

腊庄水电站水轮机调节系统线性仿真^①

张建蓉¹, 王敬民²

(1. 电力工程学院, 昆明理工大学, 云南昆明 650093; 2. 罗平电力集团公司, 云南罗平 655800)

摘要 根据已建立的水电站水轮机调节系统数学模型, 采用线性仿真方法, 通过计算机模拟水轮机调节过程, 判别调节系统的稳定性, 分析其动态品质, 为调节参数的整定提供依据.

关键词: 水轮机; 调节系统; 仿真

中图分类号: TK730.4⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2001)03-084-04

0 前言

根据已建立的水轮机调节系统数学模型, 对调节系统的稳定性和动态品质进行分析, 可以先将数学模型表达成状态方程组的形式, 然后利用计算机进行仿真计算. 腊庄水电站水轮机调节系统可以看成是一个复杂的调节系统, 引水系统较长, 计入摩阻损失, 压力引水隧洞末端设置有圆筒式调压井, 调速器为 PID 调节规律, 传递函数比较复杂. 因此, 可以将各个部分的传递函数变换成一阶微分方程形式, 即可推导出系统的状态方程 $\dot{X} = AX + BV$, 通过数值计算, 得到各部分的参数变化量, 从而来进行稳定分析.

1 数学模型及系统框图

水轮机调节系统稳定运行时, 单机带孤立负荷运行, 调节系统的稳定性为最差, 故以单机电网运行、单机引水系统建立数学模型, 来研究分析在负荷或指令信号扰动下, 调节系统的稳定性和动态品质.

1.1 水轮机调节系统各部分数学模型

根据参阅文献[1], 水轮机调节系统的数学模型为:

(1) 压力引水隧洞

$$\begin{cases} h_c(S) = -\frac{4h_{w1}}{T_{r1}S} \left(\frac{T_{r1}}{2}S + \alpha_1 \right) \text{th} \left(\frac{T_{r1}}{2}S + \alpha_1 \right) q_1(s) \\ q_a(S) = \frac{1}{\text{ch} \left(\frac{T_{r1}}{2}S + \alpha_1 \right)} q_1(s) \end{cases}$$

(2) 压力引水钢管

$$\begin{cases} h_b(S) = \frac{1}{\text{ch} \left(\frac{T_{r2}}{2}S + \alpha_2 \right)} h_c(S) - 2h_{w2} \text{th} \left(\frac{T_{r2}}{2}S + \alpha_2 \right) q_t(s) \\ q_2(S) = \frac{1}{2h_{w2}} \text{th} \left(\frac{T_{r2}}{2}S + \alpha_2 \right) h_c(S) + \frac{1}{\text{ch} \left(\frac{T_{r2}}{2}S + \alpha_2 \right)} q_t(S) \end{cases}$$

(3) 尾水管

$$\begin{cases} h_x(S) = 2h_{w3} \text{th} \left(\frac{T_{r3}}{2}S + \alpha_3 \right) q_t(s) \\ q_3(S) = \frac{1}{\text{ch} \left(\frac{T_{r3}}{2}S + \alpha_3 \right)} q_t(S) \end{cases}$$

① 收稿日期: 2000-10-12;

基金项目: 校自立基金项目;

第一作者简介: 张建蓉(1963~), 女, 讲师, 主要研究水轮机调节系统计算机仿真.

(4) 调压井

$$q_c(S) = T_h S h_c(S)$$

(5) 水轮机

$$\begin{cases} m_t = e_y y + e_{qh} \\ q = e_{qy} y + e_{qh} h \end{cases}$$

(6) 发电机及负载

$$G_g(S) = \frac{1}{(T_a + T_b)S + e_n}$$

(7) 调速器

$$G_R(S) = \frac{(1 + T_n S)(1 + T_d S)}{T_y^* T_d S^2 + [T_y^* + (b_p + b_i) T_d] S + b_p}$$

1.2 水轮机调节系统框图

水轮机调节系统框图(见图 1).

