

# 异步感应电机转速自适应控制系统

张小冰

(浙江东方职业技术学院 信息传媒与自动化学院, 浙江 温州 325000)

**摘要:** 为解决传统电机转速控制系统存在的噪声控制不理想、电流电压采样精度低、故障检测不准确等问题, 设计了异步感应电机转速自适应控制系统; 选用 DSP-LF2407 为系统硬件主控制芯片, 通过对功率主电路和功率驱动电路进行优化, 加强硬件部分的噪声控制; 接入高精度采样电阻, 对电压信号进行 RC 滤波, 依据 FAULT 管脚电平在系统故障时会被拉低的特点, 提高系统软件电流电压采集和故障检测的精度; 通过对硬件和软件部分进行优化, 实现异步感应电机转速自适应控制系统的设计; 实验结果表明, 该系统噪声控制效果好、电流电压采用精度高、故障检测精度高。

**关键词:** 异步感应电机; 转速; 自适应; 控制; 系统设计

## Adaptive Control System of Asynchronous Induction Motor Speed

Zhang Xiaobing

(Department of Information Media and Automation, Zhejiang dongfang Vocational and Technical College, Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of unsatisfactory noise control, low current and voltage sampling accuracy and inaccurate fault detection in the traditional motor speed control system, an adaptive speed control system of asynchronous induction motor is designed. DSP-LF2407 is used as the hardware of the system main control chip, through optimizing the power circuit and power driving circuit, strengthen the noise control of hardware access; high precision sampling resistance, RC filter was applied to voltage signal, according to the characteristics of FAULT pin level fault in the system will be pulled low, current and voltage acquisition and improve the system software the accuracy of fault detection. Through the optimization of hardware and software, the design of asynchronous induction motor speed adaptive control system is realized. The experimental results show that the system has good noise control effect, high accuracy of current and voltage and high accuracy of fault detection.

**Keywords:** Asynchronous induction motor; speed; adaptive; control; system design

## 0 引言

异步感应电机, 又可称为感应电动机, 是一种把转子放在旋转的磁场内, 在旋转磁场作用之下, 得到转动力矩, 进而使转子转动的机器<sup>[1]</sup>。目前既实用, 性能又高的异步感应电机基本为进口的, 不仅成本高, 而且严重限制了我国感应电机相关行业的发展<sup>[2]</sup>。为了提高我国异步感应电机的性能, 对异步感应电机的转速进行控制, 在降低成本的同时, 能够使电机稳定运转<sup>[3]</sup>。为了降低人工消耗, 一些专家和学者已针对异步感应电机转速自适应控制系统进行大量研究, 并已有很大成果。但这些传统异步感应电机转速自适应控制系统的性能并不完善, 在进行转速自适应控制的过程中, 难以减少噪声干扰, 对电压电流的采集精度不高, 对电路故障检测也不够准确<sup>[4]</sup>。为了解决以上问题, 提出设计一种异步感应电机转速自适应控制系统。通过分析异步感应电机转速自适应控制原理, 对功率主电路、功率驱动电路、转子位置检测电路等硬件部分进行优化, 接入高精度采样电阻, 对电压信号进行 RC 滤波, 选用 FAULT 管脚电平完成软件部分的主程序和中断服务程序, 从而实现异步感应电机转速自适应控制系统的设计。实验结果表明, 该系统噪声控制效果好、电流电压采用精度高、故障检测精度高。

## 1 异步感应电机转速自适应控制原理

本文针对异步感应电机转速控制系统的自适应要求, 将

收稿日期: 2017-10-30; 修回日期: 2017-11-26。

作者简介: 张小冰(1977-), 男, 安徽宿松人, 硕士, 副教授, 主要从事电机控制及自动化装置方向的研究。

DSP-LF2407 当作主控制芯片, 通过模糊 PID 法, 实现异步感应电机转速自适应控制系统的设计。其中 DSP-LF2407 为 AD 公司设计的一款, 专门给电机控制优化系统设计提供的定点芯片<sup>[5]</sup>, 非常适合于异步感应电机转速的自适应控制系统中。该芯片将很多外围电路集成在一起, 性价比很高<sup>[6]</sup>。

