

文章编号:1000-582X(2010)06-106-05

采用 LSK 和 PSK 的无源装定系统双通道反馈方法

熊 东,曾孝平,朱周贤,杨学敏,王 峰

(重庆大学 通信工程学院,重庆 400044)

摘 要:为了实现无源装定系统中对装定数据和引信状态信息的独立反馈,提出了采用负载调制键控(load shift keying, LSK)和相移键控(phase shift keying, PSK)分别进行信息反馈的方法,并建立了相应的反馈模型,给出了电路实现方法和具体的电路参数选择。该方法具有电路实现简单、能量消耗低,信息反馈迅速可靠等优点,经测试表明,接收端建立直流电压在不低于 3 V 时,能够在同一无线信道内对 6.25 kbps 的装定数据和 50 kbps 引信状态信息实现稳定的独立反馈,并已完成了原理样机的设计和调试。

关键词:无源装定系统;负载调制键控;相移键控

中图分类号: TN92

文献标志码: A

Dual channel transmission method based on LSK and PSK for passive setting system

XIONG Dong, ZENG Xiao-ping, ZHU Zhou-xian, YANG Xue-min, WANG Feng

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: For separate transmission of received data and current fuze status data in a passive setting system, a dual channel transmission method based on LSK and PSK is proposed. The corresponding feedback transmission model is set up. The methods for circuit realization and circuit parameters selection are also presented. This method has the advantage of easy circuit realization, low energy consumption, and quick and reliable information feedback. The test shows it can realize the stable dual feedback of 6.25 kbps setting data and 50 kbps status data of fuze in the same wireless channel when the DC voltage is not lower than 3 V. The design and modulation of principal prototype have been completed.

Key words: passive setting system, LSK, PSK

无源装定系统在现代武器系统中起着至关重要的作用,能够根据目标信息实时调整装定数据,尽可能的发挥弹丸的毁伤效果。1996 年, Kawamura 提出了一种通过旋转式变压器实现能量和信息非接触同步传输的方法,首次提出了“能量和信息非接触同步传输”的概念,为无源装定系统的研究奠定了坚实的基础。为了确保装定信息的准确性,受信体应该

具备信息反馈的功能,能及时将装定数据回传给装定器。周晓东,丁立波对无源装定中的基于负载调制的信息反向传输技术进行了研究^[1]。为了提高系统的可靠性,张峰,李杰将副载波传输技术引入了负载调制系统^[2]。杨会军等人重点研究了基于负载调制的信息反向传输的半双工模式^[3]。为了保证系统的在恶劣环境的正常工作,需要向装定器反

收稿日期:2010-02-10

基金项目:重庆市教委科技计划资助项目(KJ080724)

作者简介:熊东(1978-),男,重庆大学博士,主要从事测控系统软化、数字化、集成化方向研究,(Tel)60996844。

馈受信体的自检状态信息和温度信息。现有的感应式装定信息反馈方法主要以振幅键控方式的负载调制来实现,只能实现单通道的信息反馈。为此,提出了一种双通道信息反馈方法,并实现了反馈信号的正确解调和解码。

1 无源装定系统信息反馈模型

典型的电磁感应式无源装定系统电路结构图如图 1 所示。本模型的背景是炮尾数据装定器,系统

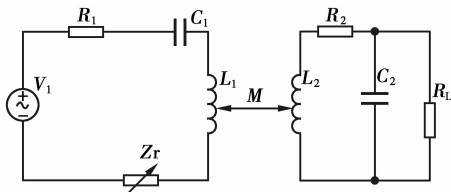


图 1 电磁感应式装定系统电路结构图

所处环境较为复杂,具有较多的不规则金属。如果数据的载波频率选得过高,则信号和能量将以电磁场方式传播,金属对电磁场的反射和吸收会造成电磁场分布难以控制。如果数据的载波频率选得过低,则信号传输速率难以满足系统要求。综合以上因素,并考虑到系统实现的复杂程度,选择 2 MHz 为数据传输系统的载波工作频率。装定系统的信道由 2 个相距较近的耦合线圈及其匹配电路组成。在载波工作频率上,电路的无功元件 L_1, L_2 起支配作用,系统的能量和数据传输是通过 L_1 和 L_2 之间的互感 M 实现的。为了简化互感 M 对装定器端电流的影响,可以采用引信复数等效变换阻抗 Z_r 来实现^[4-5]。由图可知,引信部分阻抗的变化会导致装定器端的等效变换阻抗 Z_r 的改变。由于装定器天线与引信天线的电感耦合系数很低,因此这种变化对发射端电流的影响很小。于是,可以用电压源 U_z 来表示这种影响。

$$U_z = V_1 \frac{Z_r}{R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} \quad (1)$$

