

Design & Implementation of Energy Saver IC for AC Contactor

Ding Chen, Yan Han, Cheng Peng, Zhenqi Fan, Xinggan Guo

¹Department of Information Science and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou

²Hangzhou Huahang Electronics Company, Hangzhou

Email: hany@zju.edu.cn

Received: Apr. 25th, 2011; revised: May 21st, 2011; accepted: May 23rd, 2011.

Abstract: When medium and large-capacity AC contactors are working, the AC current flowing through the contactor coil is consuming some energy. Meanwhile it is producing a great electromagnetic noise, increasing the coil temperature rise and shortening the life of AC contactor. This paper analyzes the power consumption of AC contactor. According to AC contactor's characteristics of strong magnetic to pull in and weak magnetic to hold, changing the electromagnetic system form AC operation mode to DC, using the technology of changing the duty cycle automatically, we develop and design an intelligent energy saver ASIC chip ZDLX for AC contactor. The chip fabricated in a 0.5 μm mixed-signal CMOS process of Shanghua in Wuxi. The test results confirmed that output signals of the chip meet the design requirements, and the power consumption of AC contactor decline almost 90% (10% of the original) with the chip and application circuit. Therefore, ZDLX can greatly reduce the power consumption of AC contactor greatly, and has important economic and social benefit.

Keywords: AC Contactor; Energy Saver; ASIC Chip

交流接触器节能专用芯片的设计与实现

丁晨¹, 韩雁¹, 彭成¹, 范镇洪¹, 郭行干²

¹浙江大学信电系微电子与光电子研究所, 杭州

²杭州华杭电子电器公司, 杭州

Email: hany@zju.edu.cn

收稿日期: 2011年4月25日; 修回日期: 2011年5月21日; 录用日期: 2011年5月23日

摘要:大中型交流接触器在正常工作时, 交流电通过交流接触器的线圈会消耗一定的能耗, 同时会产生较大的电磁噪声, 还会增大线圈温升, 缩短交流接触器的使用寿命。本文在对交流接触器能耗进行分析的基础上, 根据交流接触器可用强激磁吸动和弱激磁吸持的特点, 改变其电磁系统的交流运行方式为直流运行方式, 采用自转换式改变占空比的节能方案, 设计开发了一款智能型交流接触器节能专用集成电路芯片 ZDLX。此芯片采用 0.5 μm 混合信号 CMOS 工艺制程。实测结果表明此芯片配合交流接触器使用后可将后者功耗降低 90%(仅为原功耗的 10%)。交流接触器的使用量大面广, 因此该节能专用芯片 ZDLX 具有重要的社会和经济价值。

关键词: 交流接触器; 节能; 专用集成电路芯片

1. 绪论

交流接触器是现代工业生产中常见的一种电器设备, 其工作原理是利用线圈流过交流电产生磁场, 使触头闭合, 以达到控制大电流负载工作的电器。根据

交流接触器的工作原理, 当交流接触器处于吸持的状态时, 交流电流通过交流接触器的线圈会消耗一定的能耗。例如一台 CJ20-250A 的交流接触器, 按 1 天工作 8 h, 1 年工作 300 天计算, 年耗电量就为 156 kW·h。

由于我国正在运行的大、中容量交流接触器数量很大,因此累计起来年耗电量非常惊人^[1]。

交流接触器的节能技术之一是使接触器在直流方式下运行,这样不仅节省电能,还能显著降低噪声和温升,而且能够延长交流接触器的寿命。交流接触器的节能技术具有非常大的经济效益和社会效益。

目前市场上已经实际存在的交流接触器节能运行方案很多。但是节能技术的推广面比较小,普及率不高。出现这种情况主要原因有:有的节能附加装置要占用或者调整接触器的辅助触头;有的节能方案还不够完善,可能会降低交流接触器的工作可靠性、性能指标以及使用寿命^[2]。

在这样的背景下,本文设计了一款采用改变占空比自转换式方案的交流接触器节能专用芯片 ZDLX。此种节能方案具有体积小,成本低,节电效果好,并且不需要占用接触器的辅助触头,可以轻易地对已有的传统交流接触器进行改造。因此此芯片具有推广应用的价值,真正能使量大面广的机电产品降低能耗的经济和社会效益。

