

一种基于PWM的电压输出DAC电路设计

秦 健

(广州民航职业技术学院 通讯系 广东 广州 510403)

摘 要: 对实际应用中的脉宽调制(PWM)波形的频谱进行了理论分析,指出通过一个低通滤波器可以把PWM调制的数模转换信号解调出来,实现从PWM到DAC的转换。论文还对转换误差产生的因素进行了分析,指出了减少误差的方法,论文给出了两种从PWM到0~5 V电压输出的电路实现方法,第2种电路具有很高的转换精度。

关键词: 脉宽调制; 电路设计; 数模转换器; 单片机

中图分类号: TP274

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X(2004)14-081-03

Electronic Circuit Design Based on PWM for DAC with Voltage Output

QIN Jian

(Department of Communication Engineering, Guangzhou Civil Aviation College, Guangzhou, 510403, China)

Abstract: This paper analyzes the frequency spectrum of a practical PWM wave and points out that it is possible to demodulate the digital to analog signal from PWM with a low-pass filter and to realize a DAC. This paper also analyzes the error due to transform and gives some methods to reduce errors. This paper designs two DAC electronic circuits from PWM to voltage 0~5 V output. The second circuit is a DAC with high precision.

Keywords: PWM; electronic circuit design; DAC; singlechip microcomputer

在电子和自动化技术的应用中,单片机和DAC(数模转换器)是经常需要同时使用的,然而许多单片机内部并没有集成DAC,即使有些单片机内部集成了DAC,DAC的精度也往往不高,在高精度的应用中还是需要外接DAC,这样增加了成本。但是,几乎所有的单片机都提供定时器或者PWM输出功能。如果能应用单片机的PWM输出(或者通过定时器和软件一起来实现PWM输出),经过简单的变换电路就可以实现DAC,这将大量降低成本电子设备的成本、减少体积,并容易提高精度。本文在对PWM到DAC转换关系的理论分析的基础上,设计出输出为0~5 V电压的DAC。

1 应用PWM实现DAC的理论分析

PWM是一种周期一定而高低电平的占空比可以调制的方波信号,图1是一种在电路中经常遇到的PWM波。该PWM的高低电平分别为 V_H 和 V_L ,理想的情况 V_L 等于0,但是实际中一般不等于0,这往往是应用中产生误差的一个主要原因。

图1的PWM波形可以用分段函数表示为式(1):

$$f(t) = \begin{cases} V_H & kNT \leq t \leq nT + kNT \\ V_L & kNT + nT \leq t \leq NT + kNT \end{cases} \quad (1)$$

其中: T 是单片机中计数脉冲的基本周期,即单片机每隔

T 时间记一次数(计数器的值增加或者减少1), N 是PWM波一个周期的计数脉冲个数, n 是PWM波一个周期中高电平的计数脉冲个数, V_H 和 V_L 分别是PWM波中高低电平的电压值, k 为谐波次数, t 为时间。把式(1)所表示的函数展开成傅里叶级数^[1],得到式(2):

$$f(t) = \left[\frac{n}{N} (V_H - V_L) + V_L \right] + 2 \frac{V_H - V_L}{\pi} \sin\left(\frac{n}{N}\pi\right) \cos\left(\frac{2\pi}{NT}t - \frac{n\pi}{N}\right) + \sum_{k=2}^{\infty} 2 \frac{V_H - V_L}{k\pi} \left| \sin\left(\frac{n\pi}{N}k\right) \right| \cos\left(\frac{2\pi}{NT}kt - \frac{n\pi}{N}k\right) \quad (2)$$

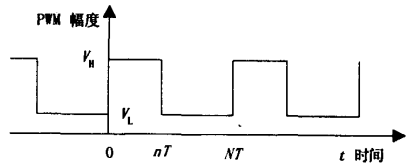


图1 实际电路中典型的PWM波形

从式(2)可以看出,式中的第1个方括弧为直流分量,第2项为1次谐波分量,第3项为大于1次的高次谐波分量。式(2)中的直流分量与 n 成线性关系,并随着 n 从0到 N ,直流分量从 V_L 到 $V_L + V_H$ 之间变化,这正是电压输出的DAC所需要的。因此,如果能把式(2)中除直流分量的谐波过滤掉,则可以得到从PWM波到电压输出DAC的转换,即:PWM波可以通过一个低通滤波器进行解调。式(2)

