

一种带断线检测功能的开关量输出电路

周 蕾, 刘宜欣, 李贵娇, 李金宝, 王海建

中国兵器工业第214研究所, 江苏 苏州

收稿日期: 2024年8月6日; 录用日期: 2024年9月2日; 发布日期: 2024年9月12日

摘 要

一种带断线检测功能的开关量输出电路由总线控制电路、开关CBB电路、过流检测与保护电路、在线断线检测电路、离线断线检测电路组成。总线控制电路控制开关模块, 对电路内部测试点检测回采输出; 开关CBB电路产生开关信号并驱动负载; 过流检测与过流保护电路通过调整限流电阻控制电流大小; 在线断线检测电路由电流型放大器和限流电阻完成检测; 离线断线检测电路用来检测负载是否连接。该电路用于控制电磁线圈的通断电状态, 能在恶劣的环境下稳定地运行, 具有重要的工程实际应用价值。

关键词

过流检测, 在线断线检测, 离线断线检测

A Switch Output Circuit with Wire Breakage Detection Function

Lei Zhou, Yixin Liu, Guijiao Li, Jinbao Li, Haijian Wang

China Ordnance Industry 214th Institute, Suzhou Jiangsu

Received: Aug. 6th, 2024; accepted: Sep. 2nd, 2024; published: Sep. 12th, 2024

Abstract

A switch output circuit with wire breakage detection function consists of a bus control circuit, a switch CBB circuit, an overcurrent detection and protection circuit, an online wire breakage detection circuit, and an offline wire breakage detection circuit. The bus control circuit controls the switch module to detect and extract output from internal test points in the circuit. The switch CBB circuit generates a switch signal and drives the load. The overcurrent detection and overcurrent protection circuit controls the current magnitude by adjusting the current limiting resistor. The online wire breakage detection circuit is completed by a current-type amplifier and a current-limiting resistor for detection. The offline wire breakage detection circuit is used to detect whether the load is connected. This circuit

文章引用: 周蕾, 刘宜欣, 李贵娇, 李金宝, 王海建. 一种带断线检测功能的开关量输出电路[J]. 传感器技术与应用, 2024, 12(5): 709-715. DOI: 10.12677/jsta.2024.125077

is used to control the on/off state of electromagnetic coils, which can operate stably in harsh environments, with important practical engineering application value.

Keywords

Overcurrent Detection, Online Wire Breakage Detection, Offline Wire Breakage Detection

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在中国制造 2025 大背景下, 数字化工厂、智能化工厂常被人们提及, 数字化工厂的本质就是信息集成, 而开关量信号输出正是信息集成的重要部分。开关量输出一般采用继电器等简单开关器件搭建输出电路, 实现紧急切断等控制功能。这些开关量信号输出控制动作都与强电场或强磁场主电路联系在一起, 可靠性设计和应用显得尤为重要[1]。传统的开关量信号输出控制通常使用 MOS 管开关作为开关器件, 采用并行接口的输出口来控制有触点的继电器, 使得继电器线圈得电或失电, 实现继电器触点的闭合或断开, 通常为了提高抗干扰能力, 还要经过光电隔离[2]。

近年来, 我国以提高开关量输出地装置工作高可靠性的方面为基点, 提出多个特别的安全防范性能, 针对此规划出开关量输出板设计与实现的具体方案, 研制出一种新型的多路开关量输出控制电路, 并将此输出控制电路应用于微控制器的新型输出控制电路[3]。国外, 施耐德 Tricon 开关量安全输出每个开关量输出模块包含采用相同技术并互相独立的三个通道, 每个通道包括一个 I/O 模块处理芯片, 它从相应通道的控制模块处接收要求输出的状态[4]。

本文设计了一种带断线检测功能的开关量输出电路, 用于控制电磁线圈的通断电状态。该电路可工作于 $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$, 每路开出驱动能力大于 2.5 A, 具备过流检测与保护功能、在线断线检测功能和离线断线检测功能, 当外部所接负载电流异常时, 一方面可以及时判定, 另一方面可以限制其输出电流, 使其输出最大恒定电流, 为负载提供恒定的驱动功率, 从而保护负载和功率电源, 电路结构紧凑且稳定程度高, 能在恶劣的环境下稳定地运行。

