

模糊控制在电动机节能中的应用

马晓光, 孟伟, 朱昌东

(东北电业职工大学, 辽宁 沈阳 110015)

摘要: 主要探讨应用模糊控制技术, 研究各种鼠笼式电动机的节能控制方法, 进一步提高电动机运行效率。

关键词: 模糊控制; 电动机; 节能

中图分类号: TP273⁺.4; TM343⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2001)01-0034-02

1 问题的提出

模糊数学是数学领域的一个新发展, 也是一个新补充。因为实际生活中有许多现象在人们头脑中的反应是模糊的, 都是不能用以往的准确、严密的分析方法处理, 还有一些复杂的系统, 如大规模处理信息系统、大规模电力系统、模式识别系统、神经网络等, 也是由于其复杂性难以用传统的数学方法进行分析。尤其是电力系统中有许多现象是不精确的、模糊的, 而人们处理模糊信息的能力是很强的, 在模糊环境中锻炼和积累的经验及作出的判断, 往往能超出公式化了的定性的计算模型智慧。应用模糊控制技术, 模仿人脑处理模糊信息的方法, 可以得到较为满意的结果。尤其在电动机节能中应用, 其效果更为显著。目前我国中小型电动机的年产量始终在2500万kW以上, 其装机容量已超过3亿kW, 用电量约占我国总发电量的60%左右。在电力拖动中, 应用最广泛的是鼠笼式异步电动机, 其容量占整个拖动容量的85%以上。因此, 研究各种鼠笼式电动机的节能控制方法对进一步提高电动机运行效率, 实现全社会节能具有重要的意义。应用模糊控制技术, 可以花最廉价的成本, 取得最高效的功能。

在传统的电动机节能技术中, 多采用电动机/Y转换变压运行的技术、定子回路串接电抗器自动调压、可控硅调压、功率因数控制器等方法使电动机节电运行。/Y转换变压运行的控制方式复杂, 且在一些场合不能使用, 定子回路串接电抗器自动调压、可控硅调压、功率因数控制器的控制方法也比较复杂。

模糊节能控制分为调压节能和调频节能两种。在模糊调压节能控制中, 不是根据功率因数的变化来控制电动机的定子电压, 而是由定子电流的大小及电流的变化率的变化趋势来控制定子电压, 这样可以使控制回路的接线方式非常简单。在调频模糊

节能控制中, 可以充分利用当今丰富的单片机资源优势, 尽可能地利用软件开发代替一些硬件设计, 这不仅可以提高控制器的可靠性, 也可降低其开发成本。

2 模糊节能控制器的基本原理

众所周知, 在轻负载下, 适当降低电动机定子电压, 定子电流将随之减少, 且电动机的输出功率仍可保持不变。在固定的负载下, 定子电压降低到一定程度后, 定子电流不但不会降低, 反而会逐步增大, 为了保证电动机的稳定运行, 这种情况一般是不允许的。因此, 随电动机定子电压的变化, 逐步跟踪其定子电流的变化轨迹, 定子电流由缓慢降低到突然增大那一瞬间对应的定子电压正是我们要寻找的最佳电压值, 这便是模糊节能控制器的基本原理。实验表明, 在接近满载的情况下, 电动机的定子电压仍可适当降低。另外, 只要定子电流升高的幅度没有定子电压降低的幅度大, 在定子电流变化允许的范围内, 也可适当继续降低定子电压。总之, 模糊节能控制器的根本目的在于: 在保证负载需求的情况下, 尽可能地降低系统输入。这样, 加装了模糊节能控制器的电动机, 不仅可以节约有功功率, 也可节约无功功率。对风机、泵类转矩与转速平方成正比一类的负载系统, 模糊节能控制器的节电效率相当可观。实验结果表明, 在一般负载下, 应用调压模糊节能控制器, 可节电5%~10%; 对风机、泵类负载, 可节约有功功率20%~60%; 在空载运行方式下, 可节约有功功率70%左右。与同类其它节能装置相比, 具有技术简单、效率较高的特点, 且调压模糊控制器的成本可做得很低。调压调频模糊节能控制器的节电效率还可进一步提高。

