

文章编号: 1672-2892(2012)05-0643-05

电控柴油机曲轴与凸轮轴同步脉冲信号模拟

田 飞, 王贵勇, 赵应兵, 申立中

(昆明理工大学 云南省内燃机重点实验室, 云南 昆明 650500)

摘 要: 高压共轨柴油机是满足未来汽车排放法规的核心技术, 曲轴信号和凸轮轴信号是高压共轨柴油机电子控制单元实时工作的关键, 因此研究 2 个信号的同步具有重要意义。研究了柴油机的曲轴信号和凸轮信号之间的关系, 并用 32 位单片机 TC1796 的通用定时器阵列(GPTA)模块中的局部定时单元(LTC)产生同步信号, 保证了 2 路脉冲的同步误差为几个指令周期, 降低了高压共轨柴油机电子控制单元的研发成本。

关键词: 信号同步; 单片机 TC1796; 通用定时器阵列; 曲轴; 凸轮轴

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

Simulation of the crankshaft and the camshaft sync pulse signals of electronic controlled diesel

TIAN Fei, WANG Gui-yong, ZHAO Ying-bing, SHEN Li-zhong

(Provincial Key Lab of Internal Combustion Engine, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650500, China)

Abstract: High-pressure common rail diesel engine is essential to meet vehicle emission regulations in future. The crankshaft signal and the camshaft signal are the keys to ensure that the electronic control units of the high-pressure common-rail diesel engine work in real-time. The relationship between the crankshaft signal and the camshaft signal is studied, and sync signals are generated by using the Local Timer Cell(LTC) of the General Purpose Timer Array(GPTA) module in 32-bit single-chip microcontroller TC1796 to ensure two-way synchronization error of a few instruction cycles only and the cost reduction for development.

Key words: signal synchronization; TC1796; General Purpose Timer Array; crankshaft; camshaft

曲轴信号和凸轮轴信号是发动机控制系统中最主要的输入信号, 是控制喷油和点火时刻(点火提前角)不可缺少的信号^[1]。传统发动机的模拟信号通常由信号简单组合成, 手动调节改变信号速度, 操作复杂, 难以满足实时控制所需条件。模拟柴油机同步脉冲信号的方法很多, 如, 以集成压控振荡器 CD4046 为核心, 集合 PIC18F458 单片机和外围电路, 模拟同步的曲轴信号和凸轮轴信号^[1]。该方法加强了信号的同步性, 信号速度调节灵活, 能满足发动机的实时控制需要, 但仍需结合外围电路才能实现。

根据柴油机的曲轴信号盘和凸轮轴信号盘的物理位置关系, 利用 Infineon 公司生产的 32 位单片机 TC1796 中通用定时器阵列(GPTA)模块的脉宽调制(Pulse Wide Modulation, PWM)机理, 模拟出 2 路同步脉冲信号。该方法只占用 TC1796 单片机部分硬件资源和 2 路 I/O 口, 只需很少的软件资源, 不需要外围电路, 更重要的是 GPTA 模块的占空比测量单元(Duty Cycle Measurement, DCM)将 2 路输出脉冲直接作为它的输入信号, 测量其占空比。另数字锁相环单元(Phase Locked Loop, PLL)选择 DCM 单元输出的曲轴信号作为输入, 倍频曲轴信号。如此, 在柴油机电子喷射系统的控制单元中, 32 位 TC1796 单片机根据 PLL 单元和 DCM 单元提供的信号, 能更快速准确地完成判缸工作(判缸即辨别柴油机中 1 号缸的位置^[2])。掌握了信号产生的机理, 修改相应的参数, 在该单片机上也可以产生其他类型的同步信号。

1 硬件介绍

1.1 TC1796 简单介绍

TC1796 是 Infineon 公司生产的一款 32-位的高时钟频率单片机,其特别之处是它的中央处理模块和外围模块分别采用独立的时钟控制。中央处理模块包括中央处理器(Central Processing Unit, CPU)、程序存储接口(Program Memory Interface, PMI)、数据存储接口(Data Memory Interface, DMI)、程序存储单元(Program Memory Unit, PMU)和数据存储单元(Data Memory Unit, DMU),其最高工作时钟为 150 MHz。外围模块包括通用定时阵列(GPTA)、外围控制处理器(Peripheral Control Processor, PCP)、异步/同步串行接口(Asynchronous/Synchronous Serial Controller, ASC)、片上调试支持(On-Chip Debug Support, OCDS)等模块。这些模块的最高工作时钟频率为中央处理模块的最高工作频率的一半(75 MHz)。TC1796 的内部结构关系见图 1。