2. 总体方案设计

带断线检测功能的开关量输出电路由总线控制电路、开关 CBB 电路、过流检测与保护电路、在线断线检测电路、离线断线检测电路组成。其原理框图如图 1 所示。

电路输入 TTL (兼容 CMOS) 信号, 由输入信号时序实现对总线控制电路和开关 CBB 电路通断的控制。输入 TTL 信号对 CBB 模块开关使能进行控制, 当输入控制信号为高电平时, 相应的 CBB 模块内的使能开关打开, 输出驱动电流, 当输入控制信号为低电平时, 开关 CCB 电路输出关断。过流检测与保护电路由限流电阻、三极管组成, 通过对限流电阻的调整可以控制电流的大小, 当电流超过限流点时, 三极管打开, 输出高电平。断线检测功能分为离线断线检测和在线断线检测, 离线断线检测功能检测负载是否连接, 当负载不连接时输出高电平, 当负载连接时输出低电平。在线断线检测功能由一个电流型放大器和限流电阻完成, 当功率输出开关打开时, 限流电阻会产生压降, 通过放大器进行放大输出, 对输出电压进行检测, 判断负载是否有电流通过。所有检测输出是通过 54HCT541 芯片的电平转换输出到总线上, 通过总线对检测信号实时读取。下面介绍各部分电路的具体设计。

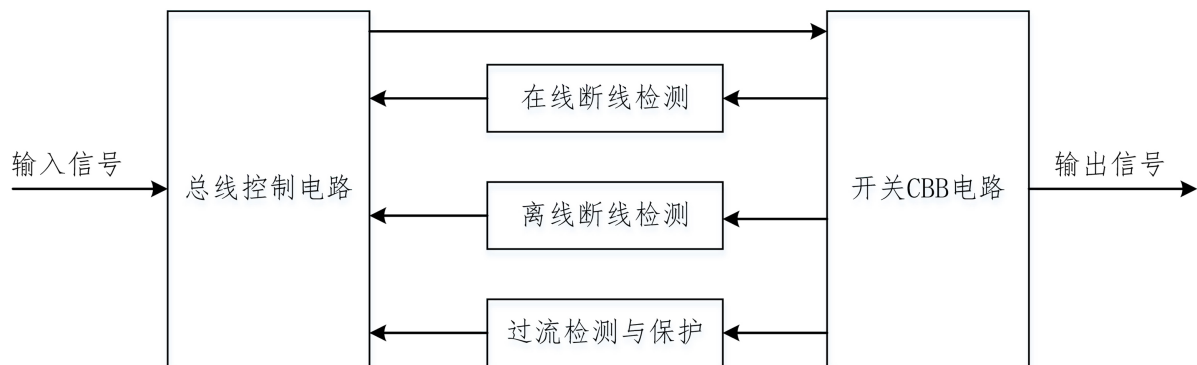


Figure 1. Circuit composition diagram
图 1. 电路组成图

3. 硬件电路设计

3.1. 开关 CBB 电路

开关 CBB 电路由场效应管和开关控制部分组成驱动电路，产生开关信号并驱动负载，其电路原理图如图 2 所示。当 SWO 端为高电平时，三极管 V5 打开，使得场效应管 V1 的 G 极和 S 极产生电压差，从而 V1 的 S 极与 D 极导通，电流经过场效应管 V1，通过 KO 端加载到负载上。其功率管导通电流为 20 A，漏源耐压 100 V，满足每路驱动电流大于 2.5 A、功率电源 18 V~32 V 的使用要求。