3 模糊节能控制器原理框图

3.1 设计思路

模糊调压节能控制器的输入选取电动机定子电

流与额定电流的偏差 ($I - I_n$) 或定子电流及定子电流变化率 $I [I = I(t) - I(t - 1)]$, 模糊调压节能控制器的输出是电动机定子电压或定子电压变化率, 其控制方式采用脉宽调制的原理, 以最大限度地减少谐波和电机振动噪音, 另外考虑充分利用电机的机械惯性, 以电压过零检测配合通断控制方式对电动机进行调压控制, 这种方式可保证电动机的定子电压为不失真的正弦波形。模糊调频节能控制器的输入也是选取电动机定子电流与额定电流的偏差 ($I - I_n$) 或定子电流及定子电流变化率 $I [I = I(t) - I(t - 1)]$, 而以电动机定子电压的频率及定子电压作为模糊调频节能控制器的输出。

3.2 模糊节能控制器原理框图

电动机模糊调压节能控制器由图 1 所示的几个主要部分组成, 其中模糊推理主要由软件部分完成, 这样可以最大限度地减少控制器的硬件成本。

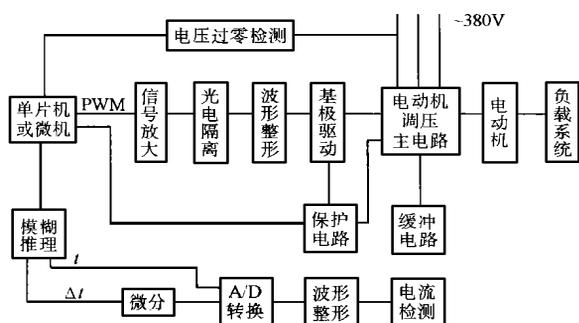


图 1 模糊调压节能控制器原理框图

在模糊调压节能控制器中主要采用两种控制方式, 即 PWM 方式与通断方式, 两者在不同的负载下各有特点, 对惯性较大的负载, 采用通断控制方式可在保持输出波形不失真的同时, 模拟自然风运行, 节约约 60%。模拟调频节电控制器的触发电路与模糊调压节能控制器的控制电路基本一样 (如图 2 所示), 但其主电路比后者要复杂些。在控制方式上, 以保持电动机气隙磁通恒定为目标, 即在正常调节过程中, 始终保证 w/f 基本不变, 在调频的同时自动调节电动机定子电压。在电动机低速运行时, 它采用 PWM 策略, 应用模糊推理可以用最简洁的方式处理定子电压补偿问题。

4 模糊推理的工作原理

模糊节能控制器中的软件部分是其进行模糊推理的核心, 在这里以调频控制为例, 简单介绍其工作原理。在传统的调频控制电路中, 都采用信号波与载波比较 (即调制) 的方法产生出触发脉冲, 在调频

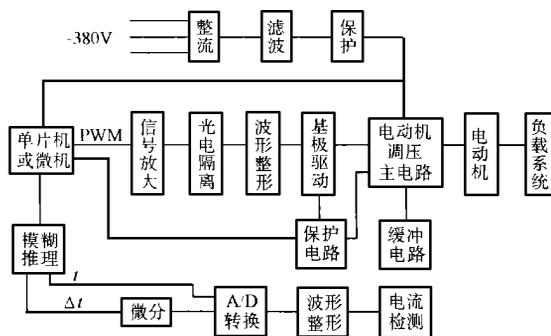


图 2 模糊调频节能控制器原理框图

模糊节能控制中, 把预想的各种输出脉冲用数字方式存储在单片机的存储器中, 然后根据电动机负载的变化, 由相应的模糊控制规则自动选定输出脉冲, 从而实现对电动机的高效节能控制, 其原理如下。

采用 8 位 A/D 转换, 以 $[00, FF]$ 作为模糊语言变量 I 的基础论域, 以 $[-7F, 7F]$ 作为 I 的基础论域。将论域 $[00, FF]$ 划分为 16 段, 用 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16\}$ 17 个等级表征输入语言变量 I 的论域, 即用它们作为 I 的标准论域。然后用 I 的 9 个模糊语言值覆盖其整个论域, 如图 3 (b) 所示。同理, 将论域 $[-7, 7F]$ 也离散化为 16 段, 由 $\{-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ 构成语言变量 I 的标准论域, 用另外 9 个模糊子集去覆盖其整个标准论域 $[-8, 8]$, 如图 3 (a) 所示, 这些模糊子集的含义如下:

EL—空载, VL—基本空载, LD—轻载, LR—负载较轻; ME—半载, HR—负载较重, EH—重载, HI—基本满载; VH—满载; FD—负载快速下降, RD—负载下降较快, DD—负载下降较慢; DS—负载下降慢, CL—负载保持不变, SI—负载增长慢; IR—负载增长较慢, FR—负载增长较快, FI—负载迅速增长。