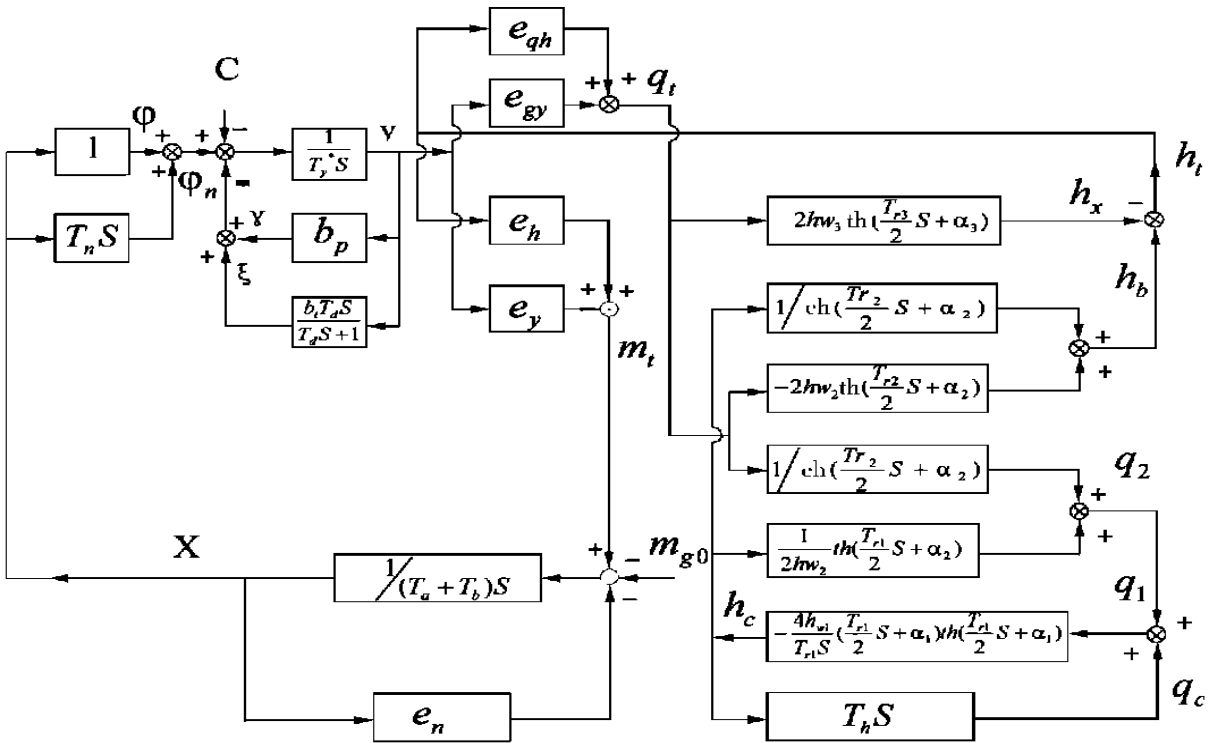


图 1 水轮机调节系统方块图

2 水轮机调节系统的状态方程

将水轮机调节系统各部分的传递函数转换成一阶微分方程形式,对引水系统中的双曲函数进行近似处理,展开成泰勒级数并略去 α^2, S^3 及以上项,即 $\text{Sh}(x) \approx x, \text{Ch}(x) \approx 1 + x^2/2!, \text{th}(x) \approx x/[1 + (x^2/2!)]$,当然取的项数越多,精度越高,计算也越复杂。另外,压力引水钢管及尾水管,认为水力摩擦阻相对较小,即 $\alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0$ 。作了以上近似化简后,整个系统的状态方程可用以下 12 个一阶微分方程式表示。

$$\frac{dh_{c1}}{dt} = -\frac{8}{T_{r1}^2} h_c - \frac{32h_{w1} \alpha_1}{T_{r1}^2} (q_c + q_2)$$

$$\frac{dh_c}{dt} = h_{c1} - \frac{4\alpha_1}{T_{r1}} h_c - \frac{8h_{w1}}{T_{r1}} (q_c + q_2)$$

$$\frac{dh_{b1}}{dt} = \frac{8}{T_{r2}^2} h_c - \frac{8}{T_{r2}^2} h_b$$

$$\frac{dh_b}{dt} = h_{b1} - \frac{8h_{w2}}{T_{r2}} (e_{qy}y + e_{qh}h_b - e_{qh}h_x)$$

$$\frac{dq_{21}}{dt} = \frac{8}{T_{r2}^2} (e_{qy}y + e_{qh}h_b - e_{3qh}h_x) - \frac{8}{T_{r2}^2} q_2$$

