

Study on Switching Algorithm of Transducer Based on Energy-Saving

Jianke Li¹, Weiyi Jin², Shuhua Qian¹, Jingjing Chen¹, Ming Xing³

¹College of National Defense Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing

²Nanjing Military Representative Office of Military Navigation, Shanghai

³Jiangsu Zhen'an Power Equipments Co., Ltd., Zhenjiang

Email: lijianke1026@163.com

Received: Mar. 22nd, 2013; revised: May 9th, 2013; accepted: May 22nd, 2013

Copyright © 2013 Jianke Li, et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: To achieve the purpose of energy conservation, frequency conversion velocity regulators are usually added in power devices. However, the harmonic losses are also caused by those regulators. The relationship between the loss rate and the load rate is derived from the formula. Calculate the load rate when the loss rate is the smallest, and then get the total power consumption of the power equipment. By designing the digital PID controller and researching the feedback algorithms of the power-saving optimization, the inverter switching algorithm can be finally achieved through the designing and developing of the software process.

Keywords: Transducer; Energy-Saving; Harmonic; Load Rate

基于节能目的的变频调速器投切算法的研究

李建科¹, 金伟一², 钱淑华¹, 陈静静¹, 邢鸣³

¹解放军理工大学国防工程学院, 南京

²南京军区航务军事代表办事处, 上海

³江苏镇安电力设备有限公司, 镇江

Email: lijianke1026@163.com

收稿日期: 2013年3月22日; 修回日期: 2013年5月9日; 录用日期: 2013年5月22日

摘要: 为了实现节能目的, 通常在动力设备中加入变频调速环节, 但是带来了谐波损耗的问题, 通过公式推导得到损耗率与负载率的关系, 并计算出最小损耗率时的负载率, 得出此时动力设备用电总功率, 设计了数字PID控制器, 研究了节电优化的反馈算法, 并设计开发了软件流程, 最后实现了变频器投切算法。

关键词: 变频器; 节能; 谐波; 负载率

1. 引言

随着电力电子装置的不断发展、完善和应用, 工业与民用建筑领域大量采用此类装置以实现不同的目的, 如利用变频器控制风机和泵类负载, 实现变速节能运行, 获得了可观的经济效益。然而, 变频器作为一种电力电子变换装置, 由于电力电子开关的非线性特性, 在实现电能变换的同时, 引起输入电流波形

发生畸变, 等效于一个谐波源, 向供电电网中注入谐波^[1-3]。

谐波的危害十分严重, 包括降低供电可靠性、减少系统有效容量、影响设备正常工作、恶化电磁环境、导致电力系统损耗增加等。谐波引起电力系统的附加损耗(发热)增加是谐波及其危害研究的重要方向之一。George J. Wakileh 提出了谐波情况下电力设备热

损耗的计算方法;张琦对谐波作用下导线的趋肤效应进行了仿真研究^[4]。谐波产生的附加损耗,将增大供配电系统的总损耗。

谐波产生电力系统的附加损耗,与设备节能的一部分相互抵消,系统节能效益达不到预期的理想效果。目前,相关文献只是对各个设备(如电机、变压器)的谐波损耗进行研究,综合考虑谐波损耗的变频控制节能问题,尚无定性定量的研究^[5-9]。

2. 节电原理

以通风变频控制系统为例,设系统的总功率为 P ,总损耗为 ΔP ,可变损耗为 P_A ,不变损耗为 P_B ,总负载率为 β ,风机的额定功率为 P_N ,风机的实际功率为 P_L 。则系统总功率和损耗的关系可表示为:

$$P = P_L + \Delta P \quad (1)$$

$$\Delta P = P_A + P_B \quad (2)$$

以功率损耗和输入功率的比值 ρ 表示损耗率:

$$\rho = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta P}{P_L + \Delta P} \quad (3)$$

把式(1)和式(2)代入式(3),则式(3)可改写为:

$$\rho = \frac{P_B + \beta^2 P_A}{\beta P_N + P_B + \beta^2 P_A} \quad (4)$$

式中, $\beta = \frac{P_L}{P_N}$, P_B 和 P_N 均为常数。

式(4)两端对 β 求导,得到:

$$\frac{d\rho}{d\beta} = \frac{2\beta P_A (\beta P_N + P_B + \beta^2 P_A) - (P_B + \beta^2 P_A)(P_N + 2\beta P_A)}{(\beta P_N + P_B + \beta^2 P_A)^2} \quad (5)$$