收稿日期:2004-03-26

中的第2项的幅度和相角与 n 有关,频率为 $1/(NT)$,该频率是设计低通滤波器的依据。如果能把1次谐波很好过滤掉,则高次谐波就应该基本不存在了。

根据上述分析可以得到如图2所示的从PWM到DAC输出的信号处理方块图,根据该方块图可以有許多电路实现方法,在单片机的应用中还可以通过软件的方法进行精度调整和误差的进一步校正。

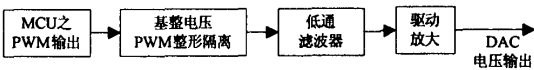


图2 从PWM到DAC输出的信号处理方块图

在DAC的应用中,分辨率是一个很重要的参数,图1的分辨率计算直接与 N 和 n 的可能变化有关,计算公式如式(3):

分辨率 $R_{Bin} = \log_2(\frac{N}{n \text{ 的最小变化量}})$ (3)

表1给出了不同 N 和 n 的情况下的分辨率。

表1 DAC的分辨率与PWM参数 N 和 n 的关系

PWM 参数 N	PWM 参数 n 最小变化量	DAC 分辨率 /位
256	1	8
1024	1	10
4096	1	12
16384	1	14
65536	1	16
65536	2	15
65536	4	13

从表1和式(3)可以看出, N 越大DAC的分辨率越高,但是 NT 也越大,即PWM的周期或者式(2)中的1次谐波周期也越大,相当于1次谐波的频率也越低,需要截止频率很低的低通滤波器,DAC输出的滞后也将增加。一种解决方法就是使 T 减少,即减少单片机的计数脉冲宽度(这往往需要提高单片机的工作频率),达到不降低1次谐波频率的前提下提高精度。在实际中, T 的减少受到单片机时钟和PWM后续电路开关特性的限制。如果在实际中需要微秒级的 T ,则后续电路需要选择开关特性较好的器件,以减少PWM波形的失真,如图4中的电子开关T1(IRF530)。

2 PWM到DAC电压输出的电路实现

根据图2的结构,图3是最简单的实现方式。图3中,PWM波直接从MCU的PWM引脚输出,该电路没有基准电压,只通过简单的阻容滤波得到DAC的输出电压。 R_1 和 C_1 的具体参数可根据式(2)的第2部分的一次谐波频率来选择,实际应用中一般选择图2中阻容滤波器的截止频率为式(2)的基波频率的1/4左右。

图3的PWM波的 V_H 和 V_L 受到MCU输出高低电平的限制,一般情况下 V_L 不等于0V, V_H 也不等于 V_{CC} 。例如,对于单片机AT89C52^[2,3],当 V_{CC} 为+5V时, V_H 和 V_L

分别为4.5V和0.45V左右,而且该数值随着负载电流和温度而变化。根据式(2)的直流分量可知,DAC电压输出只能在0.45~4.5V之间变化,而且随负载电流和环境温度变化,精度很难保证。由于该电路的变化部分精度不高,没有必要采用高分辨率的PWM输出,8位即可。另外图2的DAC输出的负载能力也比较差,只适合与具有高输入阻抗的后续电路连接。因此,图3的电路只能用在对DAC输出精度要求不高、负载很小的场合。对精度和负载能力要求较高的场合,需要对图3的电路进行改进,增加基准电压、负载驱动等电路。