由公式(1)可知, U_z 可能与 V_1 同相,这就是调幅,如果控制信号为数字信号,则为 LSK^[6-7];也可能与 V_1 存在一定的相移,这就是调相,如果控制信号为数字信号,则为 PSK。PSK 方式反馈信号是有利于无源装定系统的能量传输,在数据反馈期间不会因为调制方式损失传输能量^[8-11]。

在装定器的 RF 功率源频率、装定器及引信的线圈位置固定的情况下, Z_r 由接收端电路参数决定^[12-13]。 Z_r 的表达式为

$$Z_r = \frac{(\omega M)^2}{Z_2} \quad (2)$$

其中, Z_2 为引信端电路的等效阻抗,

$$Z_2 = R_2 + j\omega L_2 + \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)^{-1} = \left(R_2 + \frac{R_L}{1 + \omega^2 C_2^2 R_L^2}\right) + j\left(\omega L_2 - \frac{\omega C_2 R_L^2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_L^2}\right) \quad (3)$$

由于 $\omega^2 C_2^2 R_L^2 \gg 1$, 所以

$$Z_2 \approx \left(R_2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2 R_L}\right) + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right) \quad (4)$$

所以,联合(2),(4)可得

$$Z_r = \frac{(\omega M)^2}{\left(R_2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2 R_L}\right) + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right)} \quad (5)$$

2 无源装定系统双通道信息反馈的电路实现

无源装定系统双通道信息反馈的原理框图如图 2。RF 功率源驱动由 L_1, C_1, R_1 构成的串联谐振电路, R_1 为包括 RF 功率源输出电阻在内的整个发射电路的等效串联电阻,调谐频率等于载波频率^[14-15]。在引信端, L_2, C_2 和 R_L 构成并联谐振电

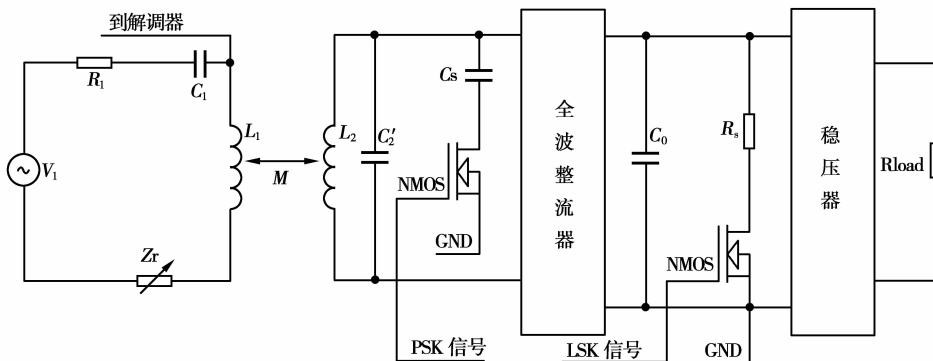


图 2 装定系统双通道信息反馈的原理框图

路,调谐频率也等于载波频率。其中, R_L 为由负载电阻 R_{load} 和 LSK 信号控制电阻 R_s 共同作用的等效电阻; C_2 为由谐振匹配电容 C'_2 和 PSK 信号控制电容 C_s 共同作用的等效电容。利用电感 L_1, L_2 的电感耦合效应,就能实现能量和数据的传输。由并联谐振电路取出的信号经过全波整理后,得到约为 5 V 的直流电压,然后经过稳压电路得到较为稳定的 3 V 直流电压,以供引信的微控制芯片工作。LSK 方法就是通过被传输的数字信号控制 NMOS 管的通断,控制 R_s 是否接入电路,调节等效电阻 R_L 的大小,实现信息的反馈。如果数字信号控制 NMOS 管的通断实现的是对电容 C_s 的控制,调节等效电容 C_2 的大小,则成为 PSK 方法。最终,对电阻 R_s 或者电容 C_s 的控制,就可以改变装定器电路中的等效阻抗 Z_r ,从而改变等效电压源 U_Z ,实现反馈数字信号的传输。

