

# 固定测速系统的光伏供电技术与节电策略

李 建

(西南兵器工业有限责任公司,重庆 400042)

**摘要:**在对现有高速公路固定测速系统供电方法分析比较的基础上,提出了基于光伏发电技术的固定测速供电方法。根据典型低日照地区的日照条件,对组成光伏系统的各部分进行了专项研究设计,对核心控制器涉及的太阳能电池板最大功率点跟踪技术和蓄电池充放电算法进行了设计,有针对性地提出高速公路固定测速系统节电策略与方法。试验结果表明,控制器高效、稳定,实际应用中能实现固定测速系统全年不间断电力供给,供电效率高,电压、频率稳定。

**关键词:**光伏发电技术;最大功率点跟踪;充放电算法;固定测速系统;节电策略

中图分类号: TP399

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211946

中文引用格式: 李建. 固定测速系统的光伏供电技术与节电策略[J]. 电子技术应用, 2022, 48(4): 57-61.

英文引用格式: Li Jian. Photovoltaic power supply technology and electricity saving strategies for fixed-velocity-measuring system[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(4): 57-61.

## Photovoltaic power supply technology and electricity saving strategies for fixed-velocity-measuring system

Li Jian

(South West Weapon Industry Co., Ltd., Chongqing 400042, China)

**Abstract:** The electric power supply methods for fixed-velocity-measuring system(FVMS) based on PV technology are proposed after analysis and comparison among the current methods for FVMS on freeway. According to the sunshine condition in typical low sunshine areas, all components consist of PV system are specially designed, including the related maximum power point track (MPPT) technology for solar panel and the charge-discharge algorithm for storage battery in the controller. Targeted electricity saving strategies for FVMS on freeway are put forward. Experimental results show high efficiency and stability of the dedicated controller and in practical application, the specially designed PV system in this paper can provide continuous electric power supply throughout a year in an efficient way, and the output voltage and frequency are steady.

**Key words:** photovoltaic technology(PV); MPPT; charge-discharge algorithm; FVMS; electricity saving strategies

## 0 引言

高速公路固定测速系统能够有效地对行驶车辆速度进行监控,并将反馈信息及时准确地发送到执法监控中心,以督促驾驶员控制车速,降低事故发生率。高速公路固定测速系统持久、高效、稳定的电力供给是保证其功能正常实现的前提。

目前,高速公路固定测速系统供电主要有市电和太阳能两种方式。

市电供电是现有高速公路固定测速系统的主要供电方式。市电供电电压波动较大,且固定测速系统中用电设备长期处于过压供电状态,不仅造成电力资源浪费,而且严重影响到测速系统使用寿命;对于偏远且市电难以到达的核心高速公路路段,测速系统市电供电方案线路建设和维护成本过高,电能在传输过程中损耗较大<sup>[1]</sup>。

太阳能供电是通过建设独立光伏发电系统实现固定测速系统的电力供给。太阳能资源取之不尽用之不竭,只要光照条件满足,就可建设光伏发电系统。

光伏发电系统输出稳定直流电,通过 DC-DC 和 DC-AC 变换,能够满足测速系统中所有用电设备的供电需求。相比市电而言,太阳能供电方式效率高,输出电压、频率稳定,可以有效延长测速系统使用寿命,同时具有安装点选取灵活、系统建设和维护成本低、安全性高、资源占用少等特点<sup>[1]</sup>。

随着全球能源需求的增长,煤、石油、天然气等不可再生资源的日益消耗及环境污染的加剧,对太阳能的开发利用越来越摆在了最突出的位置。按照当前能量消耗的预估,太阳辐射到地球一天的总能量能够供给全球人类使用 27 年之多<sup>[2]</sup>。光伏发电基于光电效应,把太阳能

转化为电能,具有清洁、安全、长寿命、适用广泛、免维护、自然资源充足和巨大潜在经济价值等特点,是利用太阳能最重要的技术之一<sup>[3]</sup>。

重庆地处南北气候分界线附近,长期处于冷空气与暖湿气流交汇地带,少光照,多阴雨。全年日照时数仅为1 000~1 400 h,年辐射总量3 344~4 180 MJ/m<sup>2</sup>,相当于115~140 kg标准煤燃烧所发出的热量,与四川、贵州同属五类地区,是我国太阳能资源最少的地区<sup>[4]</sup>。目前,在典型低日照地区应用独立光伏发电系统给固定测速系统供电并制定相应供电策略的案例很少,并且相关研究文章也鲜有发表。

