

基于 DeviceNet 现场总线变频器自适应模糊控制系统

蔡 崧 苏州市技师学院 (215007)

孙 蓀 苏州工业职业技术学院(215008)

Abstract

For achieving the intelligent start of frequency inverter, this paper introduces how to closely combine the fuzzy control with the fieldbus. A parameters self-adaptive fuzzy control system of frequency inverter is built up based on DeviceNet fieldbus. A calculating method of parameters self-adaptive fuzzy controller is stated. The result of simulink confirms availability of this controller by MATLAB. The practice is obviously effective.

Keywords: frequency inverter, parameters self-adaptive fuzzy control, deviceNet fieldbus

摘 要

本文以实现变频器智能启动为控制目标, 尝试如何把现场总线和模糊控制技术密切结合, 为此建立了基于 DeviceNet 现场总线变频器自适应模糊控制系统。提出了一种参数自适应模糊控制器设计方法, 并经 MATLAB 仿真验证了其有效性。该系统经实际应用获得了良好效果。

关键词: 变频器, 参数自适应模糊控制, DeviceNet 现场总线

现场总线控制系统的出现, 使模糊控制算法实现模糊控制分散化, 使得可靠的模糊现场控制成为可能。带有高级算法的模糊控制器可以分布在某些节点中, 也可以分别存放在功能强大的处理器内, 节点与节点、节点与控制器之间既有通畅的通信联络, 又是彼此相对独立。基于现场总线模糊控制器是一种充分发挥现场总线和模糊控制优势的结合, 是值得研究的。

1 DeviceNet 现场总线变频器控制系统的构建

Rockwell 自动化网络体系 由美国罗克韦尔公司提出, 为三层网络体系, 由设备层(DeviceNet)、控制层(ControlNet)和信息层(EtherNet)组成, 如图 1 所示。

在该网络中数据可以双向流通, 层与层之间可以交换数据。对某一具体应用可以选择其中某层或某几层, 而且每层之间可以存在层叠。这种网络体系目的在于采用一个开放的、扁平的、满足高性能系统需求的、降低整体系统费用(包括提高网络/设备诊断能力、减少接线、安装、系统调试时间、提高纠错能力)的网络体系, 信息网的数据传输速率为 10Mb/s, 采用了 CM-SA/CD 存取控制技术, 控制协议为 TCP/IP。控制网是一种高速确定性网络, 用于对时间苛刻要求应用场合的信息传输, 同时也允许传送无时间苛求的报文数据, 但不会对有时间要求的数据造成冲击。高吞吐量 5Mb/s 的数据传送速率用于改善 I/O、控制器互锁以及对等通信报文传送的性能。由于采用了一种全新的生产者/消费者网络模型, 数据源只需将数据发送一次, 许多需用此数据的节点通过在网上识别标识符, 即可同时从同一个生产者取用消费同一个数据。消费者节点之间可实现精确的同步, 而且提高了带宽的有效使用率, 其它设备加入网络后并不增加网络的负担。

1.1 控制系统的硬件

利用上海交通大学 Rockwell 自动化实验室控制

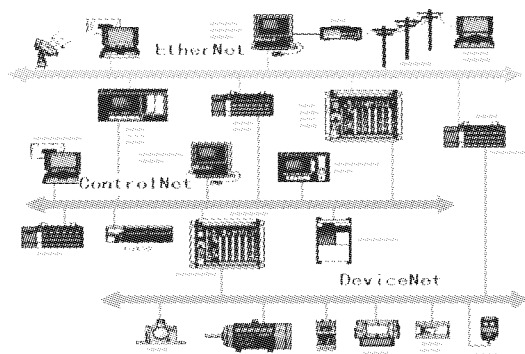


图 1 Rockwell 自动化网络体系

平台, 采用 EtherNet 作为信息网、DeviceNet 作为设备层构建两层结构的基于 DeviceNet 现场总线变频器控制系统。选用 Logix5550 处理器构成 Control-Logix 控制结构体系, 该结构体系可以集成顺序控制、运动控制及过程控制等多种控制功能, 而且任意功能都实现模块化。选用 EtherNet 通讯模块 1756-ENET 建立 Logix5550 处理器与 EtherNet 网连接; 选用 DeviceNet 网络扫描模块 1756-DNB 建立 Logix5550 处理器与 DeviceNet 网连接; 变频器选 AB 公司 160-BA06NPE1, 通过 DeviceNet 通讯模块 160-DN1 使其与 DeviceNet 网连接; 选 ControlLogix 框架 1756-A13, 用于安装 Logix5550 处理器和其它模块, 各模块之间则通过 ControlLogix 的背板连接进行通信。

