

引水式电站并列运行机组的 MATLAB 仿真模型

孙美凤 沈祖诒 吴海波

(河海大学水利水电工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 :为了研究高水头引水式水电站机组之间的水力干扰问题 ,采用 MATLAB 下的 SIMULINK 作为仿真工具 ,建立共用有压引水管道、调压井、压力主管的两台高水头引水式水轮机调节系统小波动时的仿真模型 ,对于大波动时水轮机特性的非线性问题 ,给出了水轮机传递系数仿真模型的建立方法 ,结合两方面模型 ,建立了整个调节系统在大波动时的仿真模型 ,并引入实际电站的参数 ,对甩负荷过渡过程进行了仿真计算和分析。
关键词 :仿真模型 ;水轮机调节系统 ;非线性 ;调压井
中图分类号 :TV734 **文献标识码 :**A **文章编号 :**1000-198X(2003)03-0268-04

在高水头引水式水电站中 ,通常几台机组共用一个调压井和压力主管 ,当其中一台机组由于某种原因处于大波动过渡过程 ,则该机组在电站上下游引、尾水系统中引起的压力变化必然会影响到与其共用调压井和压力主管的其它几台机组 ,使其它几台机组也处在过渡过程中 ,形成一种水力干扰 ,这种水力干扰对机组的稳定运行有多大影响 ,有必要进行研究 ,采用计算机仿真计算的方法研究机组之间的水力干扰 ,关键在于建立正确的仿真模型 ,本文在 MATLAB 下的 SIMULINK 中建立通过调压井相连的两台高水头引水式水轮机调节系统的仿真模型^[1]。

1 电站过水系统

共用调压井的多台水轮机组之间的水力干扰 ,最严重的是两台机组并列运行的情况 ,它们共用有压引水道、上游调压井、压力主管 ,电站过水系统如图 1 所示。

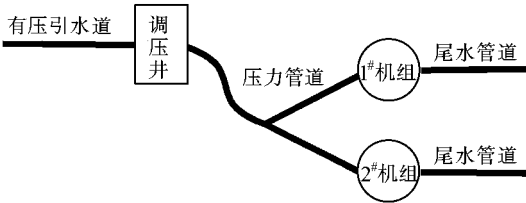


图 1 电站过水系统简图

2 系统小波动时的仿真模型

整个系统的数学模型分为 3 部分 :调速器、水轮机过水系统、发电机部分 ,小波动时 ,水轮机传递系数可认为是常量 ,系统的数学模型如图 2 所示 ,图 2 中 q , m_t , y , x , h ——流量、力矩、接力器行程、转速、水头的相对偏差 ; e_{qy} , e_{qx} , e_{qh} , e_y , e_x , e_h ——水轮机的传递系数 , tsq 方框是整个调速器的子模块 ,数学模型为并联 PID 调速器^[2] ,电站孤网运行时 ,发电机采用图 2 所示的一阶模型 ,电站并网运行时 ,发电机采用三阶模型 , T_{j2} ——上游调压井时间常数 ; T_{w1} , h_{f1} ——调压井前有压引水道的水流惯性时间常数及沿程摩阻损失的相对值 ; T_{w3} ,

Fig.1 Water conveyance system of hydro-power station

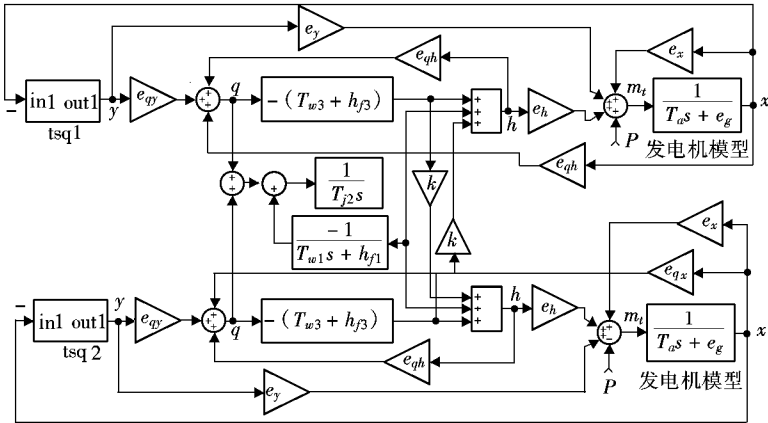


图 2 双机组调节系统小波动时仿真模型

Fig.2 Simulation model for regulation system of dual-hydroelectric turbines under little fluctuation

