线性电源的输出精度取决于参考电压源的精度，以常见的具有 1%精度的 TL431A 型号为例，可以满足电子信息产品等精密用电器对于输出电压精度的要求，

但是，由于其涉及到的工频变压器体积、质量较大（见图 17），以 DC19V/90W 的普通笔记本电脑进行电源适配为例，相应的 100VA 的工频变压器（以体积较小的 NDK-100 型为例）的净体积已经达到 103mm×87mm×99mm 之大，这样的体积对于本项目的设计目标而言显然是不合适的，同时，由于线性稳定电源效率非常低，发热量巨大，需要复杂的散热装置（见图 24 中的散热片和散热风机），不能满足对于转换效率、发热量的要求，另外，这类方案涉及到继电器、电位器等机械触点，寿命比较有限。综上，这个技术方案显然不能达到本项目的技术要求。

②数控开关可调直流电源方案。

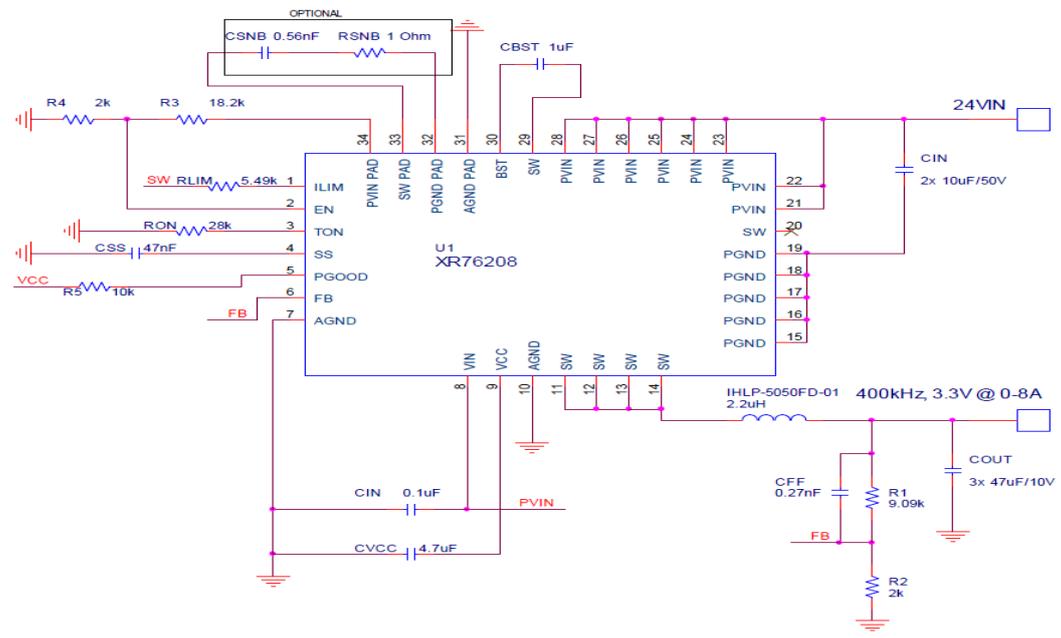


图 18 一种数控开关可调电源的电气原理图

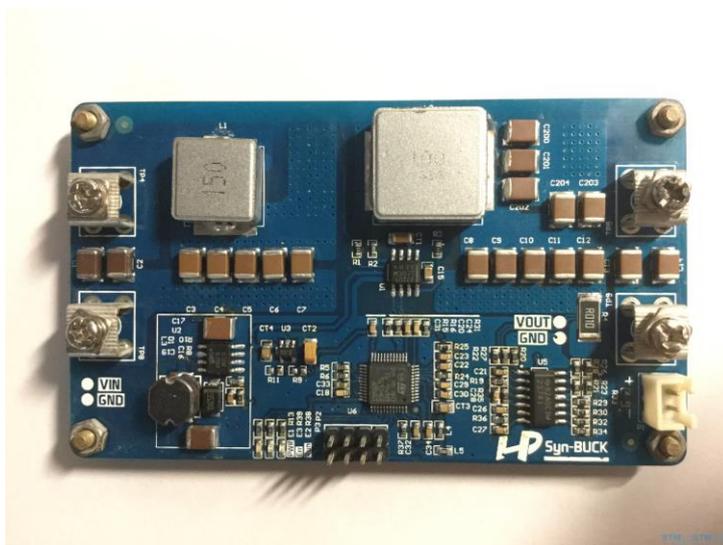


图 19 一种数控开关可调电源的实物图

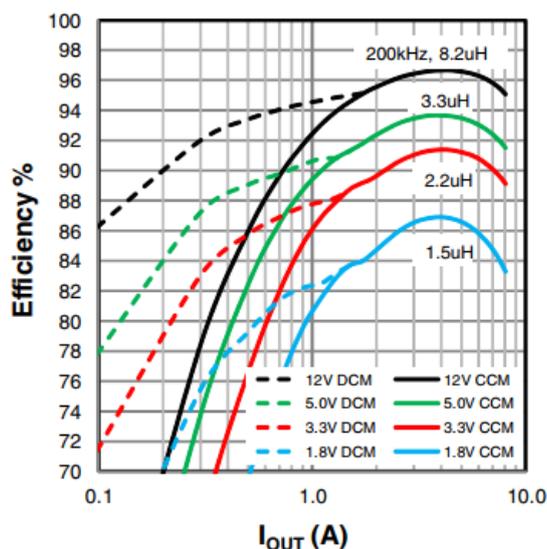


Figure 20: XR76208 efficiency, $V_{IN}=24V$

表 7 以 XR76208 为核心的数控电源典型效率图 摘自 XR76208 芯片数据手册

数控开关可调直流电源是一种利用微控制器和外围电路，根据给定和反馈的各项电参数，以非常高的频率（ $\geq 30\text{kHz}$ ），控制电力电子器件（MOSFET、IGBT 等）的导通占空比，从而输出不同规格/参数的稳定直流电源的电源调整装置。

如图 18 所示，目前数控开关可调直流电源一般采用集成度非常高的单片微控制器或 ASIC（Application Specific Integrated

Circuit, 专用集成电路) 构建, 外围元件小, 更不涉及到类似工频变压器等体积大、质量大的元器件, 可以容易的做到板级的微小体积(如图 19 所示), 符合“插座式”供电端对于体积的要求。

数控开关可调直流电源效率比较高, 以基于 STM32F3 系列微控制器为核心构成的数控开关可调电源为例, 其效率可达到 95% 以上, 节约能源, 同时发热量小(从图 19 可看的, 240W 输出功率的数控直流电源仅靠 PCB 上铜箔散热即可稳定工作), 可以满足技术方案对发热量的较为严苛的要求。

数控电源由于可通过软件引入 PID 算法、动态数据分析、AI (Artificial Intelligence, 人工智能) 处理等现代控制技术, 在同样元器件容差的情况下, 能提供比模拟电源(机—电式线性电源等)高得多的精度和低得多的纹波分量, 目前常规型号的数控电源普遍可达到 0.2~0.5% 的输出电参数精度和 30mV 以下的纹波, 可完全满足精密用电器对高电源精度和低纹波分量的技术要求。

最后, 数控电源还具备本项目所需要的实现“四遥”(遥控, 即远端过程调用、遥测, 即远端参数测量、遥信, 即向远端报警等、遥调, 即远端参数调试) 功能的物理环境, 从而为电源适配实现自动化运行创造了条件。

综上, 本项目优选数控开关可调直流电源方案作为低压直流用电器的电源适配的技术方案。

3、实现“按需保护”的技术方案评估和选择:

由于各种用电器设计和结构上的差异, 用电端必然具有不同的安

全工作区间（即我们常说的最高电压、最大电流等参数），为了保证电源适配过程中供、受电双方的安全运行，供电端必须具备自动根据不同用电端的实际情况和自身的安全工作区间整定触发安全装置参数的功能，即提供“**按需保护**”的能力。

根据生产生活的实际情况，和上文对目前电源适配存在的相关问题的分析，这里的安全保护技术方案必须至少满足如下几个要求：

①能涵盖电压、电流、功率等多种不同的电参数，对电源适配过程实现综合判断保护。

②满足目前电子类用电器特别是低功耗用电器对于电源适配和安全保护的精度、灵敏度需求（根据上文行业标准和相关数据，精度不低于 $\pm 5\%$ ，电流/功率灵敏度不低于 $5\text{mA}/25\text{mW}$ ）。

③满足易损坏的精密电子产品对于响应速度的要求（一般器件要求最恶劣的情况不大于 10ms ）。

④能实现趋势分析保护，即可以实现对预设阈值范围内各项电参数的变化状况和相关关系进行综合判断，实现对早期异常和复杂情况（例如锂电池充电时内层膜异常但尚未短路的险情）的安全处理。

⑤能方便地通过微控制器整定保护参数以适应不同的场景。

根据目前的电子信息技术发展水平，能满足上述要求的具体技术方案主要有如下二种，即：纯模拟电路保护技术方案和数字化保护技术方案。下面分别对这两个方案进行分析评估：

3.1 纯模拟电路保护技术方案评估：

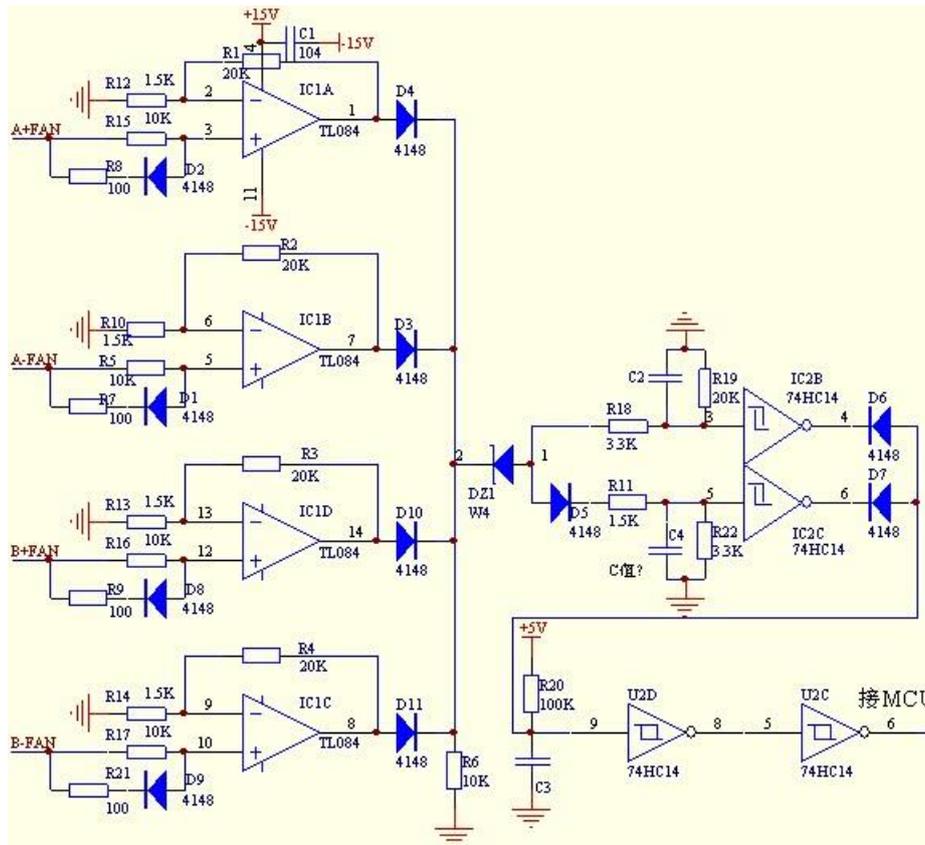


图 21 一种纯模拟电路电压、电流综合保护电气原理图

如图 21 所示，纯模拟电路保护主要是利用运算放大器等模拟器件直接对采样部分送来的反映电参数的连续信号进行比较，再通过逻辑器件（门电路、继电器等）进行逻辑判断最终实现故障保护的。这种技术方案具有如下特性：