在该系统中, DSP 主要负责对采集到的数据进行处理, 和传送控制命令。其中, DSP 根据对单元捕捉转子处, 传感器脉冲信号的捕获, 并且传送至 MOSFET 管中的 IR2130 中, 利用 MOSFET 管功率, 来实现电路整体的驱动, 使异步感应电机进行旋转, 对转速环以及电流环双闭环进行控制, 进而高效提高异步感应电机转速控制准确性。

## 2 硬件设计

### 2.1 系统硬件总体框架

对于三相异步感应电机的转速自适应控制系统的研究, 文章提出了, 基于 DSP 的异步感应电机转速自适应控制系统。控制系统总体结构为:

该系统的硬件电路中包含: 主电路、转子处的检测电路、和电源电压的检测电路以及电流电压采集调理电路等。系统通过 PWM 方式对异步感应电机进行控制, 该种 PWM 技术可方便调压, 且功率开关的损耗低<sup>[6-7]</sup>。驱动的部分通过 IR2130, 来对三相逆变桥进行高效地驱动。位置信号利用异步感应电机自身的元件给出, 且根据 DSP 的 CAP 端以获取定位, 通过捕获操作, 得到三相转子的具体位置, 完成异步感应电机的换相。利用对 PWM 波宽度的调整, 控制逆变器的三相输出电压平均值, 完成对异步感应电机转速的自适应控制。该系统选取 DSP 的 FAULT 管脚, 将其当作系统的保护信号的输入端, 系统出

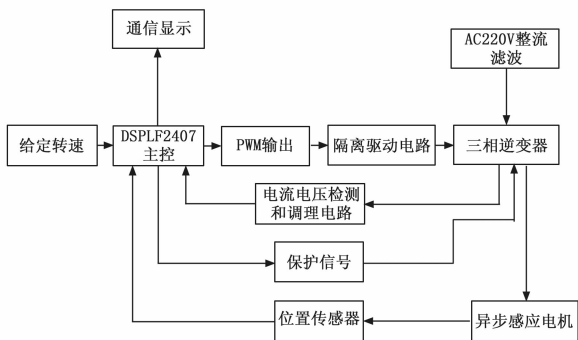


图 1 系统硬件框架

现故障的时候，那么 FAULT 管脚的电平被拉低，同时 PWM 所有输出的引脚，均设置成高阻的状态，中断保护会被生成。

接下来分别对系统硬件中的各个模块进行介绍。

### 2.2 功率主电路设计

系统的功率主电路图如图 2 所示。

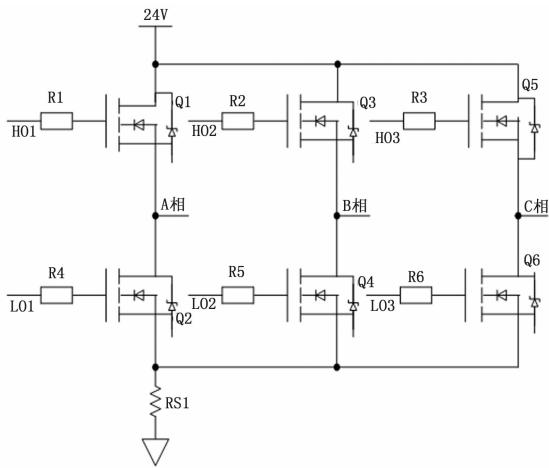


图 2 系统功率主电路

异步感应电机转速自适应控制系统中，功率主电路通过三相逆变桥的形式完成，其原理如图 2 所示。主功率开关器件是 MOSFET，型号是 IRF3205，导通阻抗极低，值为 8 mΩ，栅极输入的阻抗比较高，所需驱动电流比较小噪声低。图中 A、B、C 三相，均分别与异步感应电机定子中，电枢三相线圈进行连接。且 RS1 为相电流采集精度非常高的电阻，电机产生堵转或者短路时，该电阻可迸发大电流，并停止功率管的工作，防止情况的继续恶化。

### 2.3 功率驱动电路设计

该电路通过集成的驱动芯片 IR2130 完成。可便利地完成三相逆变桥，及其他的拓扑结构的电路中，六个 MOSFET、IGBT 功率管的驱动<sup>[8]</sup>，IR2130 的特点有：开关控制的频率，能够达到 20 kHz 以上；具有六路集成驱动的特点。驱动电路如图 3 所示。另外，IR2130 芯片共同传输出，六路高频率的脉冲信号，用来控制，六大 MOSFET 管的开通、关断顺序，用来驱动三相异步感应电机的旋转。经输出 HO1、HO2 及 HO3 的脉冲，并输出 LO1、LO2 及 LO3 的脉冲，对三相逆变桥下桥中，各部分进行单通与关断，以 B 相桥臂为例：