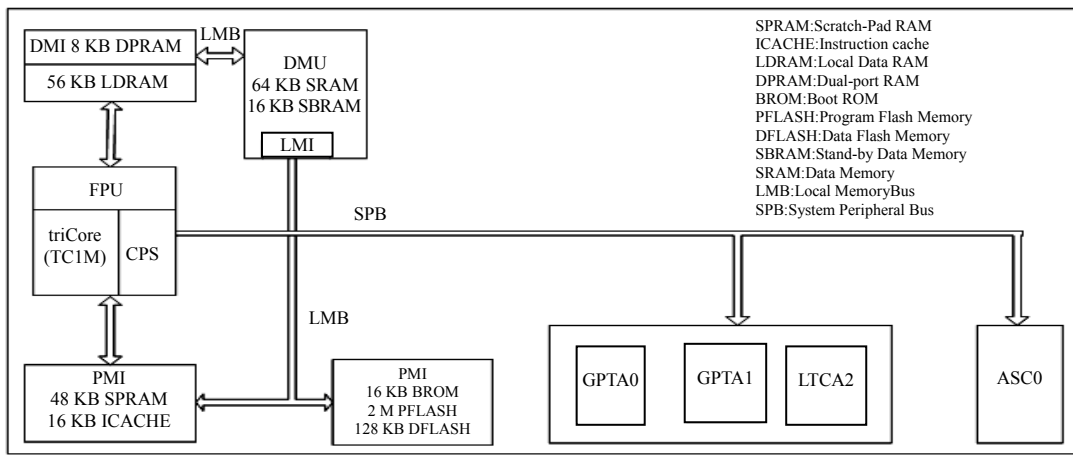


Fig.1 Structure of the central processing module, GPTA module and the ASC0 module in TC1796

图 1 TC1796 中央处理模块、GPTA 模块和 ASC0 模块的结构

1.2 GPTA 模块的描述

GPTA^[3] 有 2 个通用定时器阵列 (GPTA0 和 GPTA1), 1 个局部定时阵列 (LTCA2)。GPTA0 和 GPTA1 的工作时钟都单独可调,但不能超过 75 MHz。GPTA 模块结构见图 2。每个通用定时器阵列都能处理高速数字信号,它所包含的单元:

- 1) 过滤和预分频单元 (Filter and Prescaler Cells, FPC): 具有过滤和预分频功能;
- 2) 鉴相逻辑单元 (Phase Discrimination Logic, PDL): 利用跟踪系统译码方向信息并输出;
- 3) 占空比测量单元 (DCM): 能够完成脉冲宽度测量;
- 4) 数字锁相环 (PLL): 在输入信号的 1 个周期内,能产生可编程 GPTA 时钟数量的脉冲;
- 5) 全局定时单元 (Global Timer, GT): 只能作为全局定时器单元 (Global Timer Cells, GTC) 的时钟基;
- 6) GTC: 通过电平或边沿触发事件,