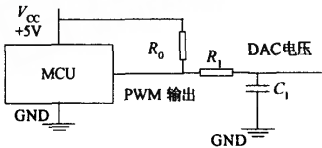


图3 一种简单的PWM到DAC电压输出的电路

图4的电路在图3电路的基础上增加了开关管T1、基准电压源LM336-5和输出放大器TLV2472。MCU从A点输出的PWM波驱动T1的栅极,T1按照PWM的周期和占空比进行开关。T1为低导通电阻和开关特性好的开关管,如IRF530^[4],其典型导通电阻小于0.16Ω,而截止电阻却非常大,与T1并联的为基准电压LM336-5。图4的B点将得到理想的PWM波形,即: $V_H=5V, V_L=0V$,波形为方波。A点的PWM波,经过整形得到B点理想PWM波,B点的PWM波再经过两级阻容滤波在C点得到直流分量,即MCU输出的调制PWM波在C点得到解调,实现了DAC功能。根据式(2)可知,C点的电压为 $(5 \times n/N)V$,为0~5V之间的电压。由于放大器A1的输入阻抗很大,二级阻容滤波的效果很好,C点的电压纹波极小,满足高精度要求。输出放大器采用TLV2472,工作在电压跟随器方式,他是一个Rail-to-Rail放大器,他的输出电压的跨度几乎等于电源电压幅度,因此可以得到0V的电压输出,克服了一般放大器(如LM324,TL071等)输出电压跨度比电源电压范围小1V左右这一缺点。图4与图3还有一点重要的不同是,图4的电源电压为6V,而图3为5V。

图4中在MCU接电源电压中串联了二极管,他起降压的作用,因为一般的MCU工作电源范围为4.5~5.5V之间。图4中采用电源电压为6V是为了保证LM336-5能正常工作。

图4的电路采用的电路和电容没有特殊的要求,很容易调试。由于PWM波很容易通过MCU的软件进行控制,即使电路稍微有些系统误差,也很容易通过软件进行校正。因此,图4的电路可以得到高精度的DAC输出。

3 结 语

本文在对PWM波形组成进行理论分析的基础上,提

出了可以通过一个低通滤波器把PWM中的DAC调制信号解调出来,实现DAC。论文对实现DAC产生的误差的原因进行了分析,设计了两组DAC电路实现方式,分别适合于不同的应用场合。

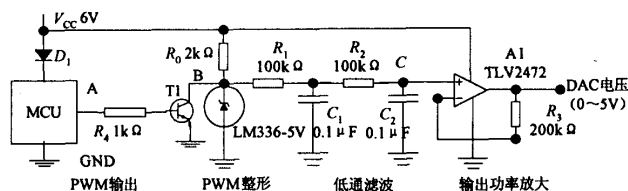


图4 基于PWM的高精度DAC电路原理图

图4的实现方法,通过简单廉价的电子元器件就可以

得到高精度的DAC,降低了设备的成本。该电路为单电源供电,非常适用在基于单片机的嵌入式系统中应用。

参考文献

- [1] 黄明慧,梁国礼.高等数学与工程数学[M].广州:华南理工大学出版社,1993.
- [2] 余永权.89系列Flash单片机原理及应用[M].北京:电子工业出版社,1997.
- [3] 李华.MCS-51系列单片机实用接口技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1993.
- [4] 吴立新.实用电子技术手册[M].北京:机械工业出版社,2002.

作者简介 秦健 1998年硕士毕业,现为广州民航职业技术学院通讯工程系讲师。主要研究方向为电子与通信工程。

(上接第78页)



图7 抗噪声检测

基于小波变换的水印具有不同的空间支持区域,因而具有局部水印和全局水印的双重优点。基于局部空间支持的水

印分量可以抵抗诸如剪切一类的攻击,而给予全局支持的水印则对低通滤波和图像缩放等攻击有较强的鲁棒性。

参考文献

- [1] 王慧琴,李人厚.一种结合空间域和DCT域的数字水印新算法[J].通信学报,2003,(8).
- [2] 易开祥,石教英,孙鑫.数字水印研究进展[J].中国图像图形学报,2001,(2).
- [3] 陈明奇,钮心忻,杨义先.数字水印研究进展及其应用[J].通信学报,2001,(5):71-79.

