

潘家口水电站静止励磁装置

刘丽娟,王凤玲,马群章

(引滦工程管理局潘家口水电厂,河北 迁西 064309)

摘要:介绍安装在潘家口水电站抽水蓄能机组上的ABB公司励磁装置和安装在常规发电机组的MEC微机励磁装置的特点,从采样、最优励磁控制、中断、保护、诊断、监测、可靠性、通讯上网等方面比较数字电路励磁和模拟电路励磁技术差异,认为微机励磁技术将是今后的发展主流。

关键词:励磁;抽水蓄能;数字技术;模拟技术;潘家口水电站

中图分类号:TM341

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)01-0034-02

潘家口水电站是我国第一座大型混合式抽水蓄能电站,工程分两期建设,一期工程建设潘家口大坝和电站主体,1980年1号常规发电机组发电,励磁方式为串并联自复励静止励磁,1997年进行更新,选用核心为MEC-31B微机调节器的励磁装置(简称MEC),全数字电路,二期工程建设安装3台90MW抽水蓄能机组(2-4号机组),ABB公司产品(简称ABB),励磁选用ABB公司的VERITHY-L装置,其核心为集成元件模拟电路,1991年投产。

由于潘家口水电站一、二期工程励磁设备的差异,使得有可能:在同一厂房内观察励磁技术的进步;观察国内、国外的同类设备;观察模拟或数字技术励磁,本文对此进行介绍和比较。

1 抽水蓄能机组励磁特点

潘家口水电站抽水蓄能机组是双转速可逆式机组,两种启动方式,利用变频器可对1台机组实现变速运行。励磁系统的组成为:①并联变压器:2000kV·A;②大功率整流柜,全控桥,4组并联,每支晶闸管930A/2200V;③磁场断路器,AM-CC-NOR碳化硅电阻灭磁及过压保护;④测量、调节、触发、控制、保护、监控;⑤电力系统稳定器PSS。

ABB机组有两个旋转方向,逆时针为发电机工况,反之为电动机工况,用五刀隔离开关变换三相相序,变转向时励磁极性不变,但 α 角移至 90° ,励磁为零。

潘家口水库机组运行水头变化很大, $K = \frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 2.4$ 。为保证水泵效率,选用双极双速电机,即48/42

极,125/142r/min,磁极也是48或42极,变磁极数时, α 角移至 90° 励磁为零,用变极数隔离开关切换。

同步电动机要求它励方式,并联变压器接到机组出口断路器Q1外电网侧,发电机运行时也是它励,励磁整流桥交流侧始终带电,推移 α 角就调节电压。

发电工况下励磁以发电机电压V/PID调节AVR为主,转子电流I/PID调节AIR为辅,设有全厂最优负荷控制OLC,对4台机组进行最优负荷控制,并按等 $\cos\varphi$ 原则分配无功,由OLC给各机组发出给定量,由成组/PID调节,反馈量为 $I\sin\varphi$ 。

电动工况下根据同步电动机V形曲线 $\cos\varphi = 1$ 运行,励磁电流最小,零给定, $I\sin\varphi = 0$ 为反馈,即 $\cos\varphi = 1$,用电流PID调节励磁电流,根据需要调整电位器,也可得到非零给定,如过励,同步机发出感性无功,如 $\cos\varphi = 0.95$,可发28MVar无功功率,对补偿变压器、变频器所需无功功率有益处。

潘家口水电站水泵电动机有两种启动方法:

a. 背靠背BTB启动。这时组成两互联机组,1台是主拖的发电机,另1台是被拖起动的电动机,励磁装置专设有BTB/PID调节器,反馈量为转子电流,先由控制微机确定该机组是发电或电动,按各自给定电压,施加励磁后启动。

b. 变频器SFC启动。励磁装置设有SFC/PID调节器,由变频器高速可编程控制器PHSC按预定启动曲线,给出励磁电流给定量,反馈量为转子电流。

潘家口水电站变频器容量为60MW,而电动机启动仅需用9MW,60MW的变频器能在1台机组实现变速运行,即变速启动、变速发电、变速抽水和制

动,其原理与前述变频器起动相同,根据等磁通 $\Phi = V/(fZ)$ 原则, SFC 内 PHSC 给励磁发出指令, SFC/PID 调节反馈量为励磁电流,恒磁通变速运行时,机端电压是变化的。

变频起动前要探明转子磁极位置,由变频器 PHSC 发出 20 mA 电流去励磁给定由 SFC/PID 调节,突加 2000 A 给转子绕组,则定子三相线圈会感应出不同量电压,返回变频器,就计算出转子磁极实际位置,探明磁极位置后,确定变频器逆变桥某相晶闸管导通,给定子某相绕组送 150 ms 宽、1000 A 脉动电流,强制换相,推动转子最初转动,称脉冲运行。