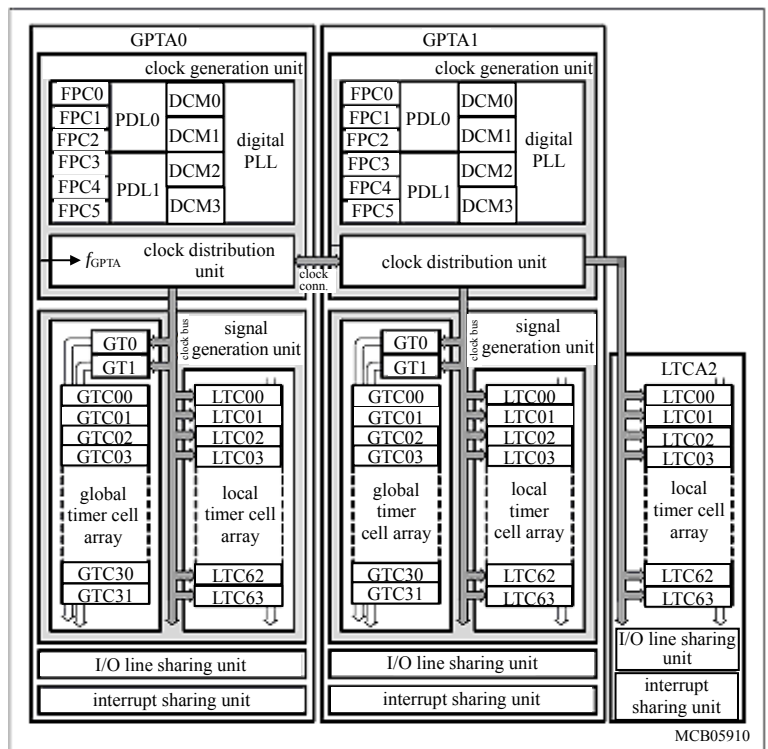


Fig.2 Structure of the GPTA module

图 2 GPTA 模块的结构

捕获 GT 的计数值; 通过阈值与定时基中计数值比较, 大于或等于时触发事件, 并可以控制外部输出引脚的状态;

7) LTC: 每个单元可以选择的工作模式有定时器模式、捕获模式和比较模式。3 个或 3 个以上的 LTC 单元就能联级工作, 产生或捕获复杂的 PWM 信号。

LTC 和 GTC 可以共享输入线、输入信号同时触发的操作。

1.3 局部定时单元特点

- 1) 64 个独立的 LTC 单元;
- 2) LTC63 单元具有特殊的比较模式;
- 3) 每一个单元都有 1 个 16-位的数值寄存器(Local Timer Cell X Register k , LTCXR k);
- 4) 每一个单元都有 1 个 32-位控制寄存器(Local Timer Cell Control Register k , LTCCTR k);
- 5) 最大分辨率为 f_{GPTA} ;
- 6) 输入信号的最高频率为 f_{GPTA} 。

注: 上述内容中, K 表示每个单元的序号, 取值从 00 到 63; f_{GPTA} 表示 GPTA 模块的工作时钟。

2 曲轴和凸轮轴的物理位置分析

如图 3 所示, 曲轴信号盘边缘按 60 个齿均匀布置, 且需保留 2 个齿宽的 1 个缺齿, 软件应用它标记曲轴的旋转周期; 凸轮轴信号盘边缘按 4 个齿均匀布置, 在 2 个齿之间再增加 1 个齿, 称之为多齿, 软件应用它辨识 1 号缸的上止点。工作时, 曲轴信号盘的转速始终为凸轮轴信号盘转速的 2 倍, 当曲轴缺齿出现, 如果在缺齿后第 1 齿到该齿以后的 108° 内出现多齿, 则在 108° 位置时, 刚好是 1 号缸上止点; 如果在 108° 的范围内没出现多齿, 则在 108° 位置时, 刚好是 3 号缸上止点^[4]。

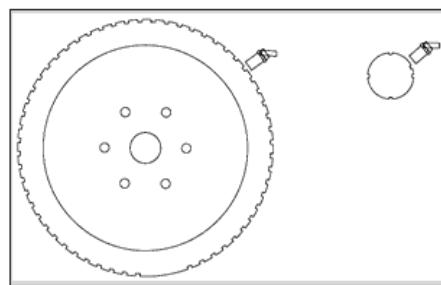


Fig.3 Signal model of diesel engine

图 3 柴油机的信号盘模型

3 曲轴信号和凸轮轴信号的仿真设计

曲轴信号和凸轮轴信号都是 PWM 类型, 同时它们都是由多种不同的占空比信号组成。柴油机的曲轴信号可看成由 2 种不同占空比组成, 而凸轮轴信号由 3 种占空比组成。曲轴信号和凸轮轴信号的同步关系如图 4 所示。