首先，纯模拟电路保护技术方案是一种“一参数一电路”的方案：

所谓“一参数一电路”的方案，就是说在这个方案中，每实现针对一种电参数的保护，就需要一套独立的子电路（如图 21 中对电压和电流分别有一套独立的比较、判断电路），若要实现上文要求的多参数、多角度综合安全保护，保护部分的电路必然十分复杂（按图 21 所示的模式，若需要 5 个电参数指标，电路元件数目将达到 100 个左右），集成度很低，体积将变得很大，不能满足“插座式”供电端对体积的

要求。

其次，纯模拟电路保护技术方案是一种“固定参数”方案：

所谓“固定参数”方案意思是说纯模拟电路的各项保护参数一般在电路设计的时候已经固定，如果要修改的话，就必须通过更换其中的电子元件才能做到，虽然目前也有所谓数控电阻、数控电容等元件，但是，这样的元器件不但一般体积较大，而且要将其与微控制器连接才能调整，这样的技术要求显然不符合上述技术方案关于体积小的标准。

最后，纯模拟电路保护技术方案是一种“机械保护”方案：

由于纯模拟式保护方案没有数据采集、处理和通讯的技术性能，因此不可能具有数据分析的能力，这就意味着这个方案不能实现本项目要求的趋势分析保护（需要通过电路复杂的积分器、斜率发生器等），更难以实现对复杂情况的综合安全处理。综上，纯模拟电路不能作为实现“按需保护”的技术方案。

3.2 数字化保护技术方案评估：

DAQ BLOCK DIAGRAM

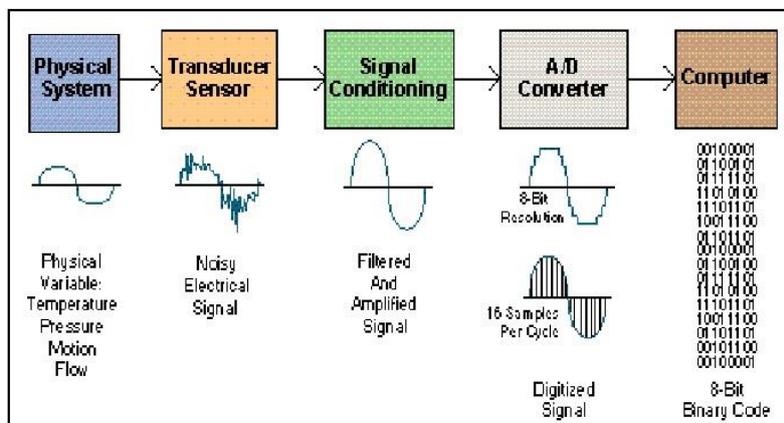


图 22 数字化保护技术方案的结构模式图

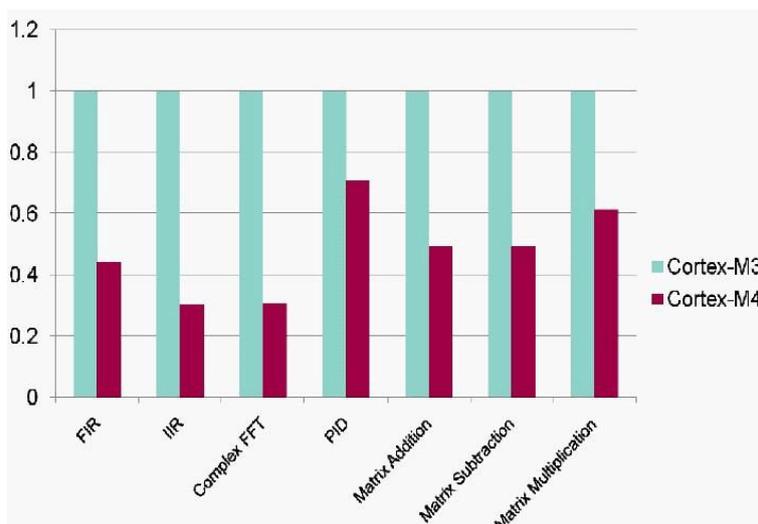


图 23 两种 ARM 架构的微控制器执行工控常见算法的耗时，单位为机器周期

如图 22 所示，数字化保护技术方案是利用 ADC(Analog to Digital Converter, 模拟到数字转换器)装置，将采样部分送来的反映电参数的连续信号转换为微控制器/微型计算机可以识读的离散信号，再通过微控制器/微型计算机上运行的计算机程序对离散信号进行处理、判断、分析，得出系统状态，进而实现故障保护的一个技术方案，这个方案具有如下几个技术特征：

其一：数字化保护技术方案是一个“小微化”方案：由于目前数

数字化保护涉及到的 ADC、微控制器均采用集成度很高的 SoC (System on Chip, 单片系统) 实现, 因此, 整个保护装置可以轻易实现板级甚至芯片级的微小体积, 完全可以满足本项目对保护装置体积的要求。

其二: 数字化保护技术方案是一个“智能化”方案: 由于整个保护装置的各项安全保护是通过软件程序实现的, 基于软件的可编程性质, 这样的保护装置可以非常方便地由软件重新整定保护参数, 同时, 由于这个保护装置是以具有数据处理能力的微控制器为核心构建的, 因此, 这个保护装置就具备了实现趋势分析保护甚至多参数动态数据分析保护的基本条件, 完全满足上述基本要求④和⑤的要求。

其三: 数字化保护技术方案是一个“多参数识别”的方案: 由于数字化保护方案对保护对象的电参数采集是通过向 ADC 输入来实现的, 因此只要选用多通道的 ADC 芯片或是增加一片体积很小的模拟复用器 IC, 就可以实现多种电参数采集和识别的要求, 为供电端自动根据不同用电端的实际情况和自身的安全工作区间整定触发安全装置参数, 即提供“按需保护”提供物理基础。

最后, 数字化保护技术方案是一个“快速反应”方案: 当下随着 ARM (Advanced RISC Microcontroller, 高级精简指令集单片机) 等技术的发展和普及, 微控制器处理数据的能力有了极大的提升, 可以在数个机器周期 (约 $50 \sim 100\text{ns}$) 内完成数字化安全保护涉及到的数据处理 (见图 23), 完全满足本项目对响应时间的要求。

综上, 本项目优选微控制器为基础的数字化保护技术方案作为实现“按需保护”的技术方案。

(三)、供用电通讯协议的设计和评估

根据本项目的总体设计思想,要实现上文所述的三个基本功能要素,即特征识别、按需适配和按需保护,以及其他各项技术要求,供受电双方必须建立沟通、识别关系,也就是建立通讯关系。由于这种关系本质上是一种电子通信关系,因此与其他场合应用的电子通信一样,需要一个有效的通信协议,才能实现。

下面就根据上述的技术需求分析,对这样一个协议进行设计和评估。

1. 供用电通讯协议的拓扑架构评估与选择

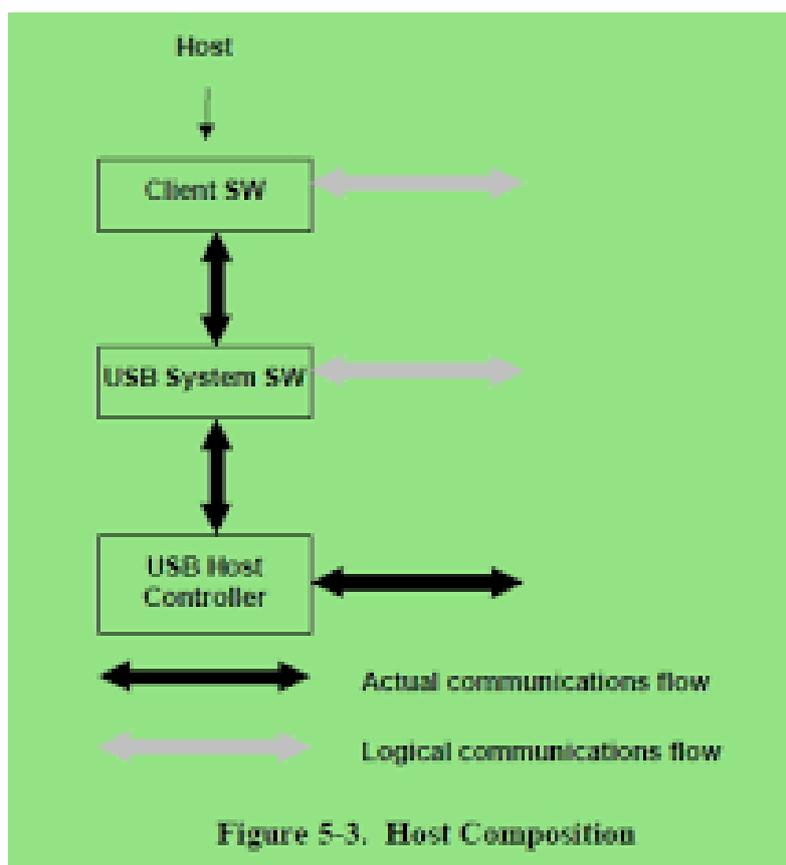


图 24 USB 协议通信协议拓扑图, 1 个主机只能连接 1 个从机

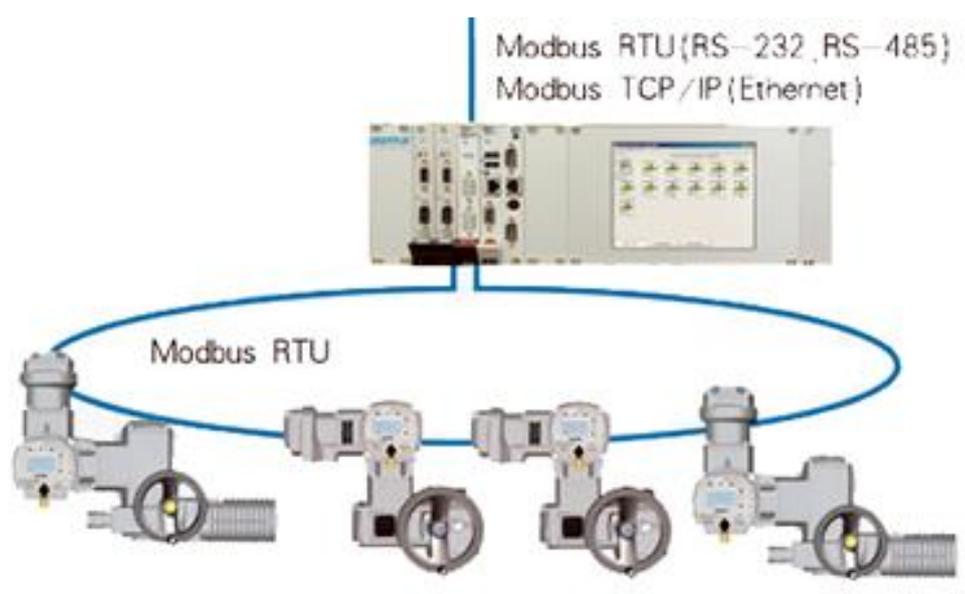


图 25 Modbus-RTU 通信协议拓扑图，1 个主机可以连接 1 个或多个从机

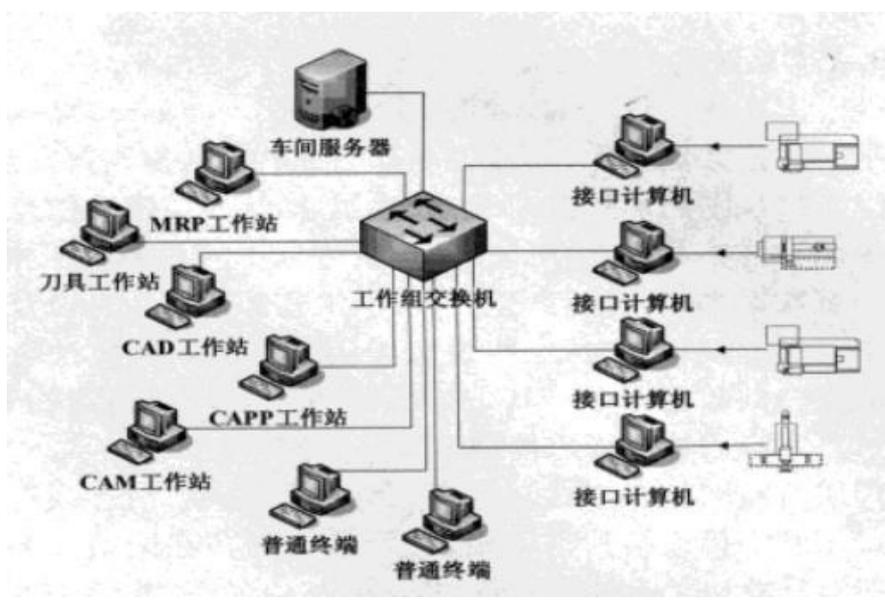


图 26 以太网协议拓扑图，没有明显主从机关系

如图 24, 25 和 26 所示，常见的通信协议拓扑结构有一主一从拓扑（一个通信网络里面有且只有 1 个主机和 1 个从机，典型的有 USB 协议）、一主多从拓扑（一个通信网络里面有且只有 1 个主机和 1 个或以上的从机，典型的有 Modbus-RTU 协议）和多主多从/互为主从拓扑（一个通信网络里面有 2 个或以上的设备，且每个设备均可作为主机或从机，典型的有以太网<100BASE-T>协议）等。