令式(5)等于零,损耗率 ρ 最低,此时的负载率 β 为:

$$\beta_0 = \sqrt{\frac{P_B}{P_A}} \quad (6)$$

根据负载率 β 的定义,实际功率 P_{L0} 为:

$$P_{L0} = P_N \sqrt{\frac{P_B}{P_A}} \quad (7)$$

将(2)和(7)代入式(1)得到通风系统最优化用电功率:

$$P_0 = P_N \sqrt{\frac{P_B}{P_A}} + P_A + P_B \quad (8)$$

通过以上分析,可以得出:系统的最小损耗率随着负载的变化而变化,系统运行在最小损耗率状态时损耗最小,效率最高。已知系统的最低损耗率,通过计算可得到设备的优化运行范围,并对设备进行合理的优化调度(如变频器的投切、调速控制,变压器的投切),达到节电优化的目的。

3. 变频器节电优化算法

单台变频器的投入与切除点为:不投入变频器运行与单台变频运行时损耗相等。据此,可建立方程:

$$\Delta P_0 = \Delta P_1 \quad (9)$$

式中, ΔP_0 ——变频器不运行系统的损耗;

ΔP_1 ——单台变频器运行系统的损耗。

代入变量后,式(9)可改写为:

$$\frac{P_B + \beta^2 P_{AH}}{\beta P_N + P_B + \beta^2 P_{AH}} = \frac{P_B + P_{AH}}{P_N + P_B + P_{AH}} \quad (10)$$

为了保证风机按照预定的优化调度运行,采用PID控制器对风机实现反馈控制。

3.1. 数字PID控制器的设计

数字PID控制的核心思想是通过传感器将测量到连续信号转换为统一标准信号后输入给PID调节器,经调节器运算后得到变频器的给定频率,实现风机转速控制。控制过程示意图如图1所示。

3.2. 反馈算法研究

模拟PID控制器的控制规律可以由式(11)进行描述:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (11)$$

式中: K_p ——比例系数;

T_I ——积分系数;

T_D ——微分系数。

主单元无法对控制对象实现连续控制,只能先进

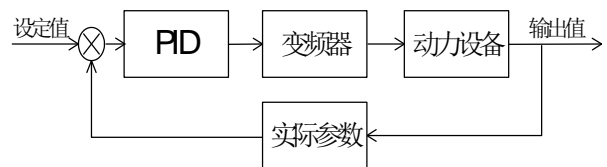


Figure 1. The program of feedback control process
图1. 反馈控制过程示意图

行离散化处理, 再通过软件算法执行 PID 控制。在连续时间 t 内进行周期为 T 的采样 k 次, 经过离散变换可得:

$$\begin{cases} u(t) \approx u_k \\ e(t) \approx e_k \\ \int_0^t e(t) dt = \sum_{j=0}^k T e_j u(t) \\ \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \end{cases} \quad (12)$$

$$u_k = K_p \left[e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{j=1}^k e_j + \frac{T_D}{T} (e_k - e_{k-1}) \right] \quad (13)$$

式中, $k=1, 2, 3 \dots$

$$u_{k-1} = K_p \left[e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=1}^{k-1} e_j + \frac{T_D}{T} (e_{k-1} - e_{k-2}) \right] \quad (14)$$

式中, $k=2, 3, 4 \dots$

$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1} \quad (15)$$

即

$$\Delta u_k = \begin{cases} \left(K_p + \frac{TK_p}{T_i} + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_1 \\ + \left(\frac{TK_p}{T_i} + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_0 \quad (k=1) \\ \left(K_p + \frac{TK_p}{T_i} + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_k + \frac{T_D K_p}{T} e_{k-1} \\ - \left(K_p + \frac{2T_D K_p}{T} \right) e_{k-1} \quad (k>1) \end{cases} \quad (16)$$