本文依托重庆高速公路固定测速系统的实际应用,根据典型低日照地区的光照条件,设计开发了专用光伏发电系统,并对核心控制器涉及的太阳能电池板最大功率点跟踪技术和蓄电池充放电算法进行了设计;在对固定测速系统设备构成、用电及功能分析的基础上,提出了具有针对性的节电策略与方法,在确保其功能实现的同时,力求达到测速系统用电效率高和使用寿命长。

## 1 光伏发电系统设计

本光伏发电系统依据重庆等典型低日照地区的实际日照条件设计,由太阳能电池板、蓄电池、控制器和负载四大部分组成,如图1所示。



图1 光伏系统构成

### 1.1 太阳能电池板

采用多晶硅或者非晶硅,相比单晶硅,多晶硅和非晶硅太阳能电池板能够在白天光照较弱的条件下,高效地将太阳能转化为电能,并且通过增加接收光照面积的方式可以达到和单晶硅相同的光电转化量,较单晶硅成本低廉,更适宜在重庆等太阳能资源较少的地方使用<sup>[3]</sup>。

### 1.2 蓄电池

采用光伏系统专用蓄电池,根据日负载需求、最大放电深度、独立运行天数、安装地气温等条件选择性价比高的铅酸免维护蓄电池。蓄电池之间先进行两两串联,再把所有串联线路并联,然后通过将所有输出正负极线分别并联的方式构成一个蓄电池组,从而得到所有蓄电池总的正极和负极输出,保证充放电时蓄电池之间电压和能量平衡。

### 1.3 控制器

根据组成光伏系统各个部分实际工作条件要求,设计了光伏专用控制器。通过MPPT算法的优化设计,实现高效光电转化;针对蓄电池不同充电状态设计相应充电方式,避免过充,有效提高蓄电池充电效率和使用寿命。

命;放电过程中根据蓄电池电压变化,采取相应放电策略,避免过放,使蓄电池始终保持较高的活性<sup>[5]</sup>。

#### 1.3.1 太阳能电池板充电的MPPT算法优化设计

针对太阳能电池板,充电采用MPPT算法实现高效光电转换<sup>[6]</sup>。太阳能电池板P-V曲线具有非线性特征<sup>[7]</sup>,如图2所示,在曲线2段存在最大功率点,通过改变太阳能板的输出电流占空比,可以改变输出电压,使输出功率在最大点时刻输出。

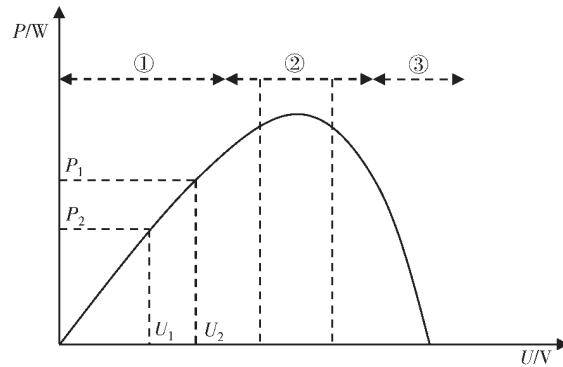


图2 太阳能电池板P-V曲线

当输出功率达到最大值时满足:  $\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{\partial (VI)}{\partial V} = V \frac{\partial I}{\partial V} + I \frac{\partial V}{\partial V} = 0$ <sup>[8]</sup>。MPPT算法流程见如图3所示。在初始化后,通过电流和电压采样获得光伏电池输出功率。在输出电压稳定的状态下,通过电流占空比的微调 $\Delta D$ ,使光伏电池输出电流有微量变化 $\Delta I$ ;再检测光伏电池输出功率的变化 $\Delta P$ ( $\Delta P = P_m - P_n$ ,  $P_m$ 为此时太阳能板输出功率,  $P_n$ 为上次太阳能板输出功率),在设定的算法和当时的环