图 27 电源适配中，一个供电端同一时刻只能为一个用电端提供电源

本项目所涉供受电端通讯协议的目的是构建供电端和用电端之间的交互沟通。根据实际情况，1 个供电端（一个供电装置上如安装有多个插座，例如插座板，被视为多个供电端）在同一时刻只能连接 1 个用电端（用电器），相应的，本项目所需要的通信就仅涉及到 2 个主体，即供电端和连接的 1 个用电端，因此，本项目的通信就是 1 个主机与 1 个从机之间的通信，因此一主一从的拓扑架构比较符合本项目所涉通讯协议的拓扑架构，在这个架构中，供电端作为主机，用电端安装的 WID 存储识别标签则作为从机。

2. 供用电通信协议的交互模式选择：

常见的通信协议主/从机交互模式分从机主动上报模式（如大部分主动 RFID 协议）、对等通信模式（如以太网协议）和从机被动响应模式（如大部分被动 RFID 协议），这主要根据通信协议依托的物理媒介和实时性等因素进行选用。

根据上面的分析选择，本项目通信协议依托的物理媒介——WID 标签是一种无源被动式存储识别方案，在这种方案里，作为从机的 WID 存储识别标签只能依靠主机对它的事先充电才能开始工作及执行读/写操作，因此在本项目的技术方案下，供受电端的通信只能选用

从机被动响应的工作模式。在实现时序上，第一步由主机对从机（WID 标签）充电储能，第二步主机读取 UID 确认 WID 标签合法性，第三步读取内部存储的相关信息，最后主机根据存储的信息解析用电端参数，实现各项功能。

3. 供用电通信协议的数据内容和格式设计与评估：

供、用电端通信的目的是使供电端能“了解”用电端的实际情况，因此，必须设计科学合理的数据内容和结构，以及一定的通信协议，使各种类型的用电端可将自身的用电、安全参数描述成标准统一、容易解析的格式，供电端在读取相应数据以后，能准确地复现用电端的电气模型，从而正确实现按需供电和按需保护，且还应该具有一定扩展性。根据本项目的技术要求，供用电通信协议的数据内容和格式包含如下若干部分：

（1）用电端身份识别部分：

为实现上文所述的用电端身份识别、用电权限管理功能，供电端必须能够区别即使是结构完全一样的不同用电端，故数据内容必须包含用电端识别部分，根据目前的信息技术，此类识别通常通过不可重用的 UID 实现。综合考虑到电气产品（即所有用电器）的更新速度、人口和生产力等因素，以目前全球 6×10^9 人，平均每人 10 件用电器（含淘汰弃用的）计算，当前用电器总量约 6×10^{10} 件，考虑到用电器数量的增长，UID 的容量必须比当前用电器总量大 3 个数量级，即 10^{13} 数量级。

从设计简便的角度考虑，身份识别部分 UID 直接使用通信介质一

—WID 标签内置的光刻 96 位(二进制)UID 作为用电端 UID, 由此可以计算出总容量 $C=2^{96}-1 \approx 10^{28.8989}$ 个, 比所需容量大约 15.9 个数量级, 完全满足需求, 且具有相当大的可扩展性, 由于 WID 标签的 UID 为光刻技术生产, 一旦刻录, 几乎不可能通过通常的技术手段更改, 具有较高的安全性。

综上, 供用电通信协议用电端身份识别部分采用 WID 标签内置的 96 位光刻 UID, 共 96 个二进制位, 分为 12 个字节, 最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First), 最高有效字节 (MSB) 在先 (MSB First) 的数据内容。

(2) 用电端友好名称 (面向用户名称) 部分:

友好名称是面向用户的一种显示手段, 实质是通过二进制信息转换或关联到自然语言型号 (即生产生活中常说的“型号”, 如一种手机的型号为 iPhone6s, 即为自然型号) 甚至是对应的产品图像, 以方便用户识别、管理自己产品的一种技术手段。

本项目为实现用户可以通过上位机操作界面 (计算机 GUI 界面/移动设备 APP/WEB 网页等) 方便地查询、管理自己的用电器, 生产厂商的管理、追溯和后续其他应用扩展的需求, 在通信协议中加入用电端友好名称内容。友好名称关联手段主要考虑目前产品的种类, 因为一般情况下, 每一种型号的产品需要提供一个关联。

综上, 结合通信媒介技术细节考虑, 用电端识别通信协议友好名称部分采用 32 二进制位的 FNID (Friendly Name Identification, 友好名称 ID), 分为 4 个字节, 最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First), 最高有效字节 (MSB) 在先 (MSB First), 由依托作者自主开发的 ONRUN 平

台运行的 FNID 数据库提供对产品型号等信息的关联, 提供的产品信息关联数理论上为 $2^{32}-1$ 个, 完全可以满足目前电子产品的种类需求。

(3) 用电端电源需求描述部分:

由于不同的用电端对电源参数有不同的需求, 即通常所说的额定电压、额定电流等, 因此, 用电端必须可以通过通信协议向供电端声明自身的用电参数, 供电端才能根据参数供应对应的电源实现按需适配功能, 并根据参数计算、整定保护部分的保护参数实现按需保护的功能。

根据电子学的相关知识和生产生活实际情况, 用电端对电源的需求主要可归类为五种基本参数, ①**电流种类**, 即直流电源或对应频率的交流电源; ②**电源相位**; ③**电压**, 即直流电压或交流电压有效值; 一种附加参数: ④**附加电描述参数**: ④-1 最大电流, 即最大直流电流或最大交流电流有效值; ④-2 最大功率, 即直流功率或交流有功功率; ④-3 最大电流斜率; ④-4 最大功率斜率; ⑤**供电过程描述参数**: ⑤-1 最大单次供电能量; ⑤-2 最大单次供电时长;

本通信协议对 4 种基本参数分别描述:

①**电流种类描述部分:**

参照 IEC60038:2002 的标准和事实标准, 生产生活中用电器使用的电流种类有直流、50Hz 交流、60Hz 交流、400Hz 交流、50 或 60Hz 交流、45~65Hz 交流、45~440Hz 交流。电流种类描述部分为 1 个最高有效位 (MSB) 在先 (MSB First) 的字节, 该数据内容设计及对应电源适配范围见表 8:

数值 (HEX)	含义	适配的电流种类, 额定值	用电器举例
0x00	直流	直流	笔记本电脑
0x01	50Hz 交流	50Hz 交流	50Hz 异步电动机
0x02	60Hz 交流	60Hz 交流	60Hz 异步电动机
0x03	400Hz 交流	400Hz 交流	400Hz 异步电动机
0x04	50/60Hz 交流	50Hz 交流、60Hz 交流	工频变压器、串励电动机
0x05	45~65Hz 交流	50Hz 交流、60Hz 交流、非稳频交流 (标称值 47~63Hz)	钨丝灯、装置 PFC 的开关电源
0x06	45~440Hz 交流	50Hz 交流、60Hz 交流、400Hz 交流	非 PFC 开关电源

表 8 电流种类描述部分定义

②电源相位描述部分:

参照 IEC60038:2002 的标准和事实标准, 生产生活中用电器使用的电源相位有直流、单相、双相 (常见于 120/240Vac 系统)、三相 (常见于 220/380Vac 系统), 由于本项目设计的电源适配方案主要针对“家用和类似用途的末端小功率 ($\leq 230\text{Vac}$, 16A) 用电器”, 电源相位只设计直流、单相、双相。电流种类描述部为 1 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 该数据内容设计及对应电源适配范围见下表:

数值 (HEX)	含义	适配的电源相位种类	用电器举例
0x00	直流	直流	笔记本电脑
0x01	单相	单相交流	台灯
0x02	双相	单相交流、双相交流	功率较大的空调、电暖器

表 9 电流相位描述部分定义

③电压描述部分:

参照 IEC60038:2002 的标准和事实标准, 生产生活中用电器使用的交流电源电压和直流电源电压如表 10、表 11: (交流电压均为交流有效值):

表 A.1 标称电压 100 V 与 1 000 V 之间的交流系统及其相关设备 单位为伏(V)

三相四线或三相三线系统		单相三线系统
标称电压		标称电压
50 Hz	60 Hz	60 Hz
—	120/208	120/240
—	240	—
230/400*	277/480	—
400/690*	480	—
—	347/600	—
1 000	600	—

表 10: IEC0038:2002 中的常用交流电压, 其中单相三线系统即双相系统

标称值(D. C)

优选值	增补值
	2.4
	3
	4
	4.5
	5
6	
	7.5
	9
12	
	15
24	
	30
36	
	40
48	

表 11 IEC0038:2002 中的部分直流电压

由于本项目设计的电源适配方案主要针对“家用和类似用途的末端小功率 ($\leq 230V_{ac}$, 16A) 用电器”, 单相和双相电源相位, 故交流电压标准只设计 100V、110(120)V、220(230)V、240V 四种。低压直流电源的适配对象主要为可移动式小功率直流用电器, 如笔记本电脑、手机、电池充电器等, 根据目前行业的事实标准和手持设备安全需求 (一般安全特低电压不超过 36Vdc), 常见低压直流用电器的电压范围一般为 4.2~24Vdc, 无固定电压分档。综合考虑扩展性、实现难度和成本等因素, 低压直流电压设计 3~30Vdc 无分档, 0.1V 为步进的电压标准, 基本上能满足绝大部分直流用电器的电源需求。

根据选择的交流和直流电压标准设计电压描述部分, 电压描述部分为

2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计及对应电源适配范围见表 12 和表 13:

字节序号	含义	范围 (HEX)	简记符号
0	电压数值 (单位为 0.1V) 高 8 位数据	0x00~0xFF	UH
1	电压数值 (单位为 0.1V) 低 8 位数据	0x00~0xFF	UL

适配电压值 $U=(UH*256+UL)*0.1$, 单位为 V, 直流或交流有效值, UH 和 UL 全部为 0xFF, 表明适配 100~240Vac 电压。

表 12 电压描述部分定义

UH, HEX	UL, HEX	U, Vac/Vdc	适配的电源电压额定值, V	容差
0x03	0xE8	100	100Vac	±10%
0x04	0x4C	110	110/120Vac	±10%
0x08	0x98	220	220/230Vac	±10%
0x09	0x60	240	240Vac	±10%
0xFF	0xFF	-	100/110/120/220/230/240Vac	±10%
0x00~01	0x1E~FF	3~30	3~30Vdc, 0.1V 步进	±5%