模拟技术励磁, PID 是核心, ABB 电路中设置 5 套 PID 电路,即电压/PID、电流/PID、成组/PID、BTB/PID、SFC/PID, ABB 公司的 PID 插板,周到、精确,以电压/PID 为例,由两级运算放大器组成,有 7 个输入端,形成励磁运行环境,定子电流限、转子电流限在两级运放间输入,优先动作。

2 潘家口 MEC-31 微机励磁装置

1 号机组的励磁系统组成为:①串并联变压器未动,阳极电压 $U_a = 432$ V;②大容量整流柜,两柜并联,强力风冷却,输出电流 2×1800 A;③ DM4-2500 A,双断口磁场断路器,带跨接器氧化锌灭磁及过电压保护;④ MEC-31 微机调节柜。

MEC-31 调节器核心是 STD 总线系统的工业控制微机, STD 总线由 8 数据线、16 地址线、22 控制线、10 电源线组成,插件插入 56 芯插座,积木模块结构,可根据要求选择各相关功能插件, STD 总线工控微机也是首次实现励磁线性优化控制, MEC-31 调节器的配置为:①两套 V40 微机(V40 芯片为 NECUP702088L-8),构成 I 机和 II 机,执行恒电压或无功调节,互为热备用;②8098 单板机构成 III 机,执行电流调节;③专用 STD 插件、能达公司专制 LD 插件等(表 1);④ MEC-31 程序包,包括主程序、中断服务板、智能 A/D 板、控制量计算板、各种功能板、0 开关量及键盘命令板、通讯跟踪板、诊断板、通用程序。

表 1 MEC 微机调节器插件

型 号	名 称	型 号	名 称
MAP110-4001	电源板	STD5087	CPU/V40 板
STD9282A	通讯板	LD6023	同步板
STD5681	通讯板	STD9459	A/D 板
STD9373	输出板	STD9372	输入板
STD9099	滤波板	STD9043	显示板
LD6033	检测板	LD6013	滤波板
STD9388	定时板		

3 两种励磁技术的比较

电力电子技术分为模拟技术和数字技术两类,

通过对 MEC-31 介绍,可比较两种技术的差异。

3.1 采样

a. MEC-31 设有智能 A/D 单元,被采样量分 4 组,每组 6 路并采;三相量可同时采样,每组切换时间 $2.5 \mu s$,分辨率 2^{12} ,满足调节要求。

b. 数字采样的优点是采样、测量、数据计算、处理一体完成,并送入 STD 总线到各单位存储使用,如定子电流、电压;如有功功率、无功功率的计算; φ 角计算、 $\sin\varphi$ 计算等。

c. 模拟电路, ABB 要通过大量乘法器、相敏电路等,并进行繁杂调试才得到上述量,而且由于匹配要求,各部分又要求单独测量,如 PSS 回路单独设立测量。

d. 应该指出转子是大电感,储能量巨大,各种操作过电压也大,不能把励磁电压、电流简单通过分压、分流电路送入计算机, MEC 是用阳极电流量代替转子电流量的,也可用霍尔变送器测量转子电流。

3.2 最优励磁控制

a. MEC-31 采用了最优控制理论指导的数字调节,首先认为发电机-电网系统可得标准状态方程:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (1)$$

式中: A 为状态矩阵; B 为控制矩阵; U 为控制向量; $X = [\Delta U, \Delta\omega, \Delta P]^T$, 状态向量(已简化三阶)。

如使式(1)的误差平方积分, $J(XU)$ 最小就是最优控制。

$$J(XU) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (X^T Q X + U^T R U) dt \quad (2)$$

式中 Q 和 R 分别为 X 和 U 的权矩阵,则控制向量

$$U = -KX = -[K_p, K_\omega, K_v][\Delta P, \Delta\omega, \Delta U]^T = -K_p \Delta P - K_\omega \Delta\omega - K_v \Delta U \quad (3)$$

式中: K_p, K_ω, K_v 是有功 P , 角速度 ω 和发电机电压 U 的最优反馈增益,其值不是常数,是随运行点及曲线随机计算出来的变数,这样才真正做到区域内最优控制,实际上,因 MEC 中 V40 容量所限,不可能随机计算,而是把实验室计算得到 4 组最佳 K 值存入 V40 中,并在现场实践中略加修改,随位置调出。

b. 在 MEC 中,不是通过模拟移相电路,而是通过计算确定 α 角的,数字电路将 α_k 角折算成对应的延时 t_k ,再折算成相应的计数脉冲个数 N_k ,再计数输出,只有数字技术,才能实现最优励磁调节,采用最优励磁调节理论后,可将小干扰动态极限稳定功率角提高到 127° ,而 PSS 电路只有 $110^\circ \sim 120^\circ$,同时也增强发了电机抗干扰的鲁棒性。

c. ABB 的电压调节是 AVR + PSS,虽然 PSS 也实现 $K_v \Delta U, K_\omega \Delta\omega, K_p \Delta p$,但三个 K 值是固定单值,电路复杂, ABB 用了 5 块插件组成。(下转第 68 页)