IR2130 芯片内部，存在硬件保护电路，可完成过电流、欠电压的保护。经 IR2130 中的 8 脚 FAULT，把低电平信号

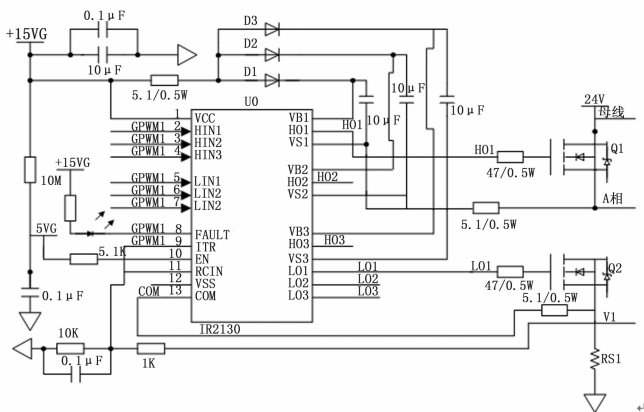


图 3 系统的功率驱动电路

实施输出操作，且有报警的信号。假如 IR2130 的工作源欠电压，那么检测器会快速地进行翻转，使被驱动的功率管截止，且为全部截止，这能使电路获得保护，同时由元件 8 脚，来得到故障信号检测的结果。一般来说，把 FAULT 信号接至 DSP 内，当电路发生故障时，FAULT 会拉低驱动保护的输入引脚，置定关断 EN 单元全部 PWM 的输出通道，并且将其设为高阻态，由此实现电机转速控制系统的保护。

### 2.4 转子位置检测电路设计

该单元作用为：对异步感应电机转子磁极位置进行实时地检测，其中的 DSP 捕获单元，用来对转速进行测量，以及对速度的调节。电路图如图 4 所示。

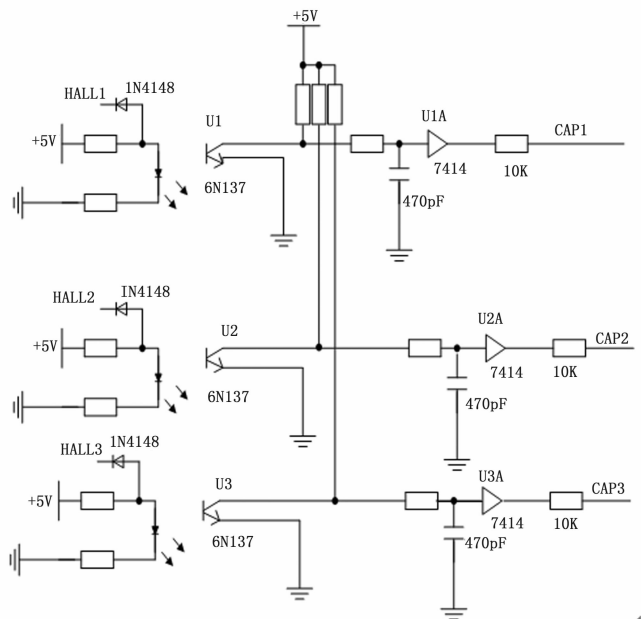


图 4 转子位置的检测电路

图 4 中，HALL1、HALL2，以及 HALL3 为转子位置上的，三相霍尔信号。其中的 6N137 用于单通道的，高速光耦耦合器中，假如某相是高电平，则证明二极管 1N4148 将会截止，信号会利用 RC 滤波电路，并将高频干扰信号进行滤除，并通过 7414 触发器传输高电平，能够将信号的斜波部分消除，并把信号变换成标准的方波信号，由此 DSP 不会单元以及 I/O 口，就可精确检测出信号。

### 2.5 相电流采样电路设计

在异步感应电机转速控制系统中，采集电流信号的方式为：于功率主电路内，快速接入高精度的，电流采样电阻<sup>[9]</sup>。这个电阻能直接地把功率主电路内，电流的信号转变换成电压的信号，并将其传送到异步感应电机自适应控制系统中的控制电路。但是为了精准地检测采集电流，就需在电流的采样电路构建中，采用到线性的隔离元件。另外，相电流的采集电路构建中，根据的是 HCNR200 线性的光耦芯片，该芯片的特点为：成比例变化，而且线性程度可高至 0.01%。图 5 为相电流的采样电路。