表 13 电压描述定义适配的电源范围

④附加电参数描述部分:

为实现对不同用电器的按需对等安全保护、拒止超出供电端供电能力的超范围用电器连接, 供电端需要取得除用电器的电源电压外, 用电器正常状态下的电流、功率等电参数, 用以判断用电端的最大电源需求并整定安全保护参数, 因此, 必须设计用电端电参数描述部分, 附加电参数描述部分设计为如下几个部分:

④-1 最大额定电流描述部分:

最大额定电流描述 0~16000mA (16A), 一般不可使用超出该范围的电流值。最大额定电流描述部分为 2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 14:

字节序号	含义	范围 (HEX)	简记符号
0	电流数值 (单位为 1mA) 高 8 位数据	0x00~0x3E	IMH
1	电流数值 (单位为 1mA) 低 8 位数据	0x00~0xFF	IML
最大额定电流值 $I = (IMH * 256 + IML) * 0.001$, 单位为 A, 直流或交流有效值			

表 14 最大额定电流描述部分定义

④-2 最大额定功率描述部分:

最大额定功率描述 0~2000.0W, 一般不可使用超出该范围的功率值。最大额定功率描述部分为 2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 15:

字节序号	含义	范围 (HEX)	简记符号
0	功率数值 (单位为 0.1W) 高 8 位数据	0x00~0x3E	PMH
1	功率数值 (单位为 0.1W) 低 8 位数据	0x00~0xFF	PML
最大额定功率值 $I = (PMH * 256 + PML) * 0.1$, 单位为 W, 直流或交流有功功率			

表 15 最大额定功率描述部分定义

④-3 最大电流斜率描述部分:

最大电流斜率指的是单位时间内的电流变化量, 也可以通俗地理解为电流的变化速率, 即 $I_s = \Delta I / \Delta t$, 一般为 A/s (安培每秒), 电流斜率保护对于对电流变化速度敏感的用电器 (例如电池充电器) 可以提供更为全面的基于趋势的保护。最大电流斜率描述范围 0~655.35A/s, 最大电流斜率描述部分为 2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 16:

字节序号	含义	范围 (HEX)	简记符号
0	电流斜率数值 (单位为 0.01A/s) 高 8 位数据	0x00~0xFF	ISMH
1	电流斜率数值 (单位为 0.01A/s) 低 8 位数据	0x00~0xFF	ISML
最大电流斜率 $ISM = (ISMH * 256 + ISML) * 0.01$, 单位为 A/s, 电流为交流电流平均有效值或直流电流, 实际供电端的采样周期一般为 10ms			

表 16 用电端识别通信协议最大电流斜率描述部分定义

④-4 最大功率斜率描述部分:

最大功率斜率指的是单位时间内功率的变化量, 也可以通俗地理解为功率的变化速率, 即 $P_s = \Delta P / \Delta t$, 一般为 W/s (瓦特每秒), 功率斜率保护对于对功率变化速度敏感的用电器 (例如精密电子产品) 可以提供更为全面的基于趋势的保护。最大功率斜率描述范围 $0 \sim 6553.5 \text{ W/s}$, 最大功率斜率描述部分为 2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 17:

字节序号	含义	范围 (HEX)	简记符号
0	功率斜率数值 (单位为 0.1W/s) 高 8 位数据	0x00~0xFF	PSMH
1	功率斜率数值 (单位为 0.1W/s) 低 8 位数据	0x00~0xFF	PSML
最大功率斜率 $PSM = (PSMH * 256 + PSML) * 0.1$, 单位为 W/s, 功率为交流平均有功功率或直流功率, 实际供电端的采样周期一般为 10ms			

表 17 用电端识别通信协议最大功率斜率描述部分定义

⑤ 供电过程参数描述

⑤-1 最大单次供电能量描述部分:

单次供电最大能量指的是用电端每次连接供电端起至脱离供电端止可获取的最大电能量 (即供电端输出的电功), 单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$ 。这对于“储能型”用电器 (如电池充电器) 和不能长时间连续工作的用电器 (例如为短时工作设计的果汁机) 等可以提供有效的安全保护, 防止因为使用完毕后未及时切断电源带来的过充电、过热等安全隐患或其他原因导致的电能消耗过多的异常等, 同时也起到节能的效果。考虑到人们的使用习惯和常规用电器的工作特性、电池容量等, 最大单次供电能量描述范围 $0 \sim 6500.0 \text{ W} \cdot \text{h}$, 也可以进行不限能量供电。用电端识别通信协议最大单次供电能量描述部分为 2 个最高有效位

(MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 18:

字节序号	含义	范围 (十六进制)	简记符号
0	能量数值(单位为 0.1W·h) 高 8 位数据	0x00~0xE8	SEMH
1	能量数值(单位为 0.1W·h) 低 8 位数据	0x00~0xFF	SEML
最大单次供电能量=(SEMH*256+SEML)*0.1, 单位为 W·h, 能量为正向有功能量, 字节 0 和字节 1 均为 0xFF 为不限制能量供电			

表 18, 用电端识别通信协议最大单次供电能量描述部分定义

⑤-2 最大单次供电时长描述部分:

单次供电最大时长指的是用电端每次接通电源后, 持续供电的最长时间, 单位为分钟。这对于“储能型”用电器(如电池充电器)和不能长时间连续工作的用电器(例如为短时工作设计的果汁机)等可以提供有效的安全保护, 防止因为使用完毕后未及时切断电源带来的过充电、过热等安全隐患, 同时起到节能的效果。考虑到人们的使用习惯和常规用电器的工作特性、充电时间等, 最大单次供电时长描述范围 0~6500.0min, 也可以进行不限时长供电。用电端识别通信协议最大单次供电时长描述部分为 2 个最高有效位 (MSb) 在先 (MSb First) 的字节, 数据内容设计见表 19:

字节序号	含义	范围 (十六进制)	简记符号
0	时长数值 (单位为 0.1min) 高 8 位数据	0x00~0xE8	STMH
1	时长数值 (单位为 0.1min) 低 8 位数据	0x00~0xFF	STML
最大单次供电时长=(STMH*256+STML)*0.1, 单位为 min, 字节 0 和字节 1 均为 0xFF 为不限制时长供电			

表 19, 用电端识别通信协议最大单次供电时长描述部分定义

(4) 数据校验部分:

供受电双方建立的沟通、识别关系本质上是一种电子通信关系,

与其他场合应用的电子通信一样，在实际应用中可能会因各类软、硬件错误和（或）环境干扰等因素导致通信出现错误，使供电端读取到错误的信息，进而直接导致电源适配、按需保护等后续流程中的异常，甚至因此引发危险，为保证在实际应用过程中的可靠性，必须设计数据校验部分。数据校验有多种具体的技术方案（校验算法），如 CRC32 校验、奇偶校验、MD5 校验等，主要根据校验可靠性、校验速度及通信依托的媒介可能发生的错误类型来选择。

常用CRC（按照ITU-IEEE规范） [编辑]

名称	多项式
CRC-1	$x + 1$ (用途: 硬件, 也称为奇偶校验位)
CRC-5-CCITT	$x^5 + x^3 + x + 1$ (ITU G.704标准)
CRC-5-USB	$x^5 + x^2 + 1$ (用途: USB信令包)
CRC-7	$x^7 + x^3 + 1$ (用途: 通信系统)
CRC-8-ATM	$x^8 + x^2 + x + 1$ (用途: ATM HEC, PMBUS (参见SMBUS org[1]))
CRC-8-CCITT	$x^8 + x^7 + x^3 + x^2 + 1$ (用途: 1-Wire 总线)
CRC-8-Dallas/Maxim	$x^8 + x^5 + x^4 + 1$ (用途: 1-Wire bus)
CRC-8	$x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$
CRC-10	$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$
CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$ (用途: 通信系统)
CRC-16-Fletcher	参见Fletcher's checksum
CRC-16-CCITT	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ (X25, V.41, Bluetooth, PPP, IrDA)

表 20: 维基百科中显示的部分使用 CRC 算法进行校验的通信应用

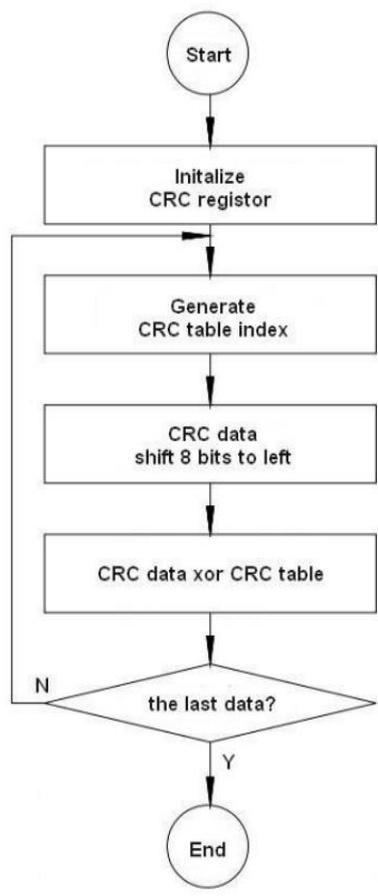


图 3-2: 表查找实现

图 28: 典型 CRC32 校验算法实现示意图

由于本项目的用电端识别通信协议依托的物理媒介是 WID 标签和
高性能微控制器, WID 标签和大部分型号的微控制器(例如 STM32Fx
系列) 都具有硬件 CRC32 校验单元, 只需简单指令操作即可完成校验
操作, 软件编程复杂度低, 速度也非常快, 因此用电端识别通信协议
选用 CRC32 校验算法较为经济合理。

根据相关技术资料(富士公司的 MCU-AN-500032-Z-10. pdf),
CRC32 校验算法的错误检出率达 99.9999%, 发生通信错误而不能检出的
概率仅为 0.0001%, 能满足绝大部分场景对于可靠性的要求。最后,
根据相关资料, 目前各种 CRC 算法已经非常成功地应用于多种需要检
验数据正确性的场景(见表 20), 具有极高的可实现性。

综上, 本项目用电端识别通信协议数据校验部分选用 CRC32 校验算法。结合常见微控制器的实际情况, 本项目数据校验部分算法设计和数据内容设计如表 21、表 22 所示。

项目	值/方法
多项式值 (十六进制)	0x04C11DB7
初始值 (十六进制)	0xFFFFFFFF
异或值 (十六进制)	0x00000000
不足 4 字节/32 位填充值	0xFF
填充方法	最后一个字节后填充
数据反转方法	最高有效位在先 (MSB First)
结果输出方法	最高有效位在先 (MSB First)

表 21: 用电端识别通信协议 CRC32 校验算法参数表

字节序号	定义	范围 (十六进制)
0	所有非校验部分数据 CRC32 结果 32~25 位	0x00~0xFF
1	所有非校验部分数据 CRC32 结果 24~17 位	0x00~0xFF
2	所有非校验部分数据 CRC32 结果 16~9 位	0x00~0xFF
3	所有非校验部分数据 CRC32 结果 8~1 位	0x00~0xFF

表 22: 用电端识别通信协议数据校验部分数据内容定义

(5) 供用电通信协议数据包格式设计

综合上述各数据内容部分的评估和设计分析, 合并上述各项, 根据一定的顺序和方法本项目设计用电端识别通讯协议的数据包格式, 设计内容如表 23:

字节偏移量	定义	值域 (HEX)	作用域
0	用电端 UID 96~89 位	0x00~0xFF	用电端全球唯一 ID (UID)
1	用电端 UID 88~81 位	0x00~0xFF	
2	用电端 UID 80~73 位	0x00~0xFF	
3	用电端 UID 72~65 位	0x00~0xFF	
4	用电端 UID 64~57 位	0x00~0xFF	
5	用电端 UID 56~49 位	0x00~0xFF	
6	用电端 UID 48~41 位	0x00~0xFF	
7	用电端 UID 40~33 位	0x00~0xFF	
8	用电端 UID 32~25 位	0x00~0xFF	