在 LSK 方式数据传输模型中, R_{load} 为稳压器输出端的等效电阻,在本传输系统中,为微控制器的等效电阻。负载调制电阻为 R_s, R_{load} 在全波整流输出端等效电阻为 R'_{load} 等于 $25/9R_{load}$ 。采用数字信号控制 NMOS 管的通断的方式,就能实现等效负载电阻在 $R_L=R'_{load}$ 和 $R_L=1/(1/R'_{load}+1/R_s)$ 之间的转换。这个变化,也就导致了在发射端的等效电阻 Z_r 的变化。由于引信端的谐振电路已调谐,故 $\omega L_2=1/(\omega C_2)$, Z_2 的虚部为 0。所以,LSK 方式时,有以下表达式

$$Z_r = \frac{(\omega M)^2}{R_2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2 R_L}} \quad (6)$$

R_L 的变化,很容易通过 Z_r 的变化体现出来,调节 R_L 只会改变 Z_r 的实部。

在 PSK 方式数据传输模型中, C_s 为跨接于并联谐振电路两端的电容负载。数字信号控制 NMOS 管的通断就能实现并联谐振电容 C_2 在 C'_2 和 C'_2+C_s 之间的切换。调节 C_2 ,引信端的谐振电路就会失谐,也就会引起 Z_r 的变化。为了解调的方便, Z_r 产生的等效电压 U_Z 应具有相同的幅值,因此需要保证 C_2 等于 C'_2 和 C'_2+C_s 时, Z_r 具有相同的幅值。

3 感应式装定系统信息反馈电路的参数分析

3.1 LSK 数据传输通道

系统使用的微控制器,在室温 25 °C 件下测试,全速运行时在全波整流输出端的等效电阻 R'_{load} 为 8 k Ω 。负载调制电阻 R_s 取为 1.8 k Ω 。调制电阻 R_s 接入时,等效电阻 R_L 为 1.5 k Ω ;调制电阻 R_s 未接入时,等效电阻 R_L 为 8 k Ω 。等效电阻 R_L 的变化会导致装定器部分的等效变换电阻 Z_r 变化,仿真曲线如

图 3 所示。根据式(5)、(1), R_L 在 1.5 k Ω 和 8 k Ω 之间切换就会控制等效变换电阻 Z_r 实部 5.3 倍的变化,也就控制等效变换阻抗电压源 U_Z 幅值也有 5.3 倍的变化。这个变化在装定器电感端的电压测试中就能体现出来。

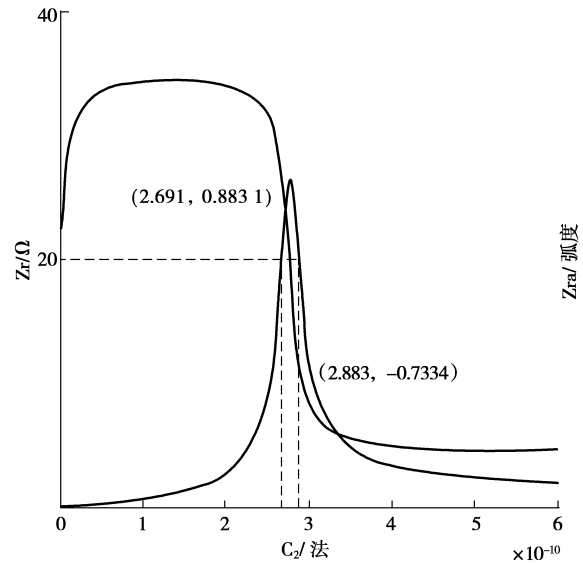


图 3 LSK 方式对 Z_r 幅度调制率

3.2 PSK 数据传输通道

PSK 方法进行数据传输时,改变并联谐振电容 C_2 不仅会改变 Z_r 的虚部,也会改变 Z_r 的实部, Z_r 与 C_2 关系如图 4 所示。经分析可知,在 C_2 分别取 269 pF 和 288 pF 时, Z_r 可以得到相同的幅值,因此反映在装定器电感端的电压也就能保持幅值不变。数字信号为 1 时,NMOS 管导通, C_2 为 269 pF, Z_r 的相位为 0.67 rad;数字信号为 0 时,NMOS 管断