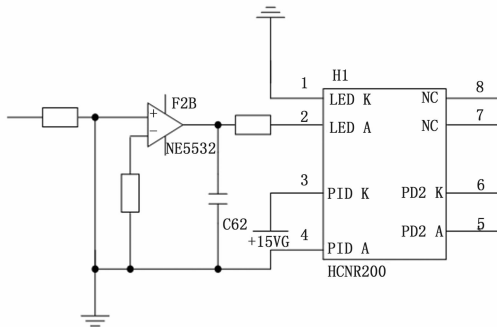


图 5 相电流的采样电路

在上述主电路中采样电阻，开始流入电流之后，得到的电压值需要经缩放，才可以输入至 A/D 单元，因此需要利用放大器，将信号进行放大，经放大的信号，能够根据 HCNR200 线性的光耦芯片，来完成线性隔离，利于 DSP 中 A/D 口实现采样。图 5 中，C62 负责电路的信息反馈，也会滤除电路中的毛刺信号，进而防止 HCNR200 内的关键部位受到冲击。其中 HCNR200 为电流驱动型的器件，则为了保障驱动的性能，系统电路选择双极性运算放大器。

### 2.6 电源电压检测电路设计

电源电压检测的电路的主要作用是：对主电路中的电压信号值，进行实时检测，避免由于电源的电压太高，进而将电机损坏。对信号实施电阻分压，以及 RC 滤波，送至 HCNR200 实现信号的隔离，进而把信号传输至 DSP 的 A/D 口，由此实现电压的高精度采样。

### 2.7 电压电流信号调理电路设计

电流电压调理电路主要作用就是调节电路，使电路稳定性增强。电压信号的调理电路内部的 HCNR200 与其在系统相电流的采样电路中的作用相似。

综上所述，对各电路的设计方案进行完善，完成对异步感应电机转速自适应控制系统硬件部分的设计。为系统软件部分的设计提供最优的硬件环境。

## 3 软件设计

在异步感应电机转速自适应控制系统的软件设计中，主要就是主程序、中断的服务程序等模块进行设计。

主程序单元的功能为：系统的初始化，对转子当前的位置进行捕获，启动异步感应电机，设置中断的逻辑，以便对中断程序进行循环调用。具体流程为初始化 DSP，构建程序变量开辟相应的内存地址，把捕获的 CAP1—CAP3 口设置为 I/O 功能，此时电机开始启动，将 CAP1—CAP3 口恢复到捕捉功能，进入循环等待，实现主程序中中断逻辑的设置。

当电机已经转过额定的角度，其位置的信号会产生跳变

的现象，采用恢复 CAP1—CAP3 端口<sup>[10]</sup>，以改变 PWM 输出的状态，驱动电机可持续地进行旋转，将感应电机启动，此时使能定时器已开启，通过读取读取 CAP1—CAP3 口霍尔信号，判断电机位置所在区域，依据区域输出相应的 PWM 波，设置 CAP1—CAP3 捕获端口。

电机在旋转的过程中，各传感器均可经过变换得到方波信号，三个位置的传感器，输出的六种状态，刚好与功率管六次换相的过程对应。为了获得六个换相时间，还需要知道为哪一相，就需要将 CAP1—CAP3 端口的功能修改成 I/O 查询口，对三个信号的电平状态进行检测，就能够明确是哪个位置的传感器接口触发了中断，捕获中断服务程序流程如图 6 所示。

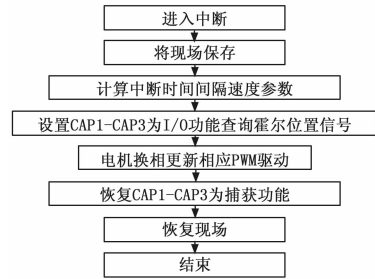


图 6 捕获中断服务程序流程图

速度环通过模糊 PID 进行控制。且速度环计数器，到达预定值的时候，将会进入至异步感应电机转速调节子程序中。通过位置信号，对异步感应电机速度的反馈值计算结果，和给定转速值比较，并获得速度的误差量以及误差变化率，模糊化速度误差量与误差变化率，再利用查询模糊控制的规则表，获得  $\Delta k_p$ 、 $\Delta k_i$  与  $\Delta k_d$ ，将获得数据加上个周期的  $k_p$ 、 $k_i$  与  $k_d$ ，进而更新  $k_p$ 、 $k_i$  与  $k_d$  值，最后把  $k_p$ 、 $k_i$  与  $k_d$  带至增量式的数据 PID 中进行计算，获得新电流参考值。

