

开关电源中光耦隔离的几种典型接法对比研究

杨仲望, 金天均, 吕征宇

(浙江大学 电力电子国家专业实验室, 浙江 杭州 310027)

摘 要:对于原/副边需要隔离的电源系统,光耦隔离是最为常用的方法之一。根据实际的多电平逆变器驱动电源中所需要的半桥辅助电源及反激式电源,对 4 种典型的光耦隔离反馈方式之间的区别及其不同的应用场合进行了研究。通过比较研究,给出了光耦反馈设计要点,得出了不同光耦反馈方式的适用场合。

关键词:隔离电源;光耦;隔离反馈; TL P521; TL431

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 4551 (2007) 05 - 0056 - 04

Comparative study of different optocoupler feedback methods in the design of isolated power supplies

YANG Zhong-wang, JIN Tian-jun, LV Zheng-yu

(National Laboratory of Power Electronic, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Optocouplers are widely used in isolated power systems. An actual multi-level inverter's auxiliary half bridge power system and a fly-back power system were introduced. Four different kinds of optocoupler feedback methods and their application fields were also introduced. By comparing differences, some main rules for the designing of optocoupler feedback systems and how to choose the right one when using in different fields were provided.

Key words: isolated power systems; optocoupler; isolated feedback; TL P521; TL431

0 前 言

在一般的隔离电源中,光耦隔离^[1]反馈是一种简单、低成本的方式。但对于光耦反馈的各种连接方式及其区别,目前尚未见到比较深入的研究。而且在很多场合下,由于对光耦的工作原理理解不够深入,光耦接法混乱,往往导致电路不能正常工作。

本研究将详细分析光耦工作原理,并针对光耦反馈的几种典型接法加以对比研究。

1 常见的几种连接方式及其工作原理

常用于反馈的光耦型号有 TL P521、PC817 等。这里以 TL P521 为例,介绍这类光耦的特性。TL P521 的原边相当于一个发光二极管,原边电流 I_f 越大,光强越强,副边三极管的电流 I_c 越大。副边三极管电流 I_c 与原边二极管电流 I_f 的比值称为光耦的电流放大系数,该系数随温度变化而变化,且受温度影响较大。作反馈用的光耦正是利用“原边电

流变化将导致副边电流变化”来实现反馈,因此在环境温度变化剧烈的场合,由于放大系数的温漂比较大,应尽量不通过光耦实现反馈。此外,使用这类光耦必须注意设计外围参数,使其工作在比较宽的线性带内,否则电路对运行参数的敏感度太强,不利于电路的稳定工作。

通常选择 TL431 结合 TL P521 进行反馈。这时,TL431 的工作原理相当于一个内部基准为 2.5 V 的电压误差放大器,所以在其 1 脚与 3 脚之间,要接补偿网络。

常见的光耦反馈第 1 种接法,如图 1 所示。图中, V_o 为输出电压, V_d 为芯片的供电电压。com 信号接芯片的误差放大器输出脚,或者把 PWM 芯片(如 UC3525)的内部电压误差放大器接成同相放大器形式,com 信号则接到其对应的同相端引脚。注意左边的地为输出电压地,右边的地为芯片供电电压地,两者之间用光耦隔离。

图 1 所示接法的工作原理如下:当输出电压升

收稿日期: 2006 - 12 - 27

作者简介: 杨仲望 (1983 -), 男, 浙江温州人, 主要从事高压隔离分布式电源方面的研究。

高时, TL431 的 1 脚 (相当于电压误差放大器的反向输入端) 电压上升, 3 脚 (相当于电压误差放大器的输出脚) 电压下降, 光耦 TLP521 的原边电流 I_f 增大, 光耦的另一端输出电流 I_c 增大, 电阻 R_4 上的电压降增大, com 引脚电压下降, 占空比减小, 输出电压减小; 反之, 当输出电压降低时, 调节过程类似。

常见的第 2 种接法, 如图 2 所示。与第 1 种接法不同的是, 该接法中光耦的第 4 脚直接接到芯片的误差放大器输出端, 而芯片内部的电压误差放大器必须接成同相端电位高于反相端电位的形式, 利用运放的一种特性——当运放输出电流过大 (超过运放电流输出能力) 时, 运放的输出电压值将下降, 输出电流越大, 输出电压下降越多。因此, 采用这种接法的电路, 一定要把 PWM 芯片的误差放大器的两个输入引脚接到固定电位上, 且必须是同向端电位高于反向端电位, 使误差放大器初始输出电压为高。