9	用电端 UID 24~17 位	0x00~0xFF	友好名称 ID (FNID)
10	用电端 UID 16~9 位	0x00~0xFF	
11	用电端 UID 8~1 位	0x00~0xFF	
12	用电端 FNID 32~25 位	0x00~0xFF	
13	用电端 FNID 24~17 位	0x00~0xFF	
14	用电端 FNID 16~9 位	0x00~0xFF	需求电流种类描述
15	用电端 FNID 8~1 位	0x00~0xFF	
16	用电端电流类型描述字节	0x00~0x06	需求电源相位种类描述
17	用电端电源相位描述字节	0x00~0x02	
18	电压数值 (单位为 0.1V) 高 8 位数据	0x00~0xFF	需求电压描述
19	电压数值 (单位为 0.1V) 低 8 位数据	0x00~0xFF	
20	电流数值 (单位为 1mA) 高 8 位数据	0x00~0x3E	最大额定电流描述
21	电流数值 (单位为 1mA) 低 8 位数据	0x00~0xFF	
22	功率数值 (单位为 0.1W) 高 8 位数据	0x00~0x40	最大额定功率描述
23	功率数值 (单位为 0.1W) 低 8 位数据	0x00~0xFF	
24	电流斜率数值 (单位为 0.01A/s) 高 8 位数据	0x00~0xFF	最大电流斜率描述
25	电流斜率数值 (单位为 0.01A/s) 低 8 位数据	0x00~0xFF	
26	功率斜率数值 (单位为 0.1W/s) 高 8 位数据	0x00~0xFF	最大功率斜率描述
27	功率斜率数值 (单位为 0.1W/s) 低 8 位数据	0x00~0xFF	
28	能量数值 (单位为 0.1W·h) 高 8 位数据	0x00~0xE8 / 0xFF	最大单次供电能量
29	能量数值 (单位为 0.1W·h) 低 8 位数据	0x00~0xFF / 0xFF	
30	时长数值 (单位为 0.1min) 高 8 位数据	0x00~0xE8 / 0xFF	最大单次供电时长
31	时长数值 (单位为 0.1min) 低 8 位数据	0x00~0xFF / 0xFF	
32	用电端连接 (Attached) 检测字节	0xAA	用电端插入检测
33~43	保留待用	0xFF	暂无
44	CRC32 结果 32~25 位	0x00~0xFF	数据校验
45	CRC32 结果 24~17 位	0x00~0xFF	
46	CRC32 结果 16~9 位	0x00~0xFF	
47	CRC32 结果 8~1 位	0x00~0xFF	

表 23: 用电端识别通信协议数据校验部分数据内容定义

按照表 23 设计的格式, 用电端识别通信协议数据包共 48 字节, 均直接(非压缩地)存储在用电端插头部分的 WID 标签内。以常见的 WID 标签芯片型号 WFM-0304 为例, 可用存储空间为 4096 位=512 字节, 完全满足存储空间的要求。

对于插入后供电端读取信息的延时, 按 WFM-0304 型 WID 标签的读取速率为 $100\text{kbps}=12.500\text{Bps}$, 计入 2ms 储能时间, 单次读取时间 $t=t_{\text{读取}}+t_{\text{储能}}=(48\text{B}\div 12.5\text{Bps})+2\text{ms}=5.84\text{ms}=5.84\times 10^{-3}\text{s}$, 如此短的读取时间, 显然不会给用户的电源适配造成延迟的影响, 完全满足使用习惯和应用场景的要求。

综上所述, 本项目设计的用电端识别通信协议完全满足各项技术和使用要求, 可以较好地实施。

供电端、用电端物理结构设计

根据上述评估和设计选定的技术方案, 进行合并和整合, 本项目实现装置的供电端和用电端的物理结构设计如下:

一、高压交流类用电器电源适配方案供电端物理结构

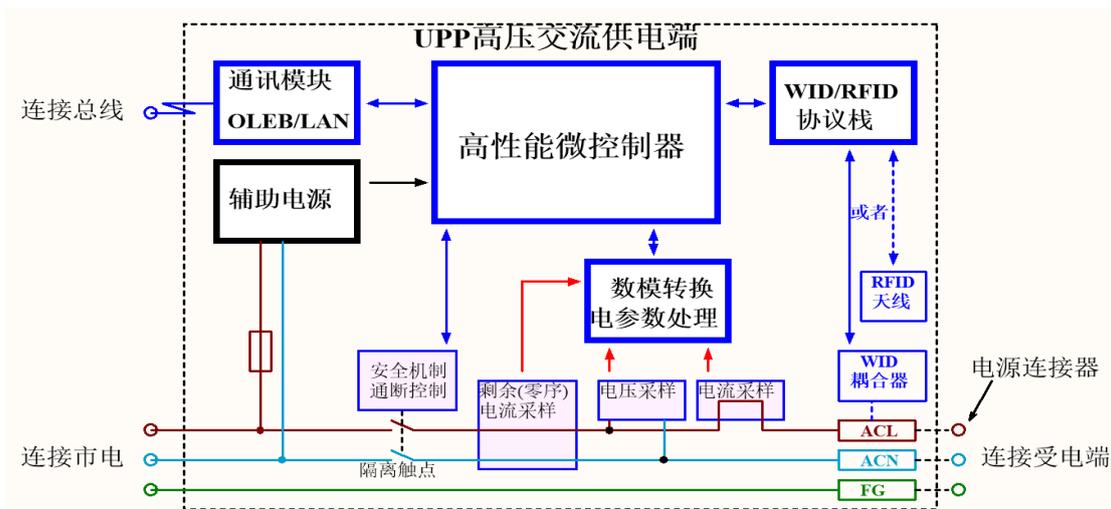


图 29: 适配高压交流类用电器的供电端物理结构简图

如图 29 所示，高压交流供电端包含如下几个基本组件，分别对它们的结构和功能简述如下：

① 通讯模块：

通讯模块一般为有线总线或 Wi-Fi 通讯模块，使供电端能够接入广域网和 ONRUN 平台等网络化数据平台，以实现电源适配的集中管理和远程测控功能，同时为远程数据库的调用提供网络支持。

② 辅助电源：

辅助电源一般为隔离型小功率开关电源，为供电端控制电路提供稳定的直流电源，支持供电端各个组件的正常运行。

③ 高性能微控制器：

高性能微控制器是供电端的核心部分，一般为 ARM 架构的微控制器，装载有 ICOS 操作系统等嵌入式操作系统，协调和控制供电端的整体运行，完成各项功能的实现所需的运算和处理任务。

④ 交流电源通断控制元件：

交流电源通断控制元件一般为 AC-MOSFET 或电磁继电器，同时还

附加有异常检测装置（如触点动作检测装置）以保证可靠运行，其主要任务是根据微控制器的指令使用电端接通和断开交流电源。

⑤剩余（零序）电流采样单元：

剩余（零序）电流采样单元一般由零序电流互感器和信号调理电路组成，主要任务是采集电源适配过程中的剩余电流（即日常所说的漏电流）并传送给⑧数模转换和电参数处理部分，以实现交流漏电保护等安全功能。

⑥电压采样电路：

电压采样单元一般由交流电压互感器和信号调理电路组成，负责采集电源适配过程中的端电压并传送给⑧数模转换和电参数处理部分，作为测量各项电参数和综合安全保护的用途。

⑦电流采样单元：

电压采样单元一般由交流电流互感器和信号调理电路组成，负责采集电源适配过程中的电流并传送给⑧数模转换和电参数处理部分，作为测量各项电参数和综合安全保护的用途。

⑧电参数处理和数模转换模块：

电参数处理和数模转换模块主要由 ADC 转换芯片和信号调理电路组成，负责将各采样电路送来的模拟测量信号滤除杂讯，并转化为微控制器可以识读的离散数字信号，实现各项电参数的采集和测量。

⑨用电端信息识读部分（WID 或被动 RFID 协议栈和耦合器/天线）：

用电端信息识读部分由 WID 或被动 RFID 协议栈及配套的耦合元

件/射频天线组成，主要负责读取用电端的标签内存储的信息并传送给微控制器③处理。

⑩用电端连接器

用电端连接器一般是可插拔的插座式连接器，用于实现用电端和供电端之间的电气连接，为传输电能和信号提供通道。

二: 高压交流类用电器电源适配方案用电端物理结构

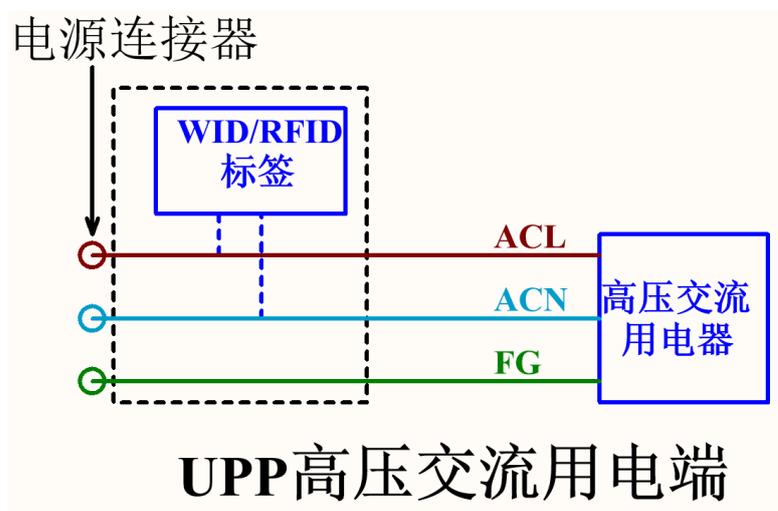


图 30: 高压交流类用电端物理结构简

如图 30 所示，高压交流用电端包含如下几个基本组件，分别对它们的结构和功能简述如下：

①电源连接器:

电源连接器一般是可插拔的插头式连接器，与供电端的连接器相匹配，用于实现用电端和供电端之间的电气连接，为传输电能和信号提供电气接触。

②WID/RFID 标签:

WID/RFID 标签负责根据上述用电端识别协议存储有用电端的 UID 和电源需求、电参数等，实现用电端的描述和识别。

三、低压直流类用电器电源适配方案供电端物理结构

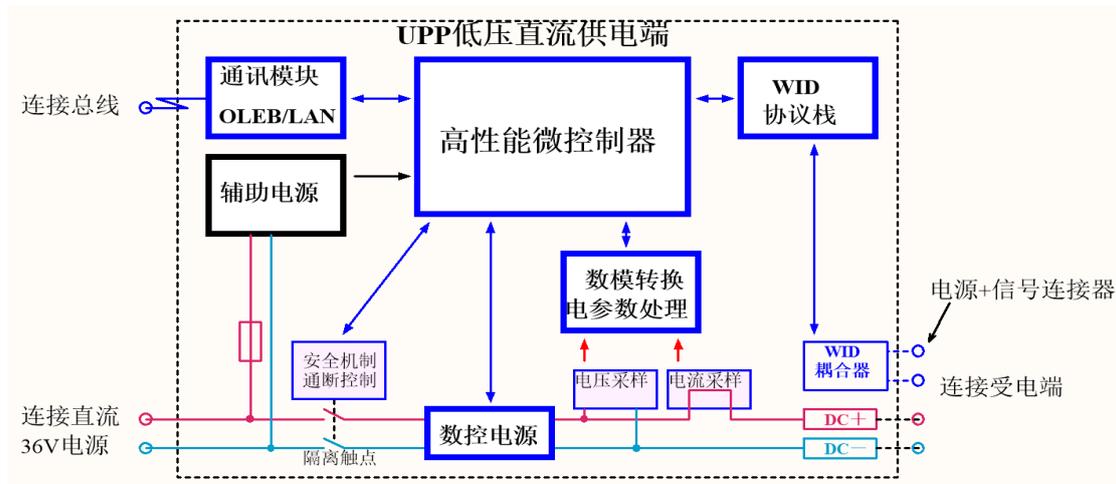


图 31: 适配低压直流类用电器的供电端物理结构简图

如图 31 所示，低压直流供电端包含如下几个基本组件，分别对它们的结构和功能简述如下：

① 通讯模块：

通讯模块一般为 OLEB 总线或以太网通讯模块，使供电端能够接入广域网和网络化数据平台，以实现电源适配的集中管理和远程测控功能，同时为远程数据库的调用提供网络支持。