h_{f3} ——调压井后压力管道和尾水管道的 水流惯性时间常数及沿程摩阻损失的相对值 ; k ——两台机组共用的压力主管的时间常数与管道的时间常数 T_{w3} 之比 ,表示两台机组之间通过压力主管而互相影响的程度大小 ; P ——发电机负荷 ; e_g ——发电机负荷自调整系数.

3 系统大波动时的仿真模型

水轮机的传递系数随运行工况的变化而变化.在大波动过渡过程中,机组运行工况剧烈变化,传递系数也随之剧烈变化.此时,必须把传递系数作为变量考虑,水轮机特性呈非线性.建立系统的仿真模型,关键是解决水轮机特性的非线性问题.以 $\int e_y dy$ 为例,说明如何建立其仿真模型.

3.1 e_y 的求取

根据水轮机工况点开度 a 和单位转速在模型综合特性曲线上找到该工况点 0,在 n_{110} 线上 0 点附近取 1,2 两点^[3],见图 3.则

$$e_y = \frac{(M_2 - M_1)/M_r}{(a_2 - a_1)/a_{\max}} \tag{1}$$

将 e_y 的计算公式加以变换

$$e_y = \frac{(M_{112}D_1^3H - M_{111}D_1^3H)/M_{11r}D_1^3H_r}{(a_2 - a_1)/a_{\max}} = e_{ym} \frac{H}{H_r} \tag{2}$$

式中 : M_i —— i 点力矩 ; M_{11i} ——单位力矩 ($i = 1, 2$) ; M_r ——水轮机额定力矩 ; a_i —— i 点导叶开度 ; $a_{\max}$ ——导叶开度最大值 ; D_1 ——水轮机标称直径 ; H ——水轮机水头 ; H_r ——水轮机额定水头.

根据式 (2) 建立求 e_y 的模型图. e_{ym} 的值由水轮机的力矩特性求出,在模型综合特性曲线上选择若干个工况点 (a, n_{11}),根据力矩特性求出各工况点与单位力矩的对应关系,计算出各工况点所对应的 e_{ym} 值.将每个工况点参数 (a, n_{11}) 与 e_{ym} 的对应关系输入到二元插值元件中,当元件的输入为某工况点的参数 (a, n_{11}) 时,其输出就是对应该工况点的 e_{ym} 值.

下面说明如何利用小波动仿真模型图中的参数值 x, y, h 等,得到大波动时各工况点参数 a, n_{11} 和 H . 由于

$$a = y a_m + a_0 \qquad H = h H_r + H_0 \tag{3}$$

$$n_{11} = \frac{nD_1}{\sqrt{H}} \qquad n = xn_r + n_0 \tag{4}$$

式中 : H_0, n_0, a_0 ——稳态时的水头、转速、导叶开度 ; n_r ——额定转速 ; a_m ——导叶开度基值.

将以上公式综合,设计出求 e_y 值的仿真模型,见图 4 中所示.图 4 中 $h_0 = H_0/H_r, x_0 = n_0/n_r, y_0 = a_0/a_m$.

3.2 建立求 $\int e_y dy$ 的仿真模型

当机组处于大波动过渡过程时,6 个传递系数以及 x, y, h 都处在剧烈变化之中,有

$$q = \int e_{qy} dy + \int e_{qx} dx + \int e_{qh} dh \tag{5}$$

$$m_t = \int e_y dy + \int e_x dx + \int e_h dh \tag{6}$$

利用 SIMULINK 元件库中的元件,建立 $\int e_y dy$ 的仿真模型,如图 4 所示.图 4 中,Memory 是存储器元件,其输出等于其前一时刻的输入值.设在时刻 t_i Memory 的输入是 y_i ,其输出则是前一时刻 t_{i-1} 的输入 y_{i-1} .加法器 Sum1 的输出是 $\Delta y = y_i - y_{i-1}$,乘法器 Product 的输出是 $e_y \times \Delta y$,即 $e_y dy$,所以 Sum2 的输出