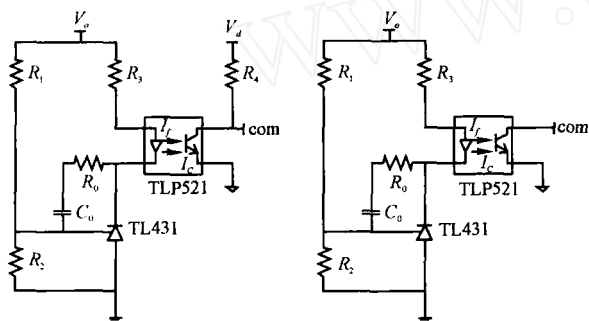


图 1 光耦反馈第 1 种接法 图 2 光耦反馈的第 2 种接法

图 2 所示接法的工作原理是: 当输出电压升高时, 原边电流 I_f 增大, 输出电流 I_c 增大, 由于 I_c 已经超过了电压误差放大器的电流输出能力, com 脚电压下降, 占空比减小, 输出电压减小; 反之, 当输出电压下降时, 调节过程类似。

常见的第 3 种接法, 如图 3 所示。与图 1 基本相似, 不同之处在于图 3 中多了一个电阻 R_6 , 该电阻的作用是对 TL431 额外注入一个电流, 避免 TL431 因注入电流过小而不能正常工作。实际上如适当选取电阻值 R_3 , 电阻 R_6 可以省略。调节过程基本上同图 1 接法一致。

常见的第 4 种接法, 如图 4 所示。该接法与第 2 种接法类似, 区别在于 com 端与光耦第 4 脚之间多接了一个电阻 R_4 , 其作用与第 3 种接法中的 R_6 一致, 其工作原理基本同接法 2。

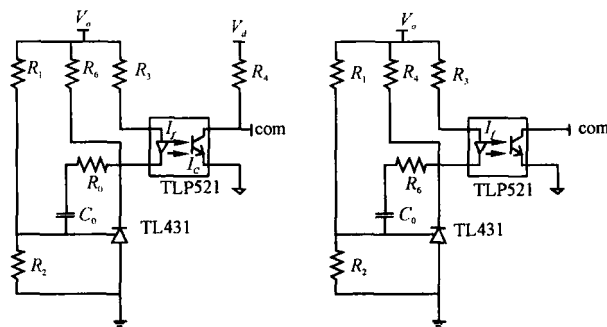


图 3 光耦反馈的第 3 种接法 图 4 光耦反馈的第 4 种接法

2 各种接法的比较

在比较之前, 需要对实际的光耦 TLP521 的几个特性曲线作一下分析。首先是 $I_c - V_{ce}$ 曲线, 如图 5、图 6 所示。

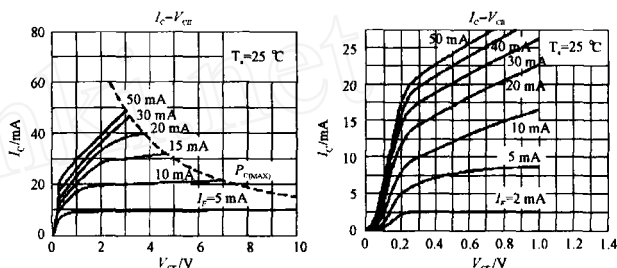


图 5 TLP521 的 $I_c - V_{ce}$ 曲线 图 6 TLP521 的 $I_c - V_{ce}$ 曲线

由图 5、图 6 可知, 当 I_f 小于 5 mA 时, I_f 的微小变化都将引起 I_c 与 V_{ce} 的剧烈变化, 光耦的输出特性曲线平缓。这时如果将光耦作为电源反馈网络的一部分, 其传递函数增益非常大。对于整个系统来说, 一个非常高的增益容易引起系统不稳定, 所以将光耦的静态工作点设置在电流 I_f 小于 5 mA 是不恰当的, 设置为 5 ~ 10 mA 较恰当。

此外, 还需要分析光耦的 $I_c - I_f$ 曲线, 如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 在电流 I_f 小于 10 mA 时, $I_c - I_f$ 基本不变, 而在电流 I_f 大于 10 mA 之后, 光耦开始趋向饱和, $I_c - I_f$ 的值随着 I_f 的增大而减小。对于一个电源系统来说, 如果环路的增益是变化的, 则将可能导致不稳定, 所以将静态工作点设置在 I_f 过大处 (从而输出特性容易饱和), 也是不合理的。需要说明的是, $I_c - I_f$ 曲线是随温度变化的, 但是温度变化所影响的是在某一固定 I_f 值下的 I_c 值, 对 $I_c - I_f$ 比值基本无影响, 曲线形状仍然同图 7, 只是温度升高, 曲线整体下移, 这个特性从 $I_c - T_a$ 曲线 (如图 8 所示) 中可以看出。