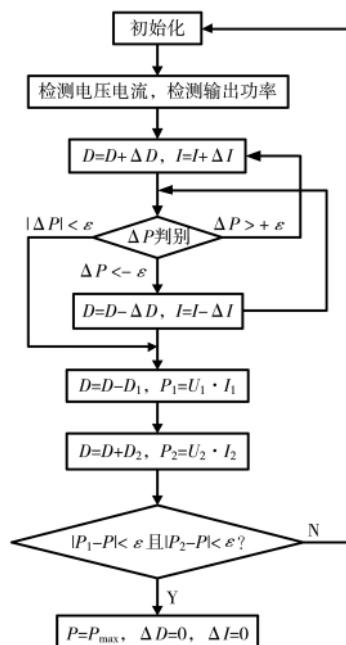


图3 逐次逼近-扰动跳变算法

境变量情况下,判断  $\Delta P$  的变化方向,再来决定下一阶段电流占空比的变化方向;如果功率变化  $\Delta P$  小于设定的微小量  $\varepsilon$ ,此时分别扰动电流占空比到相对较大的两个值  $D_1$  和  $-D_1$ ,计算出相应的  $P_1$  和  $P_2$ ,再分别比较  $|P_1-P|$  和  $\varepsilon$  的大小与  $|P_2-P|$  和  $\varepsilon$  的大小,若  $|P_1-P|<\varepsilon$  且  $|P_2-P|<\varepsilon$  则判断找到最大功率点  $P_{\max}$ ,否则返回。

### 1.3.2 蓄电池充电

根据蓄电池充电电流曲线<sup>[9-11]</sup>,采用脉冲、恒流和涓流多种充电方式<sup>[12]</sup>。蓄电池充电流程如图 4 所示。太阳能电池板充电伊始,充电电流较小,通过采用较小的充电电流占空比,可使太阳能充电电压保持较高的数值,有效激发蓄电池活性并提高充电效率,同时根据 MPPT 算法可知,充电功率始终保持在太阳能板最大功率点附近。随着充电过程的进行,蓄电池电压( $V_b$ )和充电电流( $I_s$ )逐渐增大,当  $V_b < V_1$  时,继续采用 MPPT 充电算法,否则判断  $V_b$  是否大于  $V_2$ 。当  $V_b < V_2$  时,判断  $I_s$  是否大于  $I_3$ ,当  $I_s < I_3$  时,继续采用 MPPT 充电算法,否则就采用直流充电,此时太阳能电池板充电电压稳定,输出电流几乎不再变化,同时蓄电池电压低于充电电压,充电量最大,太阳能利用率最高;当  $V_b \geq V_2$  时,判断  $V_b$  是否大于  $V_3$ ,当  $V_b > V_3$  时,关闭充电,否则改为涓流充电,涓流充电是蓄电池即将饱和时的充电方式,通过采用微小电流的脉冲充电,可以确保蓄电池真正饱和,延长蓄电池的使用时间。

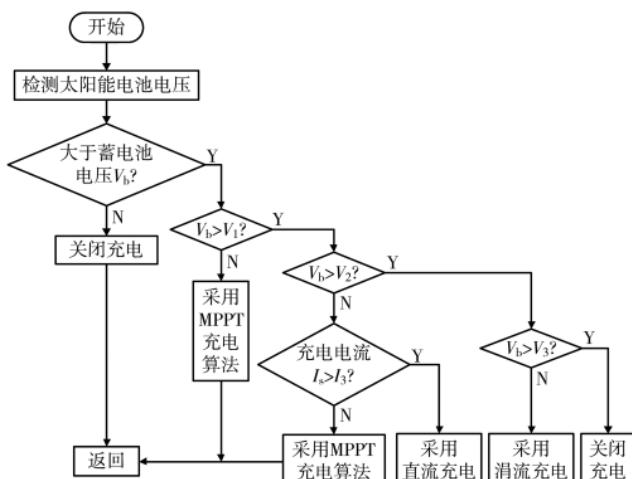


图 4 蓄电池充电算法流程

### 1.3.3 蓄电池放电

针对蓄电池放电<sup>[5]</sup>,必须要做到有计划、有步骤,使蓄电池始终保持在良好的运行状态,避免过放<sup>[13]</sup>。蓄电池的放电流程如图 5 所示。图中对蓄电池放电电压做了回差处理,避免在对大功率负载放电时,控制器短时间内频繁切换充、放状态,保护蓄电池和控制器<sup>[14]</sup>。