由于变频器采用模拟量输入端输入 0~10V 或 4~20mA 信号, 通过改变输入模拟量的大小调节变频器输出频率控制方法, 需选用 1756-OF8 模拟量输出模块; 考虑到模糊控制需采集变频器输出端电流信号, 还需选用一个模拟量输入模块 1756-IF8。由于该模块具有 A/D 转换功能, 因此无需再选用其它 A/D 模块了。图 2 表示基于 DeviceNet 现场总线变频器控制系统结构示意图。

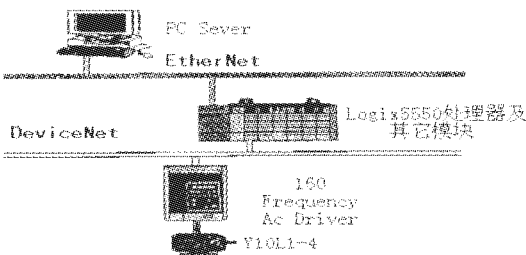


图 2 DeviceNet 现场总线变频器控制系统结构图

1.2 控制系统的软件

RSLink(2.3 版本)是在 MicrosoftR、WinNT 以及 Win9X 操作系统下建立网络所有通信方案的工具。启动 RSLink 后,添加 TCP 驱动程序,填入 IP 值,将 RSLink 置于后台运行,然后可以启动其它软件。

RSNetWorx For DeviceNet(3.21 版本)是 32 位网络组态工具软件,RSNetWorx 提供了一个图形化的网络视图,并具有在线和离线组态的功能。

RSLogix5000(4.01 版本)是 Logix5550 处理器梯形逻辑编程软件,具有把编写的程序下载到 Logix5550 处理器等丰富功能。

2 参数自适应模糊控制器设计

2.1 参数自适应模糊控制器结构原理

对于一般的二维模糊控制器,控制参数有量化因子及比例因子。因此,参数自适应模糊控制器共有三个参数可以调整。考虑到调整多个参数会导致算法设计和计算十分复杂,一旦调整不恰当可能导致系统不稳定,这里只设计一个调整比例因子的参数 α 自适应模糊控制器。该控制器结构如图 3 所示。该模糊控制器主要由两部分组成,一部分为模糊控制器 1,构成类似于基本模糊控制器的负反馈控制回路,另一部分为模糊控制器 2,它根据变频器输出端起动电流的当前状态(电流偏差和电流偏差变化率),依据一定的模糊规则,推理得到调节因子,再与比例因子相乘,推算实际输出,控制被控对象,从而实现参数在线自校正功能。

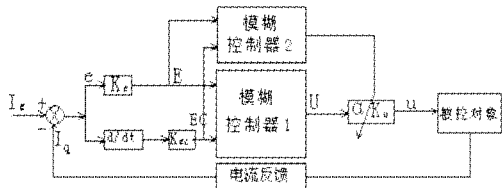


图 3 参数自适应模糊控制器的系统框图

2.2 设计步骤

(1)确定模糊控制器输入、输出语言变量 e 、 ec 和 u

电流偏差 e 为变频器输出端设定电流 I_g 减去采样获得的变频器输出端起动电流 I_q ,即 $e=I_g-I_q$ 。电流偏差变化率 $ec=de/dt$ 。把模糊控制器 1 输出变量定为 U ,模糊控制器 2 输出变量定为 α ,从而构成二个二维基本模糊控制器。整个参数自适应模糊控制器输出量 $u=\alpha\times K_u\times u$ 。

(2)确定各变量的变化范围、量化等级和量化因子

K_e 、 K_{ec} 、 K_u
E:论域 $[-2.4,2.4]$,量化等级为 13 级: $[-2.4,-2.0,-1.6,-1.2,-0.8,-0.4,0,0.4,0.8,1.2,1.6,2.0,2.4]$, $K_e=1$ 。
EC:论域 $[-0.6,0.6]$,量化等级为 13 级: $[-0.6,-0.5,-0.4,-0.3,-0.2,-0.1,0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6]$, $K_{ec}=1$ 。
U:论域 $[-5,5]$,量化等级为 15 级,即 $[-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6,7]$, $K_u=0.714$ 。
 α :论域 $[0,1]$,量化等级为 13 级,即 $[0,0.08,0.16,0.25,0.33,0.41,0.5,0.58,0.67,0.75,0.83,0.91,1]$ 。

(3)定义各个变量语言值

E、EC:NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、NO(负零)、PO(正零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)。
U:NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、O(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)。
 α :ZE(特小)、VS(较小)、S(小)、SB(小大)、MB(中大)、B(大)、VB(最大)。

(4)确定各个变量赋值表

采用三角形隶属函数,通过操作者实践经验总结,建立各个变量的赋值表(赋值表略,可向作者索取)。

(5)建立模糊控制规则

双输入单输出基本模糊控制器的控制规则为“if E and EC then C”。根据实际操作经验和知识,为模糊控制器 1 和模糊控制器 2 建立如下模糊控制规则,如表 1、表 2 所示。