式中, Δu_k ——第 k 次采样后的增量值;

e_k ——第 k 次采样时刻输入的偏差值。

为了防止电机转速变化过大而引起的积分饱和, 可采用积分分离法进行控制。设 e_{\max} 为采样偏差值的上限, 若 $|e_k| < e_{\max}$ 采用 PID 控制, 反之采用 PD 控制, 如式(17), 式(18)所示。

$$\Delta u_k = \begin{cases} \left(K_p + \frac{TK_p}{T_i} + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_1 \\ + \left(\frac{TK_p}{T_i} - \frac{T_D K_p}{T} \right) e_0 \quad (|e_k| < e_{\max}) \\ \left(K_p + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_1 - \frac{T_D K_p}{T} e_0 \quad (|e_k| \geq e_{\max}) \end{cases} \quad (17)$$

$$\Delta u_k = \begin{cases} \left(K_p + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_k - \left(K_D + \frac{2T_D K_p}{T} \right) e_{k-1} \\ + \frac{T_D K_p}{T} \quad (|e_k| < e_{\max}) \\ \left(K_p + \frac{TK_p}{T_i} + \frac{T_D K_p}{T} \right) e_k - \left(K_p + \frac{2T_D K_p}{T} \right) e_{k-1} \\ + \frac{T_D K_p}{T} e_{k-2} \quad (|e_k| \geq e_{\max}) \end{cases} \quad (18)$$

4. 变频器节电投切的实现

变频动力设备的节电系统采用灵活易操作的 Visual Basic 6.0 软件(VB 6.0)编写, 主要包括设计人机交互界面; 对动力设备进行控制和变频器投切管理; 通过通信协议完成上位机和数字化变频动力控制柜之间的通信, 实现远程操作。