$$m_{ty} = \int e_y dy = m_{t_{i-1}y} + e_y (y_i - y_{i-1})$$

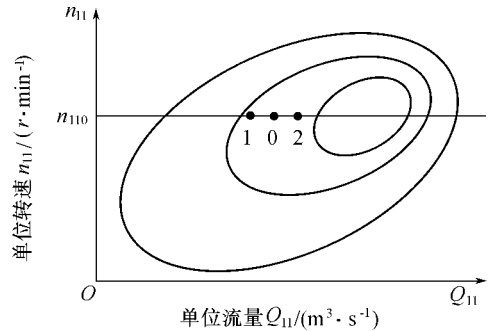


图 3 水轮机综合特性

Fig.3 Synthetic characteristics of turbines

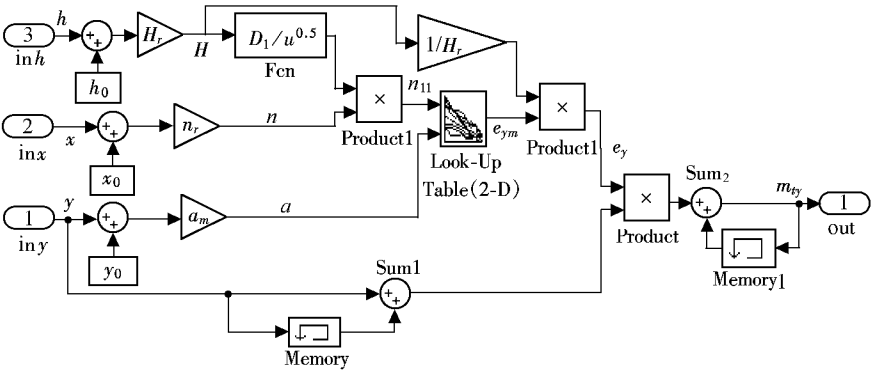


图 4 $\int e_y dy$ 仿真模型

Fig.4 Simulation model of $\int e_y dy$

3.3 整个水轮机调节系统的仿真模型

建立水轮机调节系统的仿真模型,如图 5 所示. e_y 模块代表 $\int e_y dy$ 子系统,其它传递系数模块同理.

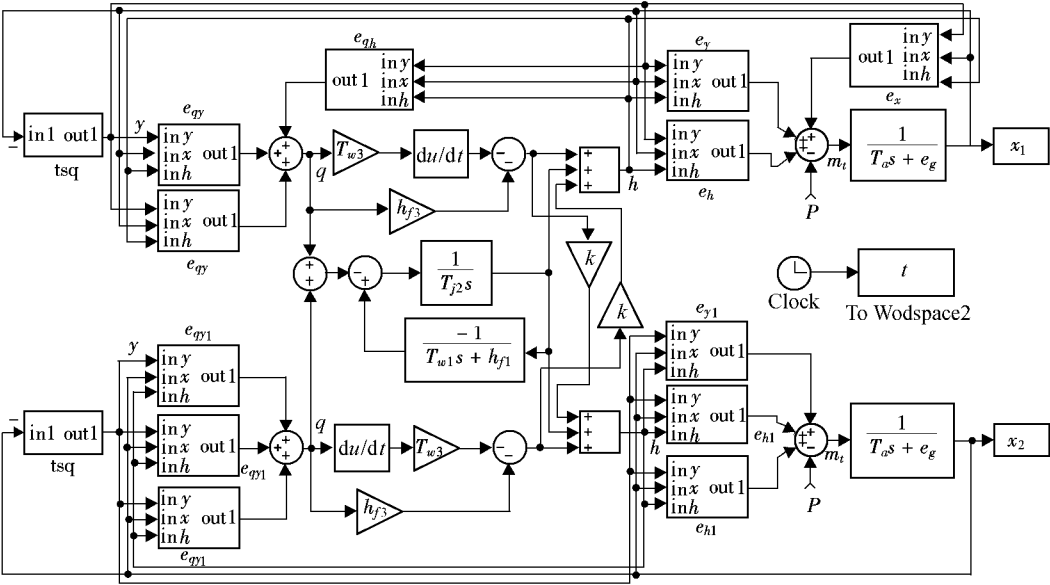


图 5 共用调压井的双机组调节系统仿真模型

Fig.5 Simulation model for regulation system of dual-turbine sharing a surge tank

