

电力超载负荷平衡调度模型研究与仿真

在科技不断发展的现今，对电力机组超载负荷情况进行调度，已经成为一个重点研究课题。在电力机组超载负荷调度的研究中，使用传统的PID控制调度算法进行控制较为烦琐，在负载平衡过程中会产生大时滞、大惯性和参数时变等问题。针对上述问题，提出了一种基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度器设计模型。结合模糊和反馈控制方案，对电力机组超载负荷调度进行有效补偿，同时对电力机组超载负荷因为外界因素所受到的影响进行模糊PID反馈控制，并对控制通道延后性大于干扰通道延后性情况进行预估补偿，最终获取模糊反馈调度模型。实验证明，基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度系统鲁棒性强、稳定性好，能够满足电力机组负载平衡的实际需求。

陈 忠/广东水利电力职业技术学院 王建平/浙江通鹏智能科技有限公司



陈 忠/副教授

关键词/Keywords

超载负荷调度·
模糊反馈·
电力机组·

由于电力机组的用途比较广泛，所以对电力机组超载负荷均衡化的研究也成为了一个重点课题。一般状态下，电力机组超载负荷控制调度系统只能运用导前负荷信号与超载负荷信号进行控制，忽略了中间负荷的参与和控制。因此当惰性负载区的对象惯性和迟延较大时，均衡调度的质量难以保证。针对上述问题，提出了一种基于模糊反馈的电力机组超载负荷均衡调度方法。结合模糊和反馈控制方案，对电力机组超载负荷调度的滞后性进行有效补偿，同时对电力机组负荷调度过程中，因为外界因素所受到的影响进行模糊化的反馈控制，并对控制通道延后性大于干扰通道延后性情况进行Smith预估补偿，最终获取模糊反馈均衡化调度模型。实验证

明，基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度系统鲁棒性强、稳定性好，能够满足电力机组控制的实际需求。

基于模糊反馈的电力机组超载负荷均衡调度

1. 电力机组超载负荷调度器的设计

电力机组超载负荷调度器中，调度器的结构为双输入与三输出，输入参数差异数由 e 表述，差异变化率由 ec 表述，输出的参数由PID表述，其变化量是 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d ，电力机组超载负荷调度器中输入、输出模糊集均为{负大，负中，负小，零，正小，正中，正大}，由{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB}表述。依据电力机组超载负荷调度器中调度规则，把负荷误差 e 取值的范围设置为 $\{-3, 3\}$ ，差异变化的频率 ec 取值范围设置为 $\{-0.6, 0.6\}$ ， ΔK_p 取值的范围设置为 $\{-0.3, 0.03\}$ ， ΔK_i 取值范围设置为 $\{-0.9, 0.9\}$ 。电力机组超载负荷调度器中全部变量隶属度函数统一选为三角函数，均采用Mamdani决策法，解模糊采用Centroid重心法，且在迂回端增加量化因子，就能够对参数单独调整。

电力机组超载负荷调度器中，模糊PID控制器依据电力机组负荷实时特点，根据不同情况调整PID控制参数，如图1所示。控制是依据电力机组不同特征进行的，电力机组超载负荷调度器中主要调节规则有以下几点：

1) 在电力机组超载负荷调度器响应开始阶段，存在的负载差异 e 较大。为了提升电力机组超载负荷调度器响应时

广东省高等学校优秀青年教师培养计划资助
(Yq2013182)。

间，必须设置较大的 K_p 来除去差异；相应的该阶段差异变化的频率也在增大， K_D 取值要小，防止积分饱和；为了避免电力机组超载负荷调度器超调过大， K_I 取值也要较小。

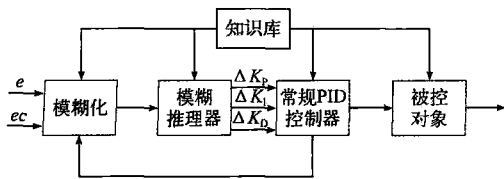


图1 模糊控制器结构图

2) 在电力机组超载负荷调度器中，当误差逐步缩小到中等时，电力机组超载负荷调度器大部分任务是限制超调量，这时要对 K_p 进行削弱，与此同时要逐渐增大积分系数 K_I ，适量逐步增强微分系数 K_D 的取值。