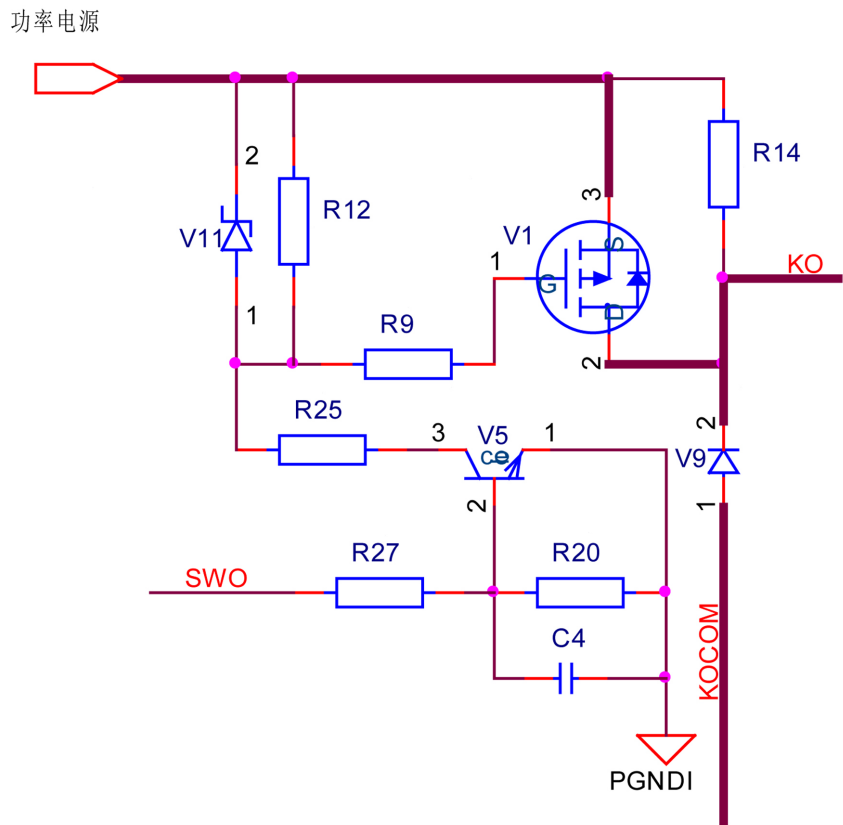


Figure 2. Schematic diagram of switch CBB circuit
图 2. 开关 CBB 电路原理图

3.2. 在线断线检测电路

在线断线检测功能由一个电流放大型放大器和限流电阻完成。通过对限流电阻上的电压进行检测，当功率输出开关打开时，限流电阻会产生压降，通过放大器放大输出。其电路原理图如图 3 所示。

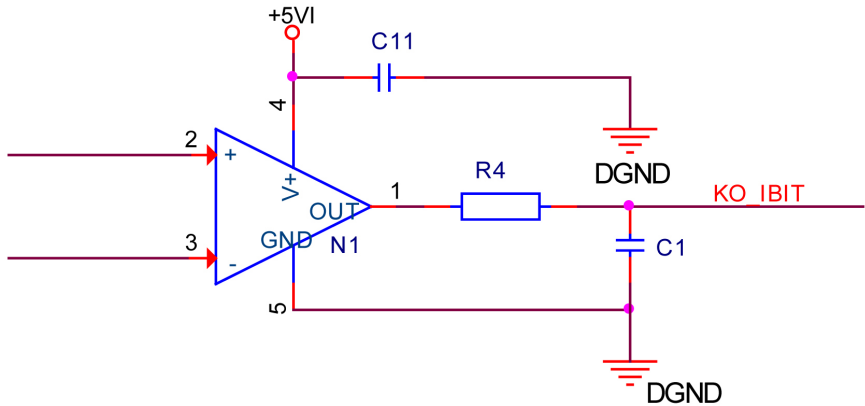


Figure 3. Schematic diagram of online wire breakage detection circuit
图 3. 在线断线检测电路原理图

3.3. 离线断线检测电路

离线断线检测电路原理图如图 4 所示，测试点 KO_VBIT 的电压由功率管 V2、电阻 R16、R19 和 R17 的分压值决定。

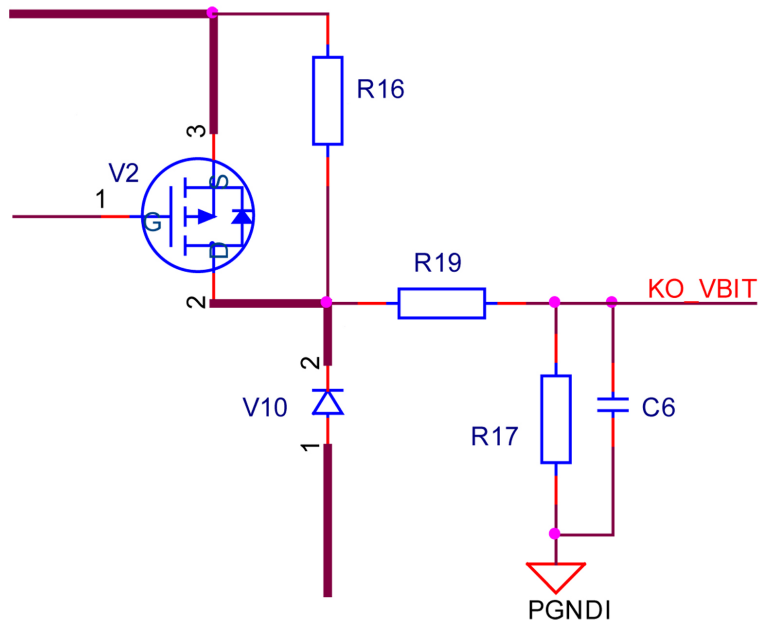


Figure 4. Schematic diagram of offline wire breakage detection circuit
图 4. 离线断线检测电路原理图