由图 8 可以看出,在 I_f 大于 5 mA 时, $I_c - T_a$ 曲线基本上是互相平行的。

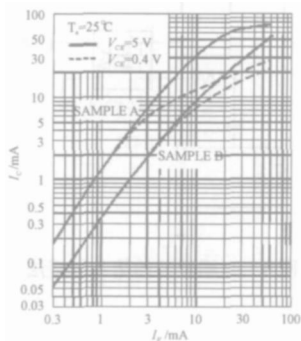


图 7 TLP521 的 $I_c - I_f$ 曲线

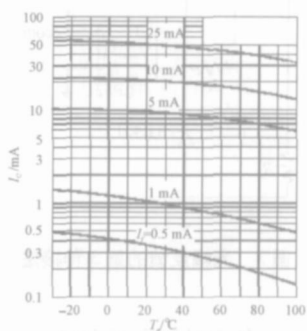


图 8 TLP521 的 $I_c - T_a$ 曲线

根据上述分析,以下针对不同的典型接法,对比其特性以及适用范围。本研究以实际的隔离半桥辅助电源及反激式电源^[2]为例说明。

第 1 种接法中,接到电压误差放大器输出端的电压是外部电压经电阻 R_4 降压之后得到,不受电压误差放大器电流输出能力影响,光耦的工作点选取可以通过其外接电阻随意调节。

按照前面的分析,令电流 I_f 的静态工作点值大约为 10 mA,对应的光耦工作温度在 0 ~ 100 °C 变化, I_c 值在 20 ~ 15 mA 之间。一般 PWM 芯片的三角波幅值大小不超过 3 V,由此选定电阻 R_4 的大小为 670 Ω ,并同时确定 TL431 的 3 脚电压的静态工作点值为 12 V,那么可以选定电阻 R_3 的值为 560 Ω 。电阻 R_1 与 R_2 的值容易选取,这里取为 27 k Ω 与 4.7 k Ω 。电阻 R_5 与电容 C_1 为 P 补偿,这里取为 3 k Ω 与 10 nF。

实验中,半桥辅助电源输出负载为控制板上的各类控制芯片,加上多路输出中各路的死负载,最后的实际功率大约为 30 W。实际测得的光耦 4 脚电压(此电压与芯片三角波相比较,从而决定驱动占空比)波形,如图 9 所示。对应的驱动信号波形,如图 10 所示。

图 10 的驱动波形有负电压部分,是由于上、下管的驱动绕在一个驱动磁环上的缘故。可以看出,驱动信号的占空比较大,大约为 0.7。

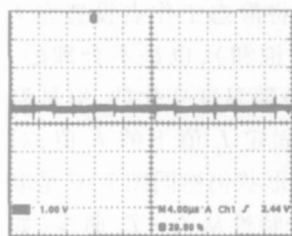


图 9 光耦 4 脚电压波形

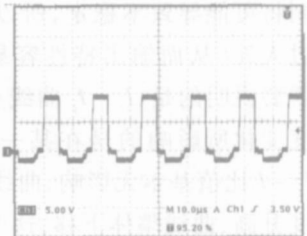


图 10 半桥下管的驱动波形

对于第 2 种接法,一般芯片内部的电压误差放大器,其最大电流输出能力为 3 mA 左右,超过这个电流值,误差放大器输出的最高电压将下降。所以,该接法中,如果电源稳态占空比较大,那么电流 I_c 比较小,其值可能仅略大于 3 mA,对应图 7, I_b 为 2 mA 左右。由图 6 可知, I_b 值较小时,微小的 I_b 变化将引起 I_c 剧烈变化,光耦的增益非常大,这将导致闭环网络不容易稳定^[3]。而如果电源稳态占空比较小^[4,5],光耦的 4 脚电压比较小,对应电压误差放大器的输出电流较大,也就是 I_c 比较大(远大于 3 mA),则对应的 I_b 也比较大,同样对应于图 6,当 I_b 值较大时,对应的光耦增益比较适中,闭环网络比较容易稳定。

同样,对于上面的半桥辅助电源电路,用接法 2 代替接法 1,闭环不稳定,用示波器观察光耦 4 脚电压波形,有明显的振荡。光耦的 4 脚输出电压(对应于 UC3525 的误差放大器输出脚电压),波形如图 11 所示,可发现明显的振荡。这是由于这个半桥电源稳态占空比较大,按接法 2 则光耦增益大,系统不稳定而出现振荡。

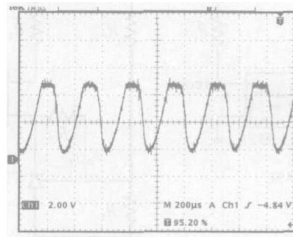


图 11 光耦的 4 脚输出电压

实际上,第 2 种接法在反激电路中比较常见,这是由于反激电路一般都出于效率考虑,电路通常工作于断续模式,驱动占空比较小,对应光耦电流 I_c 比较大,参考以上分析可知,闭环环路也比较容易稳定。