2. 交流接触器节能的基本原理

交流接触器是基于“通电吸合,带电保持,断电释放”的工作原理上的,并且控制方式一般采用交流电流控制。交流接触器在正常工作时,交流电通过接触器线圈,不仅存在铜损而且存在铁损。一方面,交流接触器的线圈一般都是铜线,这些铜导线具有一定的电阻,电流流过线圈的电阻会消耗一定的功率,这部分损耗往往变成热量而消耗,我们称这种损耗为“铜损”。铜损由线圈电流决定,占总能耗的30%左右。另一方面,线圈通交流电后所产生的磁通在铁心流动,因为铁心本身也是导体,在垂直于磁力线的平面上就会产生感应电势,这个电势在铁心的断面上形成闭合回路并产生电流,好像一个旋涡,所以称为“涡流”。这个“涡流”使接触器的损耗增加,并且使接触器的铁心发热导致温升增加。由“涡流”所产生的损耗称为“铁损”。铁损占总能耗的70%左右。

交流接触器节能的基本原理是将其电磁系统交流运行方式改为直流吸合,直流吸持的工作方式。同时交流接触器具有强激磁吸动和弱激磁吸持的特性。所谓强激磁吸动,就是要使交流接触器的触头从断开到

吸合,必须要有强磁场的作用。而弱激磁吸持是指一旦接触器的触头吸合,只需较弱的磁场就能使接触器的触头保持吸持状态。因此可以使线圈先流过大电流使接触器吸合,吸合后通过小电流让接触器保持在吸持状态。从而让交流接触器在吸持状态实现节能的目的。

改变占空比自转换式节能器的节能是通过改变芯片输出脉冲的宽度来实现的。在吸合阶段,调节输出脉冲为宽脉冲得到高吸动电压,从而使交流接触器安全可靠地吸合。吸合之后,节能器再将输出脉冲转换成足以维持吸合的窄脉冲,从而维持低电压,以达到节能的目的。改变占空比自转换式节能器的基本信号处理流程为:交流电源经二极管半波整流转换成直流后直接供电给操作线圈,使接触器电磁系统强激磁吸动。然后经一段时间的延时后由变换器自动转换为窄脉冲宽度的脉冲信号来控制线圈的接通和关断,使线圈上的电压成为10V以下的脉冲电压,从而实现交流接触器吸持状态的低电能消耗目的^[3-5]。

3. 芯片的设计

ZDLX 节能专用芯片的系统框图如图1所示,此芯片采用数模混合设计方法,其系统构造分为模拟部分与数字部分,其中模拟部分主要作为辅助电路、接口电路、时钟信号产生及信号的前端处理的作用。而数字部分主要作用是对外部信号进行基于某种算法的处理,产生所希望的控制信号。框图中模拟部分的模块主要包括电源模块、缓冲模块、振荡器模块以及基准模块以及上电复位电路^[6-8]。数字部分的模块主要包括分频电路、延时模块、脉宽调整模块、信号合成模块以及输出缓冲模块^[9]。

模拟部分的电路模块主要功能是产生一个稳定的时钟脉冲信号以及上电复位信号,时钟脉冲信号给数字电路作为时钟基准,而上电复位信号则在上电开始对输出清零。数字电路通过脉宽调整模块将输入的10ms脉宽的工频方波信号处理为脉宽为1.5ms的工频方波信号,延时模块将上电复位信号延时130ms后作为信号合成模块的控制端,最后通过输出缓冲电路输出信号。因此电源电压上电后芯片先输出周期为20ms,脉冲宽度为10ms的工频方波信号,然后经过130ms延时后输出经脉宽调整电路输出的脉冲

