



Undergraduate
Design
and
Thesis

毕业设计 论文选编

大连海运学院



Undergraduate
Design
and
Thesis

毕业设计 论文选编

江苏工业学院图书馆
藏书章

大连海运学院

前 言

进行毕业设计（论文）是高等学校培养学生综合运用所学理论知识和技能解决实际问题能力的一个重要教学环节。我院研究生、工程类专业本科学生从七七级开始恢复毕业设计，航海类专业本科学生从八〇级开始，实行在毕业实习的基础上撰写专题论文的办法。几年来，在广大教师精心指导，严格要求下，学生严肃认真，刻苦努力，取得了较好的成绩。

值此八十周年校庆之际，我们从七七级以来的研究生毕业论文，工程类专业本科学生毕业设计，航海类专业本科学生及函授本科学生的毕业实习专题论文和干部专修科专题论文中选取了三十篇，汇编成册。这些论文虽粗浅，但毕竟是教师和学生心血的结晶，我们把她奉献给大家，希望能够起到汇报和交流的作用，从而不断改进我们的工作，切实提高这个教学环节的质量。

我们编辑本选集，是首次尝试，经验不足，疏漏之处，竭诚欢迎批评、指正。

借此出版之机，向热心支持此项工作的各位教师及其他有关同志深致谢忱！

编 者

1989年6月

目 录

前言

利用余热的船舶电站最优负荷分配系统·····轮机自动化专业研究生	杨承恩 (1)
船舶节能制冷循环——吸收/压缩联合制冷循环的研究·····	
·····系统制冷专业研究生	苑增之 (13)
论船舶碰撞中的过失原则与举证·····海商法专业研究生	胡正良 (21)
“Maritime Lien” 中文译名之探讨·····海商法专业研究生	李 海 (33)
对称多边形预测危险区模型及其在 ARPA 系统中的应用·····驾驶八二级	严庆新 (44)
相对运动雷达转向避让幅度估算方法·····驾驶八二级	赵劲松 (50)
“泰山轮” 适度 GM 值探讨·····驾驶八二级	顾恒超 (59)
微型计算机在天文航海中的应用·····驾驶八三级	戴 冉 (66)
天线自动转换开关的设计·····通讯八二级	关卫贤 (76)
PAX—29S 型船用无线电气象传真接收机自动开关电路分析·····	
·····通讯八三级	程国新 (83)
某轮主机燃然性能及各缸负荷分配分析·····轮机八〇级	袁金良 (87)
主机扫气压力下降原因分析·····轮机八一级	洪鹏忠 (93)
R22 制冷装置冰塞实例的分析与处理·····轮机八〇级	程坚定 (101)
柴油机排温过高的诊断·····轮机八一级	黄怀强 (106)
船舶电站数控系统设计·····轮机八二级	彭建学 (113)
电力负荷的实船测算与电站容量选择的分析·····船电八〇级	黄荣良 (119)
《华盈轮》的 AEG 型克令吊吊钩控制原理分析·····船电八二级	陈 明 (124)
11 万 5 千吨穿梭油轮电站综合分析及部分环节的设计·····船电八二级	吴志良 (130)
“育英” 轮燃油自动锅炉改用可编程序控制器控制的系统设计·····	
·····船电八三级	魏彧展 (136)
微机控制的自动操舵系统·····自动化八一级	刘 敦 (146)
数字控制系统辨识、自适应 CAD 软件包研制与实现初探·····	
·····自动化八二级	徐 铭 (150)
船舶航向自适应控制的数模混合仿真·····自动化八三级	陈建山 (159)
DJS—131~Z—80 交叉汇编·····计算机七七级	李 林 (167)
微机伪随机信号数值相关分析仪·····计算机八〇级	凌谷伟 (175)
INMARSAT 岸站模拟器发送软件的设计·····无线电技术八一级	衷爱东 (181)
高精度微波鉴频器的设计·····无线电技术八一级	申燕燕 (184)
用最大熵谱法和 ARMA 法提取高杂波中的正弦信号·····	
·····无线电技术八二级	王 芸 (191)
GOLD 序列作为遥控遥测指令的研究·····通信八四级	何惠良 (195)

电子线路计算机辅助教学软件设计.....	通信八四级	王洪金 (199)
上海港船舶系浮筒操纵及操作.....	函授驾驶八〇级	陆宝昌 (204)
航浚4001轮可调螺旋桨故障分析.....	函授轮机八三级	徐大路 (218)
险恶情况下船员心理分析.....	政工八三级	朱文斌 (225)
船员健康性心理的引导与培养.....	政工八三级	张汉龙 (229)
船员调配中的思想政治工作初探.....	政工八五级	蔡张德 (232)
爱国主义教育 是船员思想教育中的一件大事.....	政工八三级 张建华	万忠亚 (236)
试论教与学.....	科教管理八四级	赵玉森 (239)

利用余热的船舶电站最优负荷分配系统*

轮机管理工程专业轮机自动化研究生 杨承恩
导 师 贾欣乐

摘要: 本文应用键图技术在 $d-q$ 坐标系内研究同步发电机的动态特性, 主要注意力放在船用同步发电机组并联运行数学模型的建立和数字仿真, 以及负荷的最优分配等问题上。由此得到的结果对设计利用主柴油机余热的节能船舶电站的自动控制系统和负荷最优分配系统有实际意义。文中给出了发电机组在短路、断路、投入同步运行等典型变工况或故障情况下的许多重要变量的瞬态响应曲线, 以及多种主机功率状况下电站负荷最优分配的过程曲线。