按照电动机安全稳定运行导则的要求, 鼠笼式异步电动机即使在空载运行的情况下, 其定子电压也不能长期低于 160V, 为此, 我们把定子电压的调节范围限制在 160~220V (对单相电动机) 与 160~380V (对三相电动机) 之间。由此即得控制输出变量 U 的论域, 同样我们将其划分成 16 段, 由 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16\}$ 作为 U 的标准论域, 以 9 个模糊子集去覆盖其整个标准论域 $[0, 16]$, 如图 3 (c) 所示。其中, 每一模糊子集的意义如下: EL—极低, VL—很低, LD—低, LR—较低, ME—适中, HR—较高, HI—高, VH—很高, EH—极高。之所以用 2^n 去划分输入、输出论域, 是因为这样处理后极便于用汇编语言实现模糊推理。 (下转第 49 页)

收稿日期: 2000-05-08

作者简介: 张阳志(1971-),男,工程师,从事变电站自动

化设计工作; 张涛(1971-),男,工程师,从事变电站自动
化设计工作; 杨常府(1969-),男,工程师,从事变电站自
动化设计工作。

New system RTU based on Lon works structure

ZHANG Yang - zhi , YANG Chang - fu , ZHANG Tao , ZHANG Zhong - li

(Beijing Hathaway Sifang Protection and Control Equipment Co. , Ltd , Beijing 100085 , China)

Abstract : The application of remote technology to electric power system is described in this paper. The development of remote technology is tending towards the opened RTU technology , and its important step is to use the common communication standard and common transmission protocol among stations. It is also an important representation that the automation technology in substation is up to a new stage. The newly developed series products CSM 300C by Beijing Hathaway Sifang Protection and Control Equipment Co. , Ltd is presented here.

Key words : opened system ; remote device ; application

(上接第35页)

对单相电动机控制器和三相电动机控制器而言,虽说它们的输出量对应的模糊子集的标志一样,但它们的内容各不相同。为便于用汇编语言进行模糊推理,除以上各模糊子集的隶属函数均为等腰三角形(论域两端的模糊子集由直线表示)表示外,需



图3 输入输出变量的隶属函数分布

将输入输出论域进一步离散化成一系列等级,即前文所说的标准论域,同时将输出论域上的量化等级转化为控制器对应的 PWM 脉冲。

5 模糊节能控制器的特点

综合模糊节能控制器的设计、开发过程,并与传统的节能控制方法相比较,不难发现模糊节能控制器具有以下显著特点:

(1) 模糊节能控制器的第一个显著特点是它的简洁性,它甚至可以不考虑电动机的详细运行过程,基于几条简单的实验曲线即可开始模糊节能控制器

的设计过程。由于各种输出波形的控制方式可预先排定,能有效地消除各种谐波,得到较为理想的输出波形。

(2) 模糊节能控制器具有较强的鲁棒性,对不同的电动机可以采用同样的模糊推理软件,它可自动跟踪负载变化,取得较好的节能效果。

(3) 模糊节能控制器的调节规律内涵丰富,包容面大而广,具有较强的自适应能力。

(4) 模糊节能控制器的输入变量可多可少。在电动机模糊节能控制器设计过程中,虽然我们选择了较少的输入变量,但取得了较好的控制效果,同时也节约了用于测量的传感器。

(5) 模糊节能控制器的硬件结构比较简单,主要推理工作及 PWM 生成策略均由软件实现。

(6) 模糊节能控制器在控制过程中极易处理电动机在低速运转时的电压补偿问题。

收稿日期: 2000-07-04

作者简介: 马晓光(1957-),女,副教授,现从事电力系统自动化专业的教学与科研; 孟伟(1965-),女,高级讲师,现从事电力系统自动化专业的教学与科研; 朱昌东,男,高级讲师,现从事电力系统自动化专业的教学与科研;

Application of fuzzy control technique in energy saving of motor

MA Xiao - guang , MENG Wei , ZHU Chang - dong

(Northeast China Power University for Workers and Staff Members , Shenyang 110015 , China)

Abstract : The energy saving control of various squirrel - cage is studied in this paper by means of fuzzy control technique to improve the electro - motor operating efficiency.

Key words : fuzzy control ; electro - motor ; energy saving