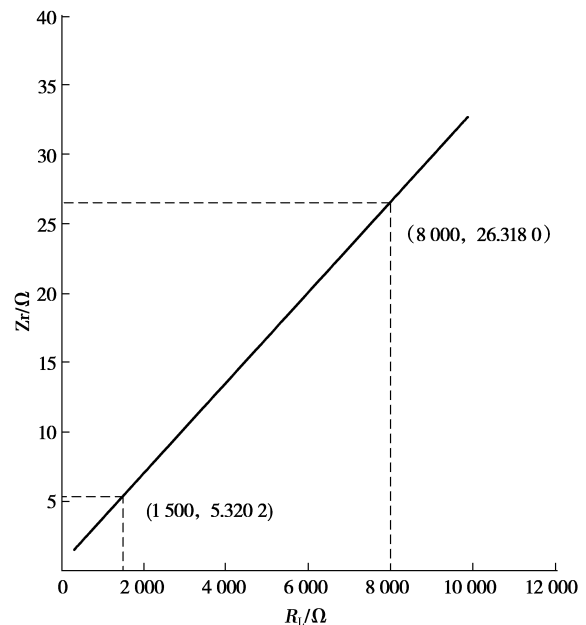


图 4 PSK 方式对 Z_r 相位调制

开, C_2 为 288 pF, Z_r 的相位为 -0.73 rad。谐振电容 C_2' 取为 269 pF, 被控电容 C_s 取为 17 pF, 就能实现 C_2 在 269 pF 和 288 pF 之间的转换。因此, 反映在装定器电感端的等效变换阻抗电压源 U_z 也就有 1.4 rad 的相差, 这个相差可以通过普通的调相解调系统就能完成数据的恢复。

4 反馈信息提取系统

无源装定系统的装定器功能模块框图如图 5 所示。装定器由火控数据传输系统和反馈信息提取系统构成。火控数据传输系统系统完成接收火控计算机装定数据, 然后进行信道编码, 将编码后的数据对

时钟源提供的载波进行幅度调制, 最后经过 RF 功率放大器后送天线, 完成数据的装定。反馈信息提取系统则完成反馈信号的恢复。首先将包含了引信反馈的 LSK 或 PSK 信号的装定器电感电压和从时钟源得到的载波信号同时送入混频器, 然后将输出信号同时送入低通滤波器和带通滤波器。如果是 LSK 信号, 则通过低通滤波器后很容易通过调幅解调完成反馈信号的恢复, 并送入 DSP 完成数字滤波和解码。如果是 PSK 信号, 则通过带通滤波器后也可以用典型的调相解调完成反馈信号的恢复, 然后送入 DSP 完成后续处理。

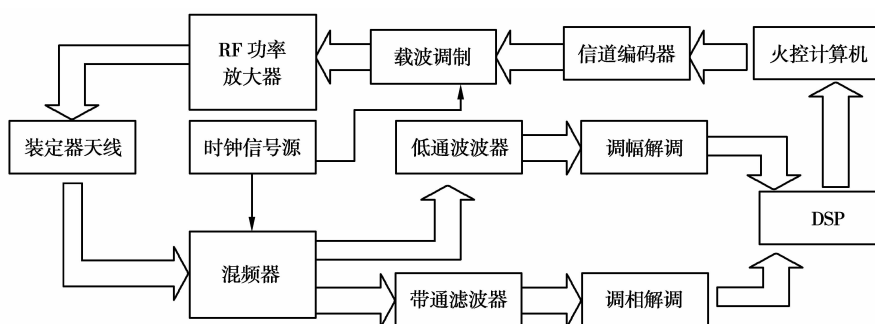


图 5 无源装定系统功能模块框图

5 实验及测试结果

在装定系统中, LSK 数据传输方式的数据传输采用 25 kbps 的副载波, 数字信号采用 NRZ 编码, 速率为 6.25 kbps。反馈数据为“10101100B”时, 引信和装定器电感端的实测电压波形如图 6 所示。