3) 电力机组超载负荷调度器趋于稳定时，让 K_p 取值逐步增加些许，提升电力机组超载负荷调度器响应速度。 K_I 取值要适中， K_D 取值是为了防止产生振荡。

模糊PID控制器调整PID参数计算过程为

$$\begin{aligned} K_p &= K'_p + \Delta K_p \\ K_I &= K'_I + \Delta K_I \\ K_D &= K'_D + \Delta K_D \end{aligned} \tag{1}$$

2. 实现电力机组超载负荷调度

电力机组超载负荷调度系统为恒值控制系统，前馈部分对可测干扰压力进行在线检测补偿，回路部分采用电力机组超载负荷调度系统模糊控制器进行控制。电力机组超载负荷调度系统结构如图2所示。

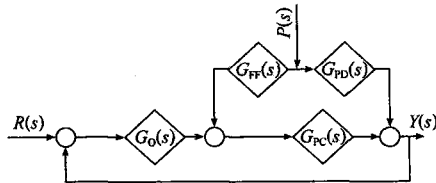


图2 电力机组模糊反馈控制系统结构图

图2中， $G_o(s)$ 为电力机组超载负荷调度器模糊控制器； $P(s)$ 为电力机组超载负荷调度器的负载量； $G_{ff}(s)$ 为电力机组超载负荷调度器前馈环节； $G_{pd}(s)$ 为电力机组超载负荷调度器干扰通道传递

函数。

图3的调度系统前馈环节对主要干扰延迟进行补偿，由图1可知干扰 $P(s)$ 对被控变量 $Y(s)$ 的闭环传递函数为

$$\frac{Y(s)}{P(s)} = \frac{G_{PD}(s)}{1 + G_o(s)G_{PC}(s)} + \frac{G_{FF}(s)G_{PC}(s)}{1 + G_o(s)G_{PC}(s)} \tag{2}$$

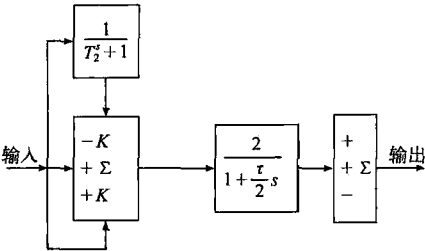


图3 “超前-滞后”前馈调度实施框图

将不变形条件 $P(s) \neq 0$ ， $Y(s) \equiv 0$ 代入式(2)中，即可推导出反馈调度器的传递函数为

$$\begin{aligned} G_{PD}(s) + G_{FF}(s)G_{PC}(s) &= 0 \\ \text{即} \quad G_{FF}(s) &= -\frac{G_{PD}(s)}{G_{PC}(s)} \end{aligned} \tag{3}$$

由上述公式能够获得，如果在负荷或工况有特殊状况时，电力机组超载负荷调度器模型特性也会随之改变，在电力机组超载负荷调度器中要是单一使用反馈控制不能对外界带来的影响进行相应补偿，而且电力机组超载负荷调度器中一种前馈作用只克服一种影响。例如

$$\begin{aligned} G_{PD}(s) &= \frac{K_2}{T_2^s + 1} e^{-\tau_2 s} \\ G_{PC}(s) &= \frac{K_1}{T_1^s + 1} e^{-\tau_1 s} \\ G_{FF}(s) &= \frac{G_{PD}(s)}{G_{PC}(s)} = -K_F \frac{T_1^s + 1}{T_2^s + 1} e^{-\tau_2 s} \end{aligned} \tag{4}$$

式中， $K_F = K_2/K_1$ 是静态前馈放大系数。为了实施纯滞后环节，需要进行如下处理

$$\begin{aligned} \frac{T_1^s + 1}{T_2^s + 1} &= \frac{1}{T_2^s + 1} + \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_1^s + 1}{T_2^s + 1} - \frac{1}{T_2^s + 1} \right) \\ &= \frac{1}{T_2^s + 1} + (K+1) - \frac{K+1}{T_2^s + 1} \\ &= K+1 - \frac{K}{T_2^s + 1} \end{aligned} \tag{5}$$

式中， $K = \frac{T_1}{T_2} - 1$ 。

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1 - \frac{1}{2}\tau s}{1 + \frac{1}{2}\tau s} = \frac{2}{1 + \frac{\tau}{2}s} - 1 \quad (6)$$