电流的调节器是利用 PI 调节完成的<sup>[11]</sup>。把采样获得的目前的电流值、参考电流值实施比较，通过电流环，来调整 DSP 输出 PWM 占空比，进而实现电流调节，完成对电机转速的自适应控制。则电流 PI 调节计算公式为：

$$PWM(k) = PWM(K - 1) + k_p e + k_i I_e(k) \quad (1)$$

其中： $PWM(k)$  代表第  $k$  次的电流环，进行 PI 调节之后，输出的 PWM 波占空比， $k_p$ 、 $k_i$  代表电流环的比例系数、积分系数， $I_e(k)$  代表第  $k$  次采样后的电流误差。

根据以上步骤，完成了异步感应电机转速自适应控制系统的设计。

## 4 实验结果与分析

为了验证所设计的异步感应电机转速自适应控制系统的性能，实验采用某公司比较知名的 SZDSP—2 型的教学实验箱，示波器是 Tektronix TDS1002 型的双通道、数字模式存储示波器，电机的平台使用的是某公司的 MPEC—1 型的现代电力电子控制教学试验平台。DSP 控制板利用 XDS510 通信器和电脑连接，完成程序加载和调试。根据文章中的软硬件设计，进行实验。实验结果及分析具体描述如下。

噪声对异步感应电机转速自适应控制系统有较大的影响，噪声控制效果的好坏是电机转速自适应控制系统性能是否优良的关键因素。分别采用传统系统和改进系统对噪声进行控制，测得两种不同系统噪声控制效果对比结果如图 7 所示。

观察图 7 (a)，图 7 (b) 可知，采用传统系统对噪声进行

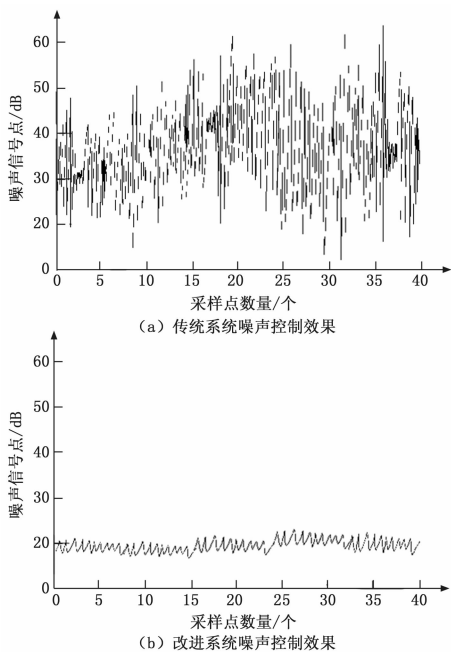


图 7 两种不同系统噪声控制效果对比

控制，随着采样点数量的增加，噪声信号点不断增多，噪声信号点的密度也不断增大。在采样数量为 18、33、35 时，均出现最大噪声信号点为 60 dB，说明传统系统受噪声干扰十分频繁。采用改进系统对噪声进行控制，随着采用点数量的增加，噪声信号点保持平稳变化，始终保持在 20 dB 左右，且噪声信号点的密度较为均衡。对比改进系统和传统系统的实验结果，改进系统的噪声信号点远远少于传统系统的噪声信号点，充分说明改进系统对噪声的控制效果更好，验证了改进系统的可行性。

为了验证所设计的异步感应电机转速自适应控制系统的性能，分别对传统系统和改进系统的电压电流采集精度进行测试，电流与电压的采集原理及过程完全相同，因此实验以电流的采集为例，测得两种不同系统的电流采集对比结果如图 8 所示，图中的白色圆圈为可以采集的电流数据，黑色矩形框代表采集到电流数据。