一、引 言

键图技术作为一种建模的有力工具已有大约廿年的历史, 它的基础是能量守恒, 通过能量在系统中的存储、传递和耗散的物理过程来描述动力系统。它并不是企图用某种图形去取代系统的公式描述, 而是巧妙地把系统的拓朴表达(键图)和结构方程有机地结合起来, 通过严格的因果关系的指引, 更迅速有效地得出状态空间形式的系统数学模型, 且每个状态变量都有明显的物理意义。

利用键图方法已经处理了包括机械、液压、热力流动等工程领域的许多模型化问题, 取得了满意的效果^[1], 不过对复杂电力系统而言, 键图的应用却开始不久, Sahm给出过一个同步发电机的键图模型框架^[2]; 李杰仁建立了一台同步发电机组的键图模型, 并得出了较完整的系统仿真曲线^[3]。本文的主要注意力放在船用同步发电机组并联运行数学模型的建立和数字仿真的具体实现上。本文研究目标的确定是基于如下的关于船舶电站特点的考虑: 一, 与陆用电厂不同, 在船上运行的并联机组容量都较小, 一般为数百千瓦, 而它们承担的电力负荷变化却异常频繁, 从而导致各机组之间持续而强烈的相互干扰的作用, 这就要求建立能较准确地描述这种动态过程的系统数学模型; 二, 从船队经济营运的角度出发, 主机余热发电的方案具有很大吸引力, 不过近代的柴油机热效率已高达50%, 而船舶设计者仍在不断降低主机的额定功率(航速)以节约每一航次的燃料消耗, 因而主机余热驱动的透平发电机(TG)无法供应满足全船需要之电力, 不得不采用一个功率较小的柴油发电机(DG)与之并联运行, 于是出现了不同容量的不同类型原动机驱动的发电机之间的负荷最优分配问题。本文获得了单发电机组、并联运行的双发电机组在许多典型工况下的仿真结果曲线, 包括短路、断路、投入并联同步运行等情况下的特性, 以及多种主机功率条件下的电站负荷最优分配曲线。

二、同步发电机的键图模型

用正交的派克方程变换式, 可将电感系数周期性变化的电机方程式变成一组常系数的电

* 本文参加了由IFAC/IMACS 举办的1986年9月22日至24日在奥地利维也纳召开的控制系统仿真国际会议。

机方程——派克方程^[4]，并且可以满足键图的能量守恒的要求：

$$U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c = U_0 I_0 + U_d I_d + U_q I_q \quad (1)$$

在派克方程的基础上，可以分别得到同步发电机的直轴磁场键图、交轴磁场键图、气隙能量传递的键图以及转矩部分的键图。由这几部分键图可构成同步发电机的键图模型（图1）。其中的三端口 I 场表示直轴磁场，二端口 I 场表示交轴磁场。由键图的结构定律得到的磁链方程为

$$\begin{pmatrix} I_D \\ I_d \\ I_f \\ I_Q \\ I_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_D & M_{Dd} & M_{Df} & 0 & 0 \\ M_{dD} & L_d & M_{df} & 0 & 0 \\ M_{fD} & M_{fd} & L_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_Q & M_{Qq} \\ 0 & 0 & 0 & M_{qQ} & L_q \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} I_D \\ I_d \\ I_f \\ I_Q \\ I_q \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} \psi_D \\ \psi_d \\ \psi_f \\ \psi_Q \\ \psi_q \end{pmatrix} \quad (2)$$

本文着重讨论发电机本身的建模，对负载模型力求简化，仅考虑静负载为 $R-L$ 电路的情况。三相对称负载可仅讨论其中一相。将由单相负载键图导出的结构定律表达式投影到 $d-q$ 轴上，得到负载在 d 、 q 轴上的键图和表达式：

$$U_d = RI_d + \omega LI_q + L \dot{I}_d \quad (3)$$

$$U_q = RI_q - \omega LI_d + L \dot{I}_q \quad (4)$$

三、相复励系统

一般船用发电机的励磁都采用相复励。相复励的主要部件是复励变压器、移相电感和谐振电容。根据交流电路的特点，可得到电感和电容电路在 $d-q$ 轴上分解的键图。对相复励