(上接第80页)

(1) 描述驾驶员的判断、操作规则,用适当的知识表示技术如产生式、框架等表示出来。

(2) 将上述知识输入到解释型CLIPS中,并调试通过。

(3) 将上述调通的知识融入到编译型CLIPS中,形成驾驶员助手专家系统。

(4) 将驾驶员助手专家系统通过Tornado I装入到VxWorks中。

上面只是简单地说明了驾驶员助手系统开发的一般过程,实际系统的开发由于要考虑航空电子系统的可靠性和实时性,因而要复杂得多。

5 结语

在航空电子领域,我国和先进国家还有差距。美国的

F-16,FA-18战斗机、B-2隐形轰炸机和爱国者导弹上,使用了VxWorks。为了赶超国际先进水平,从软件方面来说,研究和开发基于VxWorks的应用系统具有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 王勇.航空机载计算机与航空电子总线[D].西安:空军工程学院计算机教研室,1997.
- [2] 罗克强.航空电子综合化系统[M].北京:北京航空航天大学出版社,1990.
- [3] 印鉴,刘星成,汤庸.专家系统原理与编程[M].北京:机械工业出版社,2000.

一种基于PWM的电压输出DAC电路设计

作者: 秦健
作者单位: 广州民航职业技术学院通讯系, 广东, 广州, 510403
刊名: 现代电子技术 
英文刊名: MODERN ELECTRONICS TECHNIQUE
年, 卷(期): 2004, 27 (14)
被引用次数: 15次

参考文献(4条)

1. 黄明慧, 梁国礼 高等数学与工程数学 1993
2. 余永权 89系列Flash单片机原理及应用 1997
3. 李华 MCS-51系列单片机实用接口技术 1993
4. 吴立新 实用电子技术手册 2002

相似文献(10条)

1. 学位论文 刘洪云 开关电源的脉宽调制控制电路设计 2009

本论文主要研究开关电源的脉宽调制控制电路。由于PWM控制的高效率,可以有效提升系统性能,并达到省能的目的,故而脉宽调制(Pulse-width modulation, PWM)控制技术正广泛应用于开关切换式直流电压转换器的控制。本文将就PWM控制使用模拟和数字两种实现方法进行讨论。

首先设计开关电源的主拓扑结构,确定合适的电感与电容,并在此基础上建立主拓扑的小信号传递函数,分析稳定性,给出补偿控制的重要性。接着设计开关电源的模拟控制电路,使用Matlab进行系统分析,设计补偿网络,然后设计电路,仿真表明电路实现输入到输出的电压转换。

然后着重探讨开关电源的数字控制设计;根据数字控制理论对开关电源的数字控制系统分析,选取合适的数字脉宽调制器(Digital PWM, DPWM)与模数转换器(Analog to Digital converter, ADC)模块参数,并且根据PID算法设计数字补偿器,使用Matlab验证设计的正确性。接著进行DPWM和数字补偿器的电路设计;比较DPWM的不同结构后,选取性能折中的混合结构;数字补偿器使用查找表结构实现;最后使用verilog HDL设计DPWM与数字补偿器的电路,经过Modelsim仿真及FPGA测试,验证了设计的正确性。

论文结果表明模拟PWM控制具有设计方便、实现简单的特点,现阶段仍将是电源管理IC的主流技术;数字PWM控制具有控制精确、可编程、实时通信的特点,将会成为高性能控制的主流技术,同时也有望在不远的将来占据主导地位。

2. 学位论文 王廷宇 带多种保护功能的脉宽调制型LED驱动电路设计 2010

大功率LED具有高效、节能、环保和长寿命等优点,它正逐渐取代白炽灯和荧光灯成为21世纪的新一代照明光源。伴随着LED产业的蓬勃发展,LED驱动集成电路产业作为LED照明系统的一部分,也开始逐渐兴起。如何设计出一款高性能的LED驱动电路成为当前研究的热点。

本文结合国内外主流的LED驱动芯片介绍了几种常见的恒流控制模式,主要包括线性调整型和电感式开关调整型两种。通过对各种恒流控制模式原理的分析,指出在电压型PWM模式的基本上增加电压前馈控制环路能够有效地提高电路对电源的动态响应速度,并且电路易于实现,适合于作为大功率LED的恒流驱动控制模式。另外,本文介绍了几种常见的保护电路,包括过温保护、过压保护、低压锁存保护、过流保护和ESD保护,通过加入保护电路进一步提高了芯片的可靠性。