表 1 模糊控制器 1 控制规则

$\begin{matrix} U \\ EC \end{matrix}$	$\begin{matrix} E \\ NB \end{matrix}$	$\begin{matrix} NM \end{matrix}$	$\begin{matrix} NS \end{matrix}$	$\begin{matrix} NO \end{matrix}$	$\begin{matrix} PO \end{matrix}$	$\begin{matrix} PS \end{matrix}$	$\begin{matrix} PM \end{matrix}$	$\begin{matrix} PB \end{matrix}$
PB	PB	PM	NB	NM	NB	NM	X	X
PM	PB	PM	NM	NM	NM	NS	X	X
PS	PB	PM	NS	NS	NS	NS	NM	NB
PO	PB	PM	PS	O	O	NS	NM	NB
NO	PB	PM	PS	O	O	NS	NM	NB
NS	PB	PM	PS	PS	PS	NS	NM	NB
NM	X	X	PS	PM	PM	PM	NM	NB
NB	X	X	PM	PB	PB	PB	NM	NB

表 2 模糊控制器 2 控制规则

$\begin{matrix} \alpha \\ EC \end{matrix}$	$\begin{matrix} E \\ NB \end{matrix}$	$\begin{matrix} NM \end{matrix}$	$\begin{matrix} NS \end{matrix}$	$\begin{matrix} NO \end{matrix}$	$\begin{matrix} PO \end{matrix}$	$\begin{matrix} PS \end{matrix}$	$\begin{matrix} PM \end{matrix}$	$\begin{matrix} PB \end{matrix}$
PB	SB	MB	MB	B	B	VB	X	X
PM	S	SB	MB	B	B	B	X	X
PS	VS	S	SB	MB	MB	B	B	VB
PO	ZE	VS	S	SB	SB	MB	B	VB
NO	ZB	VB	VB	B	B	B	VB	VB
NS	ZB	B	VB	B	MB	B	B	VB
NM	X	X	B	MB	MB	MB	B	VB
NB	X	X	MB	MB	SB	MB	MB	MB

(6)模糊计算获得模糊控制状态表

采用 Mamdani 推理模糊算法,逆模糊化选面积中心法(Centroid)。借助 MATLAB 模糊工具箱的图形界面可视化工具,使用模糊推理系统编辑器(Fuzzy)建立模糊控制器 1、模糊控制器 2 推理系统;使用隶属

函数编辑器(Mfedit)建立输入、输出语言变量各语言的隶属度函数类型和参数;使用模糊规则编辑器(Ruleedit)输入模糊控制规则,各条规则权重设置为1。模糊蕴涵选最小法(min),输出合成选最大值法(max)。经计算 $\mu=\alpha K_U U$ 得到参数自适应模糊控制器输出变量 u 模糊控制状态表 3。

表 3 参数自适应模糊控制状态表

$\mu \quad E \backslash U$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
-2.4	0	0	0.9	0.8	0.7	0.7	1.1	1.6	1.8	2.3	2.6	2.6	3.5
-2	0	0	1.1	1	0.9	0.9	1.3	1.6	1.8	1.9	2.2	2.6	2.8
-1.6	0.4	0.5	0.7	0.9	0.6	0.6	0.7	1.2	1.1	0.8	0.9	1.1	1.9
-1.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.3	0	0.2	0.9	0.2	-0.4	-0.8	-1.0	-0.7
-0.8	0.7	0.4	0.6	0.7	0	-0.2	-0.2	0.6	-0.3	-1.7	-2.3	-3.0	-4.2
-0.4	0.9	0.6	0.8	0.7	0.3	0	-0.1	0	-0.7	-2.0	-3.0	-3.5	-4.4
0	1.2	0.9	1.1	0.9	0.5	0.1	0	-0.2	-0.9	-2.2	-3.0	-3.9	-4.8
0.4	1.4	1.4	1.1	1.0	0.6	0.1	-0.2	-0.2	-1.0	-2.3	-3.4	-4.0	-5.4
0.8	1.9	1.8	1.3	1.3	0.7	0.2	-0.8	-1.1	-1.1	-2.4	-2.6	-3.1	-5.5
1.2	0.4	0.8	0.9	0.5	0	-1.7	-2.0	-2.3	-2.4	-2.5	-2.4	-3.0	-5.9
1.6	-1.3	-0.9	-1.1	-1.1	-1.7	-2.3	-2.7	-3.3	-3.3	-3.6	-3.0	-3.1	-5.6
2	-2.1	-2.3	-2.7	-3.0	-3.1	-3.3	-3.4	-4.0	-4.0	-4.2	-4.1	0	0
2.4	-2.8	-3.1	-3.6	-4.0	-4.4	-4.6	-4.6	-5.5	-5.4	-5.4	-5	0	0

