



# PSD-BPA暂态稳定程序 用户手册

中国电力科学研究院

二〇〇五年九月

工作单位：中国电力科学研究院系统所

工作时间：1991年8月 - 2005年9月

工作人员：汤涌、卜广全、印永华、侯俊贤、陶向红

报告编写：汤涌、卜广全、侯俊贤

报告审核：卜广全

报告批准：印永华

# 目 录

再版前言.....	1
前 言.....	2
第一章 程序简介.....	4
1 算法和模型.....	4
2 卡片顺序及卡片注释.....	8
2.1 卡片顺序 .....	8
2.2 卡片注释 .....	10
3 稳定文件以及与潮流程程序的联接.....	11
4 输入格式说明.....	12
第二章 卡的说明.....	14
1 解法选择卡（SOL卡） .....	14
2 注释卡(COMMENT卡) .....	14
3 CASE卡 .....	15
4 故障操作卡（LS卡） .....	17
4.1 LS卡的说明.....	17
4.2 三相短路及线路开断卡（MDE = 1、2、3） .....	18
4.3 切机、切负荷操作（MDE = 4） .....	19
4.4 两端直流故障操作（MDE = 5） .....	21
4.5 多端直流线路操作和修改（MDE = 6） .....	22
4.6 发电机直流分量阻尼（故障阻尼）（MDE = 7） .....	23
4.7 快关阀门（MDE = 8） .....	24
4.8 复故障操作（MDE = 9） .....	26
4.9 暂态稳定器手动跳闸卡（MDE = 9） .....	28
4.10 静补输出冻结卡（MDE = 9） .....	28
4.11 失磁卡（MDE = 10） .....	29
4.12 两端直流功率修改卡（MDE = 5） .....	30
4.13 励磁参考电压修改卡（MDE = 11） .....	31
4.14 快速解列装置（ALAM）模拟卡.....	32
4.15 修改线路参数数据卡（LZ卡） .....	33
5 计算控制卡（FF卡） .....	34
6 计算控制补充卡（F1及F0卡） .....	38
6.1 计算控制继续卡（F1卡） .....	38
6.2 计算过程摇摆曲线控制卡（F0卡） .....	39

7 发电机卡 (MC、MF、MG、M、CASE、LN卡)	40
7.1 发电机模型	40
7.2 MC、MF卡	43
7.3 MG卡	45
7.4 M卡	47
7.5 CASE卡 (通用阻尼绕组卡)	48
7.6 LN卡	49
7.7 几点说明	50
8 励磁系统	51
8.1 1968年IEEE励磁系统命名法则 (E型)	51
8.2 1968年IEEE励磁系统卡 (E卡)	52
8.3 1981年IEEE励磁系统模型命名法则 (F型)	58
8.4 1981年IEEE励磁系统 (F卡)	60
8.5 新励磁系统模型卡 (子型 M—V)	71
8.6 励磁系统模型——FX型	80
9 电力系统稳定器 (PSS) 卡 (S卡)	81
9.1 PSS模型 —— SF、SP、SS、SG	81
9.2 PSS模型 —— SH	83
9.3 PSS模型 —— SH/SH+卡	84
9.4 PSS模型 —— SI/SI+卡	86
10 暂态稳定器卡 (ST卡)	88
11 原动机和调速器卡	89
11.1 调速器 - 原动机系统命名法则	89
11.2 调速器和原动机组合在一起的模型 (GG、GH、GC卡)	90
11.3 单独的液压调速器模型 (GS、GL、GW卡)	94
11.4 单独的电调型调速器模型 (GA、GI\GI+、GJ、GK卡)	98
11.5 单独的原动机模型 (TA、TB、TC、TD、TE、TF、TW)	105
11.6 汽轮机功频电调型(功率反馈)调速器模型	112
11.7 锅炉的主汽压力变化模型 (GX卡)	114
11.8 调速器频率参考信号修改卡(IGV/IGV+卡)	115
11.9 关于原动机调速器模型的几点说明	117
12 直流系统控制和调制模型	120
12.1 直流系统控制数据卡 (D卡)	121
12.2 两端直流系统简化模型 (DT卡)	123
12.3 两端直流换相失败卡 (DF卡)	126
12.4 直流调制卡 (DS卡)	126
12.5 多端直流系统模型 (D卡、DC卡、DV卡)	130
13 静止无功补偿器 (SVS) 卡 (V和W卡)	133
13.1 静止无功补偿器控制系统输入数据卡 (V卡)	133

13.2 静止无功补偿器辅助信号输入数据 (W卡)	135
13.3 关于静补补充说明	137
14 不对称故障序网卡 (CASE、XO、XR、LO、LM卡)	138
14.1 总的说明	138
14.2 变压器零序参数卡 (XO卡)	139
14.3 对地支路零序参数卡 (XR卡)	140
14.4 线路零序参数卡 (LO卡)	141
14.5 线路零序互感参数卡 (LM卡)	142
14.6 线路零序缺省参数卡 (LO-Z卡)	143
14.7 关于变压器和电抗器填法的讨论	144
15 负荷模型	146
15.1 代数模型 (LA、LB卡)	146
15.2 新静态负荷模型	147
15.3 感应马达模型 (MI卡)	148
15.4 新的感应马达卡 (ML、MJ、MK卡)	152
15.5 考虑配电网和无功补偿的感应马达模型	155
15.6 考虑配电网支路的综合负荷模型 (LE卡)	157
16 串补和可控串补	162
16.1 总的说明	162
16.2 固定串补数据卡 (RZ—A卡)	165
16.3 可控串补数据卡	167
17 自动减负荷卡	174
17.1 自动减负荷输入数据(按比例计)	174
17.2 自动减负荷继续卡(U+卡、按比例计)	175
17.3 自动减负荷输入数据(按MW计)	176
17.4 自动减负荷继续卡(U+卡、按MW计)	177
17.5 新自动减负荷卡	178
17.6 新自动减负荷继续卡 (U+卡)	179
18 电气制动	180
18.1 电气制动控制卡(RB卡)	180
18.2 电气制动提早切除(RC卡)	181
18.3 关于电气制动的说明	182
19 低压自动切除线路卡 (RA卡)	184
20 低压自动切除电抗器 (UL卡)	185
21 电容器、电抗器自动投切控制 (VC卡)	186
22 负荷持续增长卡 (LI卡)	187
23 负荷持续周期波动卡 (LF/LFT卡)	188
24 带负荷调压变压器控制卡 (TC卡)	190
25 低频负荷继电器CF-1	191

26 发电机低频保护.....	193
27 低频线路断开保护.....	194
28 串联电容间隙保护.....	195
29 阻抗继电器(失步闭锁继电器).....	196
30 省缺的距离继电器.....	198
30.1 继电器数据(RL卡).....	198
30.2 线路近似电阻电抗比数据(RLV卡).....	198
30.3 绕过省缺距离继电器数据(RLD卡).....	199
30.4 关于省缺距离继电器的说明 .....	200
31 功率摇摆继电器.....	202
31.1 功率摇摆继电器(类型1).....	202
31.2 功率摇摆继电器模型(类型2).....	204
31.3 功率摇摆继电器模型(类型3).....	206
32 远方继电器操作数据.....	208
33 输出部分说明.....	209
34 输出开始卡(90卡).....	210
35 输出主控制卡(MH卡) .....	211
36 母线输出.....	213
36.1 母线输出控制卡(BH卡) .....	213
36.2 母线输出卡(B卡) .....	214
36.3 最低暂态电压输出卡(BV/BV+卡) .....	215
37 发电机输出.....	217
37.1 发电机输出控制卡(GH) .....	217
37.2 发电机输出控制继续卡(GHC卡) .....	218
37.3 发电机输出卡(G卡).....	219
38 线路输出.....	220
38.1 线路输出控制卡(LH卡) .....	220
38.2 线路输出卡(L卡) .....	221
38.3 线路输出继续卡(LC卡).....	222
39 直流输出.....	223
39.1 直流输出控制卡(DH卡) .....	223
39.2 直流输出卡(D卡).....	223
40 串补输出.....	224
40.1 串补输出控制卡(RH卡) .....	224
40.2 串补输出卡(R卡) .....	225
41 曲线衰减系数、振荡频率和阻尼比的输出.....	226
42 附加作图卡(MV卡) .....	227
43 发电机变量差值作图卡 (MV卡) .....	229
44 输出结束卡(99卡).....	230

---

45 指定分区内寻找机组最大摇摆角卡(OGM卡).....	231
46 输出结果总结卡(SUBEGIN-SUEND系列卡).....	232
<b>参考文献.....</b>	<b>236</b>
<b>附录A 应用实例.....</b>	<b>237</b>
<b>附录B 关于稳定曲线的说明.....</b>	<b>251</b>
<b>附录C DEBUG卡.....</b>	<b>252</b>

## 再版前言

以PSD-BPA潮流及暂态稳定及人机界面程序为主的Windows 9X/NT/2000/XP版系统所电力系统分析软件包自从1997年底推出以来，在电力系统规划设计、调度运行及教学科研部门得到了广泛应用。根据用户的意见和要求，过去几年及现在一直在不断地对有关程序进行不断完善、更新和改造，将来也将继续努力最大限度地满足用户的要求。

本手册是在原有程序用户手册《BPA暂态稳定程序用户手册（中国版3.0）》的基础上经修正、补充部分内容完成的。本手册对应的程序为中国版BPA暂态稳定程序（3.07版）。3.07版程序比3.0版程序增加的主要模型和功能有：

- (1) 增加了一组电液调节系统、液压调节系统和主汽压力变化模型；
- (2) 增加了计算发电机功角和线路有功功率曲线的振荡频率、衰减因子的功能；
- (3) 增加了为单个发电机设置参考机的功能；
- (4) 增加了选择励磁模型FU和FV中PSS信号输入位置的功能；
- (5) 增加了指定PSS卡中部分参数的基准容量的功能；
- (6) 增加了低压切除线路数据功能(RA卡)；
- (7) 修改了切机数据卡，其中增加了切除马达的功能；
- (8) 增加了输出马达部分初始化数据的功能；
- (9) 增加了输出低压减载详细信息的功能；
- (10) 增加了含有配电网支路的综合负荷模型；
- (11) 增加了调速器参考频率修改卡IGV卡；
- (12) 完善了负荷持续周期波动卡LF卡，增加LFT卡；
- (13) 变压器零序数据卡XO卡中增加了零序电阻；
- (14) 线路参数修改卡LZ卡；

由于时间仓促，难免有误，欢迎指正，以方便其他用户。

地址：北京清河小营东路15号  
中国电力科学研究院系统所  
邮编：100085  
联系人：侯俊贤  
电话：010-62913201-2341  
传真：010-82412340  
电子邮件：houjx@epri.ac.cn



# 前言

由能源部电力科学研究院引进、消化、吸收、开发而成的中国版BPA程序从1984年开始在我国推广应用以来，已在我国电力系统规划设计、调度运行、试验研究各部门得到了广泛的应用，成为我国电力系统分析计算的重要工具之一。

随着电力系统数学模型的发展和程序应用实际经验的积累，BPA程序得到了不断的完善和开发，使程序在国内外都得到了新的发展。

现在我们以美国 BPA 的 1990 年版程序为基础，结合我们近几年来对 BPA 程序的开发成果，融进了适合我国电力系统分析计算要求的新功能，形成了中国版 2.0BPA 程序。

程序的新功能主要有以下几点：

## 1. 增加了解网方法

除已有三角分解法求解网络方程外，新程序又增加了采用牛顿法解网络方程的方法，可任意指定其中之一进行计算。

## 2. 发电机模型的进一步完善

新程序考虑了频率对发电机定子方程和转子方程的影响，可按模拟精度的要求，指定与频率相关的方程式。

## 3. 新型励磁模型的增加

在原有的 9 种励磁模型上又增加了 11 种 1981 年 IEEE 提出的新励磁模型。

另外有 10 种励磁模型是中国电机工程学会励磁工作组提出的，可模拟多种类型的直流型励磁机、交流型励磁机以及静态型励磁机。

## 4. 直流模型的改进

新程序的两端直流模型以及相应程序都得到了较大的改进，完成了多端直流的模拟功能。

## 5. 直流系统 $\gamma$ 调制和定电压控制

新程序在逆变侧增加了  $\gamma$  调制功能，通过  $\gamma$  调制，可改善交直流系统的无功特性和电压稳定性，并可实现直流系统的定电压控制。

## 6. 自动装置模型的完善和增加

程序中的自动装置模型得到了进一步的完善，并增加了一些新的自动装置模型。

## 7. 低电压终止计算

当系统某节点电压在一定时间内持续低于0.4pu时，则停止计算。也可按要求去掉此项限制。

## 8. 摇摆曲线输出

程序计算过程中，除在屏幕上打印最大摇摆角外，还给出对应的两台发电机名。同时屏幕上打印的曲线也可显示每一时间步所有节点对应的最低节点电压及最大频差等构成的曲线，使计算过程更加明了。

## 9. 不设虚卡

新程序去掉了只有1、2、3型短路故障可在零秒发生的限制，其它类型的故障操作也都可作为第一张卡填写，即可不设虚卡。另外，故障操作卡总数从40张增加到100张，且可不按时间顺序填写。

## 10. 输出功能增加

新程序可在输出文件中列出频率最低、最高母线，电压最低、最高母线，以及最大频率偏差发电机、最高励磁电压发电机、最大PSS输出偏差发电机、最大功角差发电机各20个，给出输出变量的最大值和最小值，并可以输出母线负荷等。还可以按时间顺序输出母线和发电机变量，发电机功角按大小顺序排列输出等功能。

本手册是在原有程序使用说明的基础上总结了新版本程序的功能和特点，经修改、更新而完成的。由于新版本程序刚完成不久，实践经验不足，手册中难免有不足之处，欢迎广大用户批评指正。

# 第一章 程序简介

## 1 算法和模型

BPA稳定程序是用于分析电力系统在稳态下受到各种干扰时的系统动态行为之有力工具。

程序采用的基本解法是：所有微分方程线性化后用隐式梯形积分法求解；网络方程采用导纳阵三角分解后迭代求解。

下图是BPA程序总框图，稳定程序分成求解和输出两部分，求解部分生成两个求解文件，以保存求解过程中所有母线的输出信息和复故障计算信息。输出部分利用求解文件、潮流库文件及稳定输出文件进行输出。这种结构允许用户运行求解部分并保存求解文件，然后不用重新求解而能够任意地、有选择地进行输出。

BPA稳定程序是与BPA潮流程序结合起来运行的，图1为BPA程序总框图，说明了潮流程序与稳定程序间的联系。

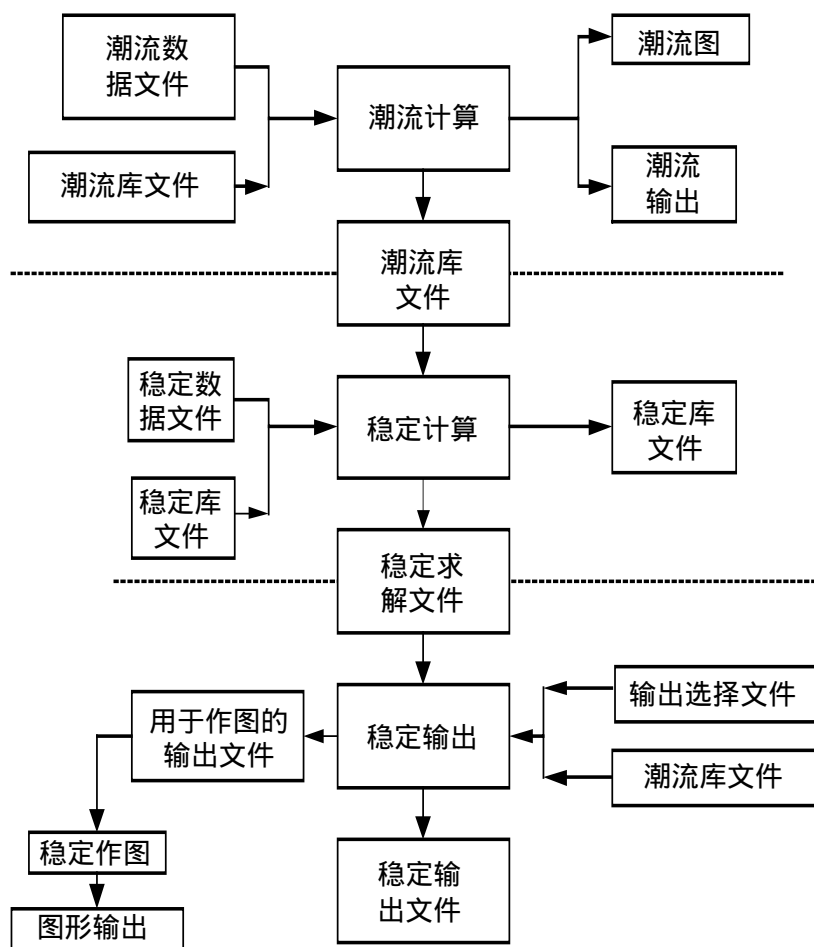


图1 BPA程序总框图

稳定程序运行变步长，在最后一次操作过后一定时间，可加大步长，以缩短计算时间。应该说明的是计算精度与步长的选取有关。在接近稳定极限时，建议采用小步长进行计算。

稳定程序有以下模型：

(1) 发电机模型：

- a. 负的负荷模型
- b. 经典模型，即  $E'$  恒定模型
- c. 计及原动机及负荷阻尼的经典模型
- d. 计及磁场磁通变化及饱和作用的凸极机模型
- e. 计及磁场磁通变化及饱和作用的隐极机模型
- f. 在q轴上有二个铁芯回路、d轴上有一个铁芯回路的双轴模型

(2) 励磁系统模型

有二十种IEEE提出的励磁系统模型[5][6]和十种中国电机工程学会励磁工作组提出的模型：

IEEE的类型包括IEEE1968、1981提出的励磁系统模型，其中有旋转直流电机励磁系统、无刷励磁系统、旋转交流励磁系统、有直流整流子励磁机的励磁系统、由交流发电机供电的整流励磁系统等。

中国电机工程学会励磁工作组提出的模型主要包括旋转励磁系统、自并励励磁系统等。

(3) 电力系统稳定器模型

有六种模型，可分别以滑差、频率、电机加速功率、电磁功率作为调节信号，以及一个暂态稳定器模型，此外还有三峡的PSS模型。

(4) 调速器、原动机综合模型

有三种调速器、原动机综合模型[7]：

- a. 通用调速器、原动机模型
- b. 水轮机调速器、原动机模型
- c. 双轴交叉复式汽轮调速器、原动机模型

(5) 单独的调速器模型

有二种模型[7]：

- a. 汽轮机调速器模型
- b. 水轮机调速器模型

(6) 原动机模型

有七种原动机模型[7]，包括无再热器、串级复式单再热器、串级复式双再热器、交叉复式双再热器及水轮机模型等。

## (7) 负荷模型

a. 代数模型

b. 感应马达模型

## (8) 静补及其控制装置

## (9) 各种稳定措施及其控制回路

包括切机、切负荷、电气制动及其控制回路、快关阀门等。

## (10) 两端直流及其调节系统模型

a. 可按定功率、定电流来调节

b. 逆变侧定电压控制及调制

c. 模拟了电压、电流相关控制

d. 模拟了电流余裕控制单元

e. 可考虑交流系统故障对直流系统的影响

f. 可考虑直流系统故障对交流系统的影响

g. 直流故障可模拟直流输电线短路、阀闭锁

h. 可模拟直流功率定值变动

i. 可模拟直流电流定值变动

j. 可模拟直流功率反转

k. 可模拟用以消除低频振动的小方式调制

l. 可模拟改善暂态稳定用的大方式调制及双侧、单侧频率调制

m. 可模拟直流快速增带负荷

## (11) 两端直流系统简化模型

简化模型可以考虑直流调制和余裕开关控制，但不能模拟直流功率反转和直流线路故障。

## (12) 多端直流系统模型[9]

a. 直流网络的精确模拟

b. 控制系统的详细模拟

c. 直流故障的模拟

d. 直流线路零电流跳闸的模拟

e. 直流换流器闭锁和再起动

## (13) 模拟了多种继电保护自动装置

在暂态稳定程序中考虑了继电保护自动装置，把暂态过程与自动装置结合起来，这对正确研究事故过程、自动装置整体配合的原则、自动装置的定值，甚至自动装置的特性都有一定价值。目前程序中已有：距离保护、阻抗继电器、失步继电器、发电

机及线路的低周保护、低单元保护、串联电容间隙保护、功率摇摆继电器、低压切电抗器等。

(14) 可以模拟各种对称及不对称故障

如：

- a．单相短路
- b．二相短路
- c．二相短路接地
- d．单相开关跳开
- e．两相开关跳开
- f．单相电容击穿
- g．两相电容击穿
- h．三相短路
- I．三相开断

(15) 可模拟各种复故障

故障重数可按需要任意增减（目前程序为二十重故障），可以模拟单相重合闸，三相重合闸等多种过程。

(16) 可模拟发电机失磁故障：

- a．发电机励磁绕组直接短路失磁
- b．发电机励磁绕组经灭磁电阻短路失磁
- c．发电机励磁绕组开路失磁
- d．发电机部分失磁
- e．恢复励磁

(17) 串补和可控串补模型

## 2 卡片顺序及卡片注释

### 2.1 卡片顺序

一般情况下卡片可按下列顺序填写：

- 1) SOL卡 (可选)
- 2) DEBUG卡 (可选)
- 3) CASE卡 (必须)
- 4) COMMENT卡 (可选)
- 5) LS卡 (必须)
- 6) AL卡 (可选)
- 7) RZ卡 (无串补则无此卡)
- 8) M卡 (可选)
- 9) MC、MF、MG卡 (必须)
- 10) MI、MB、ML、MJ、MK卡 (无感应马达则无此卡)
- 11) EA - EK、FA - FX卡 (不计调压器则无此卡)
- 12) SS、SF、SP、SG、SH、ST、SI卡 (不计PSS则无此卡)
- 13) GG、GH、GC、GS、GW、GI、GJ卡等 (不计调速器则无此卡)
- 14) TA - TF、TW卡 (不计原动机则无此卡)
- 15) V、W卡 (无静补则无此卡)
- 16) XO卡 (无不对称故障则无此卡)
- 17) LO卡 (无不对称故障则无此卡)
- 18) LM卡 (无线路互感则无此卡)
- 19) XR卡 (无不对称故障则无此卡)
- 20) UF、UV、UD、UL卡 (无自动减负荷、切电抗器则无此卡)
- 21) VC卡 (无电容器、电抗器自动投切则无此卡)
- 22) TC卡 (无带负荷调压变压器控制卡则无此卡)
- 23) LI卡 (无负荷持续增长卡则无此卡)
- 24) LF卡 (无负荷持续波动卡则无此卡)
- 25) R卡 (无继电保护自动装置则无此卡)
- 26) D、DT、DF卡 (无直流则无此卡)
- 27) DC卡 (无多端直流则无此卡)
- 28) DV卡 (无多端直流则无此卡)
- 29) DS卡 (无直流调制则无此卡)
- 30) LN卡 (无直流及表示为负的负荷之发电机则无此卡)
- 31) LA、LB卡 (必须)
- 32) F1卡 (可选)
- 33) F0卡 (可选)
- 34) FF卡 (必须)
- 35) 90卡 (必须)
- 36) MH卡 (必须)
- 37) BH卡 (无母线输出则无此卡)
- 38) B卡 (无母线输出则无此卡)

39) BV/BV+/BV-	( 不输出最低暂态电压则无此卡 )
40) GH卡	( 无发电机输出则无此卡 )
41) GHC卡	( 可选 )
42) G卡	( 无发电机输出则无此卡 )
43) LH卡	( 无线路输出则无此卡 )
44) L卡	( 无线路输出则无此卡 )
45) LC卡	( 无线路输出则无此卡 )
46) DH卡	( 无直流输出则无此卡 )
47) D卡	( 无直流输出则无此卡 )
48) RH卡	( 无串补输出则无此卡 )
49) R卡	( 无串补输出则无此卡 )
50) MV卡	( 可选 )
51) 99卡	( 必须 )
52) OGM卡	( 可选 )
53) SU系列卡	( 不输出稳定结果总结部分则无此部分数据卡 )

说明：

- 1) CASE卡、FF卡、90卡、MH、99卡次序不可错。
- 2) 数据前半部分（从开始到FF卡为止）为稳定数据，后半部（90至99卡）为输出数据，两大部分次序不可错。
- 3) MC、MF、MG、EA、SS、GH、TA等发电机相关数据卡内部次序可交叉，即同一机组的电机、励磁、PSS、调速器、原动机卡放在一起。
- 4) 马达和静止无功补偿系统数据卡应紧邻发电机相关数据卡。
- 5) LS卡、LA、LB卡位置不可错。
- 6) AL、LI及LF卡可在计算控制卡（FF卡）之前任意放置。
- 7) 当程序打出错误信息：MISPLACED DATA CARD OR COLUMN 1% 2 NOT RECOGNIZED BY PROGRAM. 时，若卡片类型未填错，则应调整卡片顺序重新计算。
- 8) 稳定计算数据卡片应按一定的顺序排列，否则程序将给出信息并中止计算，常用卡片的排列顺序如下：

CASE卡	}	数据文件*.SWI
计算工况注释卡		
LS故障操作卡		
发电机卡（包括发电机调节系统及异步马达，如有）		
零序卡		
直流卡		
负荷特性卡		
FF计算控制卡		
输出卡		

上述几大类卡片顺序是固定的，应遵循。同类卡片内部可以任意放置，如发电机卡片类，可以按区域、按节点、按卡片类型等放置均可，零序卡片类也是如此，LO、XO、XR及LM等卡片可以集中也可以交叉放置卡片。



## 2.2 卡片注释


第一列如为“.”，则该行为“注释”行，该行内容不参加计算和输出，可用于数据修改的注释或备份。

### 3 稳定文件以及与潮流程序的联接

#### (1) 输入、输出相关文件

*.bse	潮流计算二进制结果文件。
*.swi	稳定计算数据文件
*.out	稳定计算结果文件
*.cur	供稳定曲线作图程序使用的二进制结果文件
*.sol	计算过程中生成的二进制求解文件。该文件占磁盘空间有可能较大。该文件删除后将不能重新输出
*.opt	计算过程中生成的二进制文件，用于零序、切机等
*.swx	辅助输出文件
用户自定义文件	用户在CASE卡中定义的二进制稳定数据文件，该文件可以再CASE卡中形成和再调入，文件名由用户自己定义
*.ama	中间文件（正常计算结束后将删除）
*.fmi	中间文件（正常计算结束后将删除）
*.vmi	中间文件（正常计算结束后将删除）
swing.dis	储存一个稳定作业计算时屏幕显示的信息。

#### (2) 稳定程序执行

TextEdit程序是一个集数据编辑、程序运算及查看计算结果等为一体的计算平台。应用TextEdit平台进行稳定计算时，注意应用BSE按钮先选定\*.BSE文件，若不作选择，则自动利用上次使用的\*.BSE文件。选择，就可以直接运行稳定程序。

在Windows 9X/2000/NT/XP操作系统DOS环境下，也可以运行稳定程序，但需要输入潮流库文件名（\*.BSE）及稳定数据文件名。



[illegible][illegible][illegible]

(3) 浮点数：标识为“Fm.n”，其中的m为输入数据占有的最大列数，n为小数点后面的位数。

例如：

如果输入‘123456’，由于没有小数点，则程序缺省处理为1.23456；如果输入‘10’，程序读入后缺省处理，前面自动补零，小数点后截取5位，该数变成了0.00010。

如果填写的浮点数没有占满指定的列，如对于格式F6.5输入‘10.’空3列，则忽略空格，与(2)中对整数中空格的处理方法一致。

- 1) 应按要求格式在指定列内规范化填写；
- 2) 对于浮点数，最好填写小数点，这样即可以减少出错又可以增加可读性；如果不填写小数点，程序将缺省处理，最好满格填写。

## 1 解法选择卡 (SOL卡)

[illegible]

列

- |   |        |     |                   |
|---|--------|-----|-------------------|
| 6 | LCOMP  | = 1 | 补偿线路不置于导纳阵底部      |
|   |        | = 2 | 补偿线路置于导纳阵底部 (省缺)  |
| 9 | IFLISW | = 1 | 故障节点置于导纳阵底部       |
|   |        | = 2 | 故障节点不置于导纳阵底部 (省缺) |

## 2 注释卡(COMMENT卡)

[illegible]

列

- 1 - 2 在第1列上为“C”字母，第2列为空白。  
3 - 80 为可填写注释内容。

[illegible]

#### 1 - 4 CASE：卡的标记

6 - 15 PFCASE：潮流方式名

16 - 17    ITSKP :  $ITSKP \geq 2$  , 程序将每隔ITSKP步写一次求解文件 ; 否则每步都写求解文件

20 NOPRNT : 为1 时打印全部输入数据

22 DSW：输出文件摇摆曲线显示开关，0 - 不输出，1 - 输出

23 IWSCC : IWSCC>0, 程序在自动减负荷卡中将采用新减负荷卡和按MW计之减负荷卡。否则采用普通按标么值计和按MW计之减负荷卡。

24 ZSW := 0或空格, 缺省值, 对零序卡的节点及支路名正确与否进行检查  
= 2, 采用老版本格式, 不进行检查  
= 3, 重复的卡片超过三个时进行检查  
= 其它非零数, 检查节点名及支路名是否重复

45 - 49 X2FAC：不对称故障时发电机X2/X'd之比，缺省值为0.65

50 - 54 XFACT: X"d/X'd之比, 当考虑阻尼绕组时才需填

55 - 59 TDODPS : 隐极机的T<sub>do</sub> , 以秒计。典型值为0.03秒

60 - 64 TQODPS：隐极机的 $T''_{q0}$ ，以秒计。典型值为0.05秒

65 - 69 TDODPH：凸极水轮机T"do，以秒计。典型值为0.04秒

70 - 74 TQODPH: 凸极水轮机T"qo, 以秒计。典型值为0.3秒

75 - 80 CFACL2: 负序负荷导纳标么值 $Y_2^* = 0.19 + jCFACL2$ , 省缺值为0.36

本卡的位置除了DEBUG和SQL卡外，应为第一张卡。

本卡的作用：

1) 检查所用的潮流结果中的潮流方式名是否与稳定计算中所要求的潮流方式一致。

在潮流计算的命令文件的一级控制语句中有：

( POWERFOLW , CASEID = 2DC , PROJECT = NORTH )

2DC即是潮流方式名。在稳定数据的CASE卡中之PFCASE（即潮流方式名）亦必须填2DC。只有此种情况下稳定计算可以正常开始（注意空格也是字符，应对齐）。

- 2) 控制是否打印出全部输入数据，当NOPRNT未填时（=0），仅打出LS、FF卡，当NOPRNT = 1时，打出全部输入数据。
- 3) 当计算的时间较长并且步长较小时，数据点较多，需要存储大量的数据，这可能会导致程序输出速度减慢、输出数组越界等问题，因此可以忽略部分数据点。一般当数据点数超过2000-3000左右个点时，在本卡中的16-17列填写一个非零数，则可以经过几步存储一个点，此处对计算过程没有任何影响。
- 4) 本卡在须要详细模拟双轴阻尼绕组时可填入通用的阻尼绕组参数，此参数将会对每一个MF类型的发电机适用。典型参数为：

XFACT = 0.65

TDODPS = 0.03

TQODPS = 0.05

TDODPS = 0.04

TQODPS = 0.06

此值须用户自己填入。

在XFACT不为0时，本卡中填写的上述次暂态参数才是有效的。

当F1卡第26列不为0时，无论是否填写了M卡都将强制系统所有的发电机（经典模型的发电机除外）按照本卡中填写的次暂态参数处理；否则，只有没有填写M卡的发电机的次暂态参数才按照本卡中的参数处理。

- 5) 在计算不对称故障时，发电机负序电抗及负荷负序导纳由本卡决定。X2FAC及CFACL2均为与正序量的比值，对所有负荷及发电机适用。如不填，则按照程序缺省值自动计算出其值。

缺省值为：

X<sub>2</sub>FAC = 0.65

CFACL<sub>2</sub> = 0.36

## 4 故障操作卡（LS卡）

### 4.1 LS 卡的说明

LS卡用于指定各种网络故障和操作。

LS卡可按任意顺序排列，程序自动把它们转换成按时间顺序排列。

如果在稳定计算过程中，用LS卡修改了线路阻抗，那么就必须用输出卡中的线路阻抗修改卡（LM卡），才能正确地输出线路变量。

LS卡的类型有：

- |         |                    |
|---------|--------------------|
| MDE = 1 | 线路出口三相短路           |
| = 2     | 母线三相短路             |
| = 3     | 线路中间三相短路           |
| = 4     | 切机、切负荷             |
| = 5     | 直流操作及两端直流功率修改      |
| = 6     | 多端直流操作             |
| = 7     | 发电机机械功率阻尼          |
| = 8     | 快速关闭汽门             |
| = 9     | 复故障及触发暂态稳定器，冻结静补输出 |
| = 10    | 失磁                 |
| = 11    | 励磁参考电压修改           |



列

1 - 2	LS	卡的标记
4	SIGN	填负值表示线路BUSA侧开关断开，不填表示闭合
5 - 12	BUS A	线路A侧母线名
13 - 16	B1	电压基准
18	SIGN	填负值表示线路BUSB侧开关断开，不填表示闭合
19 - 26	BUS B	线路B侧母线名
27 - 30	B2	电压基准
32	PAR	在有平行支路时的平行支路码
36 - 37	MDE = 1	BUS A线路开关后三相短路
	= 2	BUS A母线三相短路，即线路断开后此故障不消失
	= 3	BUS A，BUS B之间线路上一点发生三相故障，故障地点由PERCNT百分数确定
		MDE为负值表示故障消失
40 - 45	CYCLE	发生故障时刻，以周波计
46 - 51	Fault R、X	金属性故障不用填，非金属性故障则须填阻抗标么值
58 - 63	PERCNT	MDE = 3时，故障点到BUSA的距离占线路全长的百分数。如在线路中间故障，PERCNT=50。

注：

- 1) 采用本卡的形式填写三相故障时，只允许发生一次三相故障。如果有多个三相短路故障，应填写复故障卡。
- 2) 在该三相短路故障发生卡的故障发生时间的同时有其它故障或者操作，如切机操作，该卡应填写在三相故障发生卡后面。
- 3) 该三相故障卡的发生时刻之前如果有其它操作，如切机操作，不能采用本卡填写三相故障，应填写复故障卡。

列

1 - 2      LS

5 - 12	BUS	母线名
--------	-----	-----

13 - 16	B1	母线电压等级
---------	----	--------

17	ID	发电机识别码，在潮流中同一母线上对应于稳定数据可以连接多台电机，每机的识别码则应不同（详见发电机MF卡）
----	----	--

32 MOTOR 填写字符M，表示切除马达；否则，表示切除发电机。

34 ILE 如果要切除配电网支路的静态负荷，填写LE卡对应的支路号

37 MDE 4

40 - 45 CYCLE 操作时间 (周波)

46 - 50 PP 恒定有功功率负荷的改变量MW

51 - 55 OP 恒定无功功率负荷的改变量 $M_{var}$ 

56 - 60 PC 恒定电流负荷的改变量MW

61 - 65 OC 恒定电流负荷的改变量Mvar

66 - 70 PZ 恒定阻抗负荷的改变量MW

71 - 75 OZ 恒定阻抗负荷的改变量Mvar

76 - 80	PG	发电机有功功率减少量MW
76	1	0.00
77	1	0.00
78	1	0.00
79	1	0.00
80	1	0.00

注：

- 1) 切除静态负荷值需要填写PP、QP、PC、QC、PZ、QZ，需要与静态负荷特性数据卡LA\LB卡相配合。
- 2) 如果有功负荷大于0，切除对应的负荷时应填写负值，如果填写正值，表示增加负荷；如果无功负荷大于0（感性），切除对应的负荷时也应填写负值，如果填写正值，表示增加负荷。
- 3) 如果有功负荷小于0，切除对应的负荷时应填写正值，如果填写负值，表示增加负荷；如果无功负荷小于0（容性），切除对应的负荷时也应填写正值，如果填写负值，表示增加负荷。
- 4) 切除负荷时，对于恒功率和恒电流负荷，如果填写的切除量大于实际负荷值，程序会给出警告信息，并且只切除对应的全部负荷值，即此部分负荷变为0，不会过切；恒阻抗负荷除外。增加负荷时，没有上述限制也没有警告信息。
- 5) 76-80列填写的切除的功率值无论是正值还是负值，都表示切除发电机功率或马达功率，不能增加发电机或马达功率。

- 6) 当PG数值 90000 (76列填9, 其余位置填0) 时, 该发电机全切。如果PG大于马达或发电机的最大功率, 也切除整台发电机或马达。
- 7) 切除马达功率时, 必须在32列填写字母M (大小写均可); 切除发电机功率时, 不能在32列填写M。
- 8) 对于考虑配电网支路的综合负荷模型, 如果要切除配电网支路部分的静态负荷, 必须在34列填写配电网支路的顺序号 (LE卡); 切除与配电网支路相连的马达或发电机时不必填写。

列

32 - 33 LINE 直流故障类型

58 - 63      PERCNT    LINE = 3时故障点距BUS A的百分数。

列

1 - 2 LS

*4	SIGN	负号表示打开开关
----	------	----------

5 - 12      BUS A      母线名或支路一端母线名

13 - 16	KV1	BUS A的基准电压
---------	-----	------------

\*18 同第4列

\*19 - 26      BUS B      支路另一端母线名

*27 - 30	KV2	BUS B的基准电压
----------	-----	------------

\*\*32      SIGN      空格时，按下一列定义动作，负号表示取消下一列所定义的内容（负号不可用于IOPT = 5、6、7）

33 IOPT 动作类型

= 1 直流母线BUS A故障

=2 故障为直流支路上自BUS A起占比例PERCNT%

= 3 母线BUS A的整流器全部阻断

= 4 阻断母线BUS A指定的整流器

=5 开断或重合直流线路 (BUS A - BUS B)

# = 6 BUS A某阀的电流指定值改变

# = 7    BUS A某阀的功率指定值改变

37 MDE = 6 (一定如此)

40 - 45 CYCLE 操作的发生时刻 (周)

46 - 51      BLOCK ANGLE    对IOPT = 3、4的阻断角（度），省缺值为135度

52 - 57      DPIORD    对IOPT = 6, 电流指定值改变, 按kA计。负值时, 按电流指定值减值。53列为9时, 表示百分之百的电流指定值改变。IOPT = 7, 功率指定值改变, 按MW计, 其余同上。

58 - 63 PERCNT 自BUS A算起的线路总长的百分数，IOPT = 2时，必须  
0≤PERCNT≤100

# # 64 - 75      ARDC、ELDC      开断后重合时的直流线路电阻 ( ) 和电感 (mH)。为零时, 用原线路数据。

注：

\* 当IOPT = 1、3、4、6和7时，此处忽略。

\*\* 当IOPT = 5、6、7，此处可忽略，打开一支路时，4列和18列应为负号。

DPIORD是累积处理的，而不是每一时刻均初始化。

# 此处不允许有逆变侧电流余裕控制。阀的控制模式（电流/功率顺序控制）必须与动作类型匹配。

## 此特性可模拟引入一条新的直流支路。潮流中，BUS A和BUS B之间的支路取很大的R和L值，在稳定研究中，此支路在一定的时刻开断并以合适的数据重合。

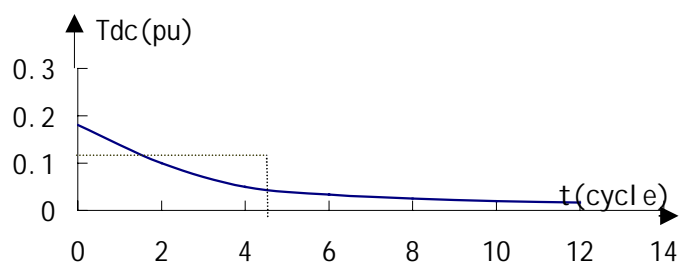
[illegible]

1 - 2	LS	
5 - 12	BUS A	发电机母线名
13 - 16	B1	发电机基准电压
17	ID	发电机识别码
37	MDE	=7表示计及发电机直流分量的阻尼效应
40 - 45	CYCLE	施加故障阻尼时刻
46 - 50	GDAM	以百分数表示的阻尼量，负值表示去除阻尼。

1) 在系统发生故障时，程序仅考虑周期分量，未计及非周期分量的作用。因为这与故障时刻、各电机的相角都有关。而且直流分量衰减很快，对系统稳定计算有关的机电运动影响一般不大。但当要考虑这部分影响时有近似公式：

$$T_{DC} = K_D (\max I_{DC})^2 (R_2 - R_1) \sqrt{2} e^{-t/(T_{a3}/2)}$$

$T_{DC}$	为直流分量转距
$K_D$	为一与故障方式有关的系数，对三相故障 $K_D = 1$
$\max I_{DC}$	为直流分量电流最大值
$R_2$ 、 $R_1$	为电机负序及正序电阻
$T_{a3}$	为时间常数
这是 $K_D = 0.5$ 时的 $T_{DC}$ 曲线	



在0.0周（相当于0秒）加入直流阻尼12%，在5周时去除故障阻尼，如上图曲线所示。这种考虑是近似的，一般可不用。

- 2) 故障阻尼最多可用于5台机组，对双轴机组应分二张卡填。
- 3) 在考虑系统一点处的动态（Dynamic）稳定性（即国内的静稳定性能），要在系统加一小干扰后撤消，研究系统稳定性能可用此方法。只是直流分量阻尼加入时间较短（1周波左右），GDAM = 5或5以下即可。
- 4) 此卡不可与切机卡同时使用。

[illegible]

1 - 2	LS	
5 - 12	BUSA	母线名
13 - 16	B1	母线电压等级
17	ID	发电机识别码
37	MDE	8
40 - 45	CYCLE	快关动作发生时刻（周波）
46 - 50	PWR1	第一关节点功率，以潮流功率百分值表示
51 - 55	SEC1	第一关节点时间（秒）
56 - 60	PWR2	第二关节点功率
61 - 65	SEC2	第二关节点时间（秒）

- 1) 快关气门广泛用于火电机组，利用快速瞬时关小气门减小原动机出力来改善系统稳定性。一般不用于水轮发电机，水轮发电机常用切机措施。水轮机调速器时间常数一般要比汽轮发电机大很多。
- 2) 在采用快关特性时，调速器卡自动失效。
- 3) 一次计算中最多可用10个快关阀门，对双轴发电机，要用两张快关卡。
- 4) 注意卡中CYCLE一栏填的是系统操作时间，是以周波计算的。这里具体填快关的操作时间。而SEC1、SEC2填的是快关特性的关节点时间，以秒计，应注意这二个时间的配合。
- 5) 程序有快开、连续快关、连续快开特性。对连续快开、快关，均只需一张卡即可，特性即自行延长。
- 6) 该卡中两个关节点的数值仅用来计算发电机机械功率的变化速率，公式为

$$\text{变化速率} = \frac{\text{第二关节点功率} - \text{第一关节点功率}}{\text{第二关节点时间} - \text{第一关节点时间}}$$

计算出的变化速率可以为正值也可以为负值，负值表示减少发电机的机械功率。该卡表示从40-45列的时间开始按照上述计算的速率修改发电机机械功率。每一张卡代表一条斜线，在后面时刻的数据卡开始动作之前，前一张数据卡的特性自动延长。如果发电机机械功率的变化是一条折线，每一段直线都需要填写一个快关数据卡。

发电机“发电机2 18.”的一张快关卡如下：

---

LS 发电机2 18.	8 5. 100. 0.1 0. 0.6
-------------	----------------------

针对该故障卡的几点说明如下：

- 该卡表示该发电机从5周波开始进行快关操作，快关的速度为“-200%/秒”，即经过25个周波发电机的机械功率变为0。
- 在没有遇到下一张本发电机的快关卡之前，持续修改发电机机械功率，即使该发电机的机械功率已经变为负值，仍继续修改。
- 该卡中的两个关节点数值仅用来计算变化速率，因此只要保持计算出来的速率不变，任意改变两个关节的数值对计算结果没有影响。
- 当该发电机的机械功率降低到一定数值希望发电机的变化速率改变，需要填写另外一张快关卡。例如当机械功率为40%时，停止快关，则应填写下面的数据卡：

LS 发电机2 18.	8 20. 40. 0.1 40. 0.2
-------------	-----------------------

#### 8) 实例2：

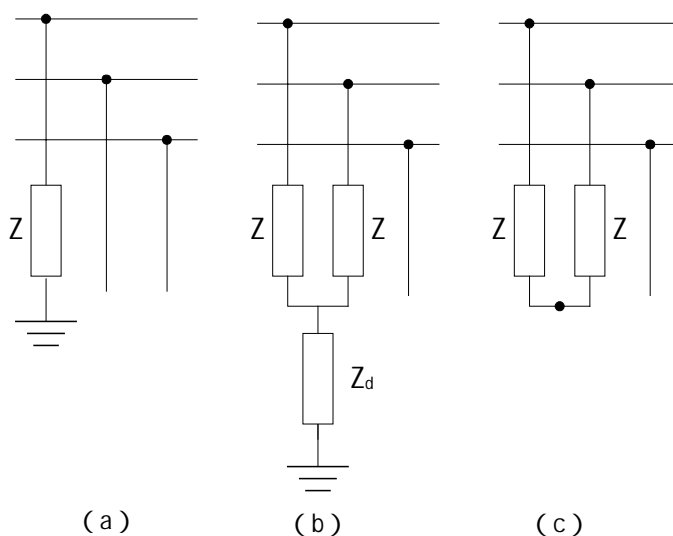
假设发电机“发电机2 18.”在5周波开始快关，经过0.3秒降低到40%，然后停止快关持续时间0.5秒，然后快开，经过0.3秒恢复到初值水平。此时需要填写快关卡如下：

LS 发电机2 18.	8 5. 100. 0.1 40. 0.4
LS 发电机2 18.	8 20. 40. 0.4 40. 0.9
LS 发电机2 18.	8 45. 40. 0.9 100. 1.2
LS 发电机2 18.	8 60. 100. 1.2 100. 1.3



列

1 - 2	LS	卡名称
5 - 12 , 19 - 26	BUS A、BUS B	由潮流定义的线路两端母线名
13 - 16 , 27 - 30	B1、B2	母线BUS A、BUS B的电压基准
32	PAR	平行码
36 - 37	MDE = 9	表示复故障
	= - 9	表示复故障消失
40 - 45	CYCLE	故障时刻 (周)
46 - 51	FAULT R	} 非金属性故障的阻抗标么值
52 - 57	FAULT X	
71 - 75	FAULT Rd	} 非金属两相对地短路的故障阻抗之一
76 - 80	FAULT Xd	
65 - 66	NDE	
		此时有二个接地阻抗Z及Zd, 其它故障不填故障形式



(a) 单相接地短路; (b) 两相接地短路; (c) 两相短路

NDE = 1	单相短路
= 2	两相短路
= 3	三相短路
= 4	两相对地短路
= 5	串联电容单相击穿
= 6	三相断线
= 7	单相断线
= 8	两相断线
= 9	串联电容两相击穿

68	PHA	故障相
	PHA = 1	A相故障，或三相对称故障（短路、断线）
	= 2	B相故障
	= 3	C相故障
	= 4	BC相故障（或1）
	= 5	AC相故障（或2）
	= 6	AB相故障（或3）
70	SID	短路故障侧
	SID = 1	故障发生在BUS A侧
	= 2	故障发生在BUS B侧

不对称故障及复故障操作卡的一些说明：

1) 故障类型包括：

- a. 单相、两相、两相对地金属性短路。
- b. 单相、两相、两相对地非金属性短路。
- c. 单相、两相断线。
- d. 单相、两相串联电容击穿。
- e. 三相金属性短路。
- f. 三相非金属性短路。
- g. 三相断线。

2) 对系统中反复发生的故障次数无限制，即一处可以先发生某种故障而后故障消失，过一段又出现故障等。但是应避免同一线路上同时存在几种故障形式。

3) LS卡不须按操作时间顺序填写。

4) 如果系统是反复多次故障，或又有不对称故障，又有三相短路或断开的故障，此时对称三相故障不可用前面所述MDE = 1、2的LS卡来描述，而要用MDE = 9、NDE = 3或6的LS卡描述。

5) 对有单相开断、两相开断的情况，必须在潮流中增加“小开关”节点。小开关阻抗在系统基准容量100MVA、电压等级为500kV时取为j（0.0001~0.0004）即可，不可过小。电压等级较低的线路，小开关电抗应适当增大。

6) MDE = 9、NDE = 3为三相短路故障，此时PHA即相序不起作用，此时通常填为1。

7) MDE = 9、NDE = 6为三相断开故障，此时PHA及SID实际均不起作用，此时无故障特殊相且故障是在BUS A与BUS B之间，此时通常填PHA = 1、SID = 1即可。

8) MDE = 9、NDE = 5、9串联电容单相、两相击穿情况，SID不起作用，通常填作1。

9) MDE = 9、NDE = 7、8为单相、两相断开情况，SID不起作用，通常填作1。

10) 由于处理方法不同，目前复故障卡不能和MDE=1、2、3型故障操作卡同时存在。

列

#### 4.10 静补输出冻结卡 (MDE = 9)

列

1 - 2	LS	
5 - 12	BUS	静补母线名
13 - 16	B1	基准电压
17	ID	静补识别码
33	CDE	必须为“1”
37	MDE	必须为“9”
40 - 45	CYCLE	冻结静补输出的时刻（周）

列

- 中国电力科学研究院系统所

## 4.12 两端直流功率修改卡 (MDE = 5)

1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

列

1—2 LS 卡片标记

5—12, 19—26 BUS A、BUS B 直流线二端名 (交流母线名)

13—16, 27—30 B1、B2 交流母线基准电压

33 LINE 直流故障类型

LINE = 9 直流功率修改

37 MDE = 5 直流故障方式

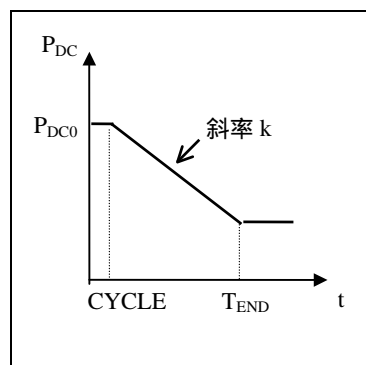
40—45 CYCLE 开始改变直流功率的时刻, 周

64—69 P<sub>END</sub> 直流系统定功率控制方式下, 直流功率变化斜线中T<sub>END</sub>点对应的功率, MWI<sub>END</sub> 直流系统定电流控制方式下, 直流电流变化斜线中TEND点对应的电流, pu70—75 P<sub>START</sub> 直流系统定功率控制方式下, 直流功率变化斜线中开始点 (CYCLE) 点对应的功率, MWI<sub>START</sub> 直流系统定电流控制方式下, 直流电流变化斜线中开始点 (CYCLE) 点对应的电流, pu76—80 T<sub>END</sub> 直流功率 (电流) 改变结束的时刻, 周

直流功率 (电流) 变化 :

$$P_{DC} = P_{DC0} + k \times t$$

$$k = \frac{P_{END} - P_{START}}{T_{END} - CYCLE}$$



注 : 可以采用多张卡来控制直流功率或电流的连续变化。

4.13 励磁参考电压修改卡（MDE = 11）

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
L S		BUS A										B 1					ID										M D E					CYCLE					V <sub>REF</sub> 1					SEC 1					V <sub>REF</sub> 2					SEC 2																											
A2		A8										F4.0					A1										I2					F6.0					F5.0					F5.0					F5.0					F5.0																											

列

- 1—2LS卡片标记
- 4—15母线名及电压等级
- 17ID电机识别码
- 36—37MDE = 11类型
- 40—45CYCLE励磁参考电压修改发生时刻，周
- 46—50V<sub>REF</sub> 1第一关节点值，以初值的百分数表示
- 51—55SEC 1第一关节点时间，秒
- 56—60V<sub>REF</sub> 2第二关节点值，以初值的百分数表示
- 61—65SEC 2第二关节点时间，秒

说明：

- 1) 励磁参考电压修改主要用于发电机进相运行研究。
- 2) 一次计算最多可用10张励磁参考电压修改卡。
- 3) 其它注意事项和快关阀门卡一样。
- 4) 该卡的使用方法说明可以参考快关的说明，两者使用方法相同。

列

中国电力科学研究院系统所

## 4.15 修改线路参数数据卡（LZ 卡）

本卡用于修改线路参数，格式如下：

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
LZ	BUS1	BASE1	BUS2	BASE2	ID	G1	B1	R
								X
								G2
								B2
A2	A8	F4.0	A8	F4.0	A1	F7.4	F7.4	F7.4
								F7.4

1-2	LZ
5-12	节点1名称
13-16	节点1基准电压
19-26	节点2名称
27-30	节点2基准电压
32	回路号ID
38-44	节点1侧对地电导（pu）
45-51	节点1侧对地电纳（pu）
52-58	线路电阻（pu）
59-65	线路电抗（pu）
66-72	节点2侧对地电导（pu）
73-79	节点2侧对地电纳（pu）

说明：

- 1) 本卡的主要作用是修改节点1和节点2之间的某一条线路参数。
- 2) 该卡必须和MDE=1的故障卡配合使用。首先应填写一张同一条线路的MDE=1形式的故障卡，例如：

```

LS  母线C   230.   母线3   230.   1   -1   10.
LZ  母线C   230.   母线3   230.   1           .05225 .0119   .1008           .05225

```

上面的两张数据卡表示在10周波，修改节点“母线C 230.”和“母线3 230.”之间的一条线路参数，新的线路参数为LZ卡中的值。

填写上面的数据卡注意：

- 如果只修改线路参数，故障卡LS卡中36-37列填写-1；如果填写1，表示线路发生故障；
- 故障卡中两侧节点的前面不能加负号，如果加负号表示此线路断开；
- 潮流中必须有LZ卡对应的支路，否则无效；
- 如果在稳定中要增加一条线路，应首先在潮流文件中增加一条这两个节点之间的线路，线路电抗取值9999.，然后在稳定中填写LZ卡，填写实际的参数。

- 3) 此卡只能与MDE=1形式的LS卡配合使用，有复故障时不能使用本卡。



列	说明
1 - 2	FF：本卡为一计算控制卡。决定计算开始，终止时间，步长，误差控制，及模型选择
5 - 7	T：计算开始时间，缺省值为0周（一般不填）
9 - 11	DT：计算步长，缺省值为1周
13 - 17	ENDT：计算终止时间，缺省值为300周。
19 - 21	DTC：新的步长，以周表示
23 - 25	ISTP：填最后一次操作结束后经过若干步长后开始变步长，决定开始改步长时刻
27 - 31	TOLI：两次迭代间最大加速功率误差范围，缺省值为0.01pu
33 - 35	ILIM：一时间步内网络方程与微分方程最大交替迭代次数，缺省值为25
37 - 40	DELANG：两次迭代间最大角度误差范围，缺省值为0.1度
42 - 43	DTDV：交流积分步长与直流积分步长之比，缺省值为8
45 - 47	DMPMLT：发电机阻尼因子，缺省值为1.0
55 - 56	FRQBSE：系统基准频率（Hz），缺省值为50Hz
58	LOVTEX：为1时表示无低电压检查（低于0.4pu），否则进行检查
60	IMBLOK：马达滑差达到1时的处理方法 = 0          程序退出运行 = 1          堵转（缺省） = 2          切除 > 2          与填0相同，程序退出运行
64	MFDEP：用于指定发电机定子方程和摇摆方程与频率的关系 = 0          与频率无关 = 1          摇摆方程与定子方程都与频率有关 = 2          仅定子方程与频率有关 = 3          仅摇摆方程与频率有关 = 4          仅机械转距与频率有关
66	LSOLQIT：为1时，迭代不收敛停止计算
68	NOANGLIM：为1时，表示无最大角度限制，为其它值时，则当任意两台机组间角度超过500度停算
70	INFBUS：非零时，所有发电机改为无穷大惯量电机
71	NOPP：非零时，所有发电机都不考虑次暂态参数
72	NODQ：非零时，所有发电机改为经典模型
73	NOSAT：非零时，所有的发电机不考虑饱和
74	NOGV：非零时，所有发电机不计调速器
75	IEQPC：非零时，所有发电机的磁链恒定，即 $E_q' = C$
76	NOEX：非零时，所有发电机不计调压器

77	MFTOMG：非零时，所有的发电机卡MF卡都转换为MG卡
78	NOSC：非零时，不计所有的辅助信号
79	MGTOMF：非零时，所有的发电机卡MG卡都转换为MF卡
80	NOLOAD：非零时，所有负荷为恒定阻抗

**说明：**

- 1) 本程序时间单位为以周波计，不是以秒计的。
- 2) DT，计算步长，缺省为1周波。本程序可以改变步长，但不是自动改步长，而是人为指定改步长，需要修改改步长时应填写19-21的DTC和23-25列的ISTP。变步长开始时刻计算公式为：

$$ISTP = (\text{实际变步长开始时刻} - \text{最末一次操作时间}) / \text{步长} + 1$$

- 3) 步长的大小对计算结果有一定的影响，特别是在功率极限附近时，步长应尽量取得小一些，则功率极限数值较为准确，但是由于步长减小后计算步数增加，累计误差可能会增加，因此计算步长也不必太小，一般取值0.5周波即可。而在离功率极限较远处，则可以放大步长，以节省计算时间。在含有马达负荷时，或发电机采用详细模型时，尽量采用较小的步长，一般可采用0.5周波。
- 4) TOLI、ILIM、DELANG、DTDV、LSOLQIT这几项牵涉到解法控制，一般可不填，用缺省值即可。为了提高计算精度，可以减小其中的TOLI和DELANG，但是会降低计算速度。
- 5) INFBUS、NODQ、NOGV、IEQPC、NOEX、NOSC、NOLOAD这几项实际是在计算出错时，为简化计算因素，分析各环节特性的影响时用的。例如：原来在数据中已有励磁系统（E卡），在NOEX中填1，则取消原励磁系统。这样可以用来分析是否励磁系统的影响。
- 6) 在程序中，如计算时间未到结束时间，但全网最大功角差已达500度，则认为此方式不稳定，立即退出计算，转入输出。但在实际系统中，如两个系统以纯直流联网，则此时二个系统频率可能不一致，因而不能根据两个系统间的角度差达到500度判为不稳而退出计算，此时应将NOANGLIM置为1，方可计算到结束。
- 7) IMBLOK（60列）可以填写马达滑差达到1的处理方式，可以填写0、1或2，缺省为1，即堵转。如果马达卡中的第80列没有填写任何数值（包括0），当滑差达到1时采用本卡中的处理方法。
- 8) DMPMLT：阻尼因子。

在程序中发电机模型包括了表示阻尼转矩系数的常数D，单位为：负荷偏差%/频率偏差%。D因子包括在下列发电机摇摆方程中：

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = P_m - P_e$$

程序的其它地方不再有模拟阻尼的因素，如汽轮机模型的转矩阻尼、负荷频率特性产生的阻尼，都将包含在这个因子中。

45-47列的DMPMLT可以用来修改阻尼因子D，此外计算控制卡F1卡的20-22列的DMPALL也可以用来修改阻尼因子D。当F1卡中的DMPALL为0时，所有常数D将

自动乘以本卡45-47列阻尼乘子DMPMLT。因此可以通过改变DMPMLT的值（缺省值为1.0）修改所有发电机的阻尼因子。

9) MFDEP（64列）可以用来指定发电机定子方程和摇摆方程与频率的关系。

发电机的定子电压方程为

$$V_q = (\omega_r / \omega_0) E_q'' - (\omega_r / \omega_0) X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = (\omega_r / \omega_0) E_d'' + (\omega_r / \omega_0) X_q'' I_q - R_a I_d$$

其中  $\omega_r$  为转子角频率， $\omega_0$  为基准频率

摇摆方程为

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = T_m - T_e$$

其中  $T_m = P_m / \omega_r$ 、 $T_e = P_e / \omega_r$

➤ MFDEP = 0（缺省值），不计速度影响，假定  $\omega_r = \omega_0 = 1.0 \text{ p.u.}$

$$V_q = E_q'' - X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = E_d'' + X_q'' I_q - R_a I_d$$

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = P_m - P_e$$

➤ MFDEP = 1，定子方程和摇摆方程都计及速度影响

$$V_q = (\omega_r / \omega_0) E_q'' - (\omega_r / \omega_0) X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = (\omega_r / \omega_0) E_d'' + (\omega_r / \omega_0) X_q'' I_q - R_a I_d$$

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = T_m - T_e$$

➤ MFDEP = 2，定子方程计及速度影响

$$V_q = (\omega_r / \omega_0) E_q'' - (\omega_r / \omega_0) X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = (\omega_r / \omega_0) E_d'' + (\omega_r / \omega_0) X_q'' I_q - R_a I_d$$

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = P_m - P_e$$

➤ MFDEP = 3，摇摆方程计及速度影响

$$V_q = E_q'' - X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = E_d'' + X_q'' I_q - R_a I_d$$

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = T_m - T_e$$

➤ MFDEP = 4，仅摇摆方程的机械转距计及速度影响

$$V_q = E_q'' - X_d'' I_d - R_a I_q$$

$$V_d = E_d'' + X_q'' I_q - R_a I_d$$

$$2H \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r = T_m - P_e$$

- 
- 10) FRQBSE ( Hz ) 是系统的基准频率。程序以周为内部时间基准。1周 = 1/FRQBSE 秒。FRQBSE缺省值为50Hz。
  - 11) LOVTEX：低电压检查。LOVTEX = 0，计算进行30周后，程序检查所有母线电压幅值，任一电压值持续低于0.4pu30周后，程序自动退出计算。LOVTEX≠0，则不进行低电压检查。
  - 12) NOPP：71列非零时，强制所有的发电机都不考虑次暂态参数，即忽略所有发电机的M卡以及CASE卡中的缺省次暂态参数。
  - 13) NOSAT：73列非零时，强制所有的发电机都不考虑饱和，即强制MF卡中69-77列的SG1.0和SG1.2为0，强制MG卡中64-77列的N、A和B都为0。
  - 14) MFTOMG和MGTOMF：BPA程序中两种发电机模型填写的MF卡和MG卡基本相同，只有饱和相关的数据不同，为了方便两个模型之间的转换，增加了这两个参数。MFTOMG非零时，程序将所有的MF卡都改为MG卡，即发电机模型都改为新加入的发电机模型；MGTOMF非零时，程序将所有的MG卡都改为MF卡，即发电机模型都改为BPA原有的发电机模型。由于两个发电机模型的饱和参数不同，因此在转换时如果发电机数据卡中含有饱和参数，应该修改饱和参数或者在73列填1强制所有发电机饱和参数为0。

## 6 计算控制补充卡（F1及F0卡）

### 6.1 计算控制继续卡（F1 卡）

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0
F1	TBUSF	TZERO	DMPALL	IAMRTS	VCHGL	SPTOSG	GQISU	TITSKP2
A2	F5.4	F5.4	F3.2	I1	F4.3	I1	F5.5	F5.1
								I2
								I1

F1卡给出程序参数选择，此卡可认为是FF的继续卡，但必须位于FF卡前面。

列

1 - 2 F1

5 - 9 TBUSF（秒）是一个时间常数，用于滤波具有频率敏感负荷和低周减载母线的频率，若TBSUF非零，程序输出部分给出母线频率也是滤波后的值。缺省值为0。

12 - 16 TZERO（秒）是测量回路缺省时间常数。如测量回路的时间常数小于TZERO，则时间常数为TZERO，缺省值为0。TZERO适用以下时间常数：

- 所有励磁模型中的 $T_R$
- SVS模型中的 $T_{S1}$ 、 $T_{S7}$ 、 $T_{S10}$ 、 $T_{S5}$ （若 $T_{S4}$ 不等于0）
- PSS模型中的 $T_{QV}$ 、 $T_{QS}$

20 - 22 DMPALL是缺省发电机阻尼因子，如果DMPALL不为0，所有发电机阻尼因子都等于DMPALL，FF卡中的阻尼DMPMLT不能修改DMPALL，缺省值为0。

26 IAMRTS，如果该值不为0，并且CASE卡中的XFACT也不为0，无论发电机的次暂态参数是否已经用M卡指定，都要采用缺省的参数来计算发电机的次暂态参数。

28 - 31 VCHGL，格式为F4.3。如果负荷节点电压低于该值，则负荷将转换为恒阻抗负荷，缺省值为0.5pu。

33 SPTOSG，SP卡为以加速功率作为输入信号的PSS，而SG卡为以电磁功率为输入信号的PSS；如果该值不为0，则将稳定数据中所有的SP卡改为SG卡。

37 - 41 GSIQU，如果该值不为零，则数据文件中所有GH卡和GS卡的死区的大小都为该值。

43 - 47 TITSKP，CASE卡中的17列可以填写非零整数使程序计算过程中每隔一定的步数存储一次计算结果，本位置可以填写修改存储步数的时间，即从本时间开始，按照本卡中的48-49列填写的步数进行存储。

48-49 ITSKP1，从本卡43-47列规定的时间TITSKP开始每隔ITSKP1步存储一次数据。

51 VRLIM，FM\FO\FP\FQ\FR\FS\FT和FG型励磁模型的调压器限幅环节为外限幅，如果VRLIM不为0，则将其改为内限幅。

本卡用于稳定计算过程摇摆曲线的控制。此卡应置于FF卡之前。

1-2	F0	卡片类型
-----	----	------

IG=0 显示计算过程中的变化曲线(省缺值); IG=1 不显示曲线

IA=0 显示最大相对角(省缺值); IA=1 不显示最大相对角

18-21 kV 基准电压 1

22 ID 电机识别码

24-31 GEN-2 显示指定的两台发电机相对角时，发电机名 2

32-35 kV 基准电压 2

36	ID	电机识别码
----	----	-------

38-42 AMAX 相对角Y轴坐标的最大值(省缺值=200)

43-47 AMIN 相对角Y轴坐标的最小值(省缺值=-200)

50 IV 母线电压显示选择

IV=0 显示最低电压变化曲线(省缺值); IV=1 显示最高电压变化曲线;

IV=2 同时显示最高最低电压变化曲线；IV=3 不显示最高最低电压变化曲线

52-59 BUS 指定显示电压变化曲线的母线名

60-63 kV 基准电压

66 IF 母线频率显示选择

IF=0 显示最低频率变化曲线(省缺值); IF=1 显示最高频率变化曲线

IF=2 同时显示最高最低频率变化曲线；IF=3 不显示最高最低频率变化曲线

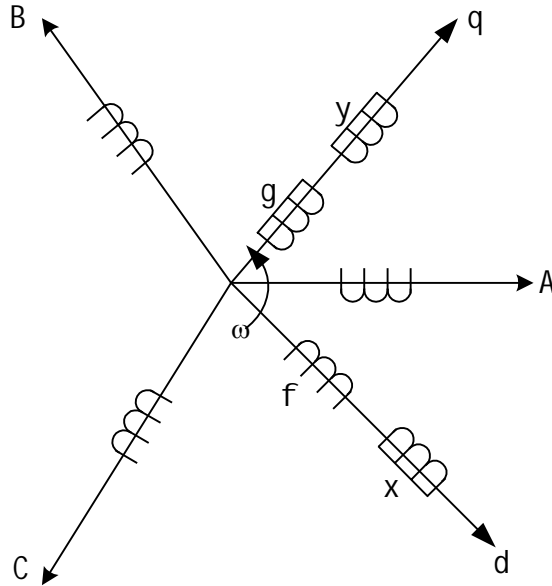
68-75 BUS 指定显示频率变化曲线的母线名

76-80 kV 基准电压

## 7 发电机卡 (MC、MF、MG、M、CASE、LN卡)

### 7.1 发电机模型

BPA程序的通用发电机模型是六绕组模型 (d、q轴)。其示意图如下：



其中x、y为阻尼绕组，f为励磁绕组，g为由于q轴铁芯内部构成的短路阻尼线圈。

其方程为：

$$\begin{aligned}
 v_q &= -R_a i_q + e_q'' - X_d'' i_d \\
 v_d &= -R_a i_d + e_d'' + X_q'' i_q \\
 T_{do}'' \frac{de_q''}{dt} &= [e_q' - e_q'' - (X_d' - X_d'') i_d] \\
 T_{do}' \frac{de_q'}{dt} &= [V_f - e_q' - \frac{(X_d' - X_d'')}{X_d' - X_d''} (e_q' - e_q'')] \\
 T_{qo}'' \frac{de_d''}{dt} &= [e_d' - e_d'' + (X_q' - X_q'') i_q] \\
 T_{qo}' \frac{de_d'}{dt} &= [-e_d' - \frac{(X_q' - X_q'')}{X_q' - X_q''} (e_d' - e_d'')] \\
 T &= e_d'' i_d + e_q'' i_q + (X_q'' - X_d'') i_d i_q
 \end{aligned}$$

其转子运行方程为：

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \frac{d\delta}{dt} = T_M - T_E$$

显见其引入“速度项”，即角度的一次微分项，其电机阻尼特性较好，可近似考虑机械风阻，发电机近处负荷随速度变化而具有的阻尼等。

BPA程序中该模型可供选择的发电机模型有：

1) 双轴 (d、q) 模型：

- a. 考虑阻尼绕组的双轴模型 (次暂态模型)；
- b. 考虑通用阻尼绕组的双轴模型 (所有发电机的阻尼绕组参数相同)，用CASE卡和MF卡；
- c. 不考虑阻尼绕组的双轴模型 (暂态模型)，用MF卡，而且CASE卡不能填缺省的次暂态参数，如有M卡其中的 $T_{d0}''$ 应为0 (否则考虑了f和g绕组)。

对于上述模型：

若 $T_{d0}' = 999$ ，则发电机的磁链为恒定，即 $E_q' = C$ ；

若 $0.0 < T_{d0}' < 999$ ，且没有给出励磁模型，则发电机励磁电压为恒定。

2) 经典模型 $E' = C$ ，用MC卡，

此模型可用阻尼因子D考虑阻尼因素。

此模型不能与励磁模型连用。

3) 等值负荷，用LN卡，

此模型把发电机用负的负荷表示。

4) 无穷大母线用MC卡中EMWS=999999表示。

5) 无惯性发电机用MC卡中EMWS = 0.0表示。

此外，新增一种国内常用的发电机模型，其方程为：

$$\begin{aligned} E_q'' &= U_q + R_a I_q + X_d'' I_d \\ E_d'' &= U_d + R_a I_d - X_q'' I_q \\ T_{q0}'' \frac{dE_d''}{dt} &= (E_d' - E_d'') + (X_q' - X_q'') I_q + T_{q0}'' \frac{dE_d'}{dt} \\ T_{d0}'' \frac{dE_q''}{dt} &= (E_q' - E_q'') - (X_d' - X_d'') I_d + T_{d0}'' \frac{dE_q'}{dt} \\ T_{q0}' \frac{dE_d'}{dt} &= -E_d' + (X_q - X_q') I_q \\ T_{d0}' \frac{dE_q'}{dt} &= E_{fd} - E_q' - (X_d - X_d') I_d - (K_G - 1) E_q' \end{aligned}$$

其中  $K_G = 1 + \frac{b}{a} \cdot E_q'^{(n-1)}$ 。

转子运动方程为

$$\begin{aligned} T_J \frac{d\omega}{dt} &= \frac{P_m}{\omega} - \frac{P_e}{\omega} - D(\omega - \omega_0) \\ \frac{d\delta}{dt} &= (\omega - 1)\omega_0 \end{aligned}$$

该发电机模型的电压电流方程和转子运动方程与原有的发电机模型完全相同。微分方程的差别主要在于：



- 该模型的次暂态微分方程中含有暂态电势的微分项，而原有发电机模型忽略此项；
- BPA程序原模型的暂态电势方程式中使用  $\frac{E'_d - E''_d}{X'_q - X''_q}$  和  $\frac{E'_q - E''_q}{X'_d - X''_d}$ ，而该模型分别使用  $I_q$  和  $I_d$ ；
- 考虑饱和时，BPA原模型程序要修正  $E'_d$ 、 $E'_q$ 、 $E''_d$  和  $E''_q$ ，而该模型只修正  $E'_q$ 。

该模型的数据卡采用M卡和MG卡，M卡与原来模型的相同。该模型可控选择的发电机模型包含原发电机模型中所有的双轴模型，具体如下：

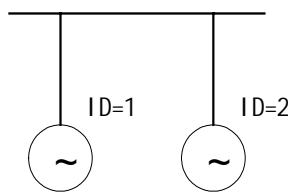
- 1) 含有暂态参数和次暂态参数， $T'_{q0}$  不为0并且  $X'_q$  不等于  $X_q$ ，为考虑4个绕组的模拟隐极机的详细发电机模型；
- 2) 含有暂态参数和次暂态参数， $T'_{q0} = 0$  或者  $X_q = X'_q$ ，不考虑Q轴的组尼绕组g，是模拟凸极发电机的详细模型；
- 3) 不含有暂态参数和次暂态参数， $T'_{q0}$  不为0并且  $X'_q$  不等于  $X_q$ ，为不考虑组尼绕组的模型；
- 4) 不含有暂态参数和次暂态参数， $T'_{q0} = 0$  或者  $X_q = X'_q$ ，只考虑励磁绕组；
- 5)  $T'_{d0} = 999.$ ，为  $E'_q$  恒定的2阶模型。

对该模型的几点说明如下：

- 1) 忽略阻尼绕组并不考虑饱和的情况下该模型与原模型完全一致；
- 2) 经典发电机模型仍然采用原有的MC卡填写；
- 3) FF卡第64列的MFDEP不适用于此模型。

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
M	SUBTYPE	CHGCODE	NAME								KV		ID	E <sub>MWS</sub>								P(pu)		Q(pu)		MVA BASE		R <sub>A</sub>		X <sub>d</sub> '		X <sub>q</sub> '		X <sub>d</sub>		X <sub>q</sub>		T <sub>d0</sub> '		T <sub>q0</sub> '		X <sub>L</sub> 或X <sub>P</sub>		S <sub>G1.0</sub>		S <sub>G1.2</sub>		D																															
			A1	A1	A8						F4.0			A1	F6.0						F3.2		F3.2		F4.0		F4.4		F5.4		F5.4		F5.4		F5.4		F4.2		F3.2		F5.4		F5.4		F4.3		F3.2																																

1	M - 卡片类型
2	卡片子型 - C或F
4 - 11	NAME - 发电机母线名
12 - 15	KV - 发电机基准电压
16	ID - 发电机识别码，一般不需填，如在潮流中为一母线，而稳定计算时该母线又并着几台机组，则可用识别码区别之。


$$E_{MWS} = \frac{T_J}{2} MVABASE$$

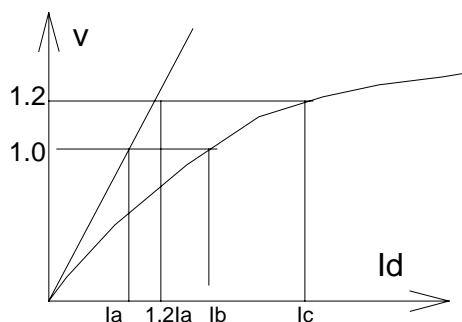
23 - 28      P(pu)、Q(pu) - 该发电机初始功率占该母线潮流功率百分数，一般不填，缺省值为1.0，即只有一台发电机联于该母线，如有多台电机联于一潮流母线则ID须填，

$$P(\text{pu}) = \frac{P_{\text{电机初始功率}}}{P_{\text{该点潮流总功率}}}, Q(\text{pu}) = \frac{Q_{\text{电机初始无功}}}{Q_{\text{该点潮流总无功}}}$$

当然这时有  $\sum P(pu) = 1.0, \sum Q(pu) = 1.0$

中国电力科学研究院系统所

- 33 - 36       $R_a$  - 定子电阻 (标么值)
- 37 - 41       $X_d'$  - 直轴暂态电抗 (标么值)
- 42 - 46       $X_q'$  - 交流暂态电抗 (标么值)
- 47 - 51       $X_d$  - 直轴不饱和同步电抗 (标么值)
- 52 - 56       $X_q$  - 交轴不饱和同步电抗 (标么值)
- 57 - 60       $T_{do}'$  - 直轴暂态开路时间常数 (秒)
- 61 - 63       $T_{qo}'$  - 交轴暂态开路时间常数 (秒)
- 64 - 68       $X_L$  - 定子漏抗 (标么值)  
 对隐极机有  $X_d' < X_q' < X_q$ , 对凸极机有  $X_d' < X_q' = X_q$ , 应予以注意  
 典型数据:       $X_q' = 1.5 \sim 3.0 X_d'$       (汽轮机)  
                      $X_q' = X_q$       (水轮机)  
                      $T_{qo}' = \frac{1}{2} \frac{X_d'}{X_d} \frac{X_q}{X_q'} T_{do}'$       (汽轮机)  
                      $T_{qo}' = 0$       (水轮机)
- 69 - 73      SG1.0 - 额定电压时的电机饱和系数。
- 74 - 77      SG1.2 - 1.2倍电压时的电机饱和系数。



$SG1.0 = I_B / I_A - 1$       典型值  $0.05 < SG1.0 < 0.2$   
 $SG1.2 = I_C / (1.2 I_A) - 1$       典型值  $0.25 < SG1.2 < 0.5$   
 程序中根据此二数近似模拟整条电机饱和曲线

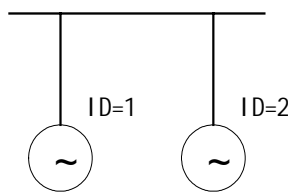
- 78 - 80       $D$  - 电机阻尼转距系数, 为一标么值。  
 $D = (\text{电机阻尼功率MW}) / \text{电机初始功率} / (\text{电机的} \Delta f / 50)$   
 推荐数值为2.0, 表现为在转子运动方程中考虑了角度的一次微分项, 其系数即为  $D$ 。

注:

- 1) 对经典模型因不填饱和系数, 故  $X_d'$  须填饱和电抗值, 因正常工作点处已有饱和。
- 2) 对MF双轴模型, 由于已填SG1.0和SG1.2, 已可模拟电机各工况下的饱和状态, 故  $X_d'$ ,  $X_q'$  应填不饱和数值, 程序根据工况自动对参数进行饱和修正。
- 3) 目前国内各电机制造厂给出的参数大都为饱和参数, 如在经典模型中亦引用不饱和的  $X_d'$  后, 计算略为保守, 留有裕度 (因为  $X_d'$  不饱和值大于  $X_d'$  饱和值)

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
M	S U B T Y P E	C H G C O D E	NAME								KV		I D	$E_{MWS}$								P(pu)		Q(pu)		MVA BASE		$R_A$		$X_d'$		$X_q'$		$X_d$		$X_q$		$T_{d0}'$		$T_{q0}'$		N		A		B		D																															
			A8								F4.0			A1	F6.0								F3.2		F3.2		F4.0		F4.4		F5.4		F5.4		F5.4		F5.4		F4.2		F3.2		F5.4		F5.4		F4.2		F3.2																														

1	M - 卡片类型
2	G - 卡片子型
4 - 11	NAME - 发电机母线名
12 - 15	KV - 发电机基准电压
16	ID - 发电机识别码，一般不需填，如在潮流中为一母线，而稳定计算时该母线又并着几台机组，则可用识别码区别之。


$$E_{MWS} = \frac{T_J}{2} MVABASE$$

23 - 28 P(pu)、Q(pu) - 该发电机初始功率占该母线潮流功率百分数，一般不填，缺省值为1.0，即只有一台发电机联于该母线，如有多台电机联于一潮流母线则ID须填，

$$P(\text{pu}) = \frac{P_{\text{电机初始功率}}}{P_{\text{该点潮流总功率}}}, Q(\text{pu}) = \frac{Q_{\text{电机初始无功}}}{Q_{\text{该点潮流总无功}}}$$

当然这时有  $\sum P(pu) = 1.0, \sum Q(pu) = 1.0$

中国电力科学研究院系统所

---

33 - 36	Ra - 定子电阻（标么值）
37 - 41	Xd' - 直轴暂态电抗（标么值）
42 - 46	Xq' - 交流暂态电抗（标么值）
47 - 51	Xd - 直轴不饱和同步电抗（标么值）
52 - 56	Xq - 交轴不饱和同步电抗（标么值）
57 - 60	Tdo' - 直轴暂态开路时间常数（秒）
61 - 63	Tqo' - 交轴暂态开路时间常数（秒）
64 - 68	N - 饱和相关的指数
69 - 73	A - 饱和相关系数
74 - 77	B - 饱和相关系数 程序中根据上述3个系数N、A、B近似修正Eq'。
78 - 80	D - 电机阻尼转距系数，为一标么值。 D = ( 电机阻尼功率MW ) / 电机初始功率 / (电机的 $\Delta f/50$ ) 推荐数值为2.0，表现为在转子运动方程中考虑了角度的一次微分项，其系数即为D。

注：

- 1) 此数据卡适用于新加入的发电机模型；
- 2) 此卡中填写的内容除了64 - 77列的饱和相关参数不同外，其它完全一致；
- 3) 其它说明参考MF卡。

		1										2										3										4										5										6										7										8																																																											
T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																													
M	S	NAME										KV										ID										MVA RATING										PF										NO. UNITS THIS CARD										TYPE										OWNER										$X_d$										$X_q$										$T_{d0}$										$T_{q0}$																			
	U																																																																																																																																		
	H																																																																																																																																		
	B																																																																																																																																		
	G																																																																																																																																		
T	NAME										KV										ID										MVA RATING										PF										NO. UNITS THIS CARD										TYPE										OWNER										$X_d$										$X_q$										$T_{d0}$										$T_{q0}$																				
C																																																																																																																																			
O																																																																																																																																			
P																																																																																																																																			
D	NAME										KV										ID										MVA RATING										PF										NO. UNITS THIS CARD										TYPE										OWNER										$X_d$										$X_q$										$T_{d0}$										$T_{q0}$																				
E																																																																																																																																			
A1	A8										F4.0										A1										F5.1										F3.2																				A2										A3										F5.4										F5.4										F4.4										F4.4																				

1	M - 卡片类型，该卡为发电机阻尼绕组参数卡	
4 - 11	NAME - 电机母线名	
12 - 15	KV - 电机基准电压	
16	ID - 电机识别码	
17 - 21	MVA RATING - 电机额定容量	说明性参量，不参加计算
23 - 25	PF - 电机功率因数	
31 - 32	TYPE - 电机类型	
	H - 水轮机 S - 汽轮机 N - 核电机组 SC - 同步调相机 GT - 燃气轮机 CC - 组合循环机组 GE - 地热机组	
34 - 36	OWNER - 所有者	
38 - 42	$X_d''$ - d轴次暂态电抗（标么值）	
43 - 47	$X_q''$ - q轴次暂态电抗（标么值）	
48 - 51	$T_{do}''$ - d轴次暂态时间常数（秒）	
52 - 55	$T_{qo}''$ - q轴次暂态时间常数（秒）	

- 1) 本卡主要用于填写发电机阻尼绕组参数，适用于原有发电机模型和新加入的模型。
- 2) 要详细模拟一个电机的阻尼绕组时，则须对该机先填一张M卡，再填一张MF卡或MG卡。
- 3) M卡的位置放在电机的MF卡之前或位于发电机群内均可，一台电机要填一张M卡。
- 4) M卡中的 $X_d''$ 和 $X_q''$ 是以MF卡中第29~32列的基准容量为基准的标么值，如果MF卡中的29~32列没有填写，则基准容量为系统基准容量。
- 5) 本卡中17 - 32列的数值为说明性文字，不参加计算。

在CASE卡中填入XFACT、TDODPS、TQODPS、TDODPH、TQODPH，则所有有MF卡但没有M卡的发电机自动考虑阻尼绕组。

$$X''_q = X'_d * XFACT$$

$$T''_{q0} = TQODPS$$
$$T''_{q0} = TQODPH$$

程序自动根据 $T'_{q0}=0$ 判断其为水轮机，从CASE卡中取水轮机的阻尼绕组参数；否则，判定其为汽轮机，取汽轮机的阻尼绕组参数。

$$T''_{d0}=0.04, T''_{q0}=0.06 \text{ (水轮发电机)}$$

如果计算控制继续卡F1中的第26列不为0，则强制所有发电机采用CASE卡中的值考虑组尼绕组。

[illegible]

1	卡片类型	L	} 指定母线之发电出力以负的负荷表示
2	子型	N	

64 - 75      母线5名及电压基准值

- 1) 在潮流中具有非零发电出力 ( $P_{GEN}$ ) 的母线在暂态计算中如不用发电机卡表示, 则必须用LN卡把发电机出力转换为负荷。
- 2) 任何直流母线 (潮流数据中的BD或BM母线), 都必须用LN卡说明, 因为这些母线在潮流出现非零  $P_{GEN}$ 。
- 3)  $P_{GEN}$  不为零母线如未用LN卡, 将在程序初始化部分导致致命错误。
- 4) 另外, 对于缺乏电机参数或电机容量很小, 且与扰动点电气距离很远, 电机之详细模拟已非必须者, 亦可用LN卡表示。



## 7.7 几点说明

### 1. 程序对电机参数校核范围

#### 1) 一般参数

- (1)  $5 < E_{MWS} < 20000$
- (2)  $0 \leq P \leq 1.0$
- (3)  $0 \leq Q \leq 1.0$
- (4) 母线上  $\sum P = 1.0$
- (5) 母线上  $\sum Q = 1.0$
- (6)  $0 \leq D \leq 3.0$

#### 2) 经典模型

$$0.01 < X'_d < 0.5$$

#### 3) 凸极机 (特点为 $T'_{qo}=0$ )

- (1)  $0 \leq R_a \leq 0.1$
- (2)  $0 < 0.1X_d < X'_d < X'_q = X_q < X_d < 10.0$
- (3)  $0.01 < SG1.0 < SG1.2 < 2.0$
- (4)  $0.3X'_d < X_L < X'_d$
- (5)  $1.0 \leq T'_{qo} \leq 20.0$

#### 4) 隐极机 :

- (1)  $0 \leq R_a \leq 0.1$
- (2)  $0 < 0.1X_d < X'_d < X'_q < X_q \leq X_d < 10.0$
- (3)  $0.1 < T'_{qo} \leq 5.0$
- (4)  $T'_{qo} < T'_{do}$
- (5)  $0.01 < SG1.0 < SG1.2 < 2.0$
- (6)  $X''_d \leq X_L \leq X'_d$
- (7)  $1.0 \leq T''_{do} \leq 20.0$

### 2. 调相机

在程序中没有专门的调相机模型,可用电机模型MC、MF卡即可。但要注意:

- 1) 在潮流计算中调相机有功出力不应为0,应为负的很小值,以考虑定子上的有功损耗。例如填  $P+jQ=-0.001+j100$
- 2) 在稳定计算中,由于调相机一般无原动机,故其动能(惯性常数)比普通发电机为小。调相机的角度摇摆亦能象发电机一样显示出来。

## 8 励磁系统

### 8.1 1968 年 IEEE 励磁系统命名法则（E 型）

符号	定 义
$E_{FD}$	励磁机输出电压（用于发电机励磁）
$E_{FDMAX}$	最大励磁电压
$E_{FDMIN}$	最小励磁电压
$I_{FD}$	发电机励磁电流
$I_T$	发电机机端电流
$K_A$	调压器增益
$K'_A$	调压器增益（E型励磁系统）
$K_E$	自激式励磁机常数
$K_F$	调压器稳定回路增益
$K_I$	电流回路增益（D型励磁系统）
$K_P$	电势回路增益（D型励磁系统）
$K_V$	快速上升/下降触点基值（E型励磁系统）
$S_E$	励磁机饱和函数
$S_{EMAX}$	最大励磁电压时的励磁饱和系数
$S_{E.75MAX}$	75%最大励磁电压时的励磁饱和系数
$T_A$	调压器放大器时间常数
$T_{A1}$	调压器放大器时间常数
$T_E$	励磁机时间常数
$T_F$	调压器稳定回路时间常数
$T_{F1}$	调压器稳定回路时间常数
$T_{RH}$	变阻器时间常数
$V_B$	励磁机输入（D型励磁系统）
$V_{BMAX}$	$V_B$ 的最大值
$V_R$	调压器输出电压
$V_{RMAX}$	$V_R$ 的最大值
$V_{RMIN}$	$V_R$ 的最小值
$V_{RMIN MULT}$	$V_{RMAX}$ 的乘子，以求得 $V_{RMIN}$
$V_{REF}$	调压器参考电压基值
$V_{RH}$	励磁电阻位置
$V_T$	发电机机端电压
$V_{THEV}$	由电势和电流信号得来的电压（D型励磁系统）
$\Delta V_T$	发电机机端电压误差信号
$V_{SO}$	PSS输出
$V_{TO}$	初始发电机机端电压
$X_L$	SCPT系统的联系电抗（D型励磁系统）
$V'_T$	无分叉组合调速器机组的发电机机端电压。此处 $V'_T = V_T - 0.05I_T \sin\varphi$ ，其中 $\varphi$ 为初始功率角，对滞后电流为正数。
$V'_{TO}$	$V'_T$ 的初始值
$T_R$	调压器滤波器的时间常数。

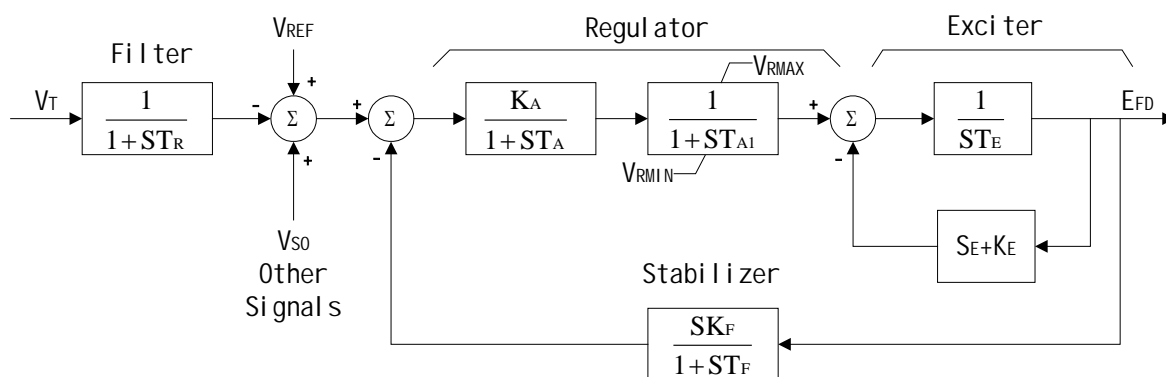
		1								2								3								4								5								6								7																																																																																															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																							
E	S																																																																																																																																																
	C																																																																																																																																																
	U																																																																																																																																																
	B																																																																																																																																																
	T																																																																																																																																																
E	P																																																																																																																																																
	O																																																																																																																																																
	D																																																																																																																																																
	O																																																																																																																																																
	E																																																																																																																																																
		NAME								KV								ID								$T_R$								$K_A$ $K_{v(E)^*}$								$T_A$ $T_{RH}(E)^*$								$T_{A1}$								$V_{E\ MIN\ MULT}$ $V_{E\ MIN}(D)^*$								$K_E$								$T_E$								$S_{E\ 75MAX}$ $K_I(D)^*$								$S_{E\ MAX}$ $K_F(D)^*$								$E_{FD\ MIN}$								$E_{FD\ MAX}$ $V_{B\ MIN}(D)^*$								$K_F$								$T_F$								$K_{F1}$ $X_{c1}(D)^*$								$T_{F1}$							
A7	A8								E4.0								A.1								E4.3								E5.2								E4.2								E4.3								E4.2								E4.3								E4.3								E4.3								E5.3								E4.3								E4.3								E4.3								E5.4								E5.4																

1	卡片类型 — E
2	子型 (A, B, C, D, E, F, G, J, K)
3	空格
4 - 15	母线名和基准电压
16	电机识别码
17 - 20	$T_R$ —调压器输入的滤波器时间常数
21 - 25	$K_A$ —调压器增益 $K_V$ —快速上升/下降触点基值 (E型励磁系统)
26 - 29	$T_A$ —调压器放大器时间常数 $T_{RH}$ —变阻器时间常数 (E型励磁系统)
30 - 33	$T_{AI}$ —调压器放大器时间常数
34 - 37	$V_{RMIN\ MULT}$ — $V_{RMAX}$ 乘子, 以确定 $V_{RMIN}$ ; 若为D型或J型, 则为 $V_{RMIN}$
38 - 41	$K_E$ —与自励有关的励磁常数。它励时 $K_E = 1.0$ , 自励时 $K_E = 0.0$
42 - 45	$T_E$ —励磁机时间常数
46 - 49	$S_{E.75MAX}$ —75%最大励磁电压时励磁机饱和系数 $K_I$ —电流回路增益 (D型励磁系统)
50-53	$S_{EMAX}$ —最大励磁电压时励磁机饱和系数 $K_P$ —电势回路增益 (D型励磁系统)
54 - 58	$E_{FDMIN}$ —最小励磁电压
59 - 62	$E_{FDMAX}$ —最大励磁电压 $V_{BMAX}$ —励磁机输入最大电压 (D型励磁系统)
63 - 66	$K_F$ —调压器稳定回路增益
67 - 70	$T_F$ —调压器稳定回路时间常数
71 - 75	$X_L$ —整流电抗 (D型励磁系统)
76 - 80	$T_{FI}$ —调压器稳定回路时间常数 (D型励磁系统)

自励时  $K_E = 0.0$

- 1) 此卡适用于所有E型励磁系统。
- 2) 对于ED卡，50-53列的KP的基准容量为MF卡29-32列填写的容量值。

## 8.2.1 连续、旋转直流励磁系统 (EA 型)



### 输入数据

- 1) 指定:  $T_R, K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN\ MULT} = -1.0, S_{E.75MAX}, S_{EMAX}, E_{FDMAX}, K_F, T_F, K_E, T_E$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$   
 $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN\ MULT}$
- 3) 对它励系统  $K_E = 1$ , 自励系统  $K_E = 0$  (程序指定为  $K_E = 0$ )

### 说明:

EA卡为连续、旋转直流式励磁系统, 较常见, 国内使用EA卡的参数范围大致如下:

$T_R$  滤波器时间常数, 0~0.06

$K_A$  调压器增益, 25~400, 大机组的 $K_A$ 较大一些。

$T_A$  调压器放大器时间常数, 0.02~0.2, 此系  $(T_A + T_{A1})$  之值

$T_{A1}$  调压器放大器时间常数, 见 $T_A$

$V_{RMIN\ MULT}$  用以确定 $V_{RMIN}$ 的因子,  $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN\ MULT}$ ,  
 而 $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$ , 这里 $V_{RMIN\ MULT}$ 一般都取为 -1.0

$K_E$  与励磁方式有关的常数, 它励:  $K_E = 1.0$ ; 自励:  $K_E = 0.0$

$T_E$  励磁机时间常数, 0.5~0.95

$S_{E.75MAX}$  75%最大励磁电压时励磁机饱和系数

$S_{EMAX}$  最大励磁电压时励磁机饱和系数

$S_{E.75MAX}$ 和 $S_{EMAX}$ 的典型参数如下:

(励磁系统电压响应比为0.5, 3600转/分的汽轮发电机组)<sup>[11]</sup>

	有放大机电压调节器的 自励式励磁机, 整流子 或硅二极管	有 $M_{ag}-A-S_{tat}$ 电压调节器 的自励式整流子励磁机	有静止电压调节器的旋 转整流器励磁机
$S_{EMAX}$	0.267	0.95	0.86
$S_{E.75MAX}$	0.074	0.22	0.50

$E_{FDMIN}$  最小励磁电压, 约为-3.5, 经整流后励磁 (如交流励磁机) 则 $E_{FDMIN} = 0$

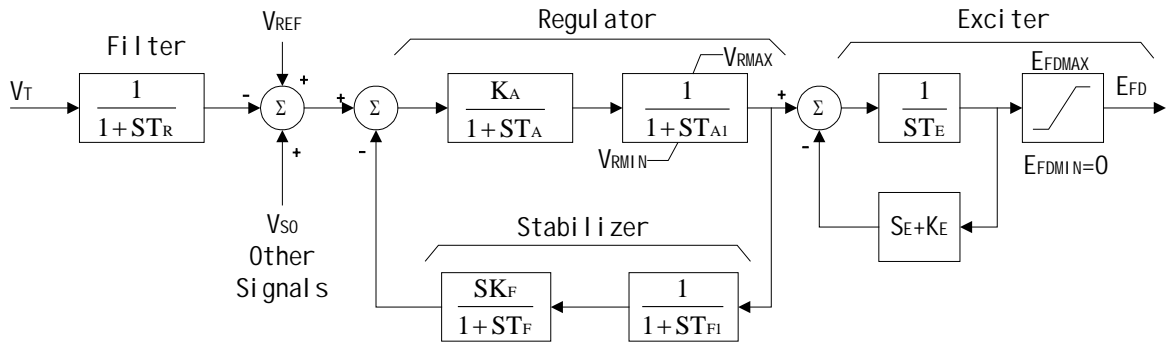
$E_{FDMAX}$  最大励磁电压, 约为3.5

$K_F$  调压器稳定回路增益, 0.03~0.08

$T_F$  调压器稳定回路时间常数, 0.35~1.1

EA卡的参数范围对其它类型励磁系统参数的选择也有一定的参考价值。

### 8.2.2 无刷旋转交流式励磁系统 (EB 型)

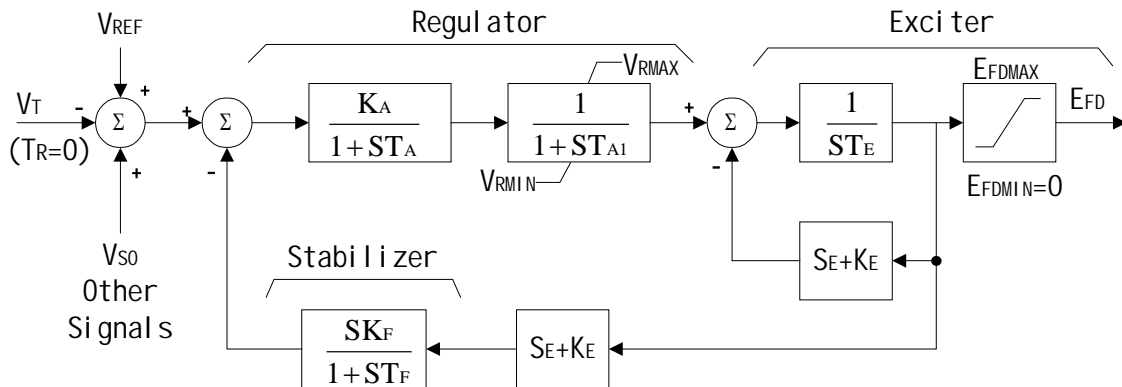


输入数据

- 1) 指定:  $T_R, K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN\ MULT}, K_E=1.0, T_E$   
 $S_{E.75MAX}, S_{EMAX}, E_{FDMIN}=0, E_{FDMAX}, K_F, T_F, T_{F1}$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$   
 $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN\ MULT}$

### 8.2.3 改进型无刷旋转交流式励磁系统 (EC 型)

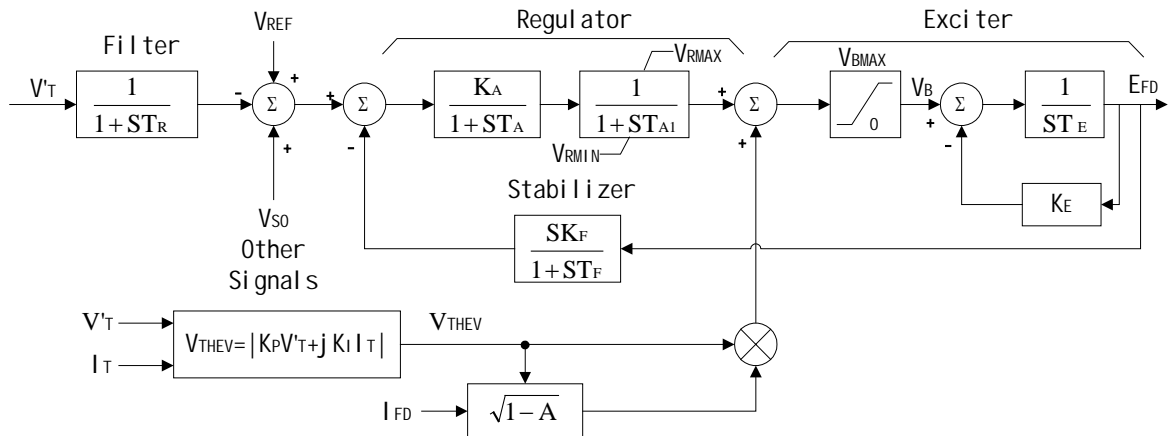
其信号反馈与 EB 型不同。



输入数据

- 1) 指定:  $K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN\ MULT}, K_E=1.0, T_E$   
 $S_{E.75MAX}, S_{EMAX}, E_{FDMAX}, E_{FDMIN}=0, K_F, T_F$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$   
 $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN\ MULT}$

## 8.2.4 复式励磁系统 (ED 型)



输入数据

- 1) 指定:  $T_R, K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN}, K_E=1.0, T_E, K_P, K_I$   
 $V_{BMAX}, K_F, T_F, X_L, K_E$
- 2)  $V_{RMAX} = -V_{RMIN}$

端电压和电流的向量值 (以系统容量为基准的标么值) 用于计算  $V_{THEV}$

$$A = (0.78 X_L I_{FD} / V_{THEV})^2$$

若  $A > 1, V_B = 0$

当机端母线基准电压等于电机额定电压时,  $K_I$  计为:

$$(1.19)(-Q + \sqrt{E^2 - PF})(S_B / S_N)$$

此处:

PF = 电机额定功率因数

E = 额定负荷时励磁电压 (标么值)

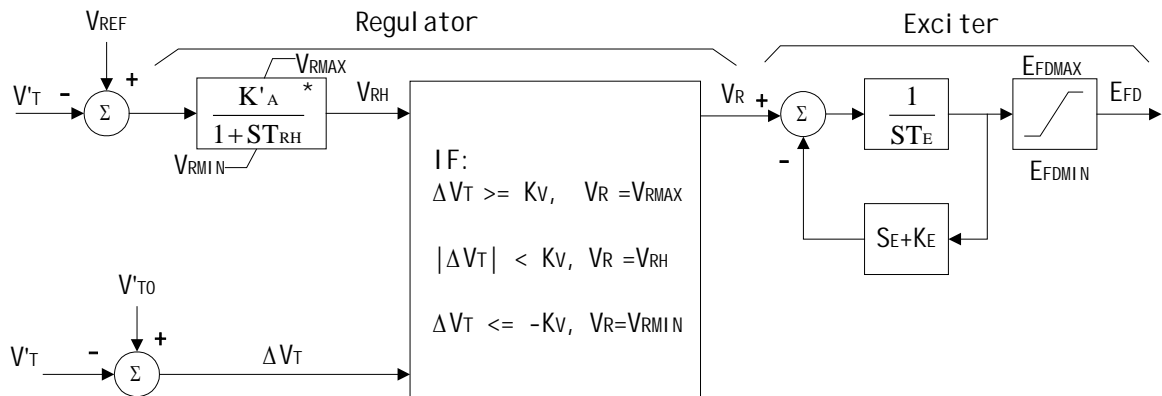
$$Q = \sin(\cos^{-1} PF)$$

$S_B$  = 系统基准容量 MVA

$S_N$  = 电机额定容量 MVA

## 8.2.5 不连续调节变阻器式励磁系统 (EE 型)

有死区, 用于老式机组和小机组。



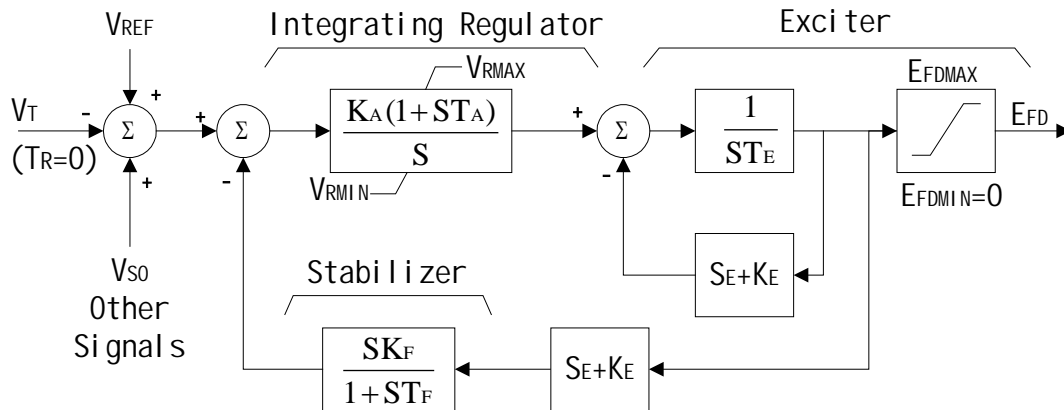
## 输入数据

- 1) 指定:  $T_{RH}$ ,  $K_V$ ,  $V_{RMIN MULT}$ ,  $K_E$ ,  $T_E$ ,  $S_{E.75MAX}$ ,  $S_{EMAX}$ ,  $E_{FDMIN}$ ,  $E_{FDMAX}$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$
- 3)  $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN MULT}$
- 4)  $T_{RH} > 0$  时,  $K'_A$  必须大于 10; 若  $T_{RH} = 0$ , 则  $K'_A$  必须小于 10。

注: 若时间常数  $T_{RH} = 0$ , 则此环节认为是  $K'_A / S$ 。

## 8.2.6 无刷旋转交流励磁 (EF 型)

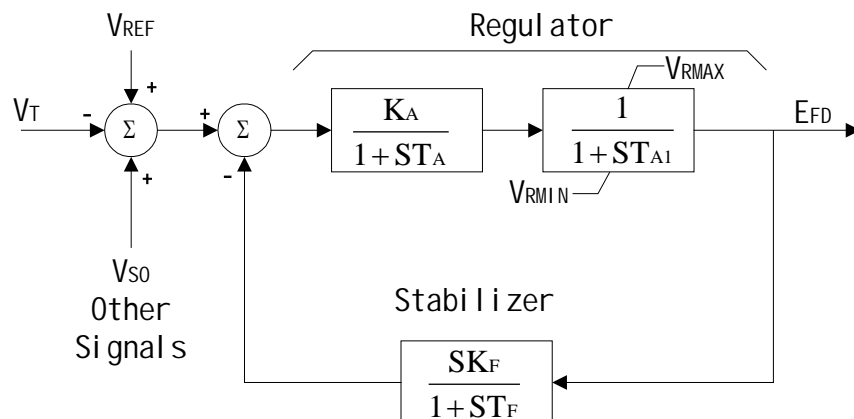
与 EC 相比, 调节器环节不一样, 为比例积分环节。



## 输入数据

- 1) 指定:  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMIN MULT}$ ,  $K_E = 1.0$ ,  $T_E$ ,  $S_{E.75MAX}$ ,  $S_{EMAX}$ ,  $E_{FDMIN} = 0$ ,  $E_{FDMAX}$ ,  $K_F$ ,  $T_F$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$ ,  $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN MULT}$

## 8.2.7 可控硅励磁系统 (EG 型)

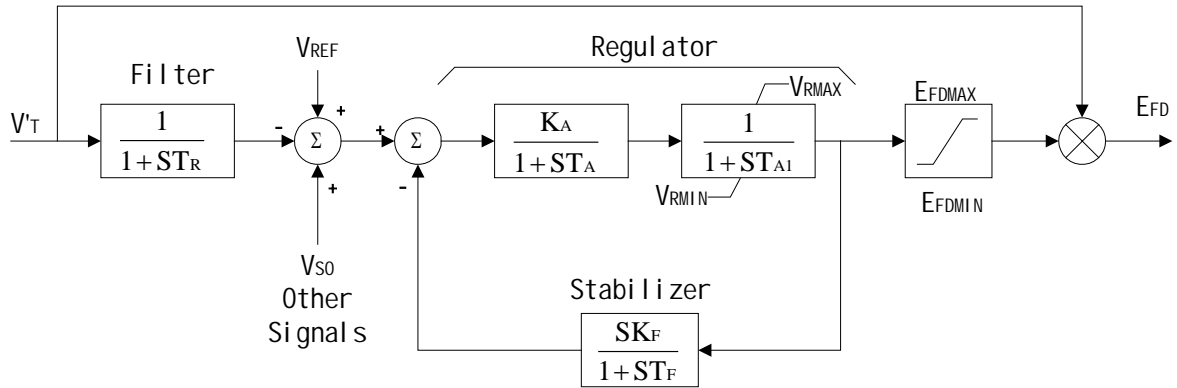


## 输入数据

- 1) 指定:  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $T_{A1}$ ,  $K_F$ ,  $T_F$ ,  $E_{FDMIN}$ ,  $E_{FDMAX}$
- 2)  $V_{RMAX} = E_{FDMAX}$   
 $V_{RMIN} = E_{FDMIN}$

## 8.2.8 大古力电站 3<sup>#</sup>机型的励磁系统 (EJ 型)

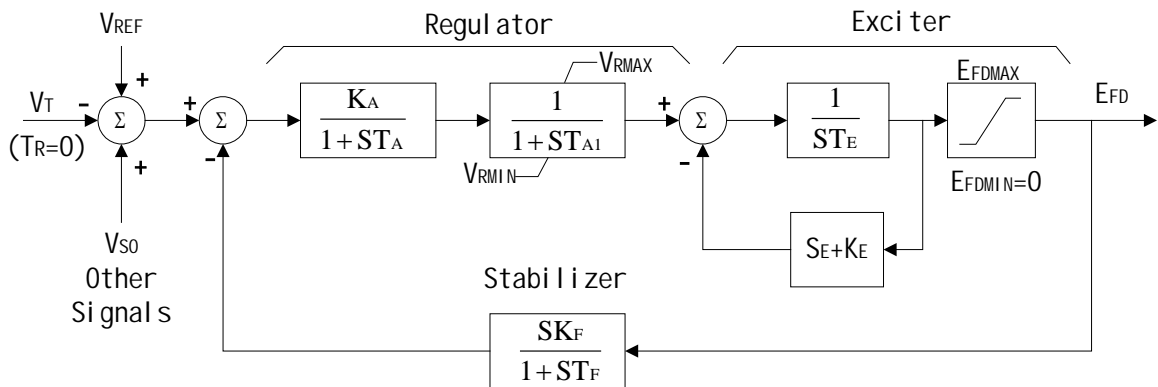
可控硅整流，除最后  $V_T \cdot E_{FD}$  外，与 EG 型相同。



输入数据

- 1) 指定:  $T_R, K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN}, E_{FDMIN}, E_{FDMAX}, K_F, T_F$
- 2)  $V_{RMAX} = -V_{RMIN}$

## 8.2.9 交流励磁系统 (EK 型)



输入数据

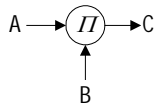
- 1) 指定:  $K_A, T_A, T_{A1}, V_{RMIN MULT}, K_E=1.0, T_E, S_{E.75MAX}, S_{EMAX}$   
 $E_{FDMIN} = 0, E_{FDMAX}, K_F, T_F$
- 2)  $V_{RMAX} = (S_{EMAX} + K_E) E_{FDMAX}$   
 $V_{RMIN} = V_{RMAX} V_{RMIN MULT}$



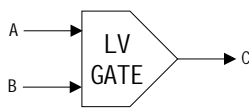
### 8.3 1981 年 IEEE 励磁系统模型命名法则 (F 型)

符号	定 义
$E_{FD}$	励磁机输出电压 (发电机励磁电压)
$E_{FDN}$	反馈增益改变处的 $E_{FD}$ 值
$F_{EX}$	整流器负载因子
$I_{FD}$	发电机励磁电流
$I_N$	规格化的励磁机负载电流
$K_A$	电压调节器增益
$K_B$	第二级调节器增益
$K_C$	换相电抗的整流器负载因子
$K_D$	去磁因子, 励磁机变换器电抗的函数
$K_E$	自励磁励磁机常数
$K_F, K_N$	励磁控制系统稳定器增益
$K_G$	内反馈回路常数
$K_H$	励磁机励磁电流反馈增益
$K_L$	励磁机励磁电流限制增益
$K_I$	电流回路增益系数
$K_J$	第一级调节器增益
$K_{LV}$	励磁机低电压限制信号增益
$K_P$	电势回路增益系数
$K_S$	电力系统稳定器增益
$K_V$	快速上升/下降触点基值
$R_C$	负载补偿的电阻分量
$S_E$	励磁机饱和函数
$S_{E1}$	在 $V_{E1}$ 或 $E_{FD1}$ 处的励磁机饱和系数
$S_{E2}$	在 $0.75 V_{E1}$ 或 $0.75 E_{FD1}$ 处的励磁机饱和系数
$T_A, T_B, T_C$	电压调节器时间常数
$T_E$	励磁机时间常数
$T_F$	励磁机控制系统稳定器时间常数
$T_R$	调节器输入滤波器时间常数
$T_{RH}$	变阻器时间常数
$V_A$	调节器内部电压
$V_B$	可用励磁机电压
$V_C$	补偿电压输出
$V_E$	换相电抗后励磁电压
$V_{ERR}$	电压误差信号
$V_F$	励磁系统稳定器输出
$V_{FE}$	正比于励磁机励磁电流的信号
$V_G$	内反馈回路电压
$V_H \bullet V_L$	励磁电流反馈信号
$V_I$	电压调节器内部信号
$V_{LR}$	励磁电流限制参考值
$V_{LV}$	励磁电压最低限制参考值

$V_N$	比例反馈输入变量
$V_R$	电压调节器输出
$V_{REF}$	电压调节器参考电压（由初始条件决定）
$V_{RH}$	磁场变阻器位置
$V_S$	电力系统稳定器输出
$V_T, I_T$	发电机机端电压和电流
$X_C$	负载补偿的电抗分量
$X_L$	电势源电抗
$\theta_P$	电势回路相角



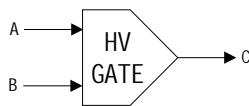
$$A \bullet B = C$$



低值门

当  $A \leq B$ ,  $C = A$

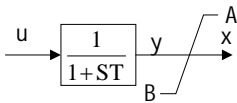
当  $A > B$ ,  $C = B$



高值门

当  $A \geq B$ ,  $C = A$

当  $A < B$ ,  $C = B$



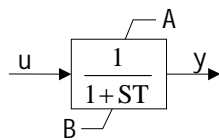
最终限制器

$$dy/dt = (u-y) / T$$

当  $B \leq y \leq A$ ,  $x = y$

当  $Y > A$ ,  $x = A$

当  $Y < B$ ,  $x = B$



非最终限制器

$$f = (u-y)/T$$

当  $Y = A$  且  $f > 0$ ,  $dy/dt = 0$

当  $Y = B$  且  $f < 0$ ,  $dy/dt = 0$

否则  $dy/dt = f$ ,  $B \leq y \leq A$

## 8.4 1981 年 IEEE 励磁系统 (F 卡)

需要两张卡来填写参数，即F卡及继续卡FZ。

### 8.4.1 F 卡

1									2									3									4									5									6									7									8								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9													
SUBTYPE	NAME									KV		ID	R <sub>C</sub>		X <sub>C</sub>		T <sub>R</sub>		V <sub>I</sub> MAX V <sub>A</sub> MAX(F)		V <sub>I</sub> MIN V <sub>A</sub> MIN(F)		T <sub>B</sub>		T <sub>C</sub>		K <sub>A</sub> K <sub>V</sub> (E)*		T <sub>A</sub> T <sub>RH</sub> (E)		V <sub>R</sub> MAX V <sub>A</sub> MAX(H)		V <sub>R</sub> MIN V <sub>A</sub> MIN(H)		K <sub>E</sub> K <sub>J</sub> (L)		T <sub>E</sub>																																		
	A8									F4.0		A1	F5.4		F5.4		F5.4		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3		F5.2		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3		F4.3																														

- 1 卡片类型F
- 2 励磁子型 (A - H, J - L)
- 4 - 15 母线名及基准电压
- 16 电机识别码
- 17 - 21 R<sub>C</sub> - 负载补偿之有功分量 (标么值\*)
- 22 - 26 X<sub>C</sub> - 负载补偿之无功分量 (标么值\*)
- 27 - 31 T<sub>R</sub> - 调节器输入滤波器时间常数 (秒)
- 32 - 36 V<sub>IMAX</sub> - 电压调节器的最大内部信号, 标么值 (G、K、L型)  
V<sub>AMAX</sub> - 调节器最大内部电压, 标么值 (F型)
- 37 - 41 V<sub>IMIN</sub> - 电压调节器的最小内部信号, 标么值 (G、K、L型)  
V<sub>AMIN</sub> - 调节器最小内部电压, 标么值 (F型)
- 42 - 46 T<sub>B</sub> - 电压调节器滞后时间常数 (秒)
- 47 - 51 T<sub>C</sub> - 电压调节器超前时间常数 (秒)
- 52 - 56 K<sub>A</sub> - 电压调节器增益, 标么值  
K<sub>V</sub> - 快速上升/下降触点基值, 标么值 (E型)
- 57 - 61 T<sub>A</sub> - 电压调节器滞后时间常数 (秒)  
T<sub>RH</sub> - 变阻器时间常数 (秒) (E型)
- 62 - 66 V<sub>RMAX</sub> - 电压调节器最大输出, 标么值  
V<sub>AMAX</sub> - 调节器最大内部电压 (H型)
- 67 - 71 V<sub>RMIN</sub> - 电压调节器最小输出, 标么值  
V<sub>AMIN</sub> - 调节器最小内部电压 (H型)
- 72 - 76 K<sub>E</sub> - 励磁机自励磁时间常数, 标么值。对于A、B、E型, 若K<sub>E</sub> = 0, 程序将计算K<sub>E</sub>, 使调节器初始输出为零。  
K<sub>J</sub> - 第一级调节器增益, 标么值 (L型)
- 77 - 80 T<sub>E</sub> - 励磁机时间常数 (秒)

\* 励磁参数的功率基准值由发电机数据卡MF卡29-32列的值给出。

注：此卡适用于子型为A - H、J - L的F型励磁系统。

## 8.4.2 F 型励磁系统继续卡 (FZ)

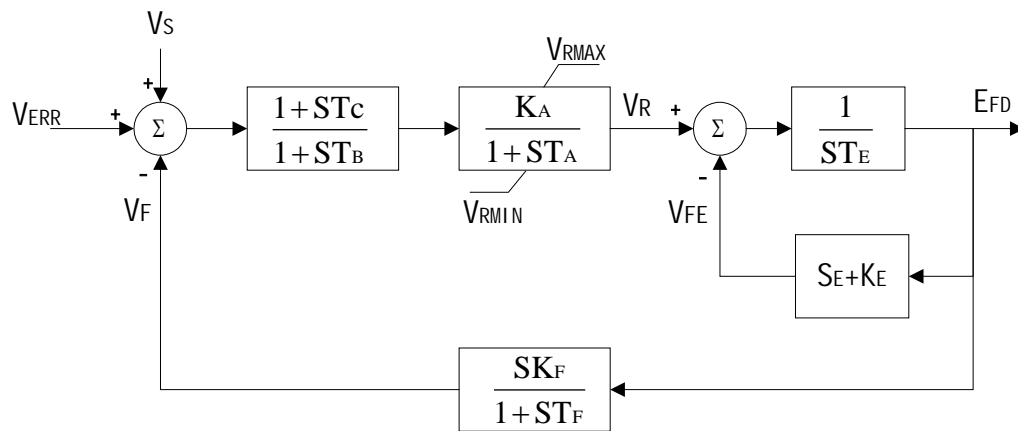
1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
F	Z	NAME								KV	ID	S <sub>E1</sub> K <sub>I</sub> (D,L)								S <sub>E2</sub> K <sub>F</sub> (D,L)								E <sub>FD</sub> MIN(J) E <sub>FDN</sub> (H) P(L)								E <sub>FD1</sub> V <sub>E1</sub> E <sub>FD</sub> MAX								K <sub>F</sub> K <sub>G</sub> (L)								T <sub>F</sub> V <sub>G</sub> MAX(L)								K <sub>C</sub>								K <sub>D</sub> X <sub>L</sub> (L)								K <sub>B</sub> (F) V <sub>LV</sub> (H)								K <sub>L</sub> (F) K <sub>LV</sub> (H)								K <sub>H</sub> (F) K <sub>N</sub> (H)								V <sub>LR</sub> (F) K <sub>R</sub> (H)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
F	Z	A8								E4.0	A1	F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3								F5.							

列

- 1 卡片类型 (F)
- 2 卡片子型 (Z)
- 4 - 15 母线名及基准电压
- 16 电机识别码
- 17 - 21 S<sub>E1</sub> - 对应32 - 36列指定的励磁电压处的励磁机饱和系数  
K<sub>I</sub> - 电流回路增益系数, 标么值 (D、L型)
- 22 - 26 S<sub>E2</sub> - 对应32 - 36列指定的励磁电压75%处的励磁机饱和系数  
K<sub>P</sub> - 电势回路增益系数, 标么值 (D、L型)
- 27 - 31 E<sub>FD MIN</sub> - 励磁机最小输出电压, 标么值 (J型)  
E<sub>FDN</sub> - 稳定反馈增益改变处的励磁电压  
θ<sub>p</sub> - 电势回路相角 (度) (L型)
- 32 - 36 E<sub>FD1</sub> - 对应S<sub>E1</sub>的励磁电压(等于或接近最大励磁电压), 标么值 (A、B、E型)  
V<sub>E1</sub> - 对应S<sub>E1</sub>的换相电抗后的励磁电压 (等于或接近励磁电压), 标么值 (C、F、H型)  
E<sub>FD MAX</sub> - 最大励磁电压 (D、L型)
- 37 - 41 K<sub>F</sub> - 励磁控制系统稳定器增益, 标么值  
K<sub>G</sub> - 内反馈回路常数, 标么值 (L型)
- 42 - 46 T<sub>F</sub> - 励磁控制系统时间常数 (秒)  
V<sub>G MAX</sub> - 内反馈回路最大电压 (L型)
- 47 - 51 K<sub>C</sub> - 换相电抗的整流器负载因子
- 52 - 56 K<sub>D</sub> - 去磁因子, 标么值 (C、F、H型)  
X<sub>L</sub> - 电势源电抗, 标么值\* (L型)
- 57 - 61 K<sub>B</sub> - 第二极调节器增益, 标么值 (F型)  
V<sub>LV</sub> - 励磁机低电压限制, 标么值 (H型)
- 62 - 66 K<sub>L</sub> - 励磁机励磁电流限制增益, 标么值 (F型)  
K<sub>LV</sub> - 励磁机低电压限制信号增益, 标么值 (H型)
- 67 - 71 K<sub>H</sub> - 励磁机励磁电流反馈增益, 标么值 (F型)  
K<sub>N</sub> - 励磁控制系统稳定器增益 (上段), 标么值 (H型)
- 72 - 76 V<sub>LR</sub> - 励磁机励磁电流限制, 标么值 (F型)  
K<sub>R</sub> - 联接调节器和变换器励磁功率的常数, 标么值 (H型)

\* 励磁参数的功率基准值由发电机数据卡MF卡29-32列的值给出。

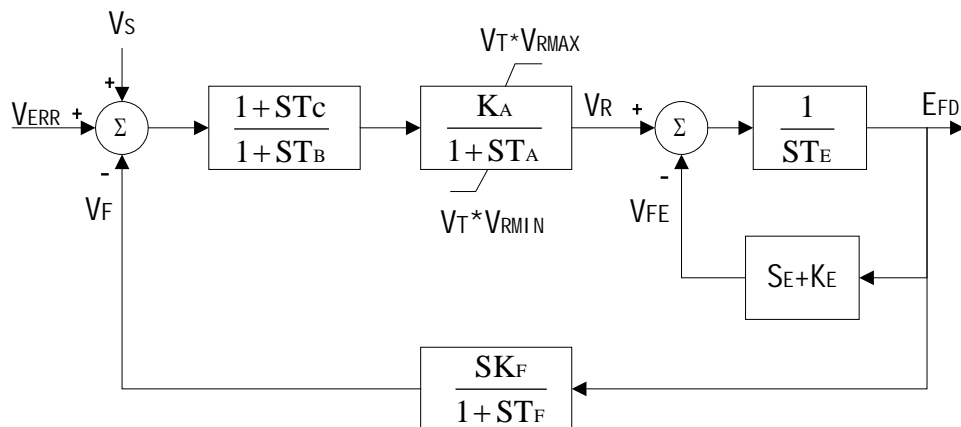
### 8.4.3 直流整流子励磁机励磁系统（FA 型）



#### 输入数据

- 1) 必须： $K_A$ ， $T_A$ ， $V_{RMAX}$ ， $V_{RMIN}$ ， $T_E$ ， $S_{E1}$ ， $S_{E2}$ ， $E_{FD1}$ ， $K_F$ ， $T_F$
- 2) 可选： $T_B$ ， $T_C$ ， $K_E$
- 3) 若 $T_C > 0$ ，必须 $T_B > 0$
- 4) 若 $K_E = 0$ ，程序将求出 $K_E$ 使 $V_{RO} = 0.0$

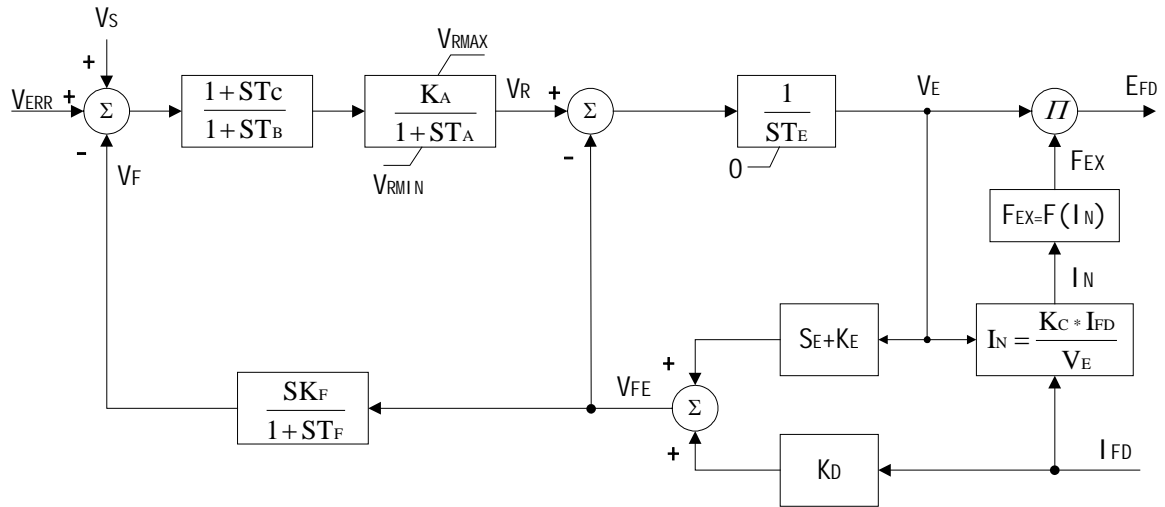
### 8.4.4 直流整流子励磁机励磁系统（FB 型）



#### 输入数据

- 1) 必须： $K_A$ ， $T_A$ ， $V_{RMAX}$ ， $V_{RMIN}$ ， $T_E$ ， $S_{E1}$ ， $S_{E2}$ ， $E_{FD1}$ ， $K_F$ ， $T_F$
- 2) 可选： $T_B$ ， $T_C$ ， $K_E$
- 3) 若 $T_C > 0$ ，必须 $T_B > 0$
- 4) 若 $K_E = 0$ ，程序将求出 $K_E$ 使 $V_{RO} = 0.0$

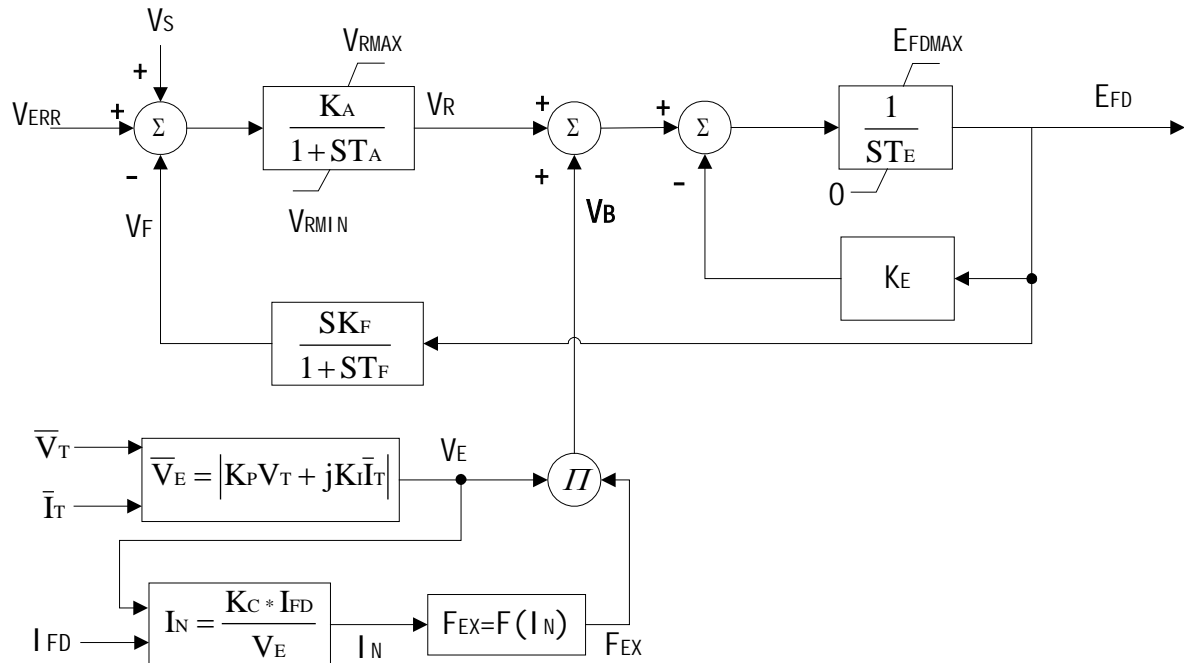
### 8.4.5 具有不可控整流器的交流发电机 - 整流励磁系统 (FC 型)



#### 输入数据

- 1) 必须:  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMAX}$ ,  $V_{RMIN}$ ,  $K_E$ ,  $T_E$ ,  $S_{E1}$ ,  $S_{E2}$ ,  $V_{E1}$ ,  $K_F$ ,  $T_F$
- 2) 可选:  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $K_C$ ,  $K_D$
- 3) 若  $T_C > 0$ , 必须  $T_B > 0$

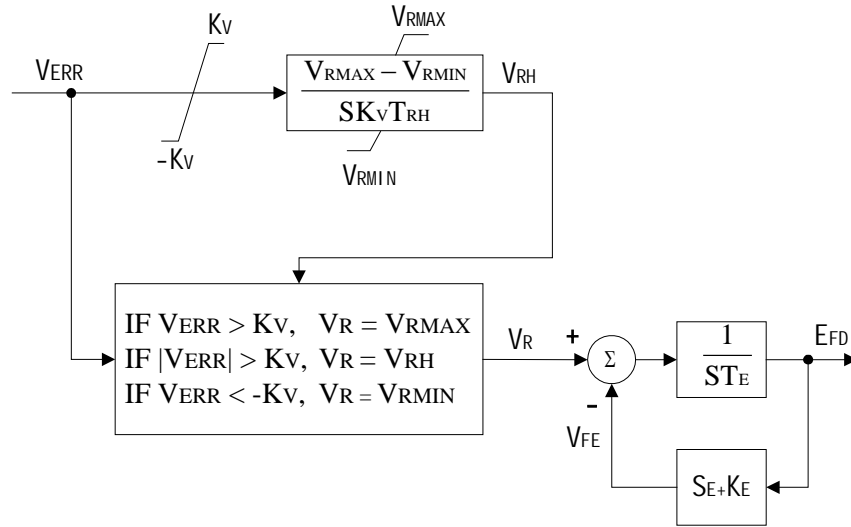
### 8.4.6 复合源整流励磁系统 (FD 型)



#### 输入数据

- 1) 必须:  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMAX}$ ,  $V_{RMIN}$ ,  $K_E$ ,  $T_E$ ,  $E_{FDMAX}$ ,  $K_F$ ,  $T_F$ ,  $K_I$ ,  $K_P$ ,  $K_C$

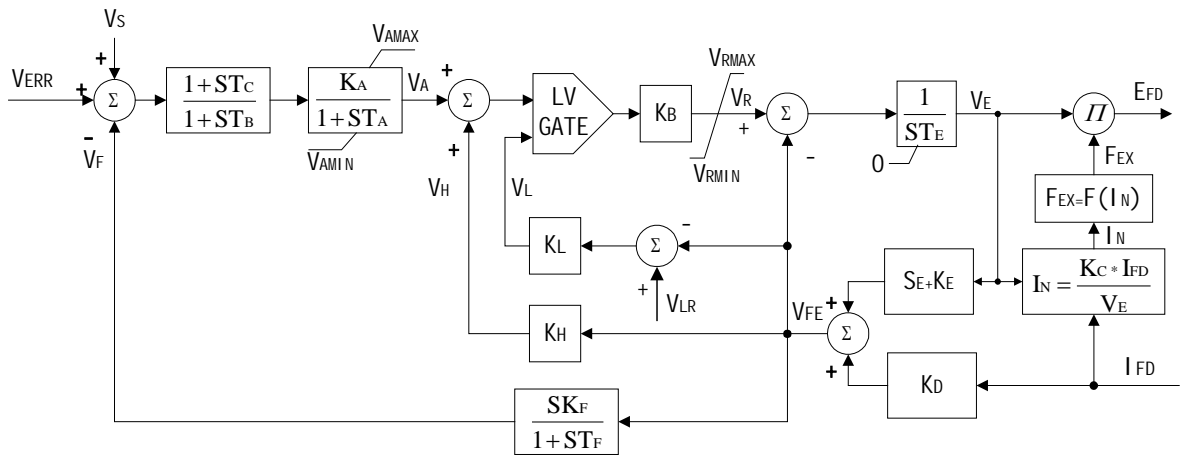
### 8.4.7 具有非连续作用调节器的直流整流子励磁机系统（FE 型）



输入数据

- 1) 必须： $K_V$ ， $T_{RH}$ ， $V_{RMAX}$ ， $V_{RMIN}$ ， $T_E$ ， $S_{E1}$ ， $S_{E2}$ ， $E_{FD1}$
- 2) 可选： $K_E$
- 3) 若 $K_E = 0$ ，程序将求出 $K_E$ 使 $V_{RO} = 0.0$

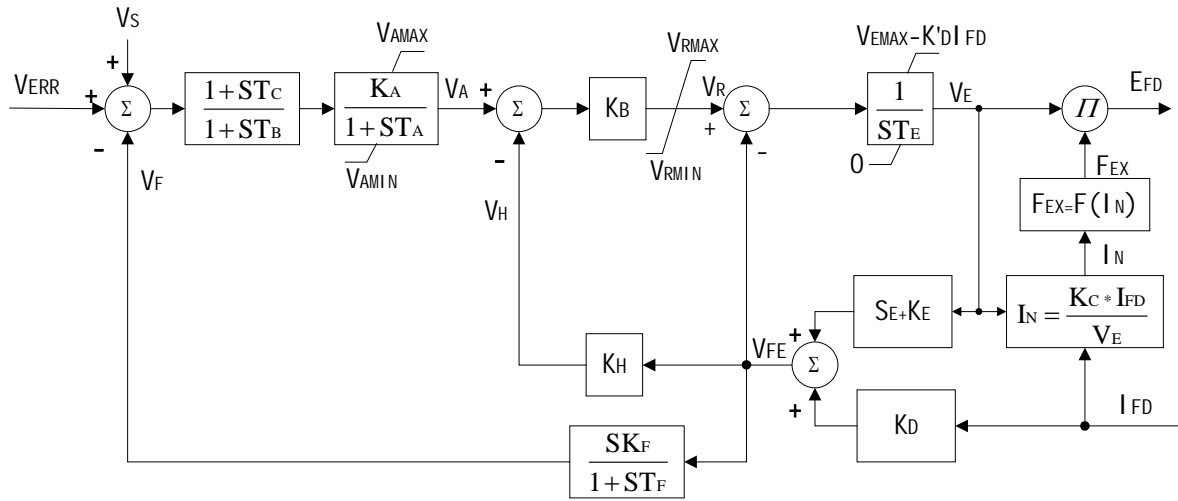
### 8.4.8 具有不可控整流器的交流发电机 - 整流励磁系统（FF 型）



输入数据

- 1) 必须： $V_{AMAX}$ ， $V_{AMIN}$ ， $K_A$ ， $T_A$ ， $V_{RMAX}$ ， $V_{RMIN}$ ， $K_E$ ， $T_E$   
 $S_{E1}$ ， $S_{E2}$ ， $V_{E1}$ ， $K_F$ ， $T_F$ ， $K_B$ ， $K_L$ ， $V_{LR}$
- 2) 可选： $T_B$ ， $T_C$ ， $K_C$ ， $K_D$ ， $K_H$
- 3) 若 $T_C > 0$ ，必须 $T_B > 0$
- 4) 程序内部模型见下图

## FF型励磁系统内部模型



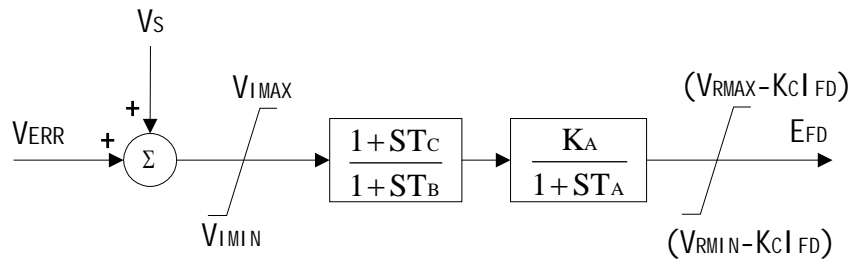
$$V_{FEMAX} = (V_{LR} K_L K_B) / (1 + K_L K_B)$$

$$V_{EMAX} = V_{FEMAX} / (K_E + S_E)$$

$$K'_D = K_D / (K_E + S_E)$$

$$S_E = F(V_E)$$

## 8.4.9 交流发电机可控整流励磁系统 (FG 型)

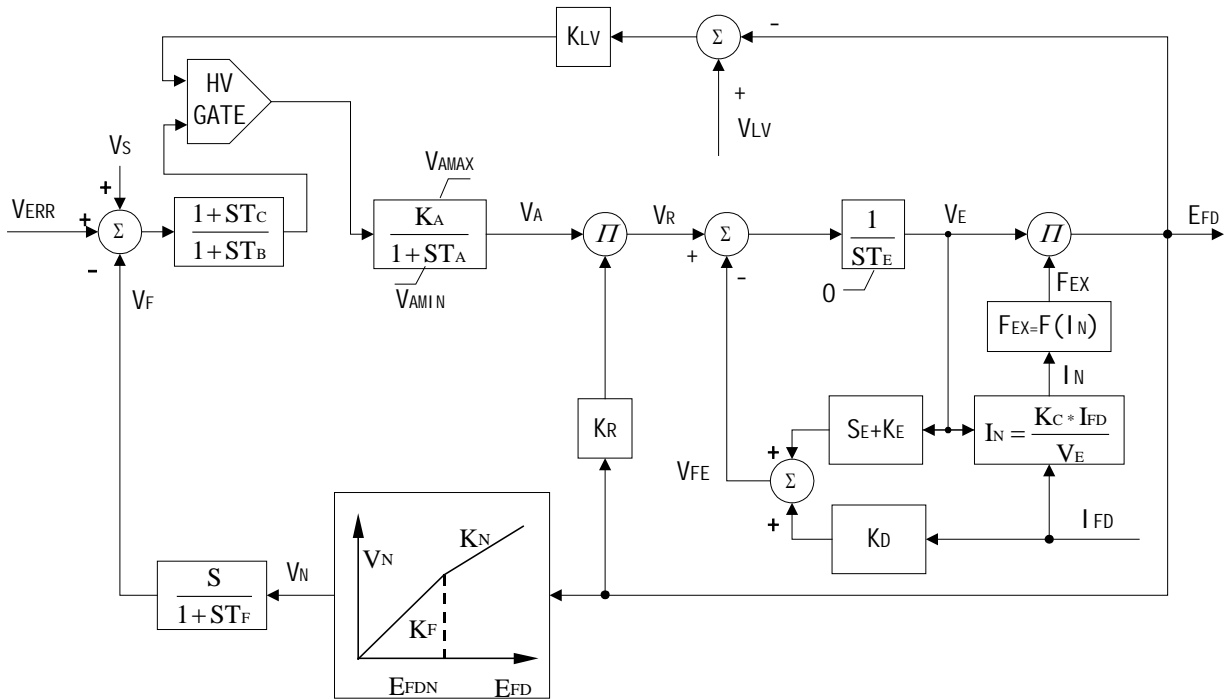


## 输入数据

- 1) 必须:  $V_{IMAX}$ ,  $V_{IMIN}$ ,  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMAX}$ ,  $V_{RMIN}$
- 2) 可选:  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $K_C$
- 3) 若  $T_C > 0$ , 必须  $T_B > 0$

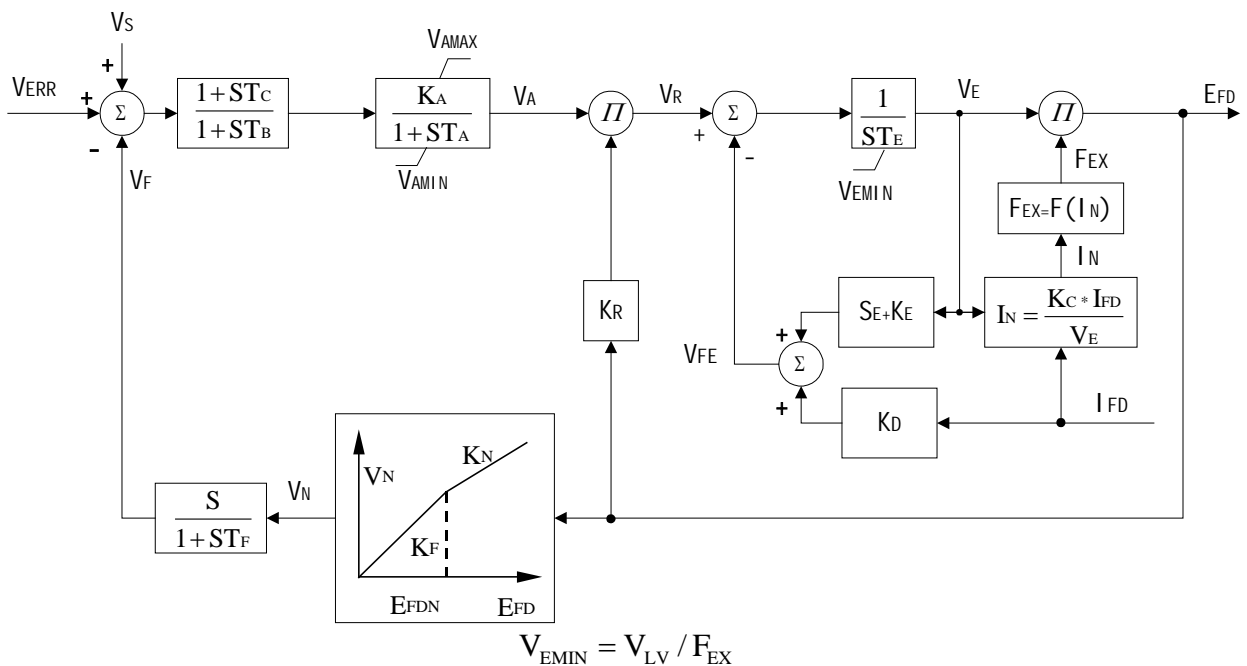


### 8.4.10 交流发电机整流励磁系统 (FH 型)



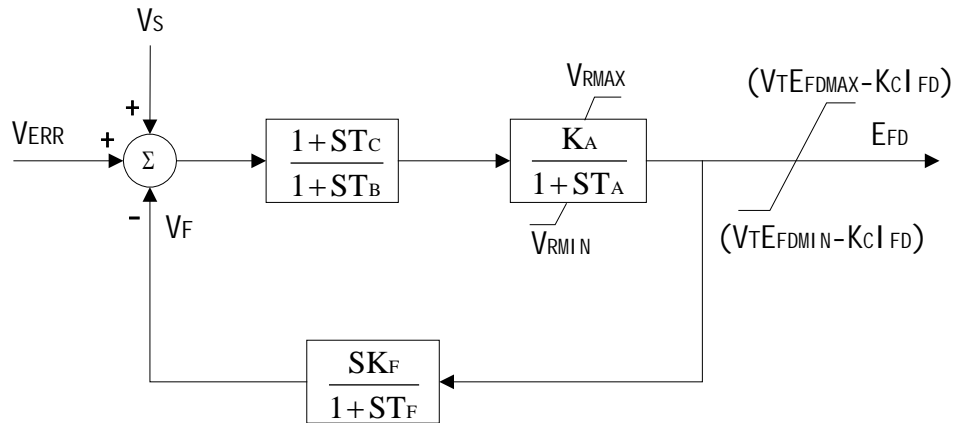
- 1) 必须:  $K_A, T_A, V_{AMAX}, V_{AMIN}, K_E, T_E, S_{E1}, S_{E2}, E_{FDN}, V_{E1}$   
 $K_F, T_F, V_{LV}, K_{LV}, K_N, K_R$
- 2) 可选:  $T_B, T_C, K_C, K_D$
- 3) 若  $T_C > 0$ , 必须  $T_B > 0$
- 4) 程序内部模型见下图

FH型励磁系统内部模型



$$V_{EMIN} = V_{LV} / F_{EX}$$

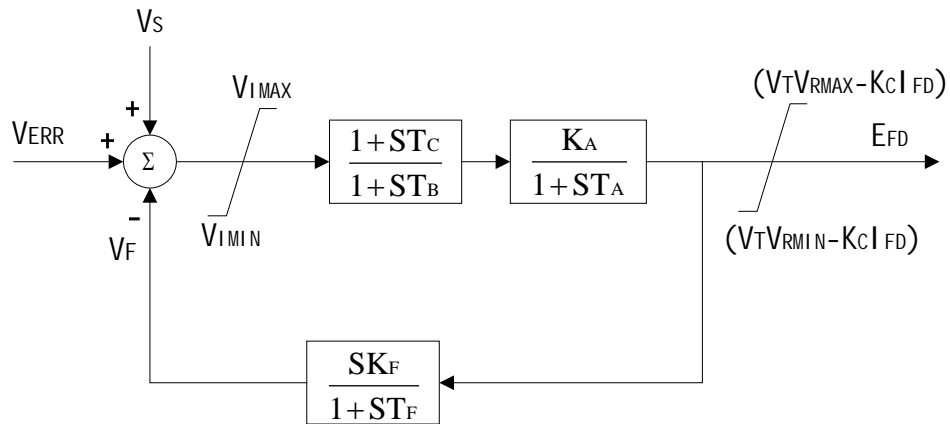
### 8.4.11 电势源 - 可控整流励磁系统 (FJ 型)



#### 输入数据

- 1) 必须:  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMAX}$ ,  $V_{RMIN}$ ,  $E_{FDMAX}$ ,  $E_{FDMIN}$ ,  $K_F$ ,  $T_F$
- 2) 可选:  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $K_C$
- 3) 若  $T_C > 0$ , 必须  $T_B > 0$

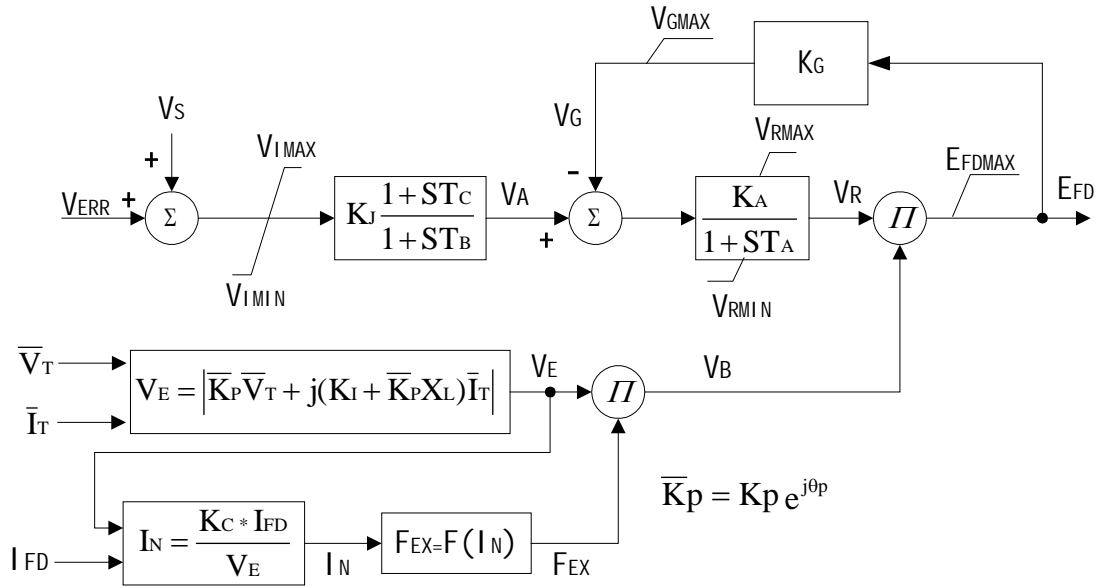
### 8.4.12 电势源 - 可控整流励磁系统 (FK 型)



#### 输入数据

- 1) 必须:  $V_{IMAX}$ ,  $V_{IMIN}$ ,  $K_A$ ,  $T_A$ ,  $V_{RMAX}$ ,  $V_{RMIN}$
- 2) 可选:  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $K_F$ ,  $T_F$ ,  $K_C$
- 3) 若  $T_C > 0$ , 必须  $T_B > 0$
- 4) 若  $K_F > 0$ , 必须  $T_F > 0$

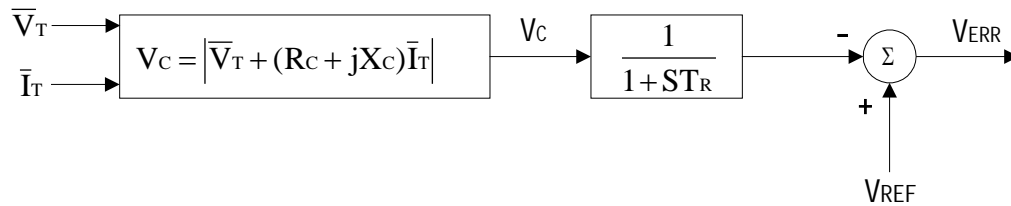
### 8.4.13 复合源可控整流励磁系统（FL 型）



输入数据

- 1) 必须： $V_{IMAX}$ ， $V_{IMIN}$ ， $K_A$ ， $T_A$ ， $V_{RMAX}$ ， $V_{RMIN}$ ， $K_J$ ， $K_I$ ， $K_P$   
 $E_{FDMAX}$ ， $K_C$ ， $X_L$ ， $K_G$ ， $V_{GMAX}$
- 2) 可选： $T_B$ ， $T_C$ ， $\theta_p$
- 3) 若  $T_C > 0$ ，必须  $T_B > 0$

### 8.4.14 发电机机端电压变送器和负载补偿器单元



此单元模型适用于所有A - L各种励磁模型，与之联合使用。

输入数据

可选： $R_C$ ， $X_C$ ， $T_R$

### 8.4.15 励磁机饱和特性

此特性曲线适用于A、B、C、E、F、H型励磁系统。

用户给出饱和曲线上的两点，程序用下列函数定义饱和曲线 $S_E$

$$S_E = M \cdot e^{[N \cdot E_{FD}]} \quad \begin{array}{l} \text{(A、B、F型)} \\ \text{(C、F、H型, } K_c = 0) \end{array}$$

$$S_E = M \cdot e^{[N \cdot V_E]} \quad \text{(C、F、H型, } K_c > 0)$$

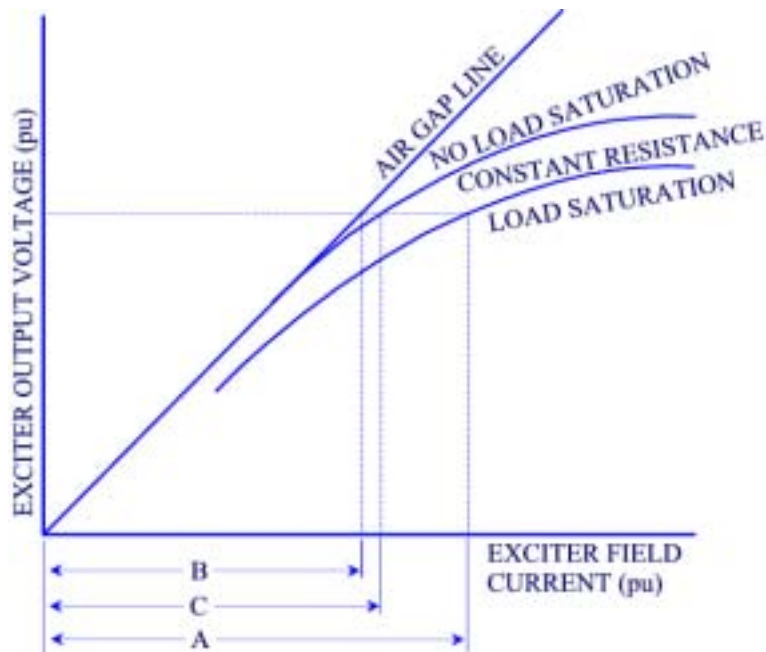
其中M、N由用户指定的两个饱和点求得

$$S_E = M \cdot e^{N \cdot E_{FD1}} \quad \text{(A、B、E型)}$$

$$S_{E2} = M \cdot e^{0.75 N \cdot E_{FD1}} \quad \text{(C、F、H型, } K_c = 0)$$

$$S_{E1} = M \cdot e^{N \cdot V_{E1}} \quad \text{(C、F、H型, } K_c > 0)$$

$$S_{E2} = M \cdot e^{0.75 N \cdot V_{E1}} \quad \text{(C、F、H型, } K_c > 0)$$



$$S_E = (A - B) / B \quad \text{(A、B、E型, C、F、H型, } K_c = 0)$$

$$S_E = (C - B) / B \quad \text{(C、F、H型, } K_c > 0)$$

### 8.4.16 励磁系统整流器调节特性

此特性曲线适用于C、D、F、H、L型励磁系统。

当 $I_N \leq 0.51$  ,  $F_{EX} = 1 - 0.58 I_N$

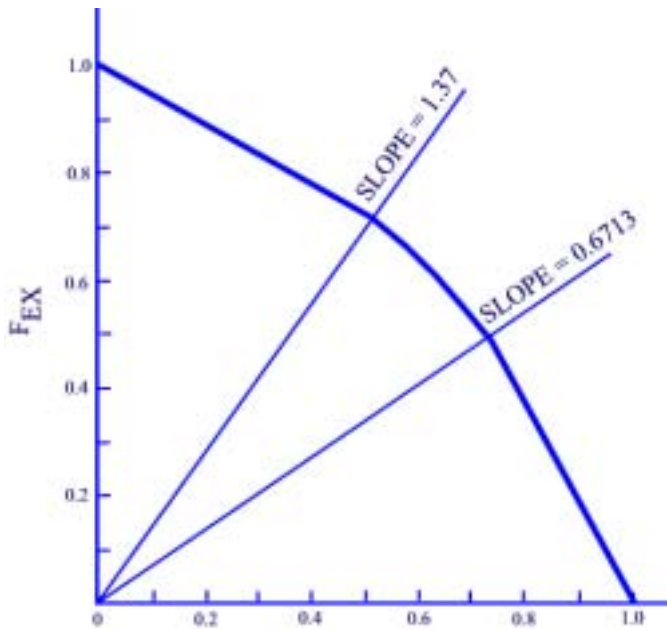
当 $0.51 < I_N < 0.715$  ,  $F_{EX} = -0.865 (I_N + 0.00826)^2 + 0.93233$

当 $I_N \geq 0.715$  ,  $F_{EX} = 1.68 - 1.714 I_N$

当 $F_{EX} < 0$  ,  $F_{EX} = 0$

对于C、F、H型励磁系统 ,  $E_{FD} = V_E F_{EX}$

对于D、L型励磁系统 ,  $V_B = V_E F_{EX}$



$$I_N = \left| \frac{K_C I_{FD}}{V_E} \right|$$

## 8.5 新励磁系统模型卡（子型 M—V）

### 8.5.1 新励磁系统 F 卡（子型 M—V）及继续卡（F+卡）

需要两张卡来填写参数，即F卡（子型 M—V）及其继续卡F+。

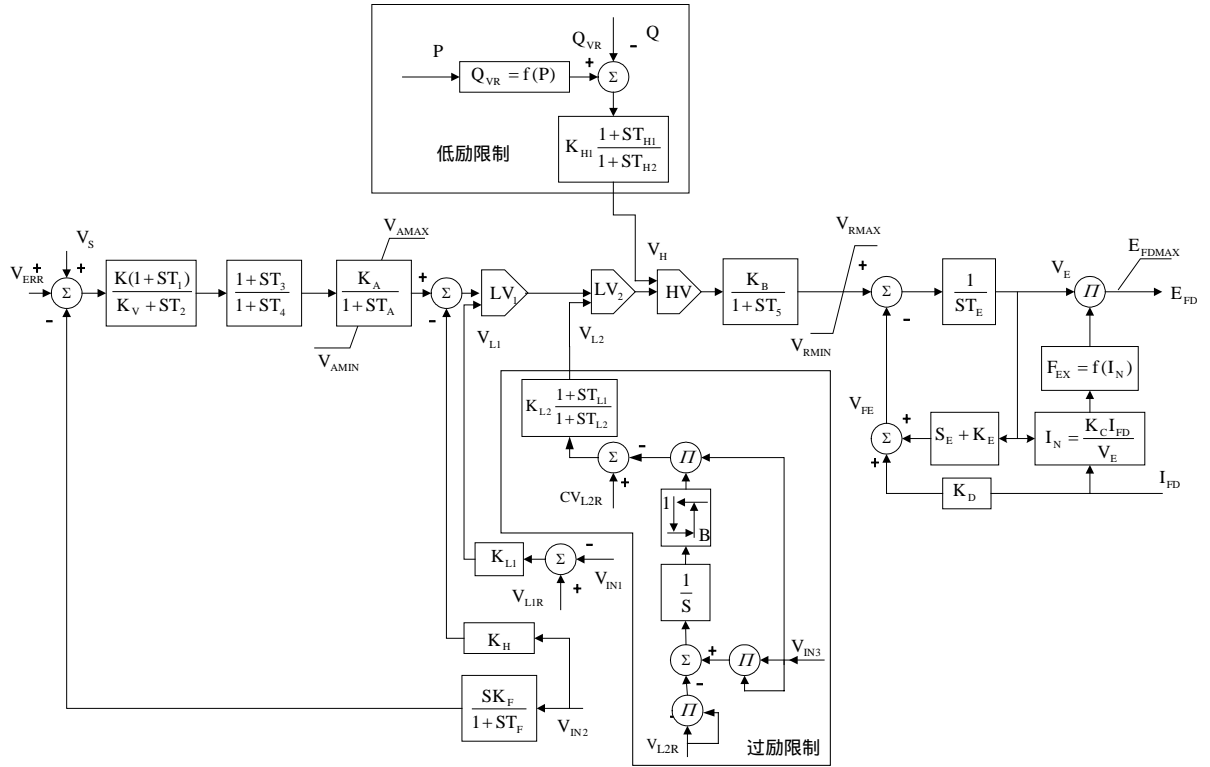
新F卡：

		1								2								3								4								5								6								7								8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8

1									2									3									4									5									6									7								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
F	+	NAME							KV	ID	V <sub>AMAX</sub>	V <sub>AMIN</sub>	K <sub>B</sub>	T <sub>S</sub>	K <sub>E</sub>	T <sub>E</sub>	S <sub>E1</sub>	S <sub>E2</sub>	V <sub>RMAX</sub>	V <sub>RMIN</sub>	K <sub>C</sub>	K <sub>D</sub>	K <sub>L1</sub>	V <sub>L1R</sub>	E <sub>FDMAX</sub>																																					
A2		A8							F4.0	A1	F5.3	F5.3	F4.2	F4.2	F4.2	F4.2	F5.4	F5.4	F4.2	F4.2	F4.2	F4.2	F4.2	F4.2																																						

1—2	卡片类型 F+
4—15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17—21	$V_{AMAX}$ — 调节器最大内部电压 (标么值)
22—26	$V_{AMIN}$ — 调节器最小内部电压 (标么值)
27—30	$K_B$ — 第二级调节器增益 (标么值)
31—34	$T_5$ — 第二级调节器时间常数 (秒)
35—38	$K_E$ — 励磁机自励磁系数 (标么值)
39—42	$T_E$ — 励磁机时间常数 (秒)
43—47	$S_{E1}$ — 最大励磁电压处的励磁机饱和系数
48—52	$S_{E2}$ — 75%最大励磁电压处的励磁机饱和系数
53—56	$V_{RMAX}$ — 电压调节器最大输出 (标么值)
57—60	$V_{RMIN}$ — 电压调节器最小输出 (标么值)
61—64	$K_C$ — 换相电抗的整流器负载因子
65—68	$K_D$ — 去磁因子 (标么值)
69—72	$K_{L1}$ — 励磁机励磁电流限制增益 (标么值)
73—76	$V_{L1R}$ — 励磁机电流限制 (标么值)
77—80	$E_{FDMAX}$ — 最大励磁电压 (标么值)

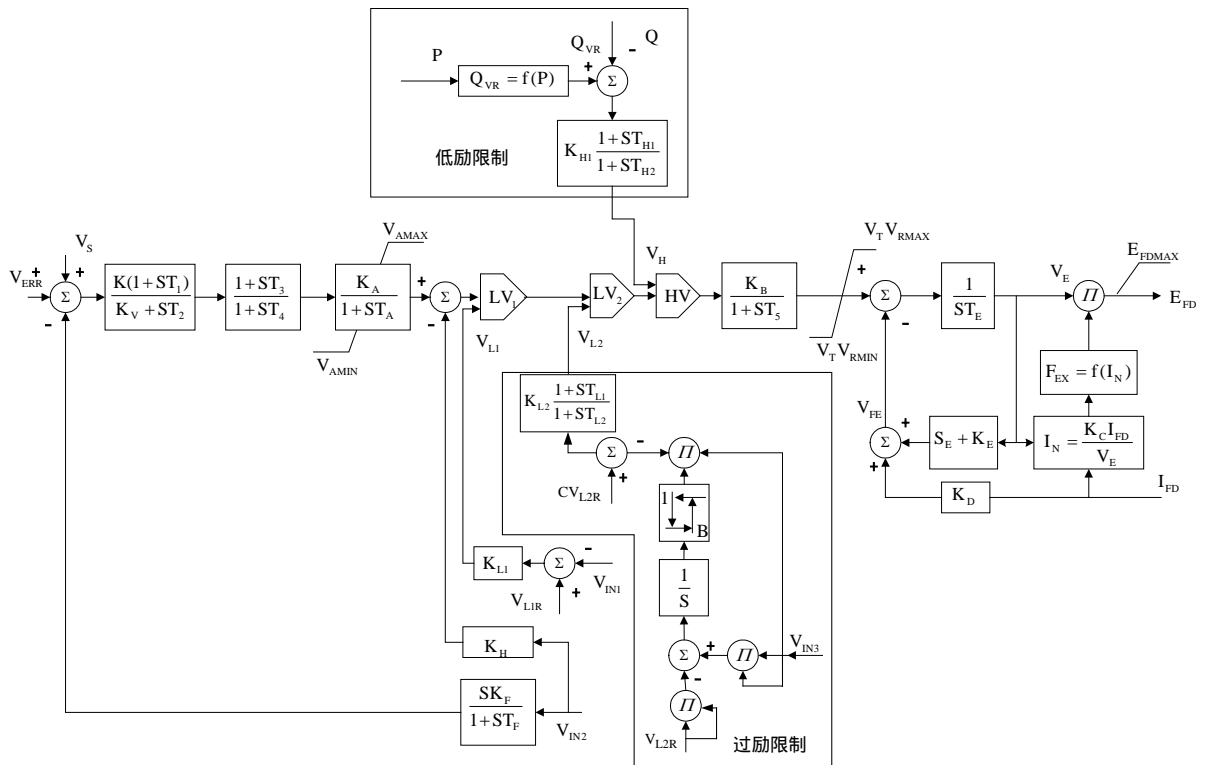
- 1) 对于第57~60列的 $V_{RMIN}$ ，如果填写的为正值，程序读入后自动转换成负值。因此在填写该值时，即可以填写负号，也可以不填写负号。
- 2) 本卡原来的名称为FZ，为了便于与8.4.2节中的FZ卡区分，名称改为F+，同时名称FZ仍然有效。



FM型 有刷或无刷系统,  $V_{IN1}$ 、 $V_{IN2}$ 、 $V_{IN3}$  为  $V_{FE}$

FN型 有刷系统,  $V_{IN1}$ 、 $V_{IN2}$  为  $E_{FD}$ ,  $V_{IN3}$  为  $I_{FD}$

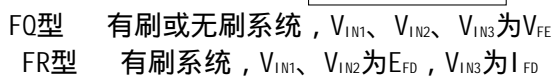
### 旋转励磁系统模型 (一)



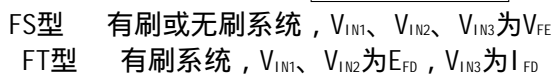
F0型 有刷或无刷系统,  $V_{IN1}$ 、 $V_{IN2}$ 、 $V_{IN3}$  为  $V_{FE}$

FP型 有刷系统,  $V_{IN1}$ 、 $V_{IN2}$  为  $E_{FD}$ ,  $V_{IN3}$  为  $I_{FD}$

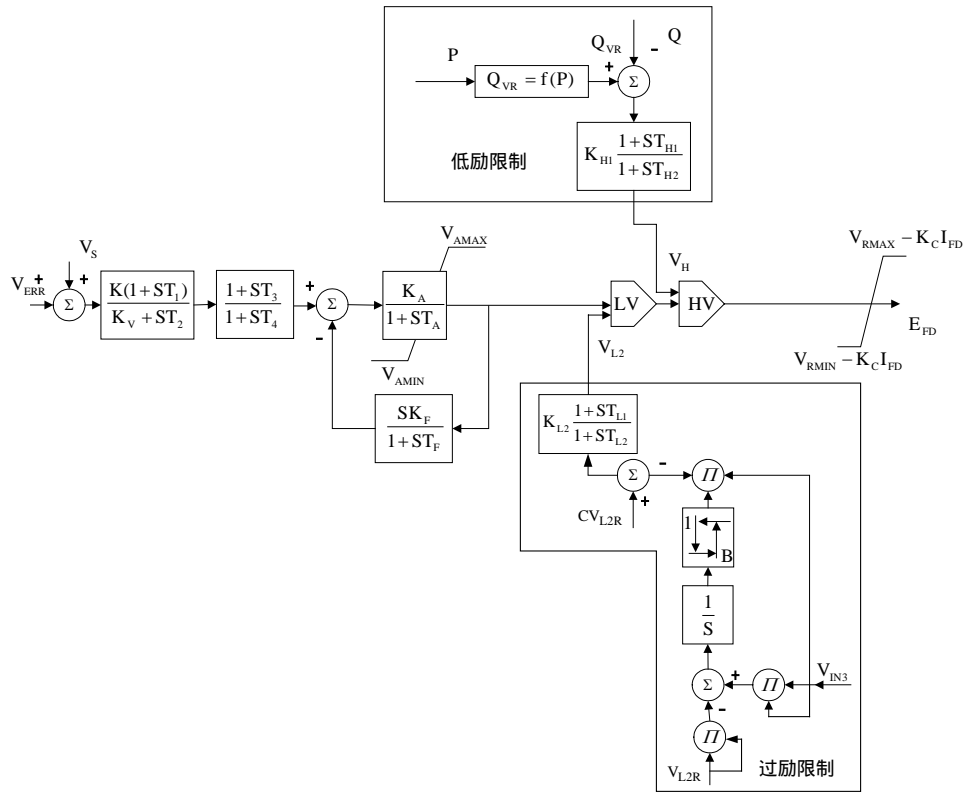




### 旋转励磁系统模型 (三)

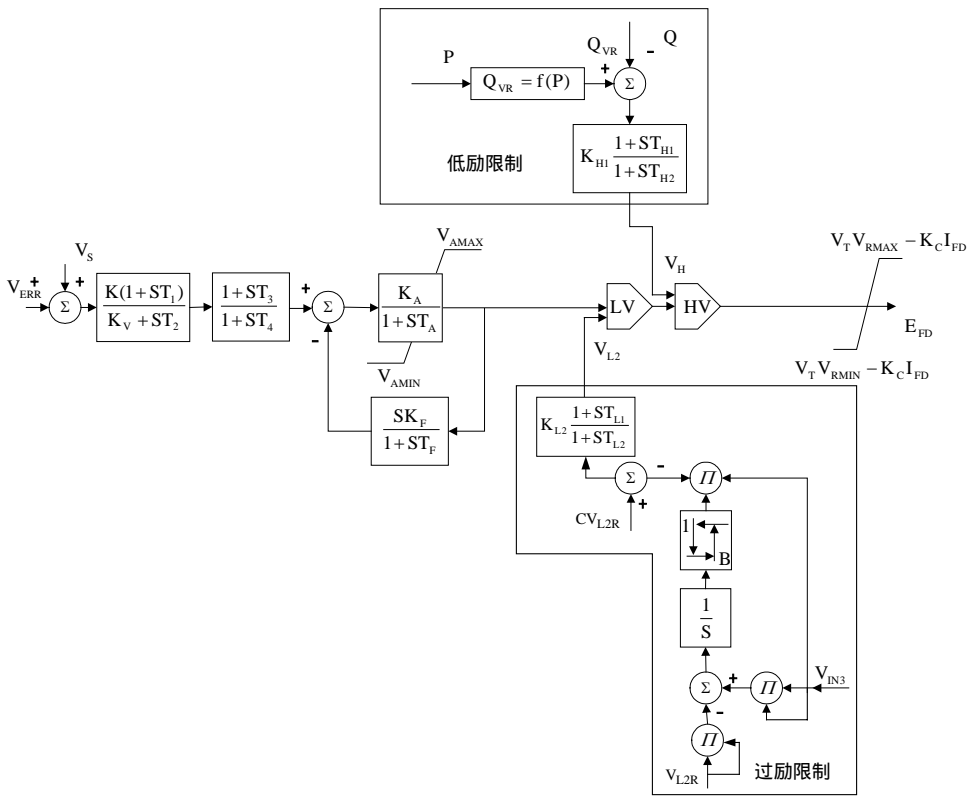


#### 旋转励磁系统模型 (四)



FU型

### 旋转励磁系统模型（五）



FV型

### 自并励静止励磁系统模型

## 8.5.2 过励限制和低励限制卡（EL 卡）

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
E L		NAME					KV	ID	$I_{FD}$ $V_{FE}$					$B_R$	C	$K_{L2}$					$T_{L1}$	$T_{L2}$	T	$P_1$	$Q_1$	$P_2$	$Q_2$	$K_{H1}$	$T_{H1}$	$T_{H2}$	$V_{FE}$																																																
A2		A8					F4.0	A1	F5.4					F4.1	F4.3	F5.2					F4.2	F4.2	F4.1	F5.2	F5.2	F5.2	F5.2	F5.2	F5.2	F4.3	F4.3	11																																															

列

- 1—2          卡片类型 EL  
 4—15        母线名及基准电压  
 16            电机识别码  
 17—21        $I_{FD}$ 、 $V_{FE}$  — 发电机磁场长期允许电流（标么值）  
 22—25        $B_R$  — 过励发热允许值  
 26—29       C — 过励恢复系数  
 30—34        $K_{L2}$  — 过励限制回路增益（标么值）  
 35—38        $T_{L1}$  — 过励限制回路时间常数（秒）  
 39—42        $T_{L2}$  — 过励限制回路时间常数（秒）  
 43—46       T — 允许的过励时间（秒）  
 47—51        $P_1$  — 低励限制曲线上第一点的有功功率（MW）  
 52—56        $Q_1$  — 低励限制曲线上第一点的无功功率（Mvar）  
 57—61        $P_2$  — 低励限制曲线上第二点的有功功率（MW）  
 62—66        $Q_2$  — 低励限制曲线上第二点的无功功率（Mvar）  
 67—71        $K_{H1}$  — 低励限制回路增益（标么值）  
 72—75        $T_{H1}$  — 低励限制回路时间常数（秒）  
 76—79        $T_{H2}$  — 低励限制回路时间常数（秒）  
 80            TYPE — 低励限制类型  
               1 = 直线型、 $V_{in} = V_{FE}$ ，有刷或无刷系统（缺省）  
               2 = 圆周型、 $V_{in} = V_{FE}$ ，有刷或无刷系统  
               3 = 直线型、 $V_{in} = I_{FD}$ ，有刷系统  
               4 = 圆周型、 $V_{in} = I_{FD}$ ，有刷系统

### 8.5.3 发电机过励限制和保护说明

#### · 保护对象

发电机转子

#### · 过励起因

- 1) 系统电压长期过低，AVR作用于增励。
- 2) AVR故障引起过励磁。

#### · 判别用电量

- 1) 发电机转子电流——只用于有刷励磁系统。
- 2) 交流励磁机励磁电流——无刷励磁系统必须用，有刷励磁系统也可以用。

#### · 限制量

限制调节器输出电压，从而达到限制发电机转子电流。在实际装置中，不能直接限制转子电流或电压；在程序中也可以直接限制转子电流和电压。

#### · 判据

原则是等效发热反时限特性，由两点确定限制曲线。

##### 1) 长期允许电流

$$t = \infty, I_{FD} = I_{FD}$$

##### 2) 2倍 $I_{FDN}$ 时的允许电流

$$t = t_{2.0}, I_{FD} = I_{FD}$$

$$t(I_{FD}^2 - A) = B$$

$$A = I_{FD}^2$$

$$B = (4 - I_{FD}^2) t_{2.0}$$

例如：

$$I_{FD} = 1.05$$

$$t_{2.0} = 10 \text{ 秒}$$

则有，

$$A = 1.05^2 = 1.1025$$

$$B = (4 - 1.05^2) \times 10 = 28.975$$

$$t = B / (I_{FD}^2 - 1.1025) = 28.975 / (I_{FD}^2 - 1.1025)$$

限制特性曲线

$I_{FD}$	1.05	1.06	1.07	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.2	2.5	3.0
$t$ (秒)		1228	646	263.6	85.3	33.7	19.9	10	7.75	5.6	3.7

#### · 判定过励过程

过励过程可能是一种近视恒定过励过程，例如调节器故障引起过励，有可能是这种过程，过渡过程结束后， $I_{FD}$  (或 $I_{FFD}$ ) 为固定值。

过励也可能是一种逐步发生、逐步增大过励值的慢过程。如，系统电压逐步下降，可以引发电机的 $I_{FD}$ 从小于 $I_{FD}$ 到等于 $I_{FD}$ ，再大于 $I_{FD}$ 。过励值也在不断变化。

因此，一般不用计算过励时间的方法来判别过励是否还允许，而是计算  $B = \int (I_{FD}^2 - A) dt$  是否达到允许值的方法来确定是否应该进行限制。即， $B = B_0$  时限制器动作。

限制器动作后，应保持发电机转子电流小于 $I_{FD}$ ，以便把过励过程中产生的过多的热量释放出去。一般取 $0.90 \sim 0.95 I_{FD}$ 。

当限制器不能有效地限制 $I_{FD}$ 时，则应由过励保护动作，把发电机切除，以保证机组安全。因此，在 $B > B_0$ 后，要进行计时，经 $T$ 秒后， $I_{FD}$ 应小于 $I_{FD}$ ， $B$ 应小于 $B_0$ 。且不断减少，否则应切机。

有四种状态：

1)  $B = 0$ ， $I_{FD} \leq I_{FD}$ ，过去未发生过励，无过热积累，当前也不过励。

2)  $B = 0$ ， $I_{FD} > I_{FD}$ ，过去未发生过励，无过热积累，当前发生过励，应进行过热积累计算

$$B = \int (I_{FD}^2 - A) dt$$

3)  $B > 0$ ， $I_{FD} > I_{FD}$ ，过去发生过励，有过热积累，当前也在过励，应进行过热积累计算

$$B = \int (I_{FD}^2 - A) dt$$

4)  $B > 0$ ， $I_{FD} \leq I_{FD}$ ，过去发生过励，有过热积累，当前不再过励（限制器动作

后或系统电压水平恢复后），也应进行积累计算 $B = \int (I_{FD}^2 - A) dt$ 。此时向反方向积累，是释放过程，这一计算直到 $B = 0$ 为止。当 $B = 0$ 时，令 $B = 0$ 。

过励的判别与动作过程如下：

1) 第一次发生过励，就进行发热积累计算。

2) 当发热积累超过给定值， $B = B_0$ 时，发出限制信号，并使调节器输出电压限制在与 $(0.90 \sim 0.95) I_{FD}$ 相对应的水平上。同时进行计时， $T = T + t$ 。

3) 限制器动作正常，经过一定时间（1~2秒）， $I_{FD}$ 将小于 $I_{FD}$ 。此时 $B$ 仍有 $B > 0$ ，还需进行反向（释放）发热积累计算，直到 $B = 0$ 为止。

4) 限制器动作不正常， $T > T_0$ 后，仍不能使 $B < B_0$ 、 $I_{FD} < I_{FD}$ ，则切机。

● 限制器动作正常时，虽然可有 $I_{FD} < I_{FD}$ ，但是，若由系统电压过低引起过励，有可能导致定子过流或发电机失步，也可能因此而切机。

### · 瞬时强励限制

在高起始励磁系统中，设有瞬时过励限制，或者称为强励顶值限制。其作用是防止在调节过程中发电机转子电流瞬时超过容许的强励顶值。其与前述过励限制有两点不同：

1) 其定值是强励容许值，不是长期允许值。

2) 动作是瞬时的，不是按发热积累考虑的延时。

### · 过励限制与瞬时强励限制的关系

两者定值不同，动作特性不同，但作用点相同，都是通过限制调节器输出达到各自的目的。两者是“或”的关系。哪一个动作都要起作用。可用两种办法解决：

1) 主环的前向通道用一个低通门串联。

2) 主环前向通道保持一个低通门，限制回路另设一个低通门。两个限制低者通过。

## 8.5.4 发电机低励限制和保护说明

### . 起因

- 1) 系统电压升高
- 2) AVR故障

### . 低励限制型式

#### 1) 直线型

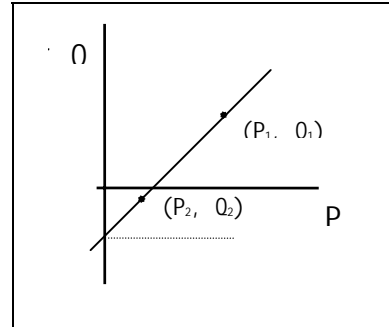
$$Q = K \cdot P + C$$

$$K = \tan \theta$$

一般给定  $K$  和  $C$  或二点法确定  $K$  和  $C$ 。

$$K = \frac{Q_1 - Q_2}{P_1 - P_2}$$

$$C = Q_2 - \frac{Q_1 - Q_2}{P_1 - P_2} P_2$$



#### 2) 圆周型

圆心在  $Q$  轴上，方程式为，

$$P^2 + (Q_0 - Q)^2 = r^2$$

$$Q = Q_0 - \sqrt{r^2 - P^2}$$

一般给定  $r$ 、 $Q_0$ ，或

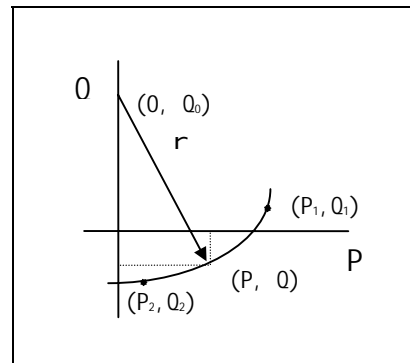
用两点  $(P_1, Q_1)$ 、 $(P_2, Q_2)$  求得

$$Q_0 = \frac{1}{2} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{Q_1 - Q_2} + Q_1 + Q_2 \right]$$

$$r^2 = P_1^2 + (Q_0 - Q_1)^2$$

or

$$r^2 = P_2^2 + (Q_0 - Q_2)^2$$



由于不同电压水平下容许进相能力是不同的（相同有功），所以应根据电压水平进行修正，

直线型  $Q = K \cdot P + C \cdot V_t^2$

圆周型  $P^2 + (Q_0 \cdot V_t^2 - Q^2) = (r \cdot V_t^2)^2$

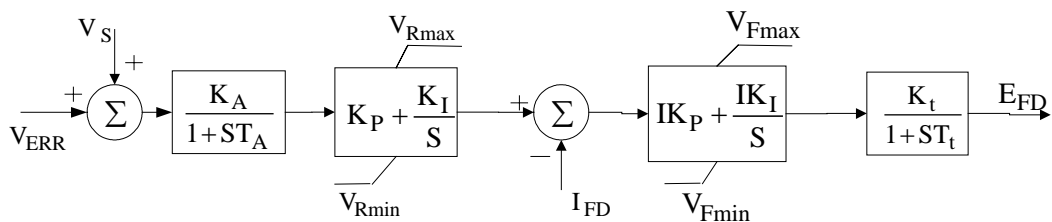
## 8.6 励磁系统模型——FX 型

1										2										3										4										5										6										7										8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0											
F	X	NAME								KV	ID	RC	XC					TR	KA					TA	KP	KI	Vrmax	Vrmin	IKP	IKI	Vfmax	Vfmin	KT					TT																																
A2	A8								F4.0	A1	F4.3	F4.3	F4.4	F4.3	F4.4	F4.3	F4.3	F5.3	F5.3	F4.3	F4.3	F5.3	F5.3	F4.3	F4.3	F5.3	F5.3	F4.3	F4.3	F5.3	F5.3	F4.3	F4.3	F5.3	F5.3	F4.3	F4.4																																	

列

- 1—2 FX  
 4—11 节点名  
 12—15 基准电压  
 16 识别码  
 17—20 RC\*—负载补偿之有功分量（标么值）  
 21—24 XC\*—负载补偿之无功分量（标么值）  
 25—28 TR—调节器输入滤波器时间常数（秒）  
 29—32 KA—调节器增益（标么值）  
 33—36 TA—调节器时间常数（秒）  
 37—40 KP—比例增益（标么值）  
 41—44 KI—积分系数（标么值）  
 45—49 VRmax—电压调节器最大输出（标么值）  
 50—54 VRmin—电压调节器最小输出（标么值）  
 55—58 IKP—电流环比例增益（标么值）  
 59—62 IKI—电流环积分系数（标么值）  
 63—67 VFmax—电流环的最大限幅（标么值）  
 68—72 VFmin—电流环的最小限幅（标么值）  
 73—76 KT—可控硅整流器增益（标么值）  
 77—80 TT—可控硅整流器时间常数（秒）

该模型框图：



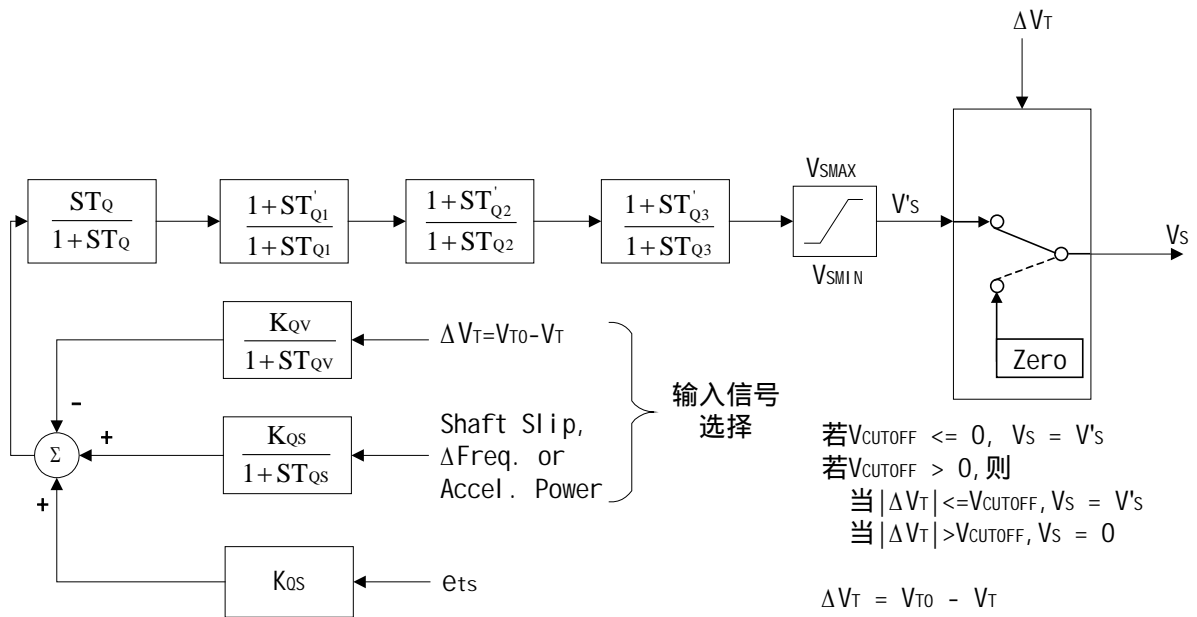
注：

- 1) 17-24 列的 RC 和 XC 的基准功率为 MF 卡中 29-32 列指定的功率值。如果 MF 卡 29-32 列为空，则为系统基准功率。
- 2) 该励磁模型只需一张数据卡，即 FX 卡。





其传递函数框图如下：



### 输入数据

- 1) 必须： $K_{QV}, T_{QS}, K_{QS}, T_{QV}, T_Q, T_{Q1}, T'_{Q1}, T_{Q2}, T'_{Q2}, T_{Q3}, T'_{Q3}, V_{SMAX}, V_{CUTOFF}, V_{SLOW}$
- 2) 若  $V_{SLOW} \leq 0$ ,  $V_{SMIN} = -V_{SMAX}$
- 3) 若  $V_{SLOW} > 0$ ,  $V_{SMIN} = -V_{SLOW}$
- 4)  $e_{ts}$  为暂态稳定器的输出

注：

对于 SP 卡和 SG 卡，24-27 列的控制增益  $K_{QS}$  的基准容量是 77-80 列填写的基准容量值；如果没有填写，则为发电机卡 MF 卡中 29-32 列的值。

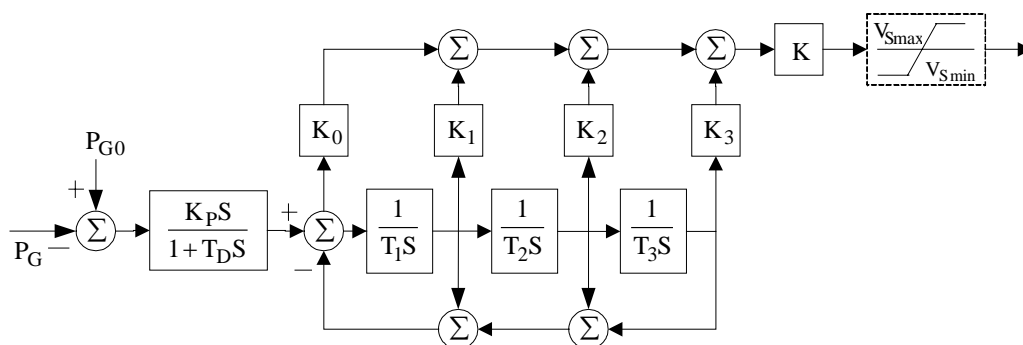
## 9.2 PSS 模型 —— SH

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
SH	GEN NAME									BASE	I D	TD	T1	T2	T3	K0	K1	K2	K3	K	VSMAX	VSMIN	KP	KMVA																																																							
A2	A8									F4.0	A1	F5.4	F5.3	F5.3	F5.3	F5.4	F5.4	F5.4	F5.4	F5.3	F5.3	F5.3	F5.4	F4.0																																																							

列

- 1 - 2 PSS卡名称SH  
 4 - 11 节点名  
 12 - 15 基准电压  
 16 电机识别码  
 17 - 21  $T_D$   
 22 - 26  $T_1$   
 27 - 31  $T_2$   
 32 - 36  $T_3$   
 37 - 41  $K_0$   
 42 - 46  $K_1$   
 47 - 51  $K_2$   
 52 - 56  $K_3$   
 57 - 61  $K$   
 62 - 66  $V_{S\text{MAX}}$   
 67 - 71  $V_{S\text{MIN}}$   
 72 - 76  $K_P$   
 77 - 80  $K_M\text{VA}$  ,  $K_P$ 的基准容量 (MVA)

模型：

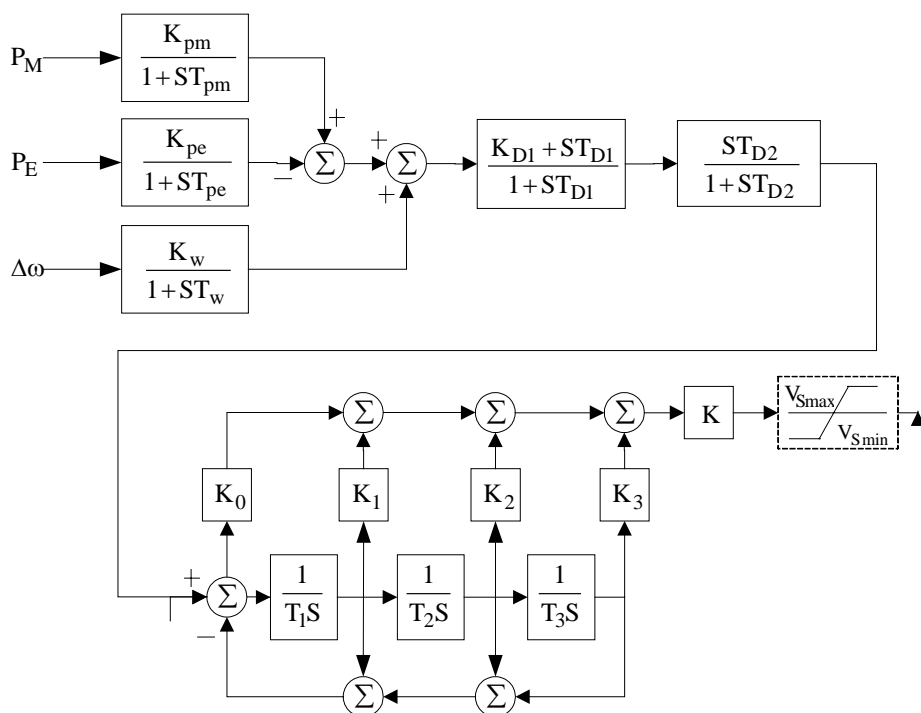


注：

- 1) 填写时,  $K_P$ 、 $T_D$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $K$  都不能为零,  $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  不能同时为 0。
- 2) 本卡中 72-76 列  $K_P$  的基准容量为 77-80 列的值; 如果此值为 0, 则基准容量为发电机数据卡 MF 卡中 29 - 32 列的值。

[illegible]

- 该 PSS 模型如下：



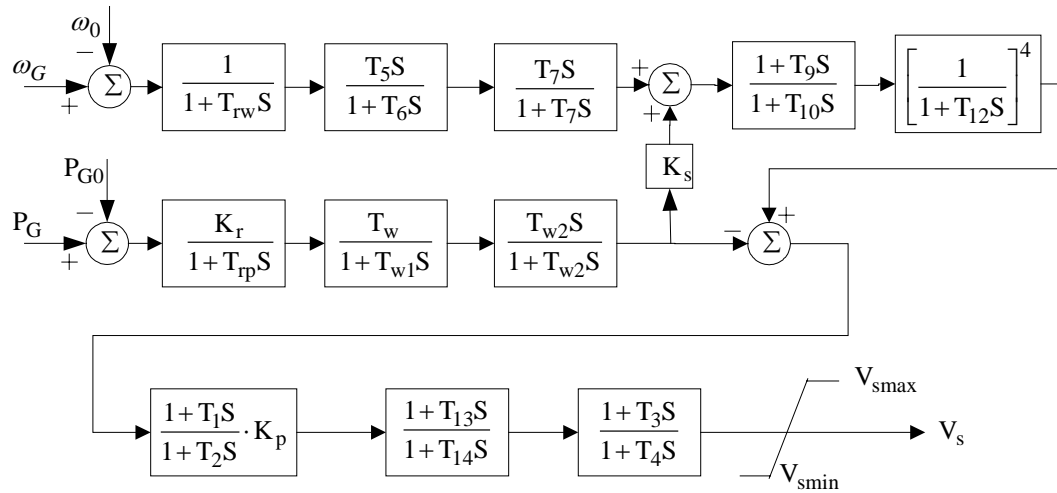
注：

- 1) 对于本模型，需要同时填写 SH 卡和 SH+卡，此时 SH 卡中的第 17-21 列的 TD 和 72-76 列的 KP 无效；
- 2) 只填写 SH+卡，无 SH 卡，则填写的 SH+卡无效；
- 3) 只填写 SH 卡，无 SH+卡，则程序认为是 9.2 中的 PSS 框图；
- 4) SH+卡的放大倍数  $K_{PM}$  和  $K_{PE}$  的功率基准值为本卡中 77-80 列的值，如果此值为 0，则为发电机卡 MF 卡 29-32 列的值；
- 5) 参数  $K_{D1}$  目前仅限于填写 0 或者 1；
- 6) 该卡中所有的时间常数的单位都是秒。



42 - 46	F5.3	$T_3$
47 - 51	F5.3	$T_4$
52 - 57	F6.4	$V_{smax}$
58 - 63	F6.4	$V_{smin}$
77 - 80	F4.0	KMVA, SI 卡中 Kr 的基准容量 (MVA)

该模型如下：



注：

- 1) 本模型需要两张卡，即 SI 和 SI+卡。
- 2) SI 卡中的 36-41 列的 Kr 的基准容量 SI+卡中 77-80 列的值；如果该值为 0，则为 MF 卡 29-32 列填写的数值。
- 3) 本模型中时间常数的单位都是秒。

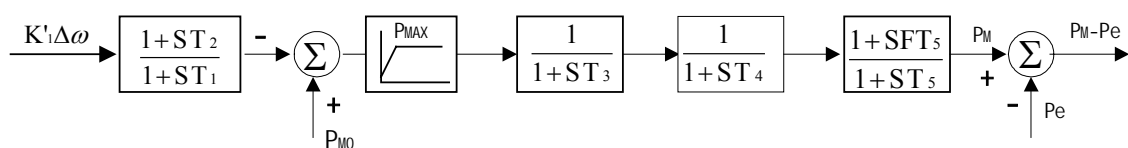


## 11 原动机和调速器卡

### 11.1 调速器 - 原动机系统命名法则

符 号	定 义
$D_d$	软反馈系数
$F$	再热器前的轴容量除以总的轴容量值
$F_{HP}$	高压缸功率占总原动机功率的比例
$F_{IP}$	中压缸功率占总原动机功率的比例
$F_{LP}$	低压缸功率占总原动机功率的比例
$K$	$P_{MAX} / (\text{功率基准值} * R)$
$K'$	$P_{MAX} / \text{功率基准值}$
$K_1 - K_8$	通用模型参数，见框图
$P_{GV}$	汽门或水门输出功率
$P_M$	机械功率
$P_{MAX}$	汽门或水门的最大功率
$P_{MIN}$	汽门或水门的最小功率
$P_0$	机械功率初值（标么值）
$\dot{P}_{DOWN}$	$(-VEL_{CLOSE})(P_{MAX} / \text{功率基准值})$
$\dot{P}_{UP}$	$(VEL_{OPEN})(P_{MAX} / \text{功率基准值})$
$R$	调差系数
$T_1 - T_7$	通用模型时间常数，见框图
$T_{CH}$	蒸汽容积时间常数
$T_{CO}$	交叉管时间常数
$T_{RH}$	再热器时间常数
$T_{RH1}$	第一再热器时间常数
$T_{RH2}$	第二再热器时间常数
$T_G$	调速器响应时间
$T_P$	引导阀门时间常数
$T_d$	阻尼箱时间常数
$T_W$	水锤效应时间常数
$VEL_{OPEN}$	最大阀门开启速度，按每秒标么计
$VEL_{CLOSE}$	最大阀门关闭速度，按每秒标么计
$V'_T$	补偿的发电机机端电压，参见励磁系统命名法则
$D_H$	转子阻尼的近似值
$\Delta\omega$	以50周为基准的转速偏差（标么值） $\Delta\omega = (\omega - 2\pi f_0) / 2\pi f_0$ 此处 $f_0 = 50$ , $\omega = \text{转速（每秒弧度）}$



[illegible]

1 - 2	GG 卡片类型
4 - 11	NAME 母线名
12 - 15	kV 基准电压
16	ID 电机识别码
17 - 22	$P_{MAX}$ - 原动机最大输出功率 (MW)
23 - 27	R - 调差系数, 0.03~0.06
28 - 32	$T_1$ - 控制时间
33 - 37	$T_2$ - 水轮机恢复时间, 汽轮机为零
38 - 42	$T_3$ - 伺服机时间常数
43 - 47	$T_4$ - 汽轮机阀时间常数, 水轮机为零
48 - 52	$T_5$ - 1/2倍水轮机水锤效应时间常数, 或者汽轮机再热器时间常数
53 - 57	F - 对水轮机 $F = -2$ ; 对汽轮机 $F = \frac{\text{再热器前轴容量}}{\text{总的轴容量}}$



## 典型数据：

R 0.03~0.06

$T_G$  典型值为0.2~0.4秒

$T_P$  典型值为0.03~0.05秒

$T_d$   $T_d=5T_w$ 典型值为2.5~25.0秒

$T_w/2$  典型值为0.25~2.5秒

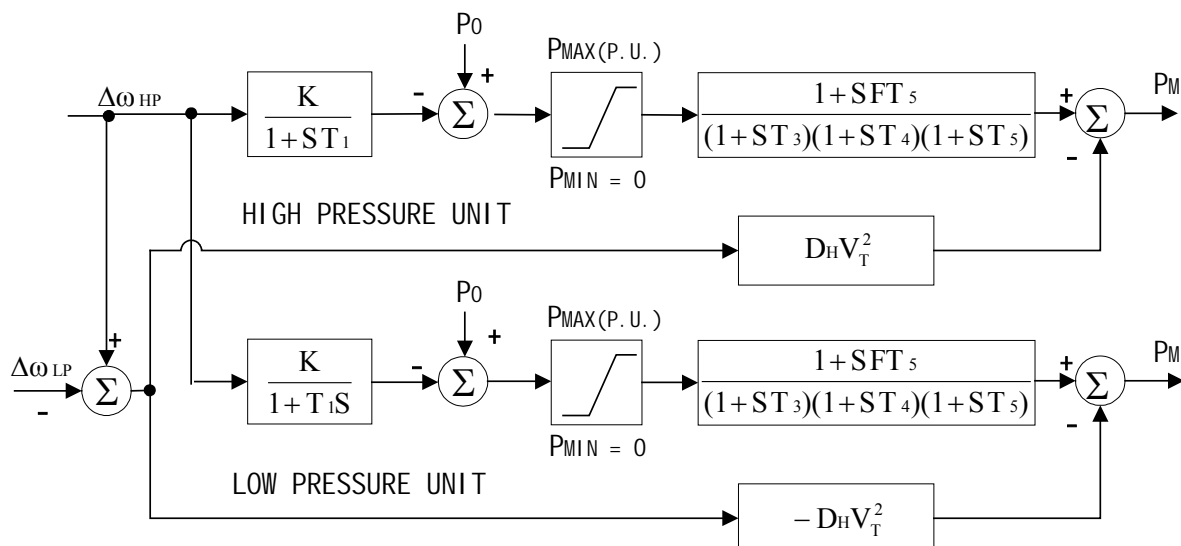
$VEL_{CLOSE}$  典型值为0.1~0.2秒

$VEL_{OPEN}$  典型值为0.1~0.2秒

这两项在国内一般称之为错油门行程的限制值

$D_d$   $D_d=2.5 \frac{T_w}{2H}$  典型值为0.2~0.6

注：H是总的水头。

[illegible]

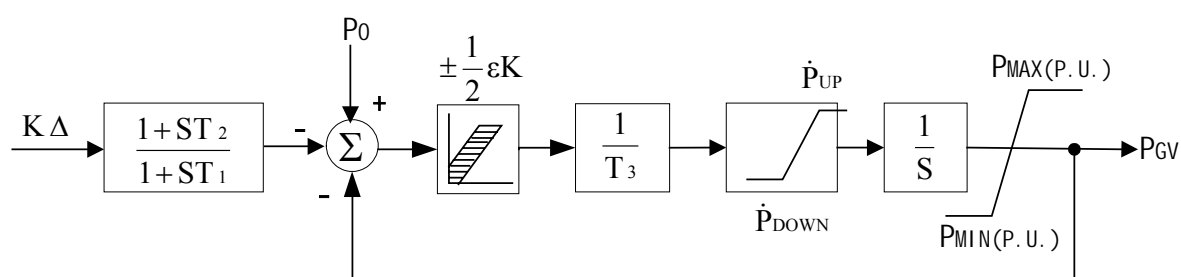
1