本文设计了一款带多种保护功能的电压前馈控制型PWM模式大功率LED恒流驱动芯片。芯片内部电路主要包括电压调整器、带隙基准源、误差放大器、积分器、PWM比较器、保护电路、振荡器、触发器、输出驱动电路和功率开关管等。芯片采用0.5μm标准CMOS工艺制造,测试结果表明芯片工作电压范围为4.5V~7.5V,可为1W LED提供350mA的恒流驱动,其恒流精度可达到0.17%,工作效率高达95%。

3. 期刊论文 李营, LI Ying 基于Digital-PWM方法的超声马达驱动控制电路设计 -机电产品开发与创新2008, 21 (2)

介绍了超声马达脉宽调制驱动原理,阐述了数字脉宽调制思想和实现方法,设计出一种带有数字脉宽调制接口的超声马达驱动电路,实验验证了电路输出驱动信号的性能。

4. 学位论文 刘富财 降压型脉宽调制电源管理芯片的研究与设计 2009

作为电子系统的关键接口,DC-DC转换器已在通讯、计算机、消费类电子等领域获得了广泛的应用。尤其是近年来,随着便携式电子产品的快速发展,DC-DC转换器芯片的需求也呈现快速增长的趋势。电源管理芯片作为电子系统的“心脏”,对电子系统的性能具有至关重要的影响,因而设计开发高效率、小体积、高频的DC-DC电源芯片具有重要的理论和现实意义。

本文首先介绍了DC-DC转换器的各种拓扑结构及工作原理,重点分析了DC-DC转换器在连续电流模式和非连续电流模式下的工作原理。比较了各种调制方式和控制类型的优缺点。详尽地分析了降压型DC-DC转换器的基本工作原理、关键技术、系统稳定性以及斜坡补偿的原理方法。本论文根据PWM电流型DC-DC芯片的原理和特点,合理地设计了各个子电路,包括:误差放大器、带隙基准源、振荡器、比较器、电流检测及斜坡补偿电路、过热保护电路和欠压保护电路等。根据每个子电路的特殊需求,设计了晶体管级电路,并详细地分析了他们的功能实现和仿真结果。最后进行了系统仿真,给出部分的系统仿真结果,这些模拟结果验证了设计的芯片的正确性。

5. 学位论文 刘立军 纳米金刚石场致发射显示器驱动电路设计 2008

场致发射显示器件(FED)综合了阴极射线管显示器(CRT)和其他平板显示器的优点,是当前研究的一大热点。金刚石材料具有优良的物理、化学性能,将其作为场致发射阴极材料也是目前FED开发的重要方向之一,而与之配套的驱动电路的研发则是金刚石FED产品市场化的重要前提。

本文通过对纳米金刚石阴极场致发射实验研究以及显示器驱动原理的分析,以3inch FED屏为目标显示器确定了驱动电路设计要求的阴极发射电子阈值电压、稳定发射电子电压、发射电流等基本电路参数或范围。

以AT89S51单片机为逻辑控制核心,运用汇编语言对其进行控制,结合74HC154、74HC595等数字芯片设计了逻辑驱动电路。

设计了两种高压产生电路:倍压整流电路和反激式开关电源电路。在倍压整流电路设计中,采用正、负电压方式实现高压,有效降低了阴阳极间所需的高压,最终两极间可产生1700V电压;在反激式开关电源电路设计中,利用UC3842芯片实现PWM调制,考虑到驱动电路各单元对电源的需求,设计了包括低压电源在内的三组电源输出:1600V/20mA, 12V/500mA, 5V/50mA。

对FED常用的几种灰度调制方法进行了介绍,重点分析了PWM脉宽调制方式的灰度实现方法。

通过Multisim10.0软件对电路进行了仿真,绘制了PCB板,搭建出样板电路,利用16×16 LED点阵对FED逻辑功能进行了验证。

6. 期刊论文 裴文彦, 周金运, PEI Wenyan, Zhou Jinyun 基于APD半导体制冷供电电路设计 -现代电子技术

2005, "" (11)