2.3 验证该模糊控制器有效性

在过程控制系统中,人们发现:大多数表 3 参数自适应模糊控制状态表,控制对象的模型多属于或近似属于下述中的一种:

$$G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{S}; G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{TS+1}; G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{S(TS+1)}$$

$$G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{(T_1S+1)(T_2S+1)}; G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{S(T_1S+1)(T_2S+1)}$$

这里选用 $G(S)=\frac{Ke^{-\tau S}}{S(T_1S+1)(T_2S+1)}$ 作为仿真模型,选取参数为: $T_1=2, T_2=5, K=1, \tau=2$ 。

应用 MATLAB/Simulink 仿真环境,分别建立基本模糊控制器仿真系统和参数自适应模糊控制器仿真系统。FIS S-function 和 FIS S-function1 功能块分别实现模糊控制器 1 和模糊控制器 2 功能。选用单位阶跃信号,阶跃响应曲线如图 4 所示可以看出,两种模糊控制器的单位阶跃响应,平稳无超调,但该参数自适应控制器在上升时间指标上有较大优势,响应更快。

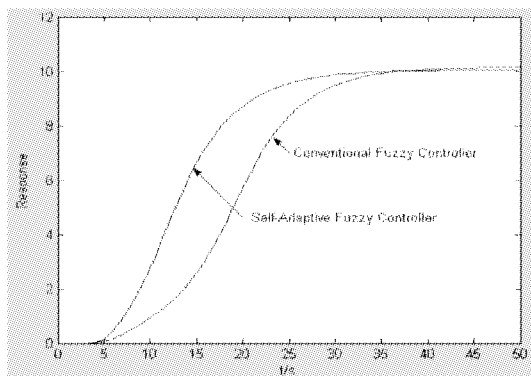


图 4 对两种模糊控制阶跃响应

3 在基于 DeviceNet 现场总线变频器控制系统的应用

把设计出的参数自适应模糊控制器嵌入 DeviceNet 现场总线变频器控制系统的方法有两种:

(1) 编制 PLC 梯形图

为保证系统的可靠性、安全性,提高程序可读性,更好地利用 Logix5000 编程软件的丰富功能,梯形图逻辑编程采用模块化设计方法。利用 Logix5550 处理器的二维数组功能编制查表程序下载到处理器中。图 5 为梯形图逻辑编程流程,根据拖动功率和电网实际情况确定的变频器输出

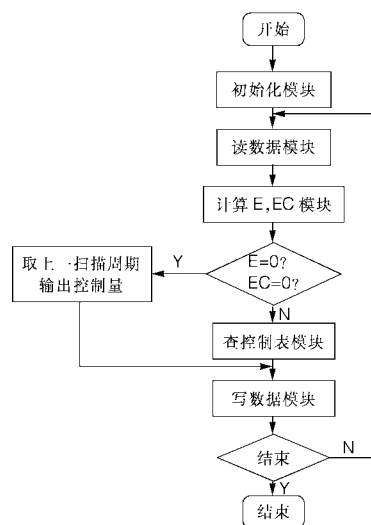


图 5 梯形图逻辑编程流程图

端起动电流设定值 I_g ,可在初始化模块中完成。

(2) DDE 接口通讯

软件 RSLinx 具有 RSLinx AdvanceDDE 接口,支持 Logix5550 处理器与应用软件 Matlab 通讯。Matlab 很多高级算法可较容易地嵌入到 DeviceNet 现场总线控制系统中。

电机额定功率 2.2KW,电压 380V,设定 $I_g=1.8 \times I_e$ (额定电流 $I_e=5A$)。使用 10Hz 双踪示波器,分别观察在基本模糊控制器控制和参数自适应模糊器控制下变频器输出端起动电流波形,如图 6 所示。

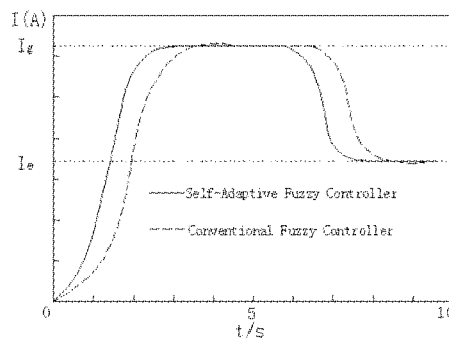


图 6 电机启动变频器输出电流波形图

可以看出,模糊控制在现场总线环境下实现了电机智能起动,避免了对变频器加速时间的估算和设置。两种模糊控制器控制时,都无电流冲击和电流震荡现象,起动平稳,在起动初期低频段电机无抖动现象。参数自适应模糊控制器超调更小,响应更快,控制效果更为理想,这与仿真的结果相一致。

参考文献

- 1 Logix5550 Controller User Manual, Seperater, 1999

[收稿日期:2003.5.26]