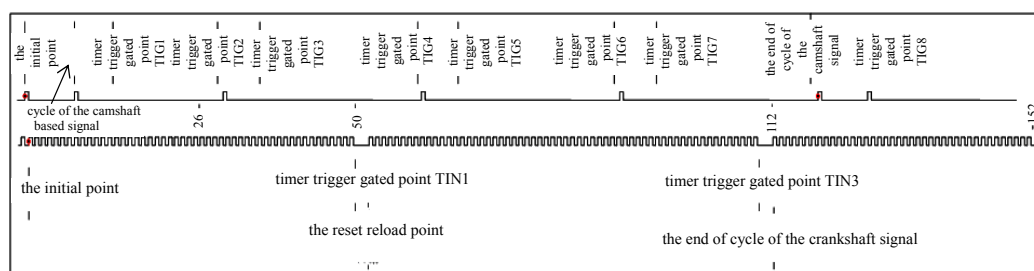


Fig.4 Synchronized signal relationship between the crankshaft and the camshaft

图 4 曲轴信号和凸轮轴信号的同步关系

3.1 同步脉冲模拟机理

曲轴信号和凸轮轴信号的仿真主要由 LTC 单元完成。3 个 LTC 单元组合工作时, 不但可以用捕获输入的 PWM 信号, 也可以产生任意占空比 PWM 信号。单元序号(k)最小的作为基定时, 另外 2 个单元分别作为定时 PWM 的占空比和周期^[5], 每个单元事件发生时都能发送中断请求。如图 3 所示的曲轴和凸轮轴 2 路信号, 在 TC1796 中, 只需要以一定占空比的 PWM 为基信号, 同时让定时器触发中断, 使输出 PWM 信号的端口在计算好的时刻保持低电平状态即可。

为了让曲轴信号和凸轮轴信号同步, 即保持与研究对象的柴油机中曲轴信号盘和凸轮信号盘相同的位置关系, 还需要为 2 路信号选择同步控制点, 即图 4 中所述的控制点和周期控制点。曲轴信号包含 1 个开始点、3 个控制点和 1 个同步周期控制点; 凸轮轴信号包含 1 个开始点、1 个基信号周期、7 个控制点和 1 个周期控制点。

3.2 硬件设计

TC1796 的硬件资源很丰富,同步信号模拟研究占用了异步串行接口 0(ASC0)单元和通用定时器阵列 0(GPTA0)单元。ASC0 模块用于交换信息,它与 PC 建立交互界面,调节点同步信号的转速工况。GPTA0 模块用于模拟曲轴和凸轮轴 2 路信号并输出, LTC 单元的配置如图 5 所示。