② 辅助电源：

辅助电源一般为隔离型小功率开关电源，为供电端控制电路提供稳定的直流电源，支持供电端各个组件的正常运行。

③ 高性能微控制器：

高性能微控制器是供电端的核心部分，一般为 ARM 架构的微控制器，装载有 ICOS 操作系统等嵌入式操作系统，协调和控制供电端的整体运行，完成各项功能的实现所需的运算和处理任务。

④ 直流电源通断控制元件：

直流电源通断控制元件一般为 MOSFET 或电磁继电器，同时还附

加有异常检测装置（如触点动作检测装置）以保证可靠运行，其的主要任务是根据微控制器的指令使用电端接通和断开直流电源。

⑤数控可调电源：

数控可调电源一般由数控电源控制芯片、MOSFET、DA 转换元件等组成，负责在微控制器的控制下输出不同参数的直流稳定电源，实现对低压直流用电器的按需电源适配。

⑥电压采样单元：

电压采样单元一般由霍尔电压传感器或分压电阻网络和信号调理电路组成，负责采集电源适配过程中的电压并传送给⑧数模转换和电参数处理部分，作为测量各项电参数和综合安全保护的用途。

⑦电流采样电路：

电流采样单元一般由霍尔电流传感器或分流电阻网络和信号调理电路组成，负责采集电源适配过程中的电流并传送给⑧数模转换和电参数处理部分，作为测量各项电参数和综合安全保护的用途。

⑧电参数处理和数模转换模块：

电参数处理和数模转换模块主要由 ADC 转换芯片和信号调理电路组成，负责将各采样电路送来的模拟测量信号滤除杂讯，并转化为微控制器可以识读的离散数字信号，实现各项电参数的采集和测量。

⑨WID 协议标签读取部分：

用电端信息识读部分一般为直接连接式 WID 协议栈，主要负责读取用电端的标签内存存储的信息并传送给微控制器③处理。

⑩用电端电源和识别信号连接器：

用电端连接器一般是可插拔的插座式连接器, 用于实现用电端和供电端之间的电气连接, 为传输电能和信号提供通道。

四、低压直流类用电端物理结构:

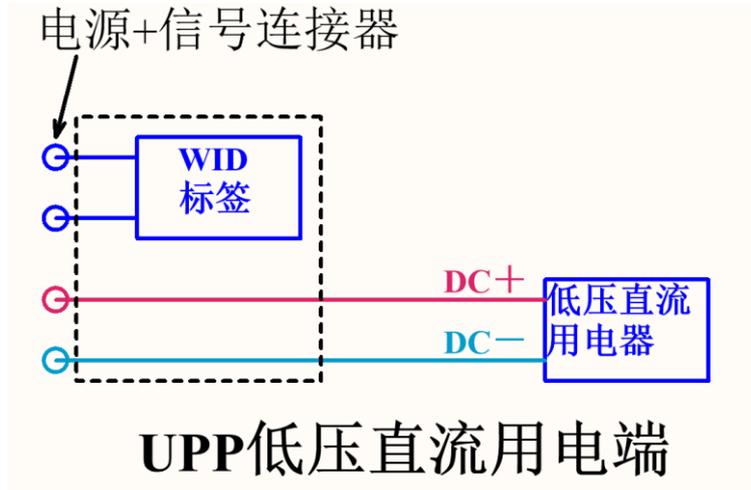


图 32: 低压直流类用电端物理结构简图

如图 32 所示, 低压直流用电端包含如下几个基本组件, 分别对它们的结构和功能简述如下:

①电源和识别信号连接器:

电源连接器一般是可插拔的插头式连接器, 与供电端的连接器相匹配, 用于实现用电端和供电端之间的电气连接, 为传输电能和信号提供通道。

②WID 标签:

WID 标签负责根据上述用电端识别协议存储有用电端的 UID 和电源需求、电参数等, 实现用电端的描述和识别。

电源适配工作流程设计

合理的工作流程是任何一个系统正常运作的基本条件。现基于上

述评估选定的技术方案和物理结构/逻辑拓扑，以及本项目的总体思想及设计目的，设计供电端及受电端的电源适配工作流程，简述如下：

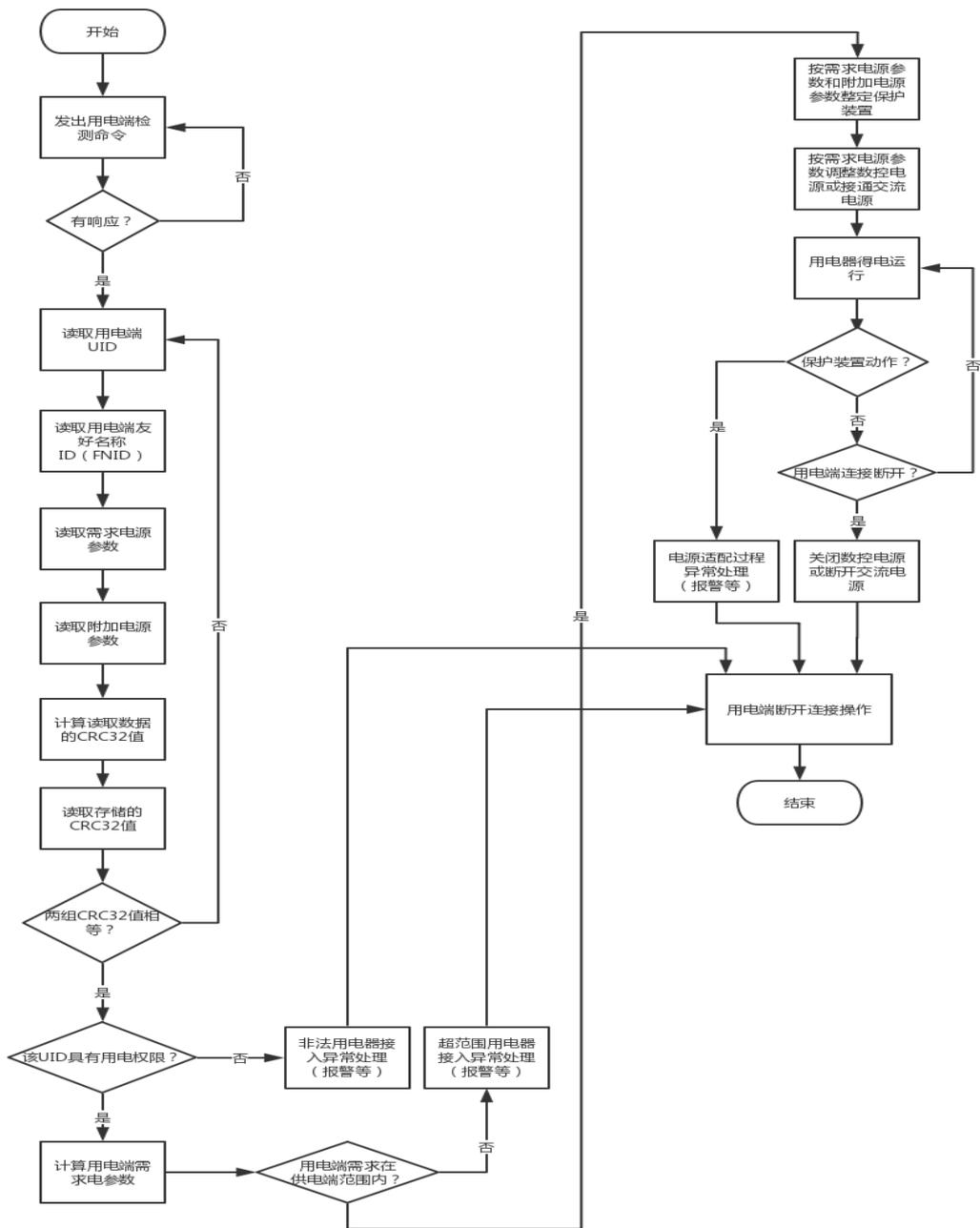


图 33 UPP 工作流程图

如图 33 所示，实际的电源适配工作流程分为以下 6 个主要步骤，各步骤具体任务和功能简述如下：

①用电器接入检测:

运行 UPP 协议的供电装置不断发出探针读取命令, 若此时有符合用电端识别协议的用电器接入该供电装置, 探针命令得到响应, 供电端随即开始进行下一步读取操作。

②用电器鉴权:

供电端从用电器 WID/RFID 标签读取用电端 UID, 并查询此 UID 在用电权限列表中的用电权限, 若该终端具备用电权限, 执行下一步骤, 否则, 执行非法用电器接入异常处理。

③用电器参数读取和处理:

供电端从用电器 WID/RFID 标签读取该用电器的参数, 获取该用电器的电源需求 (电压、电流、功率等) 和安全保护参数, 并与供电装置的电源供应范围和安全保护参数范围做出比较, 若可以满足的, 达成协议开始供电, 否则, 执行超范围用电请求异常处理。

④按需供电:

供电装置根据用电请求中的电源需求, 自动调整并开启其内部的电源适配单元向用电器提供符合用电端需求电源, 用电器得电工作。

⑤按需保护:

供电装置根据用电请求中的安全保护参数和自身的承受能力, 自动整定其内部的监测和保护单元 (可以是硬件或软件形式) 的参数, 在供电过程中, 提供兼顾供/用电双方的综合安全保护, 检测到危险发生或有发生可能时, 执行保护动作 (终止电气连接等), 并执行供电过程异常处理。

⑥断开复位:

供电装置在供电过程中, 继续不断发出探针读取命令, 若此时用电器与供电装置断开连接(拔出或脱落), 读写探针命令失去响应, 供电装置检测到用电器移除, 自动关闭其内部的电源适配单元, 停止电源输出, 供电装置恢复未连接用电器的初始状态。