$$\frac{dq_2}{dt} = q_{21} + \frac{2}{h_{w2}T_{r2}} h_c$$

$$\frac{dh_{x1}}{dt} = \frac{8}{T_{r3}^2} h_x$$

$$\frac{dh_x}{dt} = h_{x1} - \frac{8h_{w3}}{T_{r3}} (e_{qy}y + e_{qh}h_b - e_{qh}h_x)$$

$$\frac{dq_c}{dt} = - \frac{8T_h(2\alpha_1 T_{r2} h_{w2} - T_{r2} h_{w2} - 2T_{r1} h_{w1})}{T_{r1} T_{r2} h_{w2} (T_{r1} + 8h_{w1})} h_c - \frac{4\alpha_1 T_h}{(T_{r1} + 8h_{w1})} h_{c1} - \frac{8h_{w1} T_h}{(T_{r1} + 8h_{w1})} q_{21}$$

$$\frac{d_x}{dt} = \frac{1}{T_a + T_b} [(e_y y + e_h h_b - e_h h_x) - m_{go} - e_n x]$$

$$\begin{aligned} \frac{d_y}{dt} = & \left[\frac{e_n T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} - \frac{1}{T_y^*} \right] x - \frac{b_p}{T_y^*} y - \frac{1}{T_y^*} \zeta + \frac{T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} m_{go} \\ & + \frac{1}{T_y^*} C - \frac{T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} (e_y y + e_h h_b - e_h h_x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d_\zeta}{dt} = & \left[\frac{b_t e_n T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} - \frac{b_t}{T_y^*} \right] x - \frac{b_p b_t}{T_y^*} y - \left(\frac{b_t}{T_y^*} + \frac{1}{T_d} \right) \zeta + \frac{b_t}{T_y^*} C \\ & + \frac{b_t T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} m_{go} - \frac{b_t T_n}{T_y^* (T_a + T_b)} (e_y y + e_h h_b - e_h h_x) \end{aligned}$$

其中 h_{c1} 、 h_{b1} 、 q_{21} 、 h_{x1} ——引入的中间状态变量, 这 12 个一阶微分方程组成一个微分方程组, 可以用状态方程表示.

$$\dot{X} = AX + BV$$

式中状态向量 $X = [x \ y \ \zeta \ h_c \ h_{c1} \ h_b \ h_{b1} \ h_x \ h_{x1} \ q_c \ q_2 \ q_{21}]^T$, 输入向量 $V = [C \ m_{go}]^T$.

A 、 B 为系数矩阵, 由 12 个微分方程式的系数确定, A 矩阵是一个 12×12 的方阵, B 是一个 12×2 的多项式矩阵.

3 水轮机调节系统线性仿真的数据准备

在用计算机进行仿真计算前, 必须首先确定系数矩阵 A 、 B 中的各元素值, 也就是要确定数学模型中水轮机、发电机及负载、引水系统、调速器各个参数的数值, 需确定以下参数. 各参数的表示与数学模型相同, 参看文献[1], 这里不再重复.

(1) 水轮机

本电站水轮机型号为 HLA339-LJ-147, 水轮机的六个特性系数 e_y 、 e_x 、 e_h 、 e_{qy} 、 e_{qx} 和 e_{qh} , 其数值在单机带负荷运行工况下, 依据水轮机模型综合特性曲线求取^[2](具体求取方法略).

(2) 发电机及负载

机组惯性时间常数: $T_a = \frac{GD^2 n_r^2}{3580 p_r}$ (s)

负载惯性时间常数 T_b , 据国内外资料统计, 一般取 $T_b = (0.24 \sim 0.30) T_a$.

负载自调节系数 e_g , 它与电网中各类负载所占比重有关, 据资料统计, 一般取 $e_g = 0 \sim 2$ 之间.

水轮发电机组综合自调节系数: $e_n = e_g - e_x$.

(3) 引水系统

水流惯性时间常数: $T_w = \frac{L_r Q_r}{g F H_r}$.

水锤压力波反射时间: $T_r = \frac{2L_r}{c}$.

水流损失系数: $\alpha = \frac{f_1 q_0 T_r}{2T_w}$.

管道特征系数: $h_w = T_w / T_r$.

调压井系数: $T_h = \frac{F_d H_r}{Q_r}$.