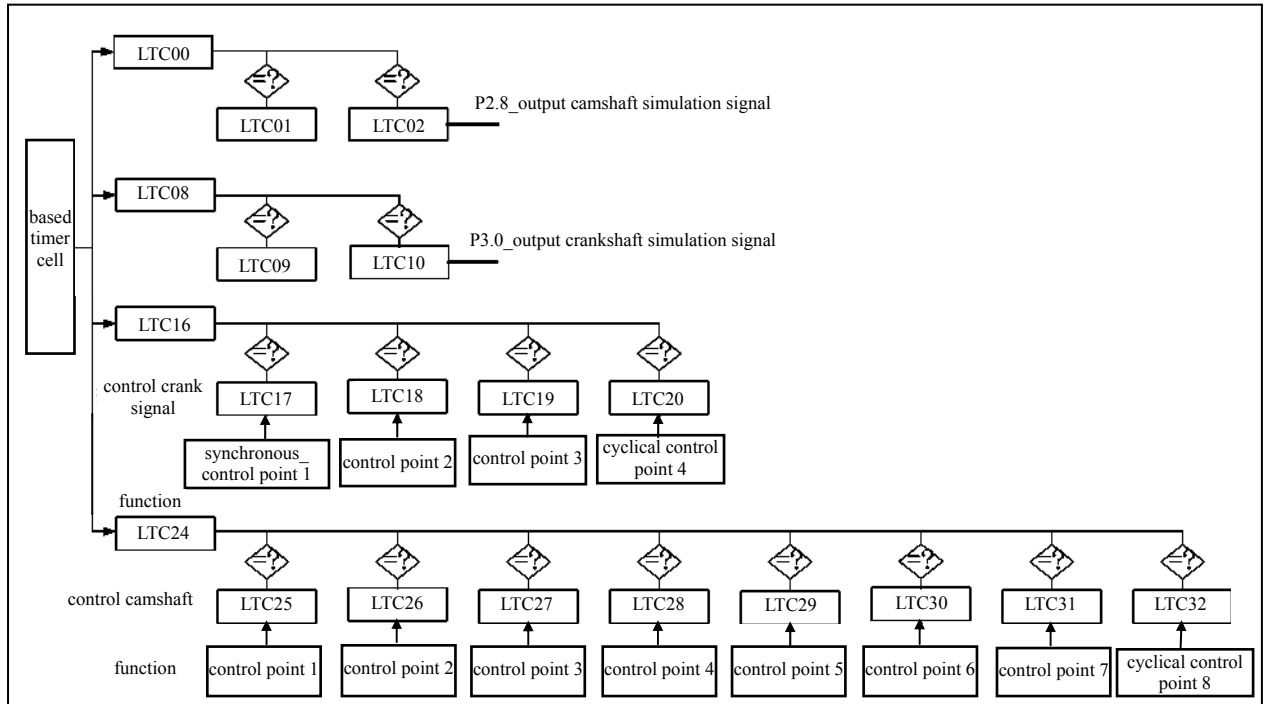


Fig.5 Configuration of the LTCs

图 5 LTC 单元的配置

曲轴信号由 LTC08, LTC09 和 LTC10 单元产生; P3.0 引脚输出; LTC16, LTC17, LTC18, LTC19 和 LTC20 重新控制 P3.0 在某些时刻输出的电平状态。LTC08 和 LTC16 都作为基定时单元, 它们的数值寄存器 LTCXR08 和 LTCXR16 里的计数值随着时钟信号而增加, 软件和硬件动作都可以复位 2 个数值寄存器。LTC10 的数值寄存器 (LTCXR10) 与 LTC08 的数值寄存器 (LTCXR08) 进行比较, 若两者相等, 则触发 LTC10 单元动作, 使输出端 P3.0 为低电平; LTC09 的 LTCXR09 与 LTCXR08 进行比较, 若两者相等, 则触发 LTC09 单元的动作, 使输出端 P3.0 为高电平, 并复位 LTCXR08 的计数值, 即 LTCXR08=0x0000H。LTCXR10 存放曲轴基信号的占空比, LTCXR09 存放曲轴基信号的周期。LTCXR17 存放缺齿第 1 次在基信号上出现的起点值, 当它的值与 LTCXR16 相等时, 触发 LTC17 单元的事件, 产生中断, 改变 LTC09 单元控制 P3.0 的电平状态, 使 P3.0 引脚保持低电平; LTCXR18 存放缺齿第 1 次在基信号上出现的终点值, 当它的值与 LTCXR16 相等时, 触发 LTC18 单元的事件, 产生中断, 复位 LTC17 单元的操作, 并禁用 LTC17 和 LTC18 单元的中断请求。LTCXR19 存放缺齿在基信号出现的第 2 次起点, 当它的值与 LTCXR16 相等时, 触发 LTC19 单元的事件, 产生中断, 改变 LTC09 单元控制 P3.0 的电平状态, 使 P3.0 引脚保持低电平; LTCXR20 存放缺齿第 2 次在基信号上出现的终点, 当它的值与 LTCXR16 相等时, 触发 LTC20 单元的事件, 产生中断, 定义 LTC16 单元的重载值, 复位 LTC19 单元的操作。

凸轮轴信号由 LTC00, LTC01 和 LTC02 单元产生; P2.8 端口输出; LTC24, LTC25, LTC26, LTC28, LTC29, LTC30, LTC31 和 LTC32 中断控制 P2.8 的输出状态。该信号产生和控制原理与曲轴信号的发生和控制方法相同, 不再重述。

3.3 ASC0 应用

通过 ASC0 模块建立信息交流界面, 可根据需要调整转速工况。ASC0 的配置: 波特率为 19.2 Bd; 启动接收中断请求和发送中断请求。当接收中断触发时, 首先将数据发送给发送缓冲器, 然后判断该数据是否合理, 如果合理, 则进行相应计算, 其计算包含曲轴信号和凸轮轴信号的空比、周期、控制点和复位值。当发送中断触发时, 完成接收中断处理的数据到 LTC 的数值寄存器之间的数据传输。