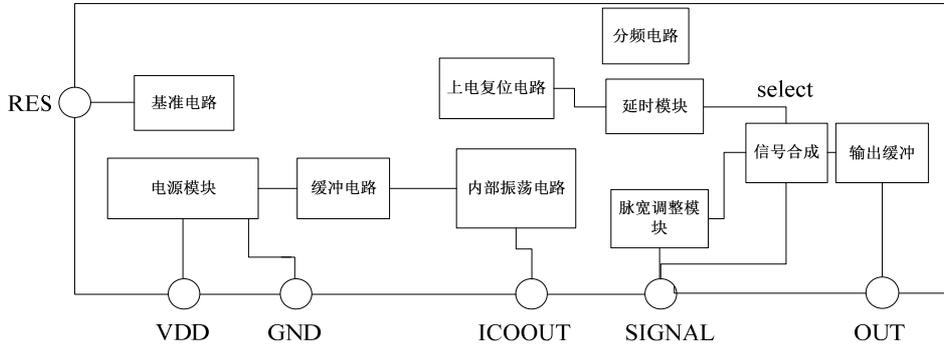


Figure 1. Structure of ZDLX
图 1. ZDLX 节能专用芯片的系统框图

宽度为 1.5 ms 的工频方波信号。

图 2 是芯片的整体功能仿真图，IN 曲线是周期为 20 ms，脉冲宽度为 10 ms 的输入工频方波信号，SUPPLY 为芯片的电源电压曲线，RESET 为模拟部分上电复位电路产生的上电清零信号。从图中可以看出，当芯片的电源电压上升到大概 3.8 V 以上时，芯片内部的清零信号 RESET 输出高电平，在接着的 130 ms 时间内芯片输出脉冲宽度为 10 ms 的工频波形信号。130 ms 后，SELECT 输出为低电平，芯片输出接着输出脉冲宽度为 1.5 ms 的脉冲波形。而当电源电压突然降低到 3.8 V 以下时，RESET 输出为 0，芯片输出也为 0。而当电源电压恢复到正常电压时，芯片输出重复正常上电后的输出信号，因此芯片同时能够在电源电压降低到一定值时输出清零并当电源电压正常时正常输出的功能。

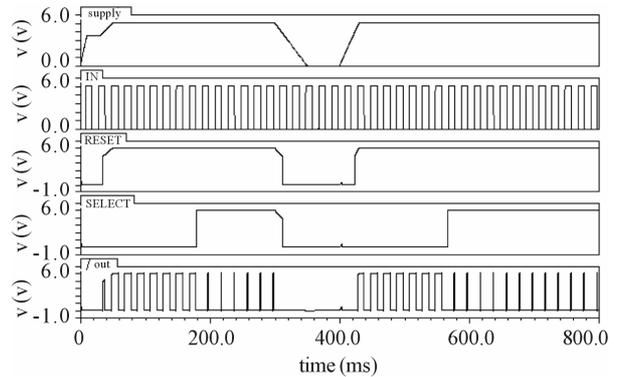


Figure 2. Simulation result of the whole circuits
图 2. 芯片的整体仿真结果

4. 芯片的外围电路以及工作原理

结合芯片外围应用电路图图 3 和节能器工作波形示意图图 4，节能器的工作原理如下：220 V 交流电源接到 AC1 和 AC2 之间，交流电通过整流二极管进行半波整流，整流后交流接触器一端的 E 点电压如图 4 所示。整流后的电压通过 R2、R3 及稳压管 D3 分压后得到周期为 20 ms，脉冲宽度为 10 ms 的工频方波信号，将这个方波信号输入到芯片的信号输入端 Signal。整流后的电压同时经过降压电阻 R1、稳压二极管 D4 及滤波电容 C1 和 C3 得到一个稳定的 5V 电源电压给 ZDLX 芯片进行供电。芯片的输出直接接可控硅的控制端。因此芯片在上电后先输出周期为 20 ms，脉冲宽度为 10 ms 的工频方波信号，此时由于可控硅在正