由式（4）～式（6）可得，如图3所示的“超前—滞后”前馈调度二阶环节处理方式同一阶环节。

在电力机组超载负荷调度器中，能够使用普通仪表建立上述“超前—滞后”的前馈补偿模型。如果在电力机组超载负荷调度器中，控制通道延后时间超过影响通道控制时间，电力机组超载负荷调度前馈反馈系统会因超前环节的存储不能在物理上体现。

综上所述，可获取基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度器设计模型，实现电力机组的超载负荷调度，满足电力机组安全运行的需求。

实验及仿真证明

为了证明本文提出的基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度器的有效性，需要进行一次实验，在Matlab的基础上建立基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度先验模型，选取适当的PID初始值作为模糊控制器的参数，同时选取对应的量化因子，在模糊推理器中输入控制规则，从而可得到Simulink仿真模型如图4所示。

0时加入阶跃输入，电力机组超载负荷收敛状态稳定后，在1 500 s时在干扰通道加入初始值为1、终值为2的阶跃干扰，两种控制方案过渡过程

曲线如图5所示。

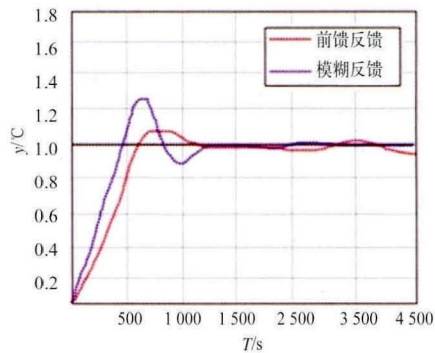


图5 基于模糊反馈的电力机组负荷控制实验结果

采用前馈模糊反馈控制方案，对大部分可以检测到的干扰压力设计了前馈控制环节，反馈环节采用模糊PID控制器，能够消除压力对负荷对象的影响，因为模糊反馈回路的存在，对余下的外界因素影响进行有效补偿。系统超调量逐减，调节时间缩短，鲁棒性增强。

为了进一步检验基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度系统的性能，将负荷节点从适中调节到超载负荷。在系统控制误差大的情况下，各控制回路迅速将采样周期降低至最小值10 ms，各控制回路保持了较好的控制性能。

结束语

本文针对传统的电力机组超载负荷调度方法耗时长、准确度低等问题，提出了一种基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度模型。结合模糊和

反馈控制方案，对电力机组超载负荷进行有效补偿，同时对电力机组负荷因为外界因素所受到的影响进行模糊PID反馈控制，并对控制通道延后性大于干扰通道延后性情况进行Smith预估补偿，最终获取模糊反馈控制模型。实验证明，基于模糊反馈的电力机组超载负荷调度系统鲁棒性强、稳定性好，能够满足电力机组控制的实际需求。

（收稿日期：2014-01-25） EA

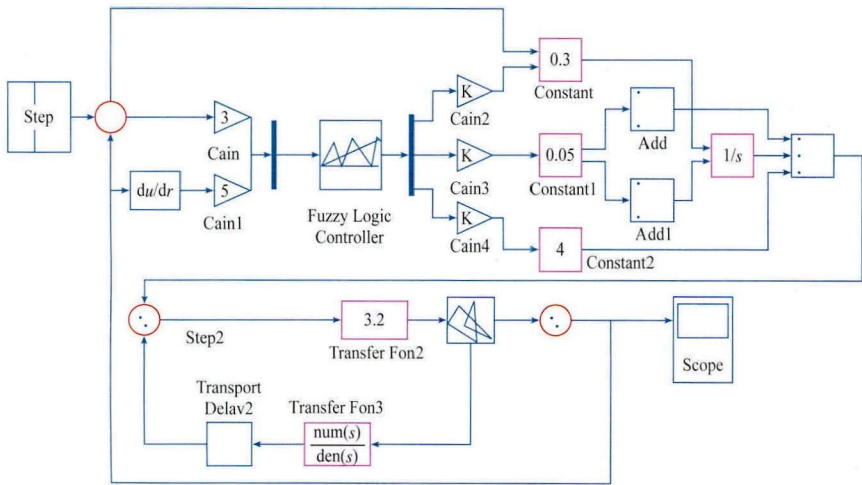


图4 电力机组负荷前馈模糊控制系统仿真