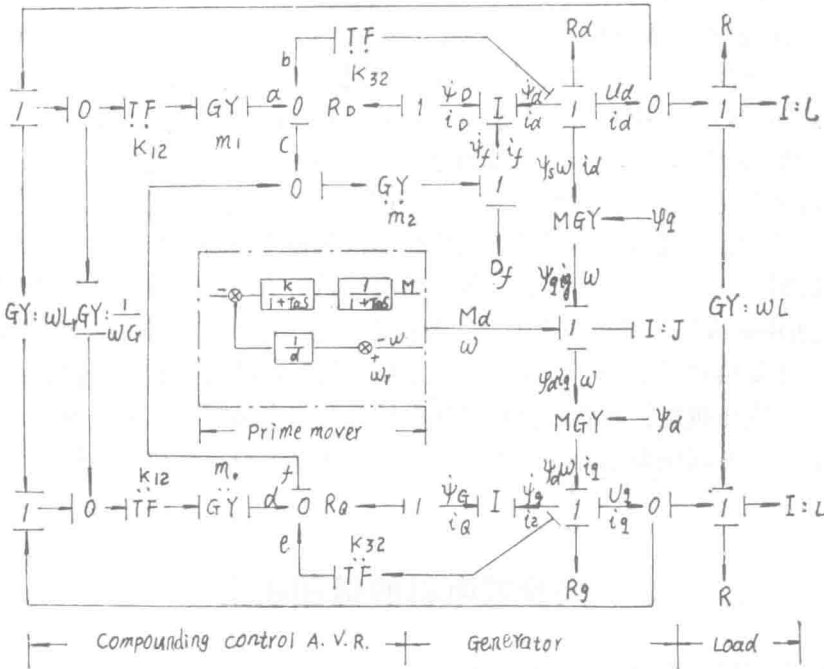


图1 简化的发电系统键图

变压器, 其中任一相都可描述为一个三端口 I 场, 如果忽略其中电流绕组和电压绕组间的关联, 则可分解为两个二端口 I 场, 利用正交的派克变换, 经过适当简化后, 在 $d-q$ 轴上可近似为四个变换器元件和三个回转器元件的组合。这样相复励系统的键图就如图 1 所示, 值得注意的是图中的流变量 f_a 、 f_b 、 f_d 、 f_e 在空间并不是处于同一相位的, f_a 超前 $f_d 90^\circ$, f_b 超前 $f_e 90^\circ$, 而且由于静负载中 $R-L$ 电路的影响, f_a 与 f_b 之间存在一个相位差, 所以它们之间的相加不应是数量上的, 而应是矢量相加, 这也就是交流电路在键图中体现出的特殊性。

四、发电机系统的键图

因为驱动发电机的原动机中瞬态物理过程较发电机慢得多。在研究诸如甩负荷, 并车等问题时, 可采用尽可能低阶的原动机模型, 这样既简化了计算, 又保证有足够的准确性。这里将所涉及的柴油机、汽轮机都取为一阶环节, 调整机构也用一阶环节。大幅度的简化使这几个环节的参数失去了明显的物理意义, 因而难以用键图的形式表示。故把它们以方框图的形式综合成原动机及其调速系统单元, 做为一个源部件出现在键图中。以一个键 (半箭头) 表达了 M_d 和 ω 两个量。这个单元内的各项参数, 应根据对原动机的辨识资料来调整。

将上述各部分键图组合起来, 就可得到一幅完整的发电机系统的键图。从键图可知这是一个十阶系统 (不包括原动机)。如果忽略①串在输出线上的相复励变压器电流绕组的压降; ②并在输出端的移相电路的分流; ③移相谐振电路对系统动态的影响; 整个系统就降为八阶 (图 1)。由键图的结构定律可导出如下方程:

$$\phi_D/\omega(b) = -r_D a_{11} \phi_D - r_D a_{12} \phi_a - r_D a_{13} \phi_f \quad (5)$$

$$\phi_a/\omega(b) = -r_a a_{21} \phi_D - r_a a_{22} \phi_a - r_a a_{23} \phi_f - \omega' \phi_q - u_a \quad (6)$$

$$\phi_f/\omega(b) = -r_f a_{31} \phi_D - r_f a_{32} \phi_a - r_f a_{33} \phi_f + u_f \quad (7)$$

$$\phi_Q/\omega(b) = -r_Q a_{44} \phi_Q - r_Q a_{45} \phi_q \quad (8)$$

$$\phi_q/\omega(b) = -r_q a_{54} \phi_Q - r_q a_{55} \phi_q + \omega' \phi_a - u_q \quad (9)$$

$$m_e = \frac{2}{3} (\phi_a i_q - \phi_q i_a) \quad (10)$$

$$u_a = -\omega' \phi_q - r_a i_a - \phi_a/\omega(b) \quad (11)$$

$$u_q = \omega' \phi_a - r_q i_q - \phi_q/\omega(b) \quad (12)$$

$$u_f = k_u m_e \sqrt{\frac{1}{(m_1 k_s)^2} (u_a^2 + u_q^2) + \left(\frac{k_{32}}{z(b)}\right)^2 (i_a^2 + i_q^2) + u_s} \quad (13)$$

$$u_s = \frac{2k_{32}}{m_1 k_s z(b)} \sqrt{(u_a^2 + u_q^2)(i_a^2 + i_q^2)} \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}} \quad (14)$$

$$k_s = k_{12} (1 - \omega^2 c_x l_x) \quad (15)$$

图中, a_{ij} 为电机磁链方程系数矩阵 A 的逆阵 A^{-1} 的元素, $\omega' = \omega/\omega(b)$ 为角频率标么值, $k_u = U(b)/U_f(b)$ 为基值电压比, $r = R/z(b)$ 为静负载阻抗标么值, $l = L/L(b) = X_L/z(b)$ 为静负载感抗标么值。

五、系统中的非线性问题

同步发电机中的非线性元件很多,为了简化问题,模型中仅考虑了相复励变压器的非线性和直轴磁场的非线性。

在输出短路时,发电机的瞬时输出电流可达其额定电流的十余倍,使相复励变压器铁芯处于饱和状态,限制了励磁电压的增长,这可用饱和非线性来描述。根据国际电工委员会(IEC)的规定,选定饱和电流为额定电流的4倍。

对于直轴磁场的非线性,可以用空载特性 $u_0 = G^*(i_f^*)$ 来表示。空载特性一般是以额定电压为电压基值,以达到额定空载电压时的激磁电流为激磁电流的基值所得到的非线性关系 G^* 表示。将它转换到本文所用的 x_{ad} 基值系统后,直轴电抗的非线性关系为