3.4. 过流检测与保护电路

过流检测与过流保护电路原理图如图 5 所示。

1) 过流检测电路：由限流电阻和三极管组成，通过对限流电阻的调整控制电流大小。当电路正常工作时，三极管 V3 关闭，测试点 KO_OCBIT 端的电压为 0 V；当电路电流超过限流点时，V3 打开，此时测试点 KO_OCBIT 输出高电平。

2) 过流保护电路：当流过负载的电流高于设置值时，三极管(V3)和功率管(V1)形成级联负反馈的动态平衡，使功率输出恒定电流，为负载提供恒定的驱动功率，从而保护负载与功率电源。

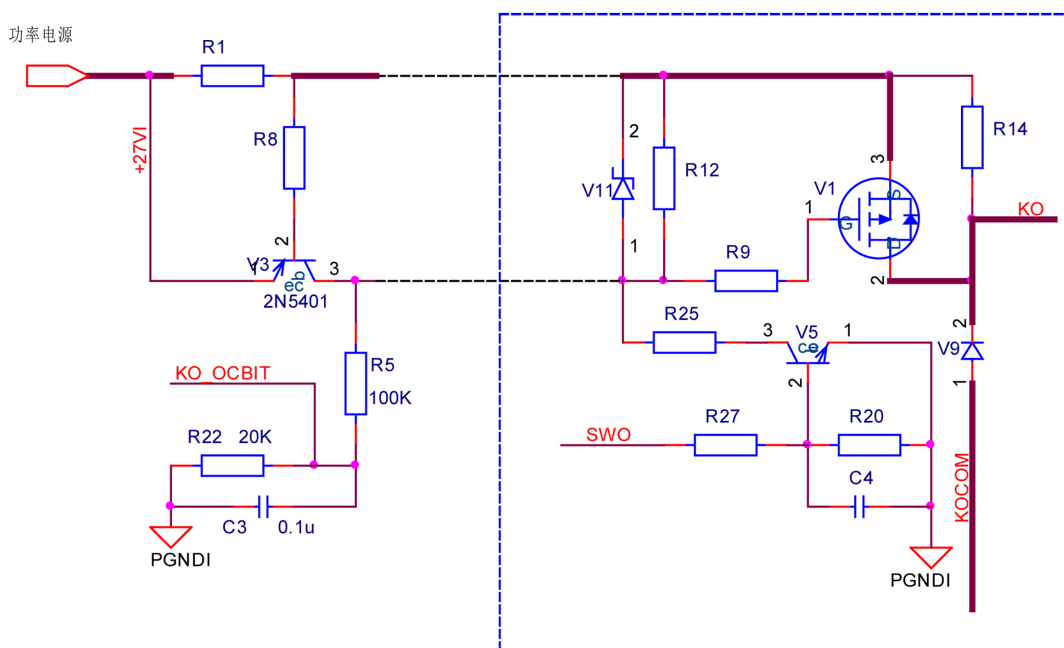


Figure 5. Schematic diagram of overcurrent detection and protection circuit

图 5. 过流检测与保护电路原理图

3.5. 总线控制电路

总线控制电路由八路缓冲器单元组成，用于控制开关模块，对电路内部测试点检测回采输出。总线控制电路原理图如图 6 所示，通过八路缓冲器的片选信号，完成总线 KOBD [0:5] 的读写选择控制。当片选信号为“写”状态时，通过写入不同的时序控制缓冲器和外接锁存器来实现四路功率管开关使能控制；当片选信号为“读”状态时，可以实时读取回采的检测点信号状态。

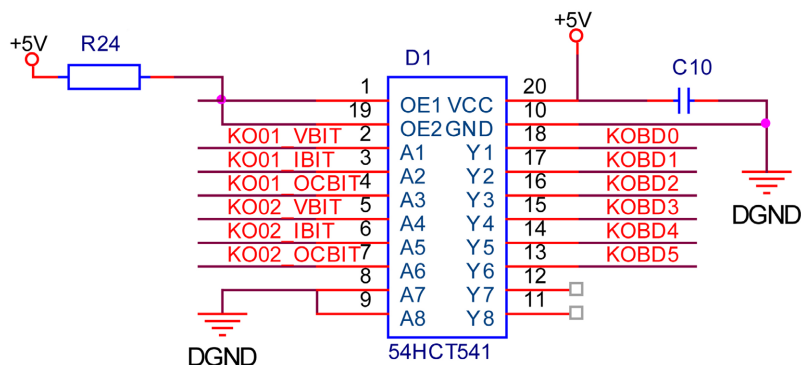


Figure 6. Schematic diagram of bus control circuit

图 6. 总线控制电路原理图

54HCT541 是一个具有八通道缓冲器的芯片，输入电平 $V_{IL} \leq 0.8\text{ V}$ 输出低电平， $V_{IH} \geq 2\text{ V}$ 输出高电平，可以实现三态输出，芯片的驱动电流为 $-6\text{ mA}\sim 6\text{ mA}$ ，额定电压为 $2.0\text{ V}\sim 6.0\text{ V}$ ，使用 CMOS 的电平。其三态输出由输出使能端 OE1 与 OE2 控制。若将 OE1 与 OE2 中的任一输出使能端置高，则 Y1~Y8 的输出端将被置为高阻态。54HCT541 芯片封装将输入与输出引脚排设在芯片的两侧，有利于后续 PCB 版图布局与接线。因此，综合考虑后选取 54HCT541 作为驱动模块。

4. 实验

过流保护、断线检测真值表见表 1。

Table 1. True value table of overcurrent protection and wire breakage detection

表 1. 过流保护、断线检测真值表

序号	输入			总线输出							功能
	KOBITCS1	KOBITCS2	输入状态	KOEN1	KOBD0	KOBD1	KOBD2	KOBD3	KOBD4	KOBD5	
1	0	1	第一路打开	0	1	0	0	1	0	0	第一路断线
				1	1	1	0	0	0	0	第一路在线
2	0	1	第二路打开	0	1	0	0	1	0	0	第二路断线
				1	0	0	0	1	1	0	第二路在线
3	1	0	第三路打开	0	1	0	0	1	0	0	第三路断线
				1	1	1	0	0	0	0	第三路在线
4	1	0	第四路打开	0	1	0	0	1	0	0	第四路断线
				1	0	0	0	1	1	0	第四路在线
5	0	1	第一路打开	0	1	0	0	1	0	0	第一路断线
				1	1	1	1	0	0	0	第一路过流
6	0	1	第二路打开	0	1	0	0	1	0	0	第二路断线
				1	0	0	0	1	1	1	第二路过流
7	0	1	第三路打开	0	1	0	0	1	0	0	第三路断线
				1	1	1	1	0	0	0	第三路过流
8	0	1	第四路打开	0	1	0	0	1	0	0	第四路断线
				1	0	0	0	1	1	1	第四路过流

在常温、低温和高温情况下，对电路进行电特性指标及功能测试，测试结果表明，电路在不同温度下的性能均能满足使用要求。测试数据见表 2。

5. 结论

本文设计了一种带断线检测功能的开关量输出电路，具备过流检测与保护功能、在线断线检测功能

Table 2. Circuit three temperature test data table
表 2. 电路三温测试数据表

指标名称或符号		数字电源静态电流 (mA)	单路开出电路 驱动电流 (A)	开出电路 驱动总电流 (A)	输出使能 有效电压 (V)	单路开出 电路输出压降 (V)	温升(℃)	过流、断电 检测功能
指标要求		≤15	≥2.5	≥4	≤1	≤2	≤20	正常
常温 (25℃)	1	7	2.7	4.2	0.62V	1.40	6.2	√
	2	9	2.7	4.2	0.61	1.44	6.4	√
	3	9	2.7	4.2	0.63	1.45	6.5	√
低温 (-55℃)	1	7	2.7	4.2	0.66	1.42	-	√
	2	9	2.7	4.2	0.66	1.41	-	√
	3	9	2.7	4.2	0.68	1.43	-	√
高温 (125℃)	1	12	2.7	4.2	0.82	1.49	-	√
	2	11	2.7	4.2	0.88	1.48	-	√
	3	11	2.7	4.2	0.86	1.48	-	√

和离线断线检测功能，该电路的主要功能是根据 TTL (兼容 CMOS)信号的时序实现对驱动电路通断的控制和开关量的读取，结构紧凑且稳定程度高，能在恶劣的环境下稳定地运行，现已成功应用于某航空发动机电磁阀控制系统，具有重要的工程实际应用价值。

参考文献

[1] 刘勇, 汪亮, 邹志强, 等. 开关量信号输出电路和控制方法的研究与应用[J]. 电工技术, 2022(16): 144-146, 149.

[2] 高亮. 一种新型的多路开关量输出控制电路设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(17): 297-299.

[3] 李杰. 基于国产处理器 SC2105E 的开关量输出地装置研制[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019.

[4] 庞欣然. 高安全性与可用性的开关量输出模块研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2021.