雪崩光电二极管(APD)作为高灵敏光探测器件,为降低暗电流噪声需要半导体热电制冷器来降低其工作环境温度.用于制冷器的能源供应以及恒温控制的开关电源是该制冷系统重要的支持性配置,从半导体热电制冷控制需要电源功率输出较大、稳定性较好和受外界影响较少的要求出发,在开关电源的功率转换电路和脉宽调制(PWM)控制电路部分做了相应的改进.选择半桥式功率转换电路,以及利用控制芯片的功能实现脉宽调制电路,并根据探测和控制的反馈信号进行功率调整,实验结果证明这些方法对本设计电源是可行的.

7. 学位论文 [任建](#) [开关电源中的PWM电路设计](#) 2007

脉冲宽度调节器(Pulse Width Modulation-PWM)是开关电源的核心部分.本论文所进行的课题是在大连顺电子有限公司的实际项目.是一款单片MOS集成电路.电路的设计采用逆向设计方法.原电路为FAIRCHILD公司的FSDM0265RNB芯片.按照公司的分工,论文的主要任务是PWM电路提取(不包括开关管和外部应用电路),仿真分析并确定版图.

该PWM可用于输入电压在25V-220V范围内的交流电压.该开关电源是输出电压可调的降压型开关电源,输出电压可达16V, 12V, 5.1V和3.3V.原芯片版图为一层金属, P型衬底Bi-CMOS双阱工艺.特征尺寸为1.5 μ m.该PWM电路的启动电压为13V,内部工作电压为4.5V,工作频率为63kHz-67kHz. PWM软启动时间为15ms,并且在电压超过19V,温度超过140℃开启保护.

根据电路功能将总电路划分为基准元电路,振荡器电路, B_{ust}模块,频率调制电路,启动电路,软启动电路,温度关断保护电路,低压保护电路,过载保护电路,LEB(Leadingedge blanking)电路,过压保护电路共十一个模块.分块仿真时,每个模块的功能仿真可以达到,参数与技术资料相一致.在最后的整体仿真中得到整体工作的电路结构,最终得到正确的版图.通过具体分析进而了解了现代集成电路中应用的横向高压器件的工作原理.掌握了Bi-COMS的工艺流程.

8. 期刊论文 [王猛](#).[黄冰](#).[WANG Meng](#).[HUANG Bing](#) [工业CO2激光器功率控制电路设计](#)-[微计算机信息](#)2009, 25(17)

在工业CO2激光器中,开关电源功率控制大多采用脉宽调制(PWM)方式.针对PWM调制方式,本文给出了基于芯片TDA4718的控制系统设计电路,它能产生频率及占空比可调的脉冲信号,该信号作用于开关器件,控制激光器输出功率的大小.

9. 学位论文 [蔡俊秋](#) [基于DSP的高速电路的设计方法研究](#) 2009

目前,伴随着高速电路理论不断发展,在其相关理论指导下,各个应用领域设计出来的具体产品正在改变人们生活,推动科技进步. DSP(数字信号处理器)主要面向高速,高密度的大量运算,并广泛应用于通信、航空、雷达、便携式仪表和计算机等领域.目前最低端的DSP处理器的运算速度也己经可以达到100MHz,采用该处理器设计的各种应用电路具有典型的高速电路的特点.

本文希望通过结合控制理论和控制工程专业特点和目前广泛采用的DSP处理器技术,面向目前电源领域的最新研究方向,对基于DSP的数字电源设计方法进行理论性研究,并在该数字电源研究过程中采用智能控制理论中的模糊PID技术.

论文主要针对各个模块,即电源模块、数字滤波器、模糊PID以及PWM(脉宽调制)等模块运用MATLAB和SPICE等工具进行理论建模和仿真,并对运用DSP来实现数字电源的一些基本方法进行研究,从而总结出关于高速电路设计的研究方法.