4 结 束 语

根据仿真模型对福建某电站进行甩负荷过渡过程仿真计算,图 6 为电站孤网运行时 1# 机组带额定负荷工况下分别甩 50% 和 100% 负荷的转速、水头的相对偏差曲线.可见,机组甩 100% 负荷所引起的转速和压力上升远大于甩 50% 负荷时的上升值,这与电站实际运行结果一致.

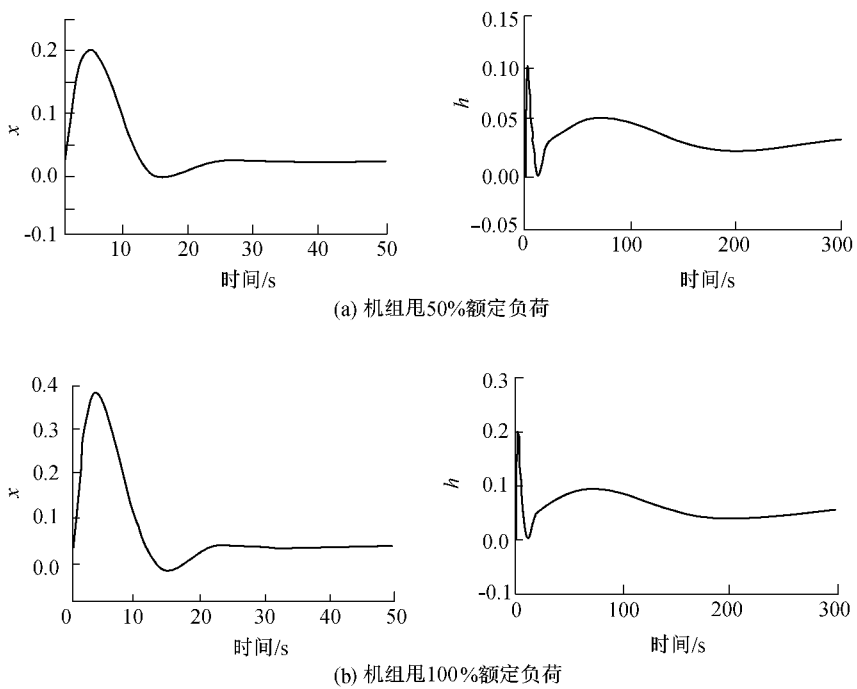


图 6 相对偏差曲线

Fig.6 Relative deviation curve

参考文献：

[1] 欧阳黎明. MATLAB 控制系统设计[M]. 北京 :国防工业出版社 ,2001. 218—236.

[2] 沈祖诒. 水轮机调节[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1994. 168—175.

[3] 沈祖诒. 水轮机调节系统分析[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1991. 7—33.

MATLAB-based simulation model for parallel running turbines of high head power stations

SUN Mei-feng , SHEN Zu-yi , Wu Hai-bo

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : For research of the hydroelectric interference between turbines of high head and long penstock hydropower stations , a simulation model was developed by use of SIMULINK in MATLAB for a dual-turbine regulation system sharing a head-race conduit , a surge tank , and a main penstock under little fluctuation . In consideration of the non-linearity of turbines under large fluctuation , a method was proposed for development of a simulation model for the coefficient of transmission of turbines . Based on the two types of models , a simulation model was established for the general turbine regulation system under large fluctuation , and the transition process during load rejection of turbines was simulated and analyzed by introduction of practical parameters of hydropower stations

Key words : simulation model ; turbine regulation system ; non-linearity ; surge tank