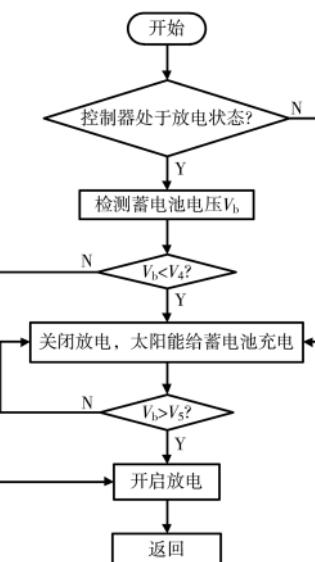


图 5 蓄电池放电流程图

## 2 高速公路固定测速系统节电策略

作为本文设计的专用光伏发电系统的负载,对固定测速系统中用电设备的具体分析,直接决定了其节电策略与方法的制定。实际高速公路固定测速系统主要设备构成、用电及功能分析如表 1 所示。

根据表 1 对固定测速系统设备功能实现及用电情况的分析,在专用独立光伏系统供电的基础上,提出以下节点策略和方法:

(1)采用直流接口。测速系统中的主要用电设备所需工作电压为直流 5 V、12 V 和 24 V,直接采用直流供电,可避免直流转交流再转直流带来的资源浪费,同时提高系统稳定性。若固定测速系统中直流转交流效率为 90%,交流转直流效率为 90%,电能总的利用率也只有 80%,而实际应用中直流交流电转化效率通常达不到 90%,加上转换设备的电力消耗以及交流电压频率对系

表 1 高速公路固定测速系统主要设备构成、用电及功能分析

设备名称	电压/V	频率	功率/W	功能
抓拍摄像机	DC 12	稳定	20	抓拍行驶车辆车牌信息
智能交通频闪灯	AC 220	50 Hz	200(闪亮时)	有车辆行驶过测速点时便会闪光,为抓拍摄像机提供光照
交调(网络)摄像机	DC 24	稳定	20	拍摄路面状况并实时同步到交通监测点
LED 补光灯	DC 5	稳定	20	在光线强度不足时,自动打开,为抓拍摄像机提供光线补充
全景摄像机	DC 12	稳定	20	拍摄各路况信息
测速雷达	DC 5	稳定	2.5	测量行驶车辆车速
微波雷达检测仪	DC 5	稳定	30	向装有雷达测速装置的车辆发出微波信号

统稳定性造成的影响,使得系统整体性价比直线下降。

(2) 灵活补光。智能频闪灯和LED补光灯开关的设计以实际光线强弱为标准,通过控制器检测太阳能板输出电流和充电电压来判断光照强弱和时间,从而采用灵活、可变的补光方式,使抓拍摄像机、全景摄像机和交调摄像机的功能实现始终保持在标准光强下。灵活补光的算法流程如图6所示。 $V_6$ 和 $I_4$ 为预先设定参数值,当太阳能板电压 $V_s$ 大于 $V_6$ 时,认为在此时间段内不需要LED补光灯工作;当太阳能充电电流大于 $I_4$ 且光伏系统处于充电状态( $V_b < V_{max}$ , $V_{max}$ 设置为蓄电池的最大电压)或者 $V_b \geq V_{max}$ (此时关闭充电 $I_s=0$  A),认为此时间段内光照很强,不需要智能交通频闪灯补光。

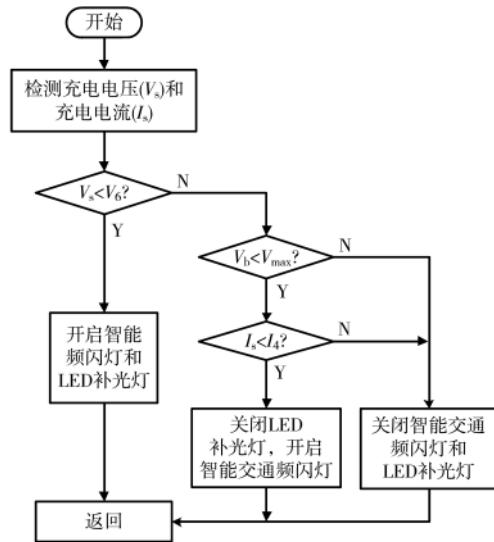


图6 补光算法流程

(3) 采用休眠模式。在夜间或道路无车辆等系统非运行状况下,关闭测速系统中主要用电设备,包括抓拍摄像机、交调摄像机、智能频闪灯、LED补光灯,保证光端机、雷达检测仪等基本设备在线即可。