UPP 实现装置及其运行效果测试

一、运行 UPP 的电源适配实现装置 DEMO 样机实物图

根据上文关于通用电源适配协议的设计方案及设计目标, 本项目设计并做出了运行通用电源适配协议的 DEMO 样机, 并对样机的运行效果进行了测试

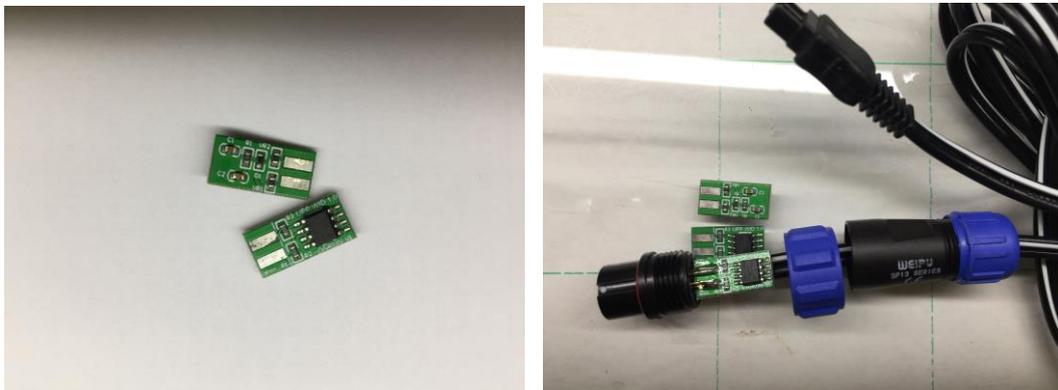


图 34-35 安装在 DC 插头上的 WID 芯片模块

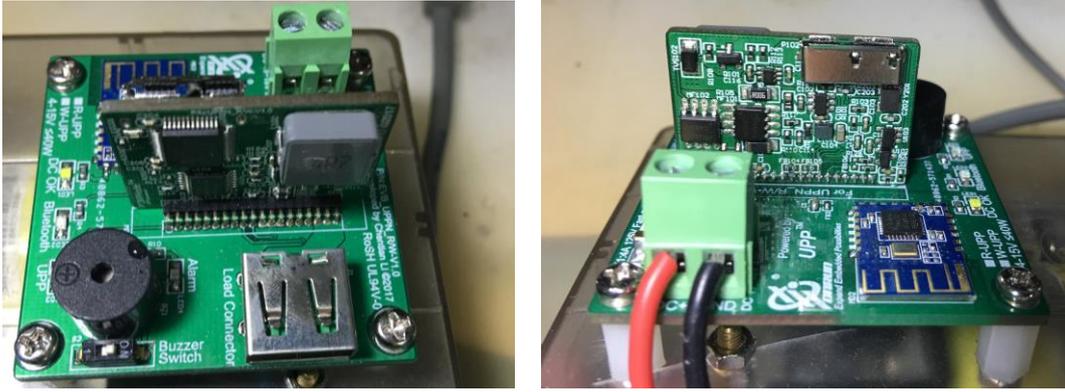


图 36-37 低压直流电源适配供电端样机

二、UPP 电源适配装置效果测试报告

通用电源适配协议演示样机性能测试报告



图 38 测试样本实物照片

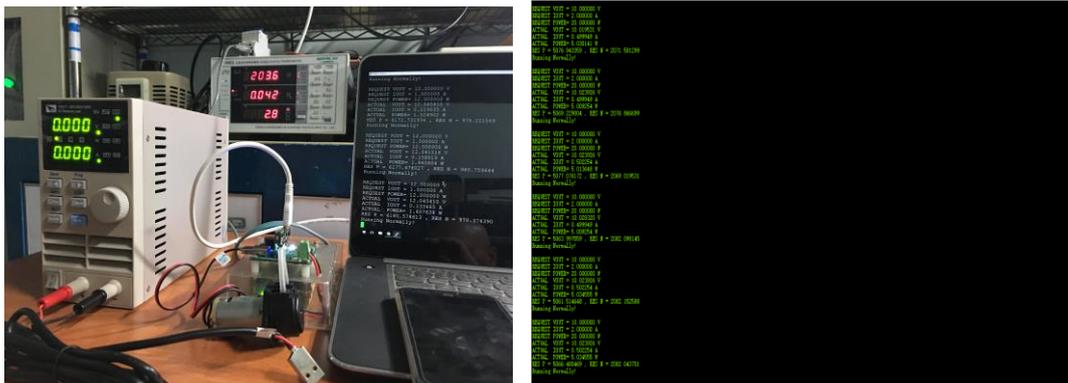


图 39-40 UPP 电源适配装置 DEMO 机测试实验

(一)、管制信息:

测试人	李晨天
测试日期	2017 年 9 月 10 日
测试环境	室温 26.0℃ 相对湿度 80.00%，室内

(二)、样机信息:

型号	EVB_UPPN_R/W-V1.0
供电电源	16VDC 3A 最大
适配范围	5~15VDC 最大电流 4A 最大功率 45W
UID	U756A123BD
UPP 协议类型	WID 识别 UPP, DC-CAT I (5~15V), 45W
参数监测类型	直流电压 (二象限), 直流电流 (二象限), 直流功率 (四象限)
通信选项	蓝牙 BLE4.0, USB, USART
UPP 通道数	1

(三)、测试仪器信息:

序号	类别	型号	出厂编号	精度
1	台式万用表	安捷伦 34401A	MY47049352	0.01 级
2	直流电源	固纬 PS80-13.5	EL191865	0.2 级
3	信号发生器	安捷伦 33522A	MY47243352	0.01 级
4	数字示波器	安捷伦 MS0-X 3024A	MY52441781	0.1 级
5	校准信号源	胜利 VC04	999299859	0.1 级
6	测试工作站	戴尔 PowerEdge R730	DWPTS72	数字
7	绝缘电阻计	优利德 UT512	3100166260	5.0 级
8	电子负载	艾德克斯 IT8211	600109010717510036	0.2 级
9	声级计	泰仕 TES-52A	130909787	0.2 级

(四)、功能性测试项目 (U756A123BD):

序号	项目名	测试方法和测试要求	结论
1	WID 芯片读取正确性测试	反复插入 10 次写入 UPP 适配信息的 WID 芯片插头, 观察计算机数据采集窗口上传的“REQUEST”栏目项, 读取信息与芯片内信息相同, 且不应出现错误信息。	10 次全正确读取, 通过
2	WID 芯片读取反应速度测试	反复插入 10 次写入 UPP 适配信息的 WID 芯片插头, 观察计算机数据采集窗口上传的“REQUEST”栏目项时间戳 T1 和“ATTACH”栏目项时间戳 T2, 计算 $\Delta t = T2 - T1$ 应小于 0.2s.	读取时间约 0.05s, 通过
3	WID 芯片数据校验测试	插入 10 个含随机误码且误码率为 1/48 的 WID 芯片插头, 观察计算机数据采集窗口, 应全部拒绝读取并提示“VERIFYING FAILED!”	全部拒绝读取并报错, 通过
4	过流保护测试	以 1.5 倍申请电流 (REQUEST IOU) 的电子负载 (设置为恒流模式), 用 WID 芯片插头接入样机, 样机应在设置的 OCP 滞后时间 (TH_OCP) $\pm 5\%$ 内切断电流。	时间误差 $\pm 3\%$, 通过
5	过载保护测试	以 1.5 倍申请功率 (REQUEST POU) 的电子负载 (设置为恒功率模式), 用 WID 芯片插头接入样机, 样机应在设置的 OPP 滞后时间 (TH_OPP) $\pm 5\%$ 内切断电流。	时间误差 $\pm 3\%$, 通过
6	反向电流保护测试	以顺从电压为 22.5V 的恒流 DC 电源灌入 0.01A 反向电流, 样机应在设置的 OCP 滞后时间 (TH_RCP) $\pm 5\%$ 内切断电流。	时间误差 $\pm 3\%$, 通过
7	短路保护测试	以阻抗 $Z \leq 10m\Omega$ 的金属导体将在调试模式下处于最大输出电压 (MAX_VOUT), 最大输出电流 (MAX_IOU) 的样机的输出端短路, 样机应在 10ms 内切断电流	反应时间 4.55ms, 通过
8	过压工作测试	用 1.5 倍工作电压, 施加于 VCC 与 RTN 端子间, 重复测试项 1 的内容	反应时间约 0.05s, 认为合格
9	过压毁损测试	1、用 10 倍工作电压, 施加于 VCC/RTN 端子间, 保险丝应立即熔断或爆轰, 且 PCB 组件不应出现冒烟起火、爆燃、闪络现象。 2、立刻熔	1: 熔断迅速, 无冒烟现象。 2: 立刻熔

			断, 无冒烟现象。认为合格
--	--	--	---------------

(五)、数据性测试项目 (U756A123BD):

序号	项目名	理论值	实际值	单位	容差	是否合格
1	最小适配电压	4.5	4	V	≤ -5	合格
2	最大适配电压	15	15.5	V	≥ 5	合格
3	连续功率 ($T_{升} \leq 40^{\circ}C$)	45	48	W	≥ 5	合格
4	绝缘电阻	≥ 100	211	M Ω	$+\infty$	合格
5	输出电压误差 (4.5~15V@45W 24hr)	0%FS	0.4%FS	-	$\pm 1\%$	合格
6	电压测量误差	0%FS	0.12%FS	-	$\pm 1\%$	合格
7	电流测量误差	0%FS	0.11%FS	-	$\pm 1\%$	合格
8	功率测量误差 (四象限)	0%FS	0.12%FS	-	$\pm 1\%$	合格
9	OCP 滞后时间	100	103	ms	$\pm 5\%$	合格
10	OPP 滞后时间	100	98	ms	$\pm 5\%$	合格
11	RCP 滞后时间	10.0	9.9	ms	$\pm 5\%$	合格
12	输出电压过冲, 100ms	0%	5.4%	-	$\leq 10\%$	合格
13	输出电压纹波 (@4A 10.0V)	50	35.4	mV p-p	≤ 100	合格
14	报警声强度, 距离 1m	85	88.5	dB	≥ 80	合格
15	转换效率 (@4A 10.0V)	90%	94%	-	≥ 85	合格
16	负载开关漏电流 (@24V)	100	45.5	μA	≤ 100	合格
17	WID 芯片激励电压	3.3	3.29	V	$\pm 5\%$	合格
18	WID 芯片激励电流 (维持电压在容差内)	10	18.5	mA	≥ 10	合格
19	WID 芯片通讯波特率	100	100.1	kbps	$\pm 1\%$	合格

(六)、测试结果: 测试合格

测试人: 李晨天 (签名)
 时间: 2017 年 9 月 10 日

三、测试结论:

根据本协议开发设计的“UPP 电源适配装置”实现了如下目标:

第一, 可以正确、快速地运行通用电源适配协议、读取用电端 WID 芯片内存存储的用电端电参数并按照设计要求完成确保数据正确的数据校验, **完全实现了参数读取的目标;**

第二, 能够根据用电器申请和(或)用户设定的电参数准确地输出电压等相关电参数正确的电源, 并在设计的稳定时间内保持相关电参数的稳定, **完全实现了范围内按需适配的目标;**

第三, 能够根据用电器和(或)用户设定的电参数准确整定相关安全保护机制的动作参数, 从而确保其适应供电和用电双方的安全规格, 并在电源适配过程出现异常或危险时执行正确的异常处理, **完全实现了按需保护的目标。**

综上所述, 本项目所开发设计的“UPP 电源适配装置”完全符合相关设计参数, 所有工程目标全部实现。

创新性、科学性、实用性和科学意义

一、创新性

通用电源适配协议是总结现有电源适配存在的问题基础之上, 应用前沿电子信息技术开发的一种全新的电源适配标准, 根据这个标准构建的电源适配装置较之于目前已有的电源适配装置具有如下几个显著的创新点:

(一)、 创建了“协议化”电源适配的供用电模式，使供电端和受电端之间由目前仅有电气连接的供用电模式变为同时具有电气连接和数据连接的供用电模式，彻底改变了目前电源适配中供用电端之间的连接方式和连接性质。

正如前面所述，在本项目成功开发之前的所有电源适配装置，其供电端和用电端之间的关系都只是一个简单的电气连接关系，供电端和用电端只要具备电气连接即开始供电，供电端不能了解用电端的用电需求，用电端也不能了解供电端是否可以供应自己需要的电源，这种“直通”式的供电无疑会带来许多问题。

但是，本项目构建的电源适配关系，却是建立在供电端和用电端有良好的“沟通”，并在“沟通”的基础之上达成“协议”的前提下进行电力传输的，在电源适配关系建立之前，用电端将自己需要的电源参数连同自己的身份信息按一定的协议规范存储于用电端信息标签之中，当该插头与供电端构成电气连接后，供电端读取相关信息，然后将“要约”中描述的电源参数与存储于自己内部数据库的电源参数进行比对，在供电端自己的数据库中找到与用电端的用电“要约”完全一致的电源产品时，供电端接受用电端的用电“要约”，于是双方达成“供用电协议”，这个时候供电端才会向用电端供应相应的电源，否则，供电端不会向用电端供应电源。

(二)、 创建了“按需供电”的电源适配模式

本项目的本项目的的一个显著特点就是，供电端供应的电源是根据用电端的用电需求供应的，因此，供电端供应的电源不但符合供电端

自己的供电范围，而且也完全符合用电端的实际需求，这个创新点使电源适配克服了目前电源适配模式中盲目供电和用电的缺点。

从上述技术设计中可以看到，在高压交流类用电器电源适配物理方案中，本项目为这类用电器设置了“电磁继电器”和“共源极隔离触发式交流场效应管”两种可以保证按需供电的技术方案，在低压直流电源适配物理方案中，本项目为低压直流类用电器设置了“数控开关可调直流电源方案”，这些物理技术方案为保证“按需供电”的电源适配模式创造了硬件条件，同时，本项目在“供用电通讯协议的拓扑架构”、“供用电通讯协议的数据内容和格式设计”中可以看到，本项目在创建实现“按需供电”的硬件环境的同时，也构建了实现“按需供电”模式的软件环境，这些在“电源适配工作流程设计”中都得到了体现和保证。