以下是另外一个实验反激电路,工作在断续模式,实际测得其光耦 4 脚电压波形,如图 12 所示。实际测得的驱动信号波形,如图 13 所示,占空比约为 0.2。

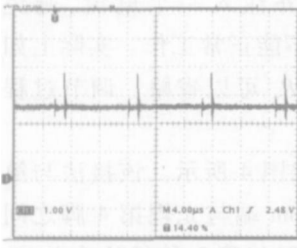


图 12 反激电路光耦 4 脚电压波形

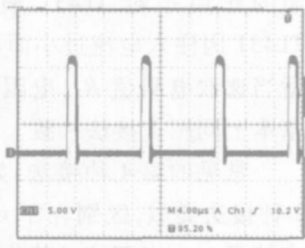


图 13 反激电路驱动信号波形

因此,在光耦反馈设计中,除了要根据光耦的特性参数来设置其外围参数外,还应该知道,不同占空比下对反馈方式的选取也是有限制的。反馈方式 1、3 适用于任何占空比情况,而反馈方式 2、4 比较适合于在占空比较小的场合使用。

3 结束语

本研究列举了 4 种典型光耦反馈接法,分析了各种接法下光耦反馈的原理以及各种限制因素,对比了各种接法的不同点。通过实际半桥和反激电路测试,验证了电路工作的占空比对反馈方式选取的限制。最后对光耦反馈进行总结,对今后的光耦反馈设计具有一定的参考价值。

参考文献 (Reference):

- [1] YURIP, MLAN M J. Small-signal analysis and control

design of isolated power supplies with optocoupler feedback [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2005, 20 (7): 823 - 832

- [2] 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术 [M]. 北京:科学出版社,2000
- [3] ROBERTW E, DRAGAN M. Fundamentals of power electronics [M]. USA: **Second Edition Kluwer Academic Publishers**, 2001.
- [4] 徐振,王芳. 2.5 kW 开关电源模块监控系统设计 [J]. **机电工程**, 2006, 23 (6): 54 - 56
XU Zhen, WANG Fang. Monitoring system design for 2.5 kW communication power supply [J]. **Mechanical & Electrical Engineering Magazine**, 2006, 23 (6): 54 - 56.
- [5] XU Liu-juan. Soft switching resonant DC/DE converter with high frequency SI devices [J]. **Mechanical & Electrical Engineering Magazine**, 1999, 16 (4): 46 - 47.

[编辑:李辉]

(上接第 36 页)

无法实时获取服务监听线程启/停状态,也就无法控制线程的启/停。因此,监听线程需采用非阻塞的 I/O 操作来解决阻塞问题。

针对第 2 个问题,由于 GPRS Modem 是动态获得 IP 地址,对于服务器来讲就无法像计算机网络那样依靠 IP 地址 (或 MAC 地址) 来判断终端设备的身份,无法准确地定位终端设备,因此,必须建立一个 ID 识别机制^[5]。鉴于此,提出在内存中建立一张透传终端设备 ID 与 IP 地址映射表,表中的内容由透传终端发送至数据中心的心跳包获得并实时更新。实验表明,此机制符合用户的需求,达到了令人满意的效果。

4 结束语

系统利用 GPRS 通信技术在中、低速率数据传输以及可接入 Internet 等方面的突出优势,提出了基于 GPRS、可适用于各种行业的无线数据传输系统的解决方案,实现了数据的实时采集和透明传输。同时,为了便于用户使用本终端开发基于 java 语言的监控系统,为用户提供了监控中心开发包。整个

系统采用模块化设计,具有较好的可扩展性和可移植性。实验证明,系统运行稳定,通信实时性强,可靠性高。

参考文献 (Reference):

- [1] 深圳宏电技术开发有限公司. 无线 DDN 网络系统应用案例 [M]. 深圳:宏电技术开发有限公司,2003
- [2] Atmel Corporation. ATmega128L preliminary summary [M]. **Atmel Corporation**, 2001.
- [3] SMCOM Ltd. SM300 hardware specification [M]. **SMCOM Ltd.**, 2006
- [4] 吴昊,李志蜀,杨正海. 基于 Struts 框架构建 GSM 电子运行维护系统 [J]. **计算机应用与软件**, 2005, 22 (5): 64 - 66
WU Hao, LI Zhi-shu, YANG Zheng-hai. Building GSM electronic operation maintenance system based on struts framework [J]. **Computer Application and Software**, 2005, 22 (5): 64 - 66
- [5] [作者不详]. GPRS 在远程测控系统中的应用 [EB/OL]. [2006 - 09 - 19]. <http://www.zidonghua.com.cn/apply/detail.asp?id=955>.

[编辑:李辉]