(4) 采用首车抓拍方式。在交通高峰时期,每当遇到一连串车辆行驶过固定测速点,并且两辆车之间的间隔时间很短时,只需测定并记录首辆通过测速点的车辆信息,就可以确定其后车辆是否超速行驶。当上述情形持续时间超过设定时长 $t$ 后,测速系统将开启下一次抓拍动作。

### 3 实际监测数据分析与结论

通过DTU无线数据传输模块和本地上位机接收软件,得到重庆一高速公路固定测速点中光伏发电系统的实际运行数据并作图如图7、图8所示。

此固定测速点光伏系统配置8块额定功率为196.5 W的多晶硅太阳能电池板、6块12 V 100 AH免维护铅酸蓄电池、8个专用光伏控制器,其中1个控制蓄电池组的放电。固定测速系统在无车辆通过情况下,交调摄像机、全景摄像机、测速雷达、微波雷达监测仪等用电设备开

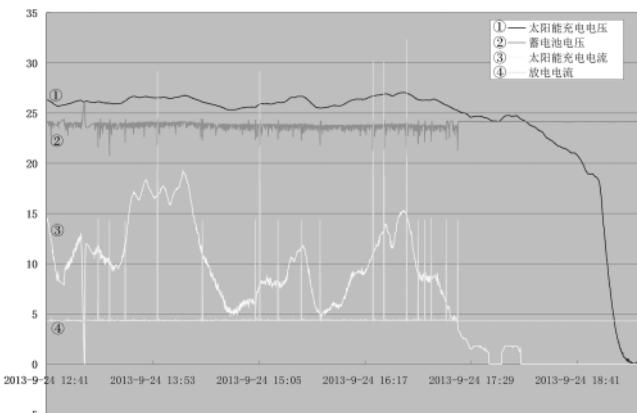


图7 系统充放电1

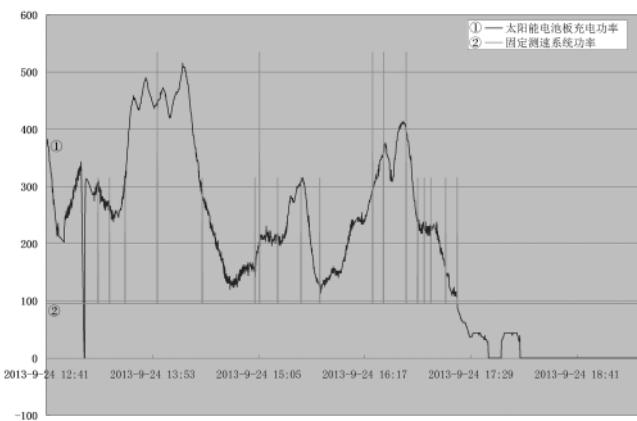


图8 系统充放电2

启,当单车道有车辆通过时,开启一组抓拍摄像机和智能频闪灯;当双车道都有车辆通过时,开启两组抓拍摄像机和智能频闪灯;夜间加开LED补光灯。由图7和图8分析可知,所设计的光伏系统有较高的光电转换效率,且电能利用率高,控制器能够实现MPPT算法和充放电算法的设计要求。该固定测速系统实际运行稳定,效果良好。

### 4 结论

本文有针对性地提出了一种基于光伏发电技术的高速公路固定测速系统供电方法,并根据重庆等典型低日照地区的日照条件,对组成光伏系统的各部分进行了专项研究设计,对核心控制器涉及的太阳能电池板最大功率点跟踪技术和蓄电池充放电算法进行了设计,并进行了试验验证,结果表明控制器高效、稳定,实际应用中能实现固定测速系统全年不间断电力供给,供电效率高,电压、频率稳定。下一步将深化控制器设计,逐步进行研究试验成果转化。