$$x_{ad} = \frac{1}{\sum i} G^*(\sum i x_{adj}) \quad (16)$$

$\sum i = i_D + i_a + i_f$, x_{adj} 取 x_{ad} 在额定空载时的值。

六、发电机组模型的仿真

1. 单机运行的仿真

因为担心短路和大负载的突加突减会造成发电机损伤,大多数发电机生产厂家都不愿做这类试验,而这些试验对船舶电站的设计和使用来说又是非常必要的。数字仿真可以很容易地获得各项试验的参数。仿真模型的原型取自无锡电机厂的TFH—400/10型船用发电机。在将发电机的各项基本参数:功率 P , 电压 V , 电抗 $x_d, x_d', x_d'', x_q, x_s$, 电阻 R_a, R_f , 时间常数 T_0, T_d'' , 以及相复励变压器的电压比 k_{12} 、电流比 k_{32} 输入计算机后,就可通过改变负载 r, l 的值来模拟不同负载量下电机的运行状态(见表1)。仿真结果见图2。将发电机运行的初始状态定为额定工作状态,设0.1秒时发电机端口三相短路,因磁链不能突变瞬时短路电流达到额定电流10倍以上,冲击转矩也接近额定值的8倍。正是这个冲击转矩可能使发电机遭受机械损伤。这一冲击持续时间很短,其电流不会使发电机绕组过热损坏。冲击过程在100ms内结束,各参量基本达到稳态。稳态短路电流为额定值3倍以上,满足IEC的要求,足以使保护电路动作。因为存在定子电阻和转子电阻,短路后的稳态转矩并不为零。在1.5s时令发电机空载以模拟保护器跳闸。2.5s时再令发电机短路以模拟因故障未排除就合闸而使发电机再次短路,这亦相当于模拟发电机空载短路的情况。

表 1

情况 \ 负载 (标么值)	r	l
空 载	20.0	20.0
额定负载	0.8	0.6
短 路	0	0

2. 双机并联运行的仿真

双机并联运行仿真的关键在于对负载的处理。并联稳态运行时,负载上所加电压只能有一个,频率也只有一个,但由于双机间会存在相位差(尤其是在瞬态频率不完全一致时),

使两机的 $d-q$ 轴不重合, 因而需要进行坐标变换。设两机间相位差为 θ , 电压综合矢量 $\bar{u}$ 在两机上的投影分别是 u_{d1} 、 u_{q1} 、 u_{d2} 、 u_{q2} (图 3)。以 1# 机为基准, 即

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \tag{17}$$

将 u_{d2} 、 u_{q2} 投影到 d_1-q_1 轴上, 由图 3 得方程

$$u_{d2}' = u_{d2} \cos \theta + u_{q2} \sin \theta \tag{18}$$

$$u_{q2}' = -u_{d2} \sin \theta + u_{q2} \cos \theta \tag{19}$$

由此可得双机并联运行时负载部分的键图 (图 4)。

从结构定律可推导出 u_{d1} 、 u_{q1} 、 u_{d2} 、 u_{q2} , 与 i_{d1} 、 i_{d2} 、 i_{q1} 、 i_{q2} , θ 之间的关系式, 且 $\dot{\theta} = \omega_2 - \omega_1$ 。