4.1. 软件流程设计与开发

单台变频器节电投切的软件流程设计包括闭环控制流程设计和变频器投切控制设计。

1) 闭环控制流程设计

PID 算法流程设计如图 2 所示, 风机闭环控制流程设计如图 3 所示。系统可根据 PID 算法控制风机的转速, 达到调节风量的目的。

依据 PID 算法, 根据需风量, 通过变频器可以实现对风机转速的控制。

风机正常运行时, 变频器可以实现部分节能功能, 但是变频器在运行的同时产生损耗, 在某些条件下, 损耗大于节约的能耗。

以单台风机为例, 综合考虑损耗与系统节电量之间的关系, 设计单台风机节电流程。

2) 单台风机节电流程设计

单台风机的节电流程如图 4 所示。在设备初始化后, 系统根据所采集的实时数据进行运算, 当系统损耗大于使用变频器的节电量时, 变频器投入运行; 反之切除变频器。

3) 软件开发

为了便于管理和维护, 变频器投切画面要具有良好的人机交互特性和操控功能。

画面功能包括合闸、复位、分闸, 在变频器投入前首先点击复位按钮, 恢复系统的初始位置, 合闸后变频器投入, 根据计算流程图自动判断变频器是否工

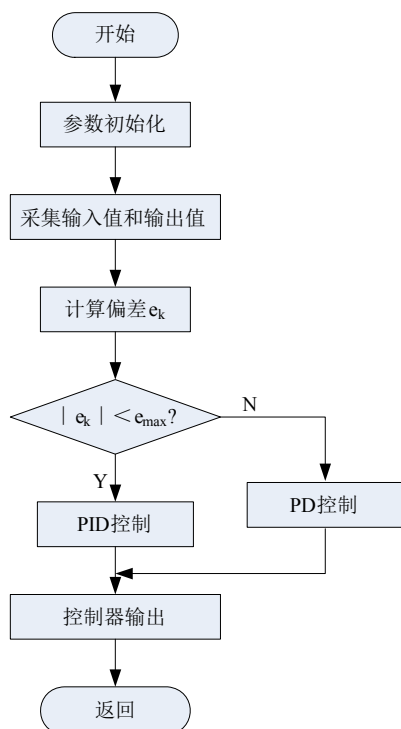


Figure 2. PID algorithm
图 2. PID 算法

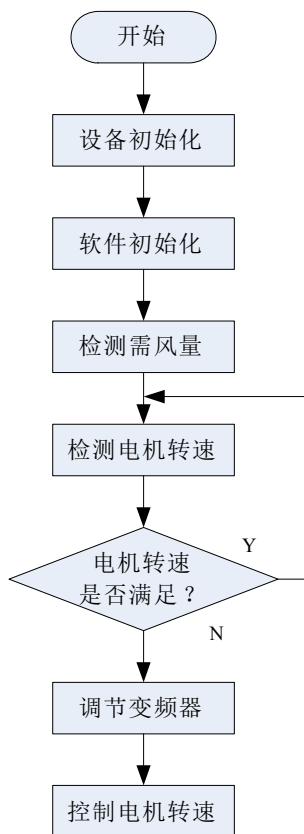


Figure 3. Motor control software flowchart
图 3. 电机控制软件流程图

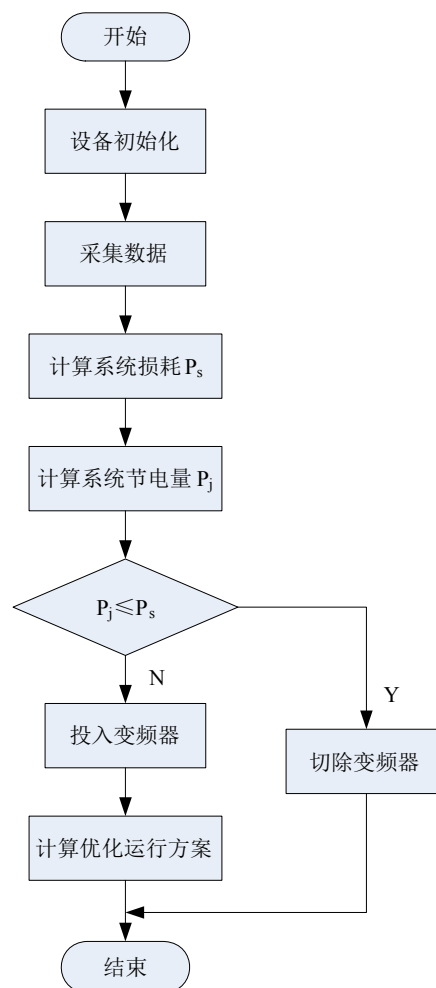


Figure 4. A transducer energy-saving flow chart
图 4. 单台变频器节电流程图

作，点击分闸后，变频器退出运行。

在 VB 6.0 软件中，绘出合适的框图，编写相关的程序，得到变频器投切画面如图 5 所示，维护人员可根据运行情况在现场对变频器进行手动投切操作。

4.2. 硬件实现

针对风机设备的特点，采用 ABB ACS510 型低压变频器。该变频器是一款高品质的电机变频调速设备，广泛应用于工业现场，特别适合风机泵类传动控制，具有运行可靠、电机噪音低、安装简单等优点。

根据 ACS510 型低压变频器的技术指标要求，设计供电回路和控制回路，加装变频器后的变频动力柜如图 6 所示。

动力柜运行数据显示，在满足风量等指标要求后，加装变频器后的动力柜节能效果更明显。



Figure 5. The picture of converter control
图 5. 变频器画面



Figure 6. Frequency conversion power counter
图 6. 变频动力柜

5. 结论

采用变频器控制风机、水泵等动力设备运行可以达到节能的目的，但同时也产生了较大的谐波。系统

的最小损耗率随着负载的变化而变化，系统运行在最小损耗率状态时损耗最小，效率最高。已知系统的最低损耗率，通过计算可得到设备的优化运行范围，并对设备进行合理的优化调度(如变频器的投切、调速控制，变压器的投切)，可以达到节电优化的目的。

参考文献 (References)

- [1] Y. K. Huang, K. P. Li and Q. S. Hu. Research on computational model of iron losses in SPWM fed induction motors. Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, Nanjing, 27-29 September 2005: 2002-2004.
- [2] R. M. Fang. An improved iron loss calculation method for high-speed induction. Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, Nanjing, 27-29 September 2005: 886888.
- [3] W. J. Yin, K. Bultemeier, D. Barta, et al. Critical factors for early failure of magnet wires in inverter fed motor. Proceedings of the 8th Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Virginia Beach, 1995: 258-261.
- [4] D. A. Dini. (1992) Testing and rating of transformers for use with non-linear loads. Northbrook: Underwriters Laboratories Inc., 1992: 193-197.
- [5] W. M. Grady, et al. Power factor correction and power system harmonic. Short Course, New Mexico State University, 1993.
- [6] L. S. Tong, G. N. Wu. Impact on frequency control system of traction motor harmonic losses. Proceeding of Power System and Its Automation, 2005, 17(6): 10-13.
- [7] Y. Yang, M. F. Dou. Research on power harmonic of high power density motor with VVVF inverter-driven asynchronous. Electric Machines and Control, 2006, 1: 4952.
- [8] X. L. He. Higher Harmonic and skin effect of variable frequency motor heating. Motor Technology, 2003, 3: 1416.
- [9] F. Q. Li, J. X. Ren. Application of energy-saving inverter technology in power plants pump and fan systems analysis. Shanghai University of Electric Power, 2005, 21(1): 17-20.