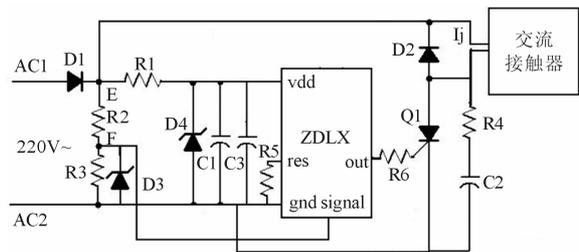


Figure 3. Application circuit of ZDLX
图 3. ZDLX 节能专用芯片应用电路

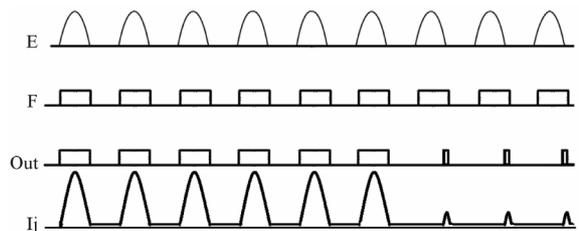


Figure 4. Working waveform of energy saver
图 4. 节能器工作波形示意图

半波完全导通，因此流过交流接触器上的直流电流非常大，从而接触器铁芯的吸力也很大，从而很快实现

了交流接触器的吸合。当交流接触器上电吸合 130 ms 以后, ZDLX 芯片 Out 输出周期为 20 ms, 脉冲宽度为 1.5 ms 的工频方波信号。由于此时晶闸管的导通时间变得更短, 放电时间更长, 而且当 Out 处于高电平时, E 点对应的电压已经不大, 经过占空比较小的脉冲宽度时间的充电, 线圈电流也不会增大很多, 电流峰值在一个较低的值。此时线圈电流 I_j 处于小电流状态, 维持交流接触器触头的闭合。由于线圈上的电流很小, 因此节能器实现降低交流接触器的功耗的目的, 同时也降低了交流接触器的线圈噪声和温升, 对交流接触器的主电路具有保护功能, 延长交流接触器的使用寿命。

5. 芯片测试结果

本芯片采用无锡上华 0.5 μm 混合信号 CMOS 工艺流片^[10]。包括输入输出 PAD 和内核, 芯片的尺寸为 $0.73\text{ mm} \times 0.62\text{ mm}$, 总面积是 0.5 mm^2 , 芯片总电流是 $400\text{ }\mu\text{A}$, 由于电源电压是 5 V, 因此功耗是 2 mW。芯片的整体版图如图 5 所示。

图 6 是芯片上电后的输出波形, 如图所示, 芯片上电后 130 ms 内输出脉冲宽度为 10 ms 的工频方波信号, 然后再输出脉冲宽度为 1.5 ms 的工频方波信号, 输出信号满足设计的要求。

GB 14048.4-2003《低压开关设备和控制设备机电式接触器和电动机起动器》规定: 接触器释放和完全断开的极限值是其额定控制电源电压 $U = 220\text{ V}$ 的 10%~75%(直流), 也就是说 10%U 适用于完全断开的上限值, 75%U 适用于保持闭合的下限值^[11]。根据外

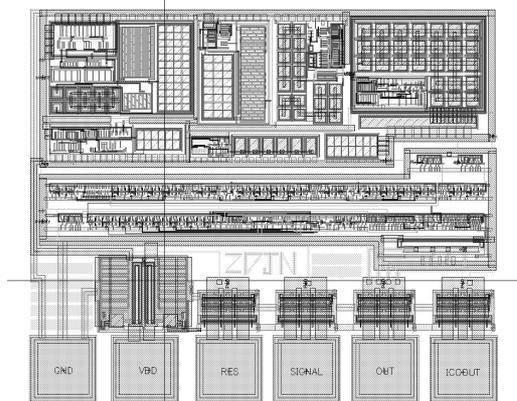


Figure 5. Layout of the whole chip
图 5. 芯片整体版图

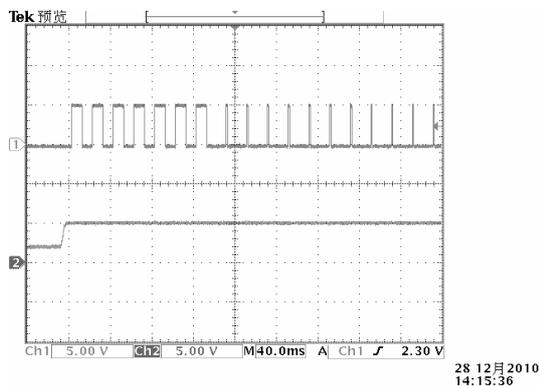


Figure 6. Output waveform of the chip after power on
图 6. 芯片上电后的输出波形

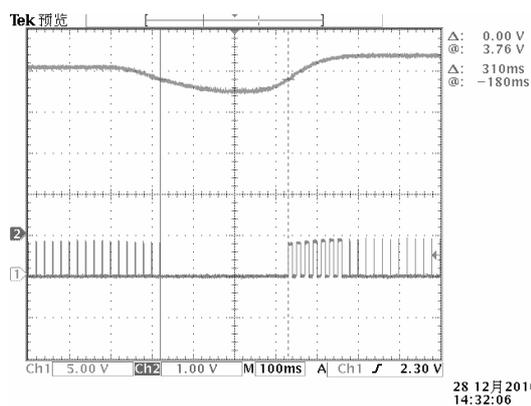


Figure 7. Output waveform of the chip when the supply voltage change
图 7. 芯片在电源电压变化时的输出波形