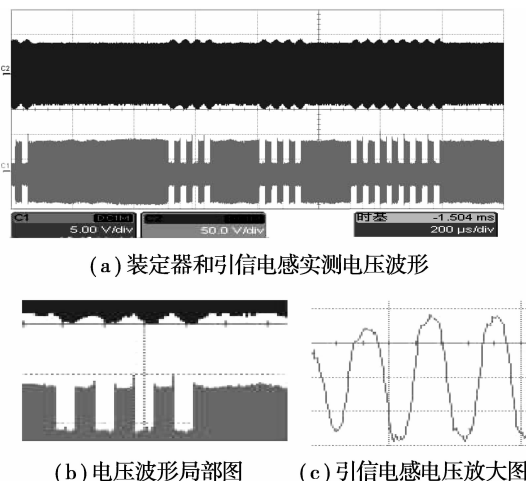


图 6 LSK 反馈方式的装定器和引信电感电压波形图

在(a)图中, 示波器通道 1 为引信端电感的实测电压波形, 通道 0 为装定器端电感的实测电压波形,

X 轴表征时间, Y 轴表征电压幅度。根据引信端的电感波形可以计算出调制度为 0.515, 和理论计算值基本相符。图(b)和图(c)为局部放大图。

PSK 数据传输通道的数据传输速率为 50 kbps, 由于不需要副载波调制, 传输速度可以比 LSK 通道快得多。

经实验证实, 谐振电容 C_2' 取为 269 pF (220 pF, 47 pF 和 2 pF 电容并联), 被控电容 C_s 取为 17 pF (15 pF 和 2 pF 电容并联), 能够保证在数字信号分别为“0”和“1”时引信端的电感波形幅值几乎不变, 幅度调制度大于 0.95, 相位跳变约为 1.1 rad, 和理论计算值基本相符。为了便于波形的观察, 可以将引信端的电感电压幅度的调制度变为 0.9, 由图 4 可知, 只需要将 C_s 取为 24 pF 就可以了。此时, 引信端的电感电压会有 1.3 rad 的相位跳变。改进后, PSK 数据传输方式时引信和装定器电感端的实测电压波形如图 7 所示, 传输数据为“01010011B”。其中图(b)和图(c)为局部放大图。通过以上的实验验证了双通道信息反馈系统功能完全正常。而且, 由于本方法对能量要求较低, 不必额外提高装定器的发射功率, 各功能模块就能正常工作。从装定器端电感的电压信号恢复反馈数字信号则由 DSP 为核心的反馈信号提取系统完成, 难度较低。

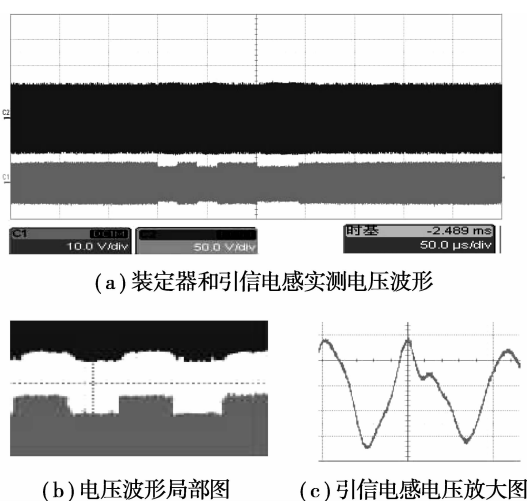


图7 PSK反馈方式的装定器和引信电感电压波形图

6 结论

在无源装定系统中,受信体需要完成装定数据和自身状态信息的反馈,是通过 LSK 方式和 PSK 方式分别实现的。LSK 方式是通过控制反馈阻抗等效电压源 U_z 的实部实现信息反馈,是一种特殊的幅度键控。为了解调的方便引入了副载波调制,因此数据传输速率受限,本系统中为 6.25 kbps。PSK 方式则是通过控制反馈阻抗等效电压源 U_z 的虚部实现信息反馈,是相位键控,因此数据传输速率可以较高,本系统中为 50 kbps。