的生长。

d. 促进了当地的旅游业的发展,有利于发展地方经济。

e. 对长良川河水中的底栖生物的生长及繁殖产生了一定的影响。尽管采用了诸如大型水体补氧船给水体补充氧气等措施,但当水位的上升达到平衡(即从调节门流出的水量等于上游流入的水量)后,整个流域的水位将达到一个相对稳定的状态,补充的氧气量是有限的,因此,对底栖贝类等生物的恢复有限,河床泥质将进一步腐质化。

f. 尽管河口堰两岸设置的鱼道,是为某些海水中生存的鱼类提供从海水到淡水中产卵繁殖的通

道,但河口堰建成运行后,其结果与最初的预想有些偏差,没有达到预期的目的,从而有可能改变长良川流域的鱼类分布。

虽然长良川河口堰的规模不如我国长江三峡工程那么宏大,但都是为了达到充分利用当地水资源造福人类的目的而建设的水利工程。长良川河口堰运行后取得的一些成果和管理经验,以及配套设施的建设,对三峡工程及一些中、小型水利工程的建设都具有一定的借鉴作用。

(本文资料主要来源于长良川河口堰管理所的季节及年度总结报告。)

(收稿日期:2001-09-20 编辑:张志琴)

(上接第35页)

也应指出,MEC-31因容量限制,仅做到初级阶段,同时计算中已将非线性分段,线性处理;另外采样也有滞后等影响,达到理想状态仍待实践。

3.3 中断、保护

a. MEC有丰富的分级中断资源。采样后,STD总线上有要求保护的,使保护工况变得十分简单。MEC设有瞬时/延时励磁过电流限、过无功限、断线保护、空载过电压等保护,上述利用中断功能去执行,如中断 α 角、置 $\alpha = 60^\circ$ 停止调节、报警或跳闸。

b. 模拟电路中,要求单独电路去获得被保护值,靠比较、靠不同出口继电器分辨出不同动作,过程繁杂。

3.4 诊断、监测、可靠性

a. 装置有自诊断、容错及故障检测功能,对数据、装置全面监测,MEC又是双V40,运行中互为追踪,互为热备用,也可以切为微机手动,可靠性好。

b. ABB是单机运行,也只能在扩展端子区域实行区域诊断。

3.5 显示和调试

a. 设有彩色CRT图形显示器,厂家提供便携机和CRT上触摸键盘,可在线显示和修改3个反馈增益、调差率、欠励限止,以及开关量输入、输出状态显示和限制动作等。

b. ABB中,只有常规表计显示、插孔测试及观察波形,要修改一些量,如增益、限制等都要停机试验,仅做一次欠励限制线试验,从准备到完成需2d。

3.6 通讯上网

通讯板中有RS232C近程通讯,通过RS422远程通讯和上、下级联网,实现全厂控制。由于1号机励磁和全厂自动化改造是分年度进行的,且由2个供应商供货,未能实现通讯方式联网,而且一对一逻辑通过,电缆送至水车监控LCU再上网、常规机励磁

逻辑并不复杂,这样做既可以节约通讯设备,又可以减少两厂家间协调配合工作。

3.7 采样连续性与间断性

模拟电路是连续采样,连续控制;而数字技术是间隔采样,计算控制,间隔越短越好,但又受计算机容量的限制。MEC-31中是 $4 \times 25 \mu s$ 采样一遍,计算 $\Delta\alpha$ 角是10ms计算一次,要求间隔起码应在被控量周期一半,这对工控量而言,10ms也是够用的,但有两点提出商讨:

a. 运行状态发生剧变或事故时,可能由于计算限制或条件限制,引起误算,仍需缩短采样间隔或采取其它手段处理。如调试逆变工况时,励磁电压在1ms内由+135V降为-110V,在断续采样间隔中,这种突变引起一晶闸管未触发导通,而另一晶闸管未关闭,产生逆变颠覆,后通过调整软件,使其正常。

b. 数字采样是瞬时采样,计算即读,异于常规定义的数值。如读数和传统的有效值、峰值等不一,数值也略有差异。又如被测量的异常,如干扰尖峰、换相尖峰,需进行处理,一般加隔离、整流、滤波等环节,造成滞后会对计算结果有影响。

4 结 语

a. 模拟技术、数字技术是目前励磁两大主流技术。近年来,计算机技术突飞猛进,数字技术励磁替代模拟技术励磁已是趋势。但由于模拟电路的简单和连续性,使其在小型机组励磁或数字励磁辅助环节中仍占有一席之地。

b. 数字电路的计算代替或“掩盖”传统的物理变化,这种脱离势必影响生产。在20年前静止励磁替代旋转励磁时也发生过同样的困惑。制造者和现场人员要共同努力,让更多现场人员掌握包括软件在内的核心技术应是努力的方向。

(收稿日期:2000-10-20 编辑:马敏峰)