观察图 8 可知，图 8 (a) 为实际电路数据分布情况，实验部分共存在 9 个可采集的电流数据。图 8 (b) 为传统系统电流数据采集的结果，采用传统系统只采集到 4 个电流数据，计算出电流采集精度约为 45%。图 8 (c) 为改进系统电流数据采集的结果，采用改进系统采集到全部的电流数据，计算其电流采集精度约为 100%。对比改进系统和传统系统的实验结果，改进系统的电流数据采集量远远大于传统系统电流数据采集量，可得改进系统的电流采集精度更高。同理验证两种系统电压采集精度可得，改进系统的电压采集精度更高。综合电流电压采集实验结果，充分说明改进系统的电压电流采集精度高，验证了改进系统的实用性。

电路故障检测精度是验证所设计的异步感应电机转速自适应控制系统性能的关键指标之一。分别对传统系统和改进系统的电路故障检测精度进行测试，测得两种不同系统电路故障检测对比结果如图 9 所示，图中各条线组成的几何图形为模拟电路网，黑色实心圆点代表电路中的故障点，虚线空心圆圈代表系统检测出的电路故障点。

由图 9 可知，图 9 (a) 为实际电路故障点分布情况，在

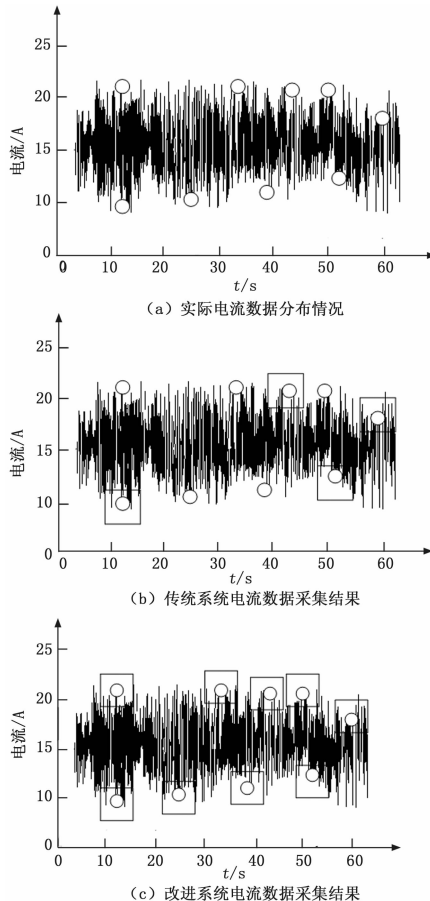


图 8 两种不同系统电流数据采集对比结果

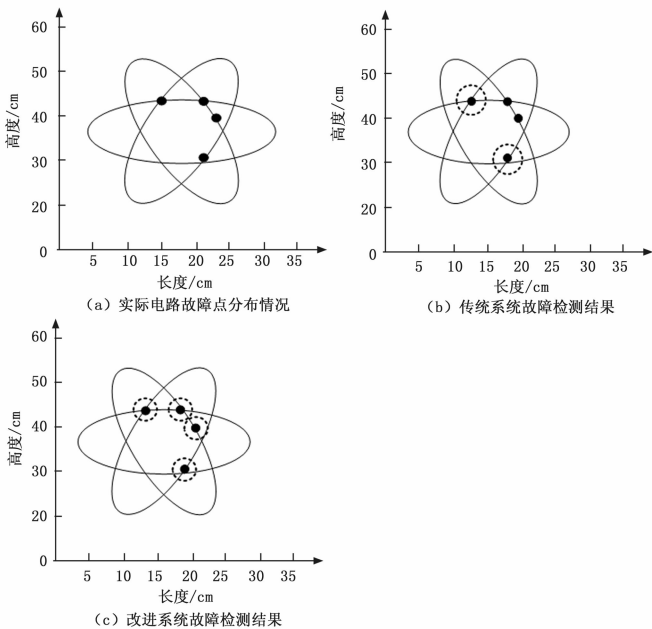


图 9 两种不同系统故障检测对比结果

实际电路中共有 4 个故障点。图 9 (b) 为采用传统系统对电路故障进行检测的结果，传统系统只检测出 2 个故障点，且这两个故障点相距较远，对于距离较近的故障点并没有检测出来。图 9 (c) 为采用改进系统对电路故障进行检测的结果，4 个故

(下转第 116 页)