LSK 方式和 PSK 方式实现信息反馈是在同一个无线信道,分别控制反馈阻抗 Z_r 的实部和虚部,实现对反馈阻抗等效电压源 U_z 调幅和调相的。本系统中不要求 LSK 方式和 PSK 方式的信息同时反馈,所以这两种方式是串行工作的。为了实现更有效的通信,可以考虑采用幅度相位联合调制,这也是今后工作的努力方向。

参考文献:

- [1] 周晓东,丁立波. 基于载荷调制的引信装定数据反向传输技术研究[J]. 弹箭与制导学报,2002,24(2):197-199.
ZHOU XIAO-DONG, DING LI-BO. Setting data reverse transmission for fuzes by load shift keying[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2002, 24(2):197-199.
- [2] 张峰,李杰,李世义. 基于副载波的负载调制技术实现引信感应装定信息反馈的方法[J]. 探测与控制学报,2003,25(2):16-19.
ZHANG FENG, LI JIE, LI SHI-YI. Load modulate technology based on sub-carrier wave for fuze setting information feedback [J]. Journal of Detection & Control, 2003, 25(2):16-19.
- [3] 杨会军,张河. 引信静态感应装定系统中的信息双向传输研究[J]. 弹箭与制导学报,2006,28(2):6-9.
YANG HUI-JUN, ZHANG HE. The research of information dual-direction transmission in fuze statically inductive setting system [J]. Journal of Detection & Control, 2006, 28(2):6-9.
- [4] FINKENZELLER K. RFID handbuch[M]. German: John Wiley & Son, 2003.
- [5] SONKUSALE S, LUO Z. A complete data and power telemetry system utilizing BPSK and LSK signaling for biomedical implants [C] // Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, April 5-7, 2008, Las Vegas, Nevada, USA. [S. 1]: IEEE, 2008:3216-3219.
- [6] TANG Z, SMITH B. Data transmission from an implantable biotelemetry by load-shift keying using circuit configuration modulator[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering,1995,42(5):524-528.
- [7] CHUNG D, ALBASON A, LOU A. A 2-MHz bi-directional wireless transceiver system for implantable glucose sensors[C] // ISCAS, May 24-27, 2009, Tai Wan. [S. 1]: IEEE, 2009:645-648.
- [8] JIANG B, JOSHUA R, MATTHAI P. Energy scavenging for inductively coupled passive RFID systems [C] // Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. IMTC 2005, May17-19, 2005, Ottawa, Ontario, Canada. Ottawa: IEEE, 2005(2): 984-989.
- [9] YEO H, CHEN J, LEE Y. Half symbol rate carrier PSK modulation for bandwidth-efficient high-speed data communications [J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2009, 63(7): 609-615.
- [10] KLAPF C, ALBERT M, WOLFGANG P. Improvements in operational distance in passive HF RFID transponder systems[C] // 2008 IEEE International Conference on RFID (Frequency Identification), April 16-17, 2008, Las Vegas, Nevada, USA. Nevada: IEEE, 2008(1) : 350-357.
- [11] JOHN G. Digital communications (fourth Edition)[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2003.
- [12] ZHANG H, BRETTERKLIEBER T. Demodulation of 13.56 MHz load-modulated signals[J]. Elektrotechnik & Informationstechnik, 2007,124(1): 364-368.
- [13] BOUMAIZA S, FADHEL M. Large-signal characterization and modeling approach suitable for the design of actively load-modulated amplifiers[C] // Proceedings-2006 IEEE Radio and Wireless Symposium, Jan. 17-19, 2006, San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA. [S. 1]: IEEE, 2006: 531-534.
- [14] CHAIMANONART N, YOUNG D. Remote RF powering system for MEMS strain sensors[C] // IEEE International Conference on Sensors, June 9-11, 2004, Cleveland, OH, USA. Cleveland : IEEE, 2004(3): 1522-1525.
- [15] SOYLE M, JAGANNATHAN S. RFID-based smart freezer[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(7): 2347-2356.

(编辑 侯湘)