### 参考文献

- [1] 石志刚,朱建军.高速公路监控摄像机太阳能供电方案设计与研究[J].北方交通,2006(11):67-70.
- [2] Li Ligui, Lu Guanghao, Yang Xiaoniu, et al. Progress in polymer solar cell[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(2):

- 145–158.
- [3] 信息产业部电子科技委《太阳能光伏产业发展战略研究》课题组.太阳能光伏产业发展战略研究报告(摘要)[R].中国集成电路,2008:10–24.
- [4] 周浩,杨宝钢,程炳岩.重庆近46年气候变换特征分析[J].中国农业气象,2008,29(1):23–27.
- [5] 冯显争,李训铭.智能型太阳能充电电路设计[J].东南大学学报(自然科学版),2008,38(A02):194–198.
- [6] 杜明星,魏克新,杜吉飞.PWM整流器参数的多目标分层优化策略[J].化工自动化及仪表,2013,40(8):1000–1003.
- [7] 李建,蓝章礼,王裕先,等.高速公路绿化带光伏智能灌溉系统设计与实现[J].节水灌溉,2014(7):79–82.
- [8] 吴理博,赵争鸣,刘建政.用于太阳能照明系统的智能控制器[J].清华大学学报,2003,43(9):1195–1198.
- [9] 张为民,李晓武,雷霆.太阳电池–铅酸蓄电池充电控制器研究[J].电源技术,2004,28(1):43–46.
- [10] 邱书波,綦星光.铅酸蓄电池自动充放电控制器的设计与实现[J].电子技术应用,2001,27(6):32–33.
- [11] 李建.LED驱动模式与核心算法[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [12] 樊铭京,谢清华,宋玉娟,等.作物智能化精准灌溉监测控制技术应用研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2012,43(2):299–303.
- [13] 王久和,张金龙,李华德.电压型PWM整流器直接功率控制系统主电路参数设计[J].北京科技大学学报,2006,28(11):1091–1095.
- [14] WANG F, CHEN G, BOROYEVICH D, et al. Analysis and design optimization of diode front-end rectifier passive components for voltage source inverters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2008, 23(5): 2278–2289.

(收稿日期:2021-07-16)

## 作者简介:

李建(1987–),男,硕士,工程师,主要研究方向:工业信息化。



扫码下载电子文档

(上接第56页)

- encoder for the 10-ps wave union TDC[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2016, 60(5): 3544–3549.
- [12] BAYER E, TRAXLER M. A high-resolution(<10 ps RMS) 48-channel time-to-digital converter(TDC) implemented in a field programmable gate array(FPGA)[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2011, 58(4): 1547–1552.
- [13] Zhao Lei, Hu Xueye. The design of a 16-channel 15 ps TDC implemented in a 65 nm FPGA[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2013, 60(5): 3532–3536.
- [14] Wu Jinyuan. Several key issues on implementing delay line based TDCs using FPGAs[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2010, 57(3): 1543–1548.
- [15] FISHBURNM W, MENNINGAL H, CHARBON E. A 19.6 ps, FPGA-based TDC with multiple channels for open source applications[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2013, 60(3): 2203–2208.
- [16] Wang Yonggang, Kuang Jie, Liu Chong. A 3.9 ps time-

- interval RMS precision time-to-digital converter using a dual-sampling method in an UltraScale FPGA[J].IEEE Transactions on Nuclear Science, 2016, 63(5): 2617–2621.
- [17] 蔡东东,何在民,刘正阳,等.基于码密度法的FPGA进位链时延标定[J].时间频率学报,2019,42(3):240–247.
- [18] 李海涛,李斌康,田耕,等.一种通用的TDC码密度校准信号产生方法及其实现[J].电子与信息学报,2021,43(8):2121–2128.

(收稿日期:2021-09-03)

## 作者简介:

李海涛(1986–),男,博士,工程师,主要研究方向:快电子学。

李斌康(1965–),男,博士,研究员,主要研究方向:脉冲辐射探测、快脉冲电子学研究和系统研制。

田耕(1979–),男,博士,正高级工程师,主要研究方向:仪器仪表控制、核电子学。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所