10. 学位论文 [李虹达](#) [基于PWM控制连续可调电感电路的设计与研究](#) 2007

本论文根据电力工业对连续可调电感的需求以及目前改变电感的主要实现方法的优缺点,提出了一种基于脉宽调制技术(PWM)使用变压器、电抗器、绝缘栅型双极晶体管(IGBT)构成连续可调电感的电路设计.

根据电路结构详细论证了等效电感与其他相关电路参数的制约关系,电路参数的选取经过的理论计算,采用MATLAB 7.1仿真软件进行仿真实验表明该电路设计仿真结果与理论计算一致.根据IGBT1的原理及保护要求选取EXB841驱动芯片设计并制造了驱动电路和保护电路.结合电子设计自动化(EDA)技术使用硬件描述语言对复杂可编程逻辑器件(CPLD)进行编程设计构成脉冲发生器电路.使用电量隔离传感器作为电流数据采集装置,选取恰当电感、电容搭建实验电路进行多组电路试验.试验数据与理论计算结果基本相符,试验结果很好的证明了该电路设计合理性与应用的可能性.

该电路设计可以实现连续大范围电感调节.电网侧的感性电流具有很好的正弦特性,并且基本不产生谐波污染,克服以往调节电感装置反应速度慢、调感连续性不好、调节电感范围小、电网侧电流正弦特性差、有谐波污染和调节电感设备复杂等缺点.相对于以往的调节电感装置该电路结构具有结构简单、响应速度快、调感范围大等优点,完全满足电力工业中对大范围连续可调电感的需求.

引证文献(14条)

1. [贾伟锋](#).[林玉池](#).[王汶成](#) [基于MSP430F4250的温湿度变送器的设计](#)[期刊论文]-[仪表技术与传感器](#) 2010(2)
2. [廖晓东](#).[颜泽球](#) [动态变频PWM音频输出方案及其在dsPIC芯片上的实现](#)[期刊论文]-[福建师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(3)
3. [罗承旸](#).[宋淑然](#).[刘俊](#).[王大飞](#).[翟颂彬](#) [变频器频率遥控装置的设计与制作](#)[期刊论文]-[电工技术](#) 2009(1)
4. [袁博](#).[郑力新](#) [控制系统网络实验室数字控制器的设计](#)[期刊论文]-[电气电子教学学报](#) 2008(5)
5. [袁博](#).[郑力新](#) [工业控制系统现场网络数字控制器的设计](#)[期刊论文]-[福州大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(z1)
6. [周传德](#).[文成](#) [多功能变送器及其校正系统的研究](#)[期刊论文]-[自动化仪表](#) 2008(4)
7. [汪有韬](#).[陈焕明](#).[曾敏](#) [高速CO2焊波控逆变电源设计](#)[期刊论文]-[电力电子技术](#) 2008(4)
8. [刘大伟](#).[李威](#).[黄银川](#).[闫磊鹏](#) [路面冷再生机喷洒自动控制系统研究](#)[期刊论文]-[建筑机械\(上半月\)](#) 2008(2)
9. [王岚](#).[吴海强](#).[孙卓君](#) [基于PWM滤波数模转换电路设计](#)[期刊论文]-[应用科技](#) 2007(10)
10. [李汇](#).[王继安](#).[蔡化](#).[龚敏](#) [一种用于PWM的基准电压源设计](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2007(16)
11. [邵敏](#).[李国新](#).[高晓芳](#).[唐晓东](#) [基于nRF24E1的射频无线会议系统的设计与实现](#)[期刊论文]-[信息技术与信息化](#) 2006(6)
12. [黄志聪](#) [基于数字无线通信技术的胎儿监护探头系统](#)[学位论文]硕士 2006
13. [邵敏](#) [射频无线会议系统的设计与实现](#)[学位论文]硕士 2005
14. [陈师洋](#) [基波电能测量的研究](#)[学位论文]硕士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs200414032.aspx

授权使用: 杭州电子科技大学 (hzdjkj), 授权号: 2ff3a535-194e-4150-860e-9e3d011a872d

下载时间: 2010年11月29日