(4) 调速器

调节数 b_r 、 T_d 、 T_n 和 b_p 的范围由调速器制造厂家给定; 接力器

反应时间 T_y^* , 由接力器速度特性 $\frac{dy}{dt} \sim \sigma$ 曲线斜率的倒数确定, 对于小波动, 可以取开启侧和关闭侧的平均值.

4 水轮机调节系统线性仿真程序框图

在编写计算程序之前, 先绘制程序框图, 考虑到友好的界面设计, 采用 C 语言的程序设计方法, 程序框图见图 2^[3].

关于程序框图的几点说明:

- (1) 输入的各参数值应该是原始参数, 扰动量 m_{go} 和 C 一般按阶跃扰动输入, m_{go} 阶跃扰动量取小于 0.1, 这里暂认为是在没有指令信号输入下的负荷扰动, 在小波动情况下负荷扰动一般为 $\pm 20\%$;
- (2) 计算状态方程系数矩阵 A 、 B 中各元素值;
- (3) 将方程组 12 个状态变量赋初值, 作为同一数组的 12 个元素, 其中 x 定为输出值, 其余作为中间状态变量;
- (4) 解状态方程, 采用工程上用的较多的四阶龙格——库塔法;
- (5) 只打印输出 x 值;
- (6) 计算终止时间 t_s , 取调节时间 T_p , 中小型电站一般 $T_p \leq 18s$.

5 结 语

本文详细地介绍了水轮机调节系统线性仿真的步骤, 为下一步编写程序打下基础, 通过计算机仿真计算, 能十分方便地对调节系统小波动的稳定性和动态品质进行分析和比较. 适用于水轮机调节系统小波动过渡过程的计算机仿真.

参考文献:

- [1] 张建蓉, 王敬民. 腊庄水电站水轮机调节系统小波动数学模型[J]. 昆明理工大学学报, 2000, 26(4): 99~ 103.
- [2] 沈祖谔. 水轮机调节[M]. 第三版, 水利电力出版社, 1998, 182~ 186.
- [3] 陈嘉谋. 水轮机调节系统计算机仿真[M]. 水利电力出版社, 1993, 58~ 60.

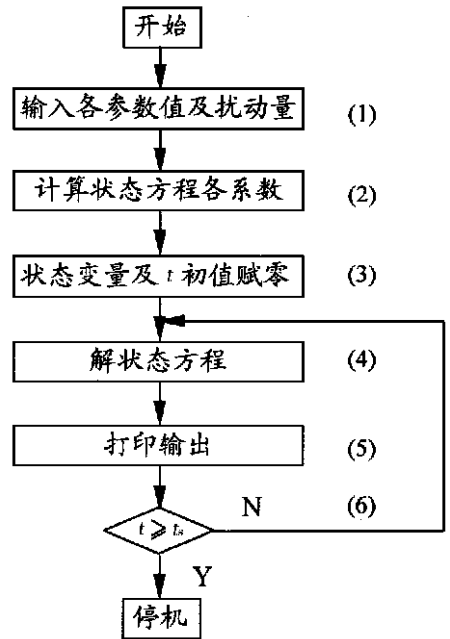


图 2 水轮机调节系统线性仿真程序框图

A Fast Algorithm for the Restoration of Images Based on Freeman Chain Codes Description and its Applications

SHI Yong-hong, ZUO Yu-bing, PAN Xiao-lu, LI Yi-min

(Research Institute of Intelligence Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract A fast algorithm for the restoration of an image is presented. The image is described by using chain codes which record the contours of the image. The contour of an image is traced and smoothed according to chain codes description, from which the chain code is given. then a simple idea for region filling is proposed in our algorithm.

Key words: Freeman chain codes description; smoothing; image restoration; parity check

(上接第 87 页)

Water Turbine Regulating System Liner emulation of La Zhuang hydropower station

ZHANG Jian-rong, WANG Jing-min

(1. The Faculty of Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Luoping Electrical power group company, Yunnan Luoping 655800, China)

Abstract Based on the mathematic model of La Zhuang hydropower station, using the method of linear emulation and simulating the regulating process of water turbine by a electric computer, the stability of the turbine regulating system and its dynamic characters can be determined and analysed, which can provide the basis for readjustment the regulating parameter.

Key words: water turbine; regulating system; emulation