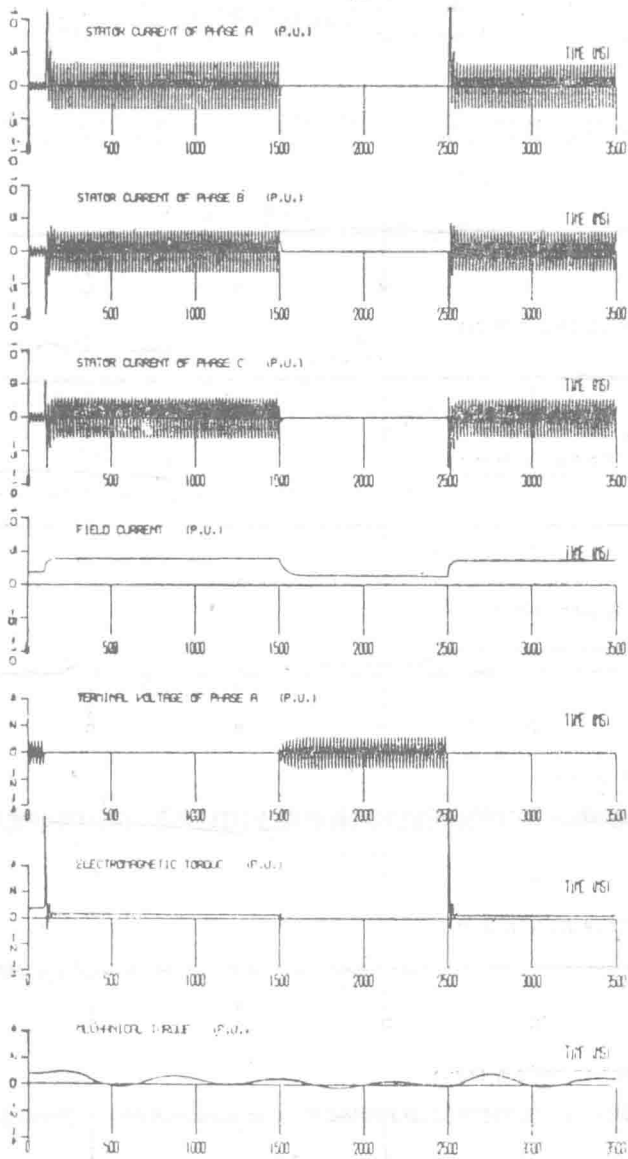


图 2 单机仿真的结果

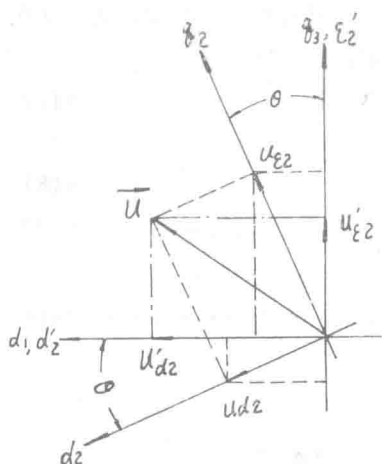


图3 双机坐标的投影关系

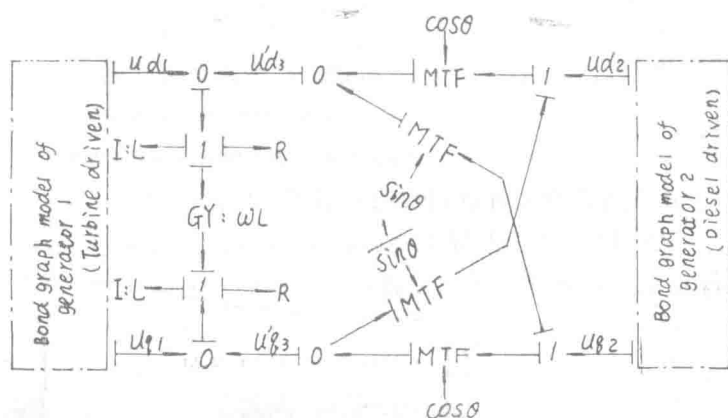


图4 并联时的负载键图

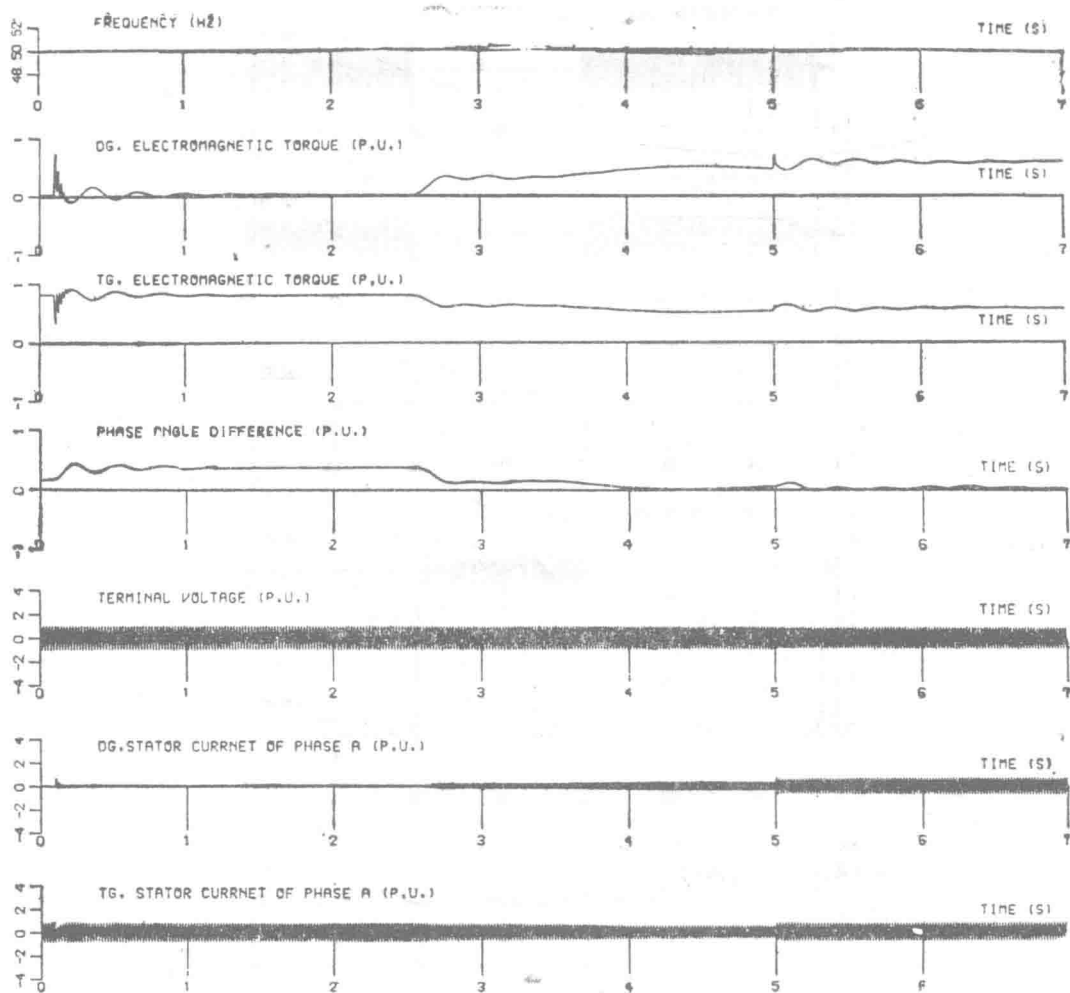


图5 双机仿真的结果

并联仿真的发电机原型一台仍为无锡电机厂的TFH—400/10型，另一台为上海电机厂的TFH—630/4型，两台发电机不仅功率不同，转速也各异。高转速的用来模拟透平发电机组，低转速的模拟柴油发电机组。仿真结果见图5。

发电机的初始状态设为透平发电机满载而柴油发电机空载。0.1s时，令柴油发电机和透平发电机并联。并联前两机间的电压差为3%额定值，相角差为0.174弧度，频率相同。在并联瞬间，由于电压差和相位差产生了环流，导致自整步转矩的出现。在该转矩的作用下，两机产生衰减振荡，在1.5s左右达到稳态，并联成功。在2.5s时，将柴油机“给定”增加，透平机“给定”减少，透平发电机向柴油发电机转移部分负荷。柴油机转矩增加使柴油发电机的输出电流增加，相应地透平机转矩减小，透平发电机输出电流也随着减小，负荷就是这样从一台发电机转移到另一台发电机的。在相位角差曲线上可以看到，随着两机分担负荷比例的改变，相位角差也随着变化，这就是发电机功角特性的体现。在5s时，将负荷由787.5KVA ($\cos\varphi=0.8$) 增加到1114KVA ($\cos\varphi=0.7$)，在图中的转矩曲线上可以看到，由于柴油机的惯性较小，虽然产生的冲击转矩很大，但很快就衰减下来了，而透平机的冲击由于其惯性较大而维持了较长的一段时间。

七、负荷最优分配的原则

船舶电站负荷的最优分配问题近来受到了普遍的重视^[5,6,7,8,9]。负荷最优分配的原则是充分利用主机排出的废气余热发电，尽量使TG输出为最大值，以调节ADG来适应负荷的改变。当ADG满负荷后还不能满足用电的要求则启动主柴油发电机(MDG)，当ADG的负荷在其低限值以下时，可以考虑辅锅炉（如果装备有的话）投入运行。根据这项原则，可将发电机组的运行情况分为六种模式：

- 1. 废气锅炉透平发电机组单独运行
- 2. 柴油发电机组单独运行
- 3. 并联运行中的柴油发电机下限运行
- 4. 并联运行中的透平发电机上限运行

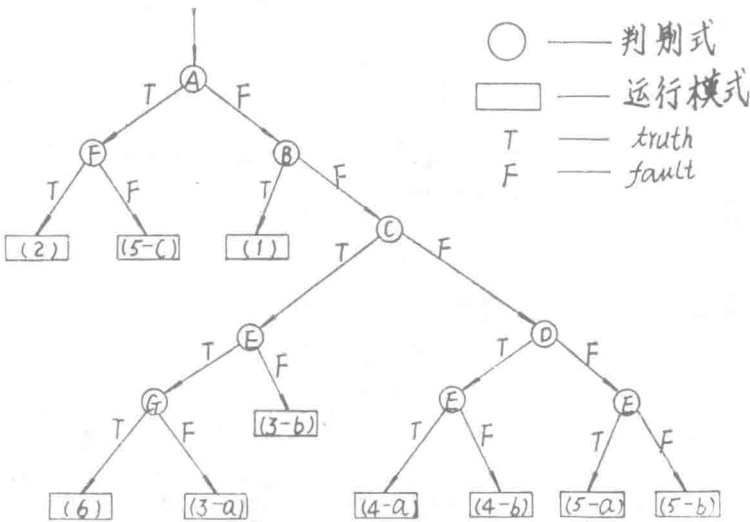


图6 图运行模式判别树

(a) TG 的蒸汽调节阀开度最大

(b) TG 的负荷达到额定值

5. 主柴油发电机替代辅柴油发电机运行

6. 辅锅炉投入运行

以上各种运行模式的转换, 都取决于阀门开度, 即废气中能量含量 (P_w) 和负荷 (P_L) 大小。将上述各模式归纳分类, 可得到一系列用以判别各种不同运行状态的判别式:

A、DG 单独运行的判别式

B、TG 单独运行的判别式

C、TG 与 ADG 并联运行模式 (3) 的判别式

D、TG 与 ADG 并联运行模式 (4) 的判别式

E、TG 与 DG 并联运行模式 (4-a) 的判别式

F、MDG 代替 ADG 运行的判别式

G、辅锅炉点火运行的判别式

以这些判别式为分支条件, 可构成一颗运行模式的判别树 (图 6), 用这颗判别树可使计算机的控制程序简化, 控制过程一目了然。

八、最优负荷分配的计算机仿真

作者利用文中阐述的发电机组数学模型在 M68000 微计算机上对部分控制模式作了仿真。仿真根据电站负荷量与废气能量的变化分为 5 组运行, 从而可观察到在不同负荷量和不同废气能量时控制指令的发出和执行结果。仿真中透平发电机的额定功率为 630KW, 柴油发电机的额定功率为 400KW。

1. 将负荷设定在 400KW, 以废气能量为输入变量做出的仿真曲线见图 7。在该图中

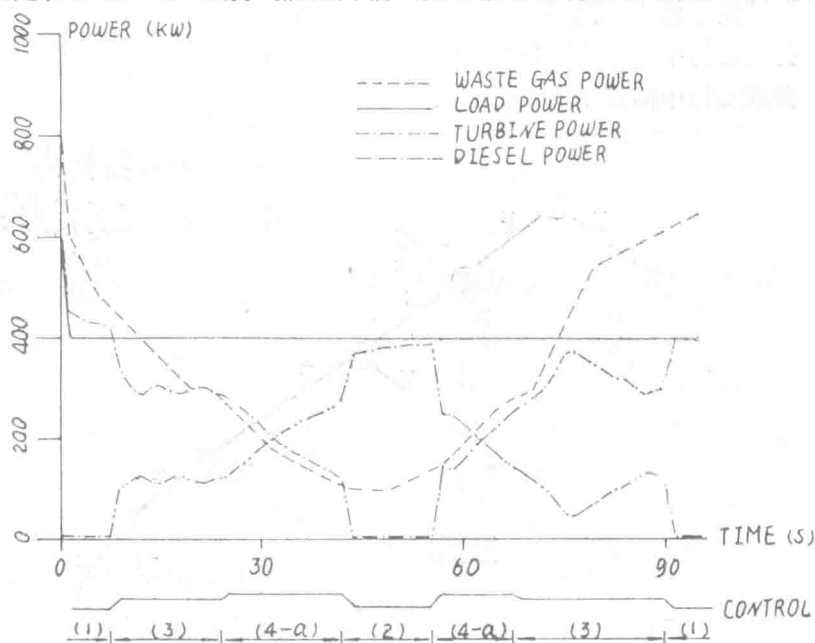


图 7 负荷量定为 400KW 的仿真曲线

可看到当废气能量下降到450KW时ADG自动并网以减轻TG的负担。ADG并网后，一直保持在低限运行状态分担负荷120KW。图中的 control 线指出，这时机组运行在模式 (3)。当废气能量继续下降时，TG 的输出受到供汽的限制，因而随着废气能量的降低而降低。为了补偿 TG 的缺额，ADG 的输出相应增加，这时控制系统运行在模式 (4-a)。在废气能量低于 TG 的低限后，控制系统转入运行模式 (2)，透平发电机脱离电网，由 ADG 单独供电。只是在废气能量回升到能使透平发电机稳定工作 (138KW) 时，控制模式才由 (2) 重新进入 (4-a)，TG 并入电网，并且承担着尽可能大的负荷。ADG 的输出随着废气能量的回升而减少，减到低限后控制器转为运行模式 (3)，保持柴油机的低限运行。废气能量上升到590KW以上后，废气的能量足以使 TG 单独稳定运行，控制器的运行模式转为 (1)，将 ADG 脱离电网，全船用电由 TG 独自承担。

2. 图8是将负载设定为240KW时的运行记录。该图更加清楚地表明了运行模式 (3) 保持柴油发电机低限运行的能力。

3. 考虑负载进一步降为 96KW 的情况 (图 9)。虽然在船舶的运行期间一般不会出现这么低的负荷量，但从中可以观察到 TG 和 ADG 间相互切换的过程。

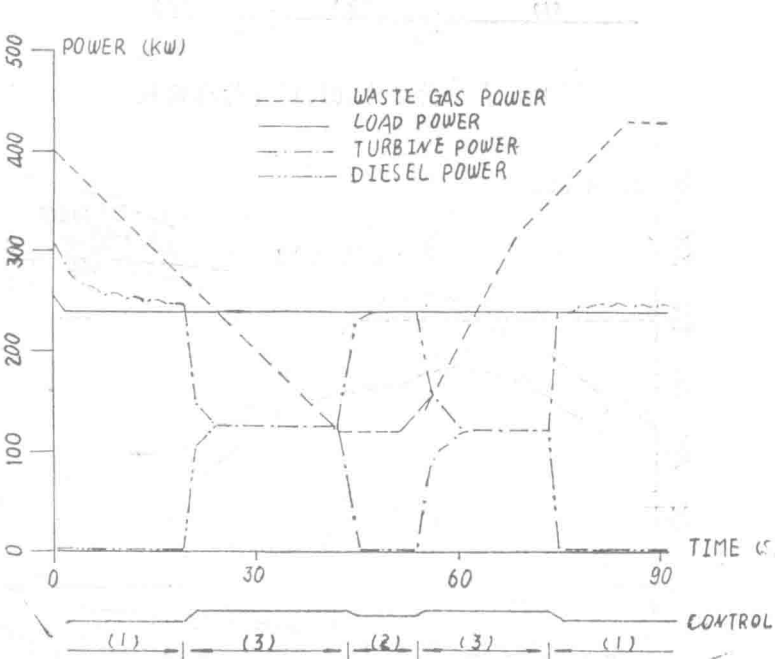


图 8 负荷量定为240KW的仿真曲线

4. 现在讨论废气能量恒定,负荷量作为输入变量的情况。图10设定废气能量为800KW,负荷量由480KW开始上升。当上升到560KW左右时,接近 TG 的额定输出。为了保证电站可靠运行,控制器转入运行模式 (3), ADG 并网,并保持低限运行。因为有 ADG 为后盾, TG 可以运行在满载。当负荷进一步上升,控制器转为运行模式 (4-b),保持 TG 的上限运行。在图中可以看到,由于 TG 的惯性较大,所以当负荷继续上升时,尽管有调节器调节, TG 还是在短时间内出现过载。同样在负荷下降时,虽然模式 (4-b) 调节 TG 维持最大负荷, TG 的输出还是低于最大值。当然这种超调现象持续的时间是很短的。

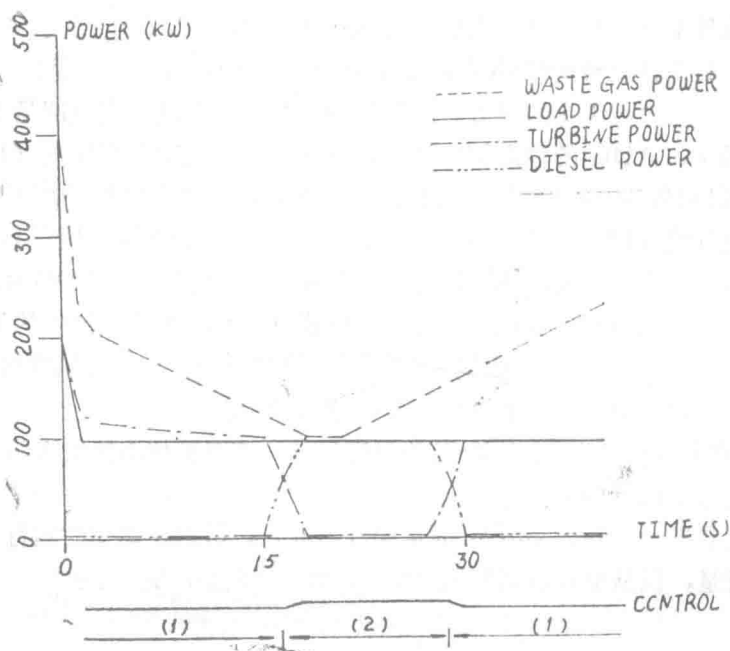


图9 负荷量定为96KW的仿真曲线

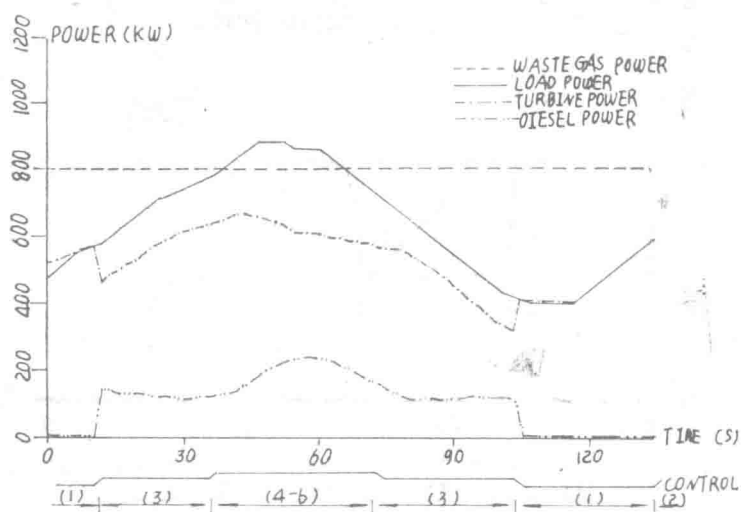


图10 废气能量定为800KW的仿真曲线

5. 图11是一组废气能量恒定在不能满足 TG 额定输出的 500KW 时的曲线。所以当负载上升到620KW 时, TG 的输出受到了输入废气能量的限制, 因而控制器由运行模式 (3) 转入到运行模式 (4-a)。

通过以上几种假设情况的运行, 已将从 (1) 到 (4) 这几种运行模式及它们之间的转换都做了模拟。从图中可以看出, 在涉及到的负荷和废气能量范围内, 所设计的控制器性能是令人满意的。进一步的细节请参阅[10]。

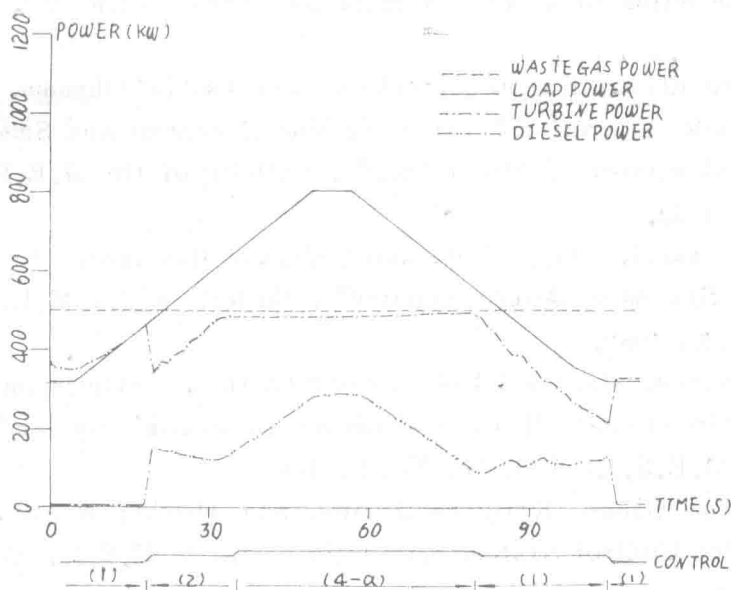


图11 废气能量定为500KW的仿真曲线

九、结 论

用键图建立的数学模型，因为是系统的有明确物理意义的状态方程，特别适用于计算机仿真。通过仿真可直接观察到发电机在不同运行条件下各参量的数值及变化范围。这对于计算电力网的某些参数以及设计发电机的控制系统有帮助的。

掌握好最优负荷分配原则，利用各种原动机的长处，避开它们的短处，将其运行状态进行归纳分类，就可使复杂的电站最优负荷分配流程得到简化，很容易在自动化船舶上得到实现。

参 考 文 献

- [1] Karnopp, D. C., and Rosenberg, R.C., "System Dynamics: An Unified Approach", Wiley and sons, 1975.
- [2] Sahm, D., "A Two—Axis, Bond Graph Model of The Dynamics of Synchronous Electrical Machines", Journal of The Franklin Institute, Vol. 308, No. 3, 1979.
- [3] Li Jieren, "Modelling of A Diesel Driven Generator System Using Bond Graph Method", 1984.
- [4] Robb, D.D., and Krause, P.C., "Dynamic Simulation of Generator Faults Using Combined abc and odq Variables", IEEE Trans., Vol. PAS-94, No. 6, 1975.

- [5] A Introduction to TAIYO'S Main Switchboard with Microcomputer, 1980.
- [6] Kunihiro Ehana, Katsumi yonekura, and Toshio Ohyama, "Analysis on Parallel Operation between Turbine Generator and Small Capacity Diesel Generator of Motor Ship", Bulletin of the M.E.S.J., Vol.10, No.2, 1982.
- [7] Hideki Takagi, Yutaka Irie, and Sadayuki Mastuura, "Power Management System by Microcomputer", Bulletin of the M.E.S.J., Vol. 10, No.2, 1982.
- [8] Akira Senoo, Masanori Itoh, Katsuhiko Hara, "Optimum Load Sharing Equipments for Turbo and Diesel Generating System", Bulletin of the M.E.S.J., Vol. 10, No.1, 1982.
- [9] Masuhiro Okano, Kyojiroo Saitoo, and Hitoshi Niigata, "Marine Generator Control System", Bulletin of the M.E.S.J., Vol.9., No. 2, 1982.
- [10] Jia X.L.and C.E.Yang, "Bond Graph Model and Simulation of Marine Synchronous Generators in Parallel Operation." Preprints, IFAC/IMACS International Symposium on Simulation of Control Systems, Austria, 1986.