(三)、创建了“按需保护”的电源适配安全保护模式

根据前面的论述可知，目前电源适配的保护基本上都是一个“预估式、固定化”保护，在这个保护模式下，保护机制的只有在相关参数达到预估值的时候才会启动，这种保护机制在用电端的用电参数异常没有达到预估值的时候不会做出任何保护反应，而这种预设值必然不可能匹配实际接入的各种用电端的电参数，这种不按照实际情况设置保护机制必然埋下极大的安全隐患。

但是，从前面的论述中可知，本项目构建的电源适配关系中，供电装置可以完全地了解用电器的电参数，并根据这些将根据用电请求中的安全保护参数和自身的承受能力，自动整定其内部的检测和保护

单元的参数，在供电过程中，提供兼顾供/用电双方的合适的安全保护，检测到危险发生或有发生可能的时候，保护机制即可启动执行切断电源等的保护动作。

“按需保护”的安全保护机制使电源适配的安全保护机制建立在完全获取用电端和供电端的电参数的基础上，同时兼顾供电端和用电端的安全需求并提供保护，从根本上消除了由于保护参数不合实际情况、保护参数不完全等带来的各种安全隐患，使电源适配的安全性能得到根本性的提升。

（四）、创建了“鉴权供/用电”的电源适配模式，为防止偷电和意外触电提供了保证。

从前面的论述中可知，现有电源适配的模式基本是导体连接即开始供电用电的“直通”模式，这种模式的一个巨大弊端就是只要构成电气连接即可获得电源，这种供用电模式不但给不法分子创造了窃取电能的条件，同时也给意外触电事故埋下了种子，而事实上，这样的事例也确实经常发生。

在总结现有电源适配模式的问题的基础上，本项目在技术方案设计之始便设置了“鉴权”供用电的电源适配模式，在这个模式中，供电端从用电器信息标签读取用电端 UID，并查询此 UID 在用电权限列表中的用电权限，只有查询到该用电端具备用电权限，供电端才会开始供电，否则，无论插入何种连接器连接供电端和用电端，供电端均不会供应电源。

这种以“鉴权”为前提的电源适配模式终结了目前连接即供电的

“直通”电源适配模式，不但使不法分子不再能够轻易偷窃电能，而且基本上杜绝了水滴、金属屑等异物导致的短路事故和人员尤其是小孩不慎接触到供电端插座而触电的事故发生的可能。

(五)、创建了“以一对多”的电源适配模式

从前面的论述中可知，现有电源适配模式全部都是“一对一”的模式，这种模式不但给人们生活带来巨大的不便，而且还给环保带来巨大的压力。

UPP 电源适配协议构建的电源适配关系一个突出的特点就是构建了以一对多的电源适配关系，在这个电源适配关系中，一种供电端可以为范围内无数多种提供电源适配，这样电源适配装置的生命周期得到延长（不再与用电器同步报废），使用对象大大拓宽，从根本上解决了携带不便、资源浪费、污染环境的问题。

二、科学性

本项目的科学性体现在如下几点

(一) 课题源于现实问题

本项目的课题来源于对现有电源适配存在的问题的总结和对导致这些问题的原因的深入研究，因此课题的来源是实事求是的结果，具有坚实的现实意义。

(二) 方案源于现有技术

从上面的论述中可知，本项目的整个技术方案是建立在现有技术基础之上的，方案中涉及的每一个技术节点的选择都是在对所有可能的方案的优劣进行比较评估后作出的，因此，每一个技术节点的应用

都有充分的科学依据。

（三）应用源于仿真和实验

本项目在整个设计和开发过程中，几乎每一个工作单元都有两个步骤，一个是计算机仿真，一个是实物实验测试，所以说本项目的所有工作单元都是建立在实践证明的基础上的，实践是检验真理的唯一标准，所以本项目的所有工作单元都是得到客观证明的。

综上，本项目具有高度的科学性。

三、实用性

从上述关于本项目的创新性的论述中，可以非常清楚的知道，本项目由于解决了目前电源适配中一直存在又无法克服的问题，可以“根治”目前电源适配中带来的包括安全、环保和舒适性等许多方面的问题，因此，本项目完全可以在工业、农业和家庭的电源适配中替代所有现有的电源适配设备，具有巨大的应用前景。

四、科学意义

1、本项目首次提出运用“协议化”思想解决电源适配的问题并获得初步成功，在这里，电参数、种类、性能和用途迥异的各种用电端的各项参数首先被按照一定的规范描述，并在供、用电双方间建立符合一定协议的数据沟通关系，从而实现用一种电源适配装置为范围内无数多种不同的连接对象提供符合其需求的电源和安全保护的目。这样的“协议化”思想通过迁移，还可用于解决其他电气连接领域的电气信号（包括但不限于电源、传感器信号等）参数适配的问题。例如对传感器的信号、量程、校准信息等进行协议化描述，只需在传

传感器的连接器上添加一片信息标签，在插入传感器时，就可以自动输入传感器的相关参数，从而实现安装使用的极大简化，配合现场电桥模块的应用，也可以做到一种传感器采集装置兼容量程范围内的任意多种传感器，同时，利用信息标签尤其是 WID 标签容量大、读取速度快的特点还可实现动态多点校正信息存储等传统手工输入完全不可能达到的功能，从而可以进行高度非线性传感器的线性化描述，使很多原本不能作为传感器的高度非线性敏感器件成为新型的传感器器件，这将大大增多传感器的种类并拓宽人类对客观世界的检测范围。

2、本项目设计的“协议化”电源适配，实现了电源适配装置的数字化，在供、用电端之间建立的数据链路为电源适配装置和用电器之间进行各种信息传输提供了物理基础。例如，将无源 WID 信息标签替换成低功耗微控制器构成的带输入输出端口的智能信息标签并对 UPP 协议进行一定的升级改造就可以将来自网络的用户/系统操作指令通过电源适配所使用的信息通路传输到智能标签，转化为 GPIO 端口上的电平变化，电气设备内部的各项参数变化，也可利用相同的信息通路传输至 UPP 电源适配端，从而进一步上传至网络，实现利用电源适配装置的控制、通信资源对电气设备的“深度”多参数远程测控。这对比起常规的远程测控必须在被控电气设备内部安装完整的通信、解析、控制、输入输出等装置的方案（如制造一台可以远程控制、参数反馈的空调，机内就必须包括网络模块、嵌入式计算机模块、输入输出模块等），不仅显著降低了被控电气设备的复杂度和成本，更

是实现了远程测控、智能控制等资源的共享，有效减少了电气设备停用（报废/淘汰/暂停使用）后相关资源的闲置和浪费。

参考文献

- 1、《中华人民共和国 GB-T156-2007 标准电压》 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会
- 2、《功率 MOSFET 基础》 作者: Jess Brown 和 Guy Moxey Vishay Siliconix 公司
- 3、《SEMI S9 泄漏电流测量标准.》《机械安全专辑二十一》精密机械研究发展中心
- 4、《中华人民共和国国家标准 GB4943.1-201X 代替 GB4943-2001》 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会
- 5、《IEC60038 International Standards: IEC STANDARD VOLTAGE》 (2002-02 第 6 版) IEC
- 6、《JTZ-32F FORWARD RELAY》 Ningbo Forward Relay Co., Ltd
- 7、《CRC 的产生与效验应用笔记》 富士通半导体(上海)有限公司
- 8、《PSC48150/25DC-DC Power System》 EMOERSON NETWORK POWER
- 9、《The New 400 V Standard Voltage—Consequences for Explosion Protected From 3-phase Motors Type of Protection Flameproof enclosure “d” and Increased Safety “e”》 作者 H. Greiner
- 10、《Photocouplers Photorelay TLP175A》 TOSHIBA
- 11、《TOP242-250 TOP-Switch-GX Family》 Power Integration
- 12、《Wide-input Synchronous Buck Controller》 Texas Instruments
- 13、《XR76203/5/8 Synchronous Step Down COT Regulator》 EXAR

- 14、《HF115F-LS 小型大功率磁保持继电器》 宏发继电器公司
- 15、《BT136 Series》 Philip Semiconductor
- 16、《多功能集成电路 555 经典应用实例第二集》 陈永甫著 电子工业出版社
- 17、《开关稳定电源设计与应用》（第二版）李定宣 丁增敏 编著 中国电力出版社
- 18、《C++ Premier 中文版》美 Stanley B. Lippman Josee Lajioe Barbara E. Moo 著 梅晓勇 李师贤 蒋爱军 林瑛 译 人民邮电出版社 第四版

作者李晨天简介

李晨天，现年 17 岁，广东珠海市第一中学高二学生。喜欢特斯拉天马行空的想象力和实现力。同学说他是来自 E 星球的人，媒体称他是“少年爱迪生”。喜欢提问，三岁之前问的“为什么”就已经远远超过十万个。喜欢在电子信息、化学生物、工程设计等“门派”之间“穿越”。

1、2016 年、2017 年连续两次被中国科协选派代表中国赴美参加第 67 届、68 届被誉为全球青少年科技创新“世界杯”的英特尔国际科学与工程大奖赛（ISEF），并在 67 届获得荣誉奖、68 届获得大赛四等奖。

2、2010 年 12 月，还在五年级时申请第一个发明专利《智能防盗防损报警户外井盖及警情管理系统》，2012 年 12 月该发明专利获得授权（发明专利号：ZL. 201010594660.9），到目前为止，已经在公示期的发明专利达 6 个，这些发明专利涵盖电子信息、机械工程、传感采集领域。

3、2017 年 8 月获得第 32 届全国青少年科技创新大赛一等奖、2016 年 12 月获得第 16 届“明天小小科学家”奖励活动一等奖、2015 年 8 月获得第 30 届全国青少年科技创新大赛一等奖、2016 年 8 月获得共青团中央颁发的“中国青少年科技创新奖”、2016 年 8 月、2012 年 8 月分别获得第 31 届和第 28 届全国科技创新大赛二等奖、2017、2016、2015、2013、2012、2011 年广东省青少年科技创新大赛一等奖，李

晨天同时还是国家 2015 年“英才计划”培养对象。

4、2013 年李晨天在家创设了“晨天实验室”，到目前为止，该实验室配备了包括 Dell R730 工作站、MSO-X 3024A 安捷伦示波器、33522 安捷伦函数信号发生器、33522A 安捷伦高精度万用表、LCR-821 固纬电桥、GSP9330 固纬频谱仪、S63 德国乐普科 PCB 制板机一套及固纬、菊水电源和电子负载、电参数检测仪等先进的电子设计、仿真、检测、制板设备，基本可完成所有电子信息产品的设计、仿真、制作和测试。

5、李晨天原所在初中珠海市文园中学设有“李晨天工作室”，该工作室在 2015 年广东省全民科学素质行动科技活动成果交流展示活动中荣获二等奖。

6、李晨天在珠海市第一中学创办的“李晨天创客活动作坊”有约 40 个学生组成，该作坊配备了种类齐全的先进电子、化工仪器设备及器件，该作坊创新团队在李晨天的带领下探索的课题在广东省和全国青少年科技创新大赛中表现突出，已获得的全国赛一等奖三项、广东省一等奖 四项、二等奖四项，三等奖十余项。

南方电视台、中新社、珠海电视台、《香港文汇报》、《新快报》、《羊城晚报》、《南方日报》、《南方都市报》、《新民晚报》、《珠海特区报》、《珠江晚报》等许多媒体均对李晨天有过广泛的报道。