4 实验应用

功能测试时, TC1796 单片机的 CPU 工作时钟配置为 128 MHz, GPTA 模块的工作时钟配置为 32 MHz。同步信号产生采用定时器来定位同步关系, 且时钟基的计数时钟周期都配置为 $0.5\ \mu\text{s}$, 所以同步误差主要取决于中断任务中指令执行周期, 同时也为准确可靠的同步脉冲信号提供了充要条件。曲轴在 2 000 rpm 工况下的同步信号输出结果如图 6 所示, 图中准确可靠地展示了信号的同步关系。P2.8 输出的凸轮轴信号和 P3.0 输出的曲轴信号都可以作为 GPTA 模块的 DCM 单元和 PLL 单元, 或 GTC 单元, 或其他没有被占用的 LTC 单元的输入, 并且不需外部电路。在基于 TC1796 单片机开发的柴油机电子喷射系统的控制平台上, 利用仿真同步脉冲信号调试倍频功能, 以及利用仿真凸轮曲轴信号和倍频后的曲轴信号调试对柴油机的判缸功能, 都得到了正确结果^[6-7]。经过不同转速工况下的多次试验, 同步信号和试验结果都准确合理, 确切地证明了研究仿真曲轴和凸轮轴同步信号的方法可靠。

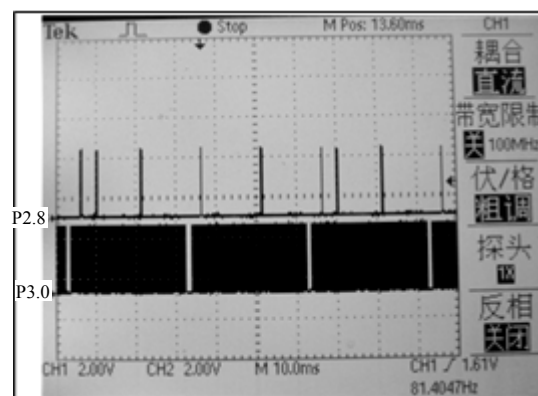


Fig.6 Two simultaneous pulse output at 2 000 rpm of crankshaft speed

图6 曲轴转速为 2 000 rpm 时 2 路同步脉冲输出

5 结论

模拟输出的同步脉冲信号能为高压共轨柴油机的电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)开发的后续工作提供必要的条件, 减少 ECU 开发成本, 加快开发工作的节奏。基于 32-位单片机 TC1796 开发 ECU 平台, 有足够的硬件资源模拟曲轴和凸轮轴的同步脉冲信号, 且需要的软件资源少, 能保证 2 路模拟信号输出的实时性、准确性和可靠性, 最重要的是该模拟方法具有很好的扩展性和延续性。

参考文献:

- [1] 朱澄, 龚依民, 陈志超. 汽车发动机曲轴和凸轮轴信号及汽缸压力信号模拟系统[J]. 自动技术与应用, 2005, 24(6): 67-69.
- [2] 郑朝武, 周文华, 郭修其. 高压共轨柴油机判缸策略及燃油喷射控制[J]. 车用发动机, 2010(4): 66-69.
- [3] User's Manual. TC1796 32-Bit Single-Chip Microcontroller Volume 1(System units) and Volume 2(Peripheral units) [EB/OL]. [2007-07]. http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS11/V_EZL/Doc/pdfs/hardware/Infineon/tc1796_um_v2.0_2007_07.pdf.
- [4] 徐权奎, 祝轲卿, 于世涛, 等. 电控柴油机转速传感器处理模块优化设计[J]. 车用发动机, 2006(3): 28-31.
- [5] 张美娟. 柴油机共轨压力模拟控制系统开发[D]. 无锡: 江南大学, 2006. (ZHANG Meijuan. Development on Control System of Common Rail Fuel Pressure of High-pressure Common Rail Fuel Injection Simulation System for Diesel Engine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.)
- [6] 漆莲芝, 谢敏, 张军. VI 仿真环境下嵌入式软件测试研究与应用[J]. 信息与电子工程, 2011, 9(1): 101-104. (QI Lianzhi, XIE Min, ZHANG Jun. Embedded Software Testing under VI Simulation Environment and Its Application[J]. Information and Electronic Engineering, 2011, 9(1): 101-104.)
- [7] 王鹏, 杨春, 文招金. 高速通用数字调制器的设计与实现[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(3): 247-250. (WANG Peng, YANG Chun, WEN Zhaojin. Design and Implementation of High Speed and General-purpose Digital Modulator[J]. Information and Electronic Engineering, 2010, 8(3): 247-250.)

作者简介:



田 飞(1982-), 男, 贵州省思南县人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为发动机电子控制. email: llllnui@126.com.

王贵勇(1971-), 男, 云南省文山县人, 副教授, 主要研究方向为汽车电子。

赵应兵(1987-), 男, 河南省漯河市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为发动机电子控制。

申立中(1956-), 男, 昆明市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为内燃机工作过程。