围电路的设计, 当外部交流电源为 75% U 以上时, 芯片电源电压大于 4 V, 当外部交流电源在 10% U 以下时, 芯片的电源电压低于 3.5 V。因此芯片必须实现当电源电压下降到 3.5 V 以下时, 芯片输出为 0, 而电源电压在 4 V 以上时芯片正常输出。图 7 是芯片在电源电压降低后的输出波形图, 如图所示, 芯片电源电压为 5 V 时, 芯片输出窄脉宽方波信号。当电源电压下降到 3.76 V 以下时, 芯片输出低电平, 然而当电源电压再升高到 3.76 V 以上后, 芯片正常输出。因此此芯片实现了在电源电压下降到大概 3.8 V 时输出低电平, 并在电源电压恢复到正常值时输出正常。因此此芯片在低电源电压下具有保护功能。

本文测试了以 ZDLX 为核心的节电器配合使用 CJ20 系列四种不同型号的交流接触器的节电率, 测试结果如表 1 所示。其中 P_1 为不装节电器的交流接触器处在吸持状态, 其电磁线圈消耗的有功功率; P_0 为加装节电器的交流接触器处在吸持状态, 在节电器输入

Table 1. Result of energy saving rate test
表 1. 节电率测试结果

型 号	P_1 (W)	P_0 (W)	ΔP
CJ20-100A	18.6	2.1	88.7%
CJ20-160A	30.5	3.2	89.5%
CJ20-250A	59.8	6.5	89.1%
CJ20-400A	62.4	6.9	88.9%

端测得的所消耗的有功功率。节电率 ΔP 的计算公式为^[12]:

$$\Delta P = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100\%$$

从表 1 可以看出, 以交流接触器节能芯片 ZDLX 为核心的节能器的节电率大概为 90% 左右, 节能效果非常显著。

6. 结论

本文首先介绍了交流接触器在正常工作下会消耗一定的能耗, 然后对交流接触器的能耗进行分析并介绍了交流接触器节能的基本原理。然而现在市场上的节能方案不够完善, 导致交流接触器节能器的推广面不大, 应用有限。针对以上情况, 本文设计了一款采用改变占空比自转换技术的交流接触器节能专用集成电路芯片 ZDLX。文中详细地介绍了芯片的整体框架和工作原理, 芯片在 0.5 μm 混合信号 CMOS 工艺上进行了流片, 对芯片进行封装与测试, 测试结果十分

理想, 达到了设计所要求的功能和性能指标。同时为芯片设计了外围应用电路配合交流接触器进行了测试, 结果表明, 交流接触器的能耗减低了 90% 左右, 因此此芯片具有非常好的节电效果。

我们相信, 在不久的将来, 交流接触器节能专用芯片 ZDLX 能够得到国内的交流接触器厂商和用户的认可, 在节能减排的大环境下具有非常重要的经济和社会效益。

参考文献 (References)

- [1] 刘炳彰, 林李杰. 交流接触器节电综述[J]. 江苏电器, 2002, 22(2): 9-14.
- [2] 姚芳林, 朱振远. 交流接触器节能技术的研究[J]. 节能技术, 1993, 35(2): 30-31.
- [3] 周淑军, 王晓颖. 交流接触器节电技术的发展[J]. 电气时代, 2005, 21(2): 65-66.
- [4] 刘炳彰. 交流接触器节电技术发展和 GB8871 标准修订简介[J]. 低压电器, 2001, 43(2): 58-62.
- [5] 何展提. 交流接触器节电技术[J]. 电气时代, 2006, 26(12): 68-69.
- [6] P. E. Allen, D. R. Holberg. CMOS 集成电路设计(英文版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [7] 毕查德·拉扎维. 模拟 CMOS 集成电路设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003.
- [8] S. J. Jou, T. L. Chen. On-chip voltage down converter for LP/LV digital system. IEEE International Symposium on Circuits and System, 1997, 3: 1996.
- [9] J. M. Rabaey. 数字集成电路设计透视[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [10] A. Hastings. The Art of Analog Layout. Prentice Hall, 2001.
- [11] GB 14048.4-2003, 低压开关设备和控制设备机电式接触器和电动机起动器[S]. 国家标准, 2003.
- [12] GB 8871-2001, 交流接触器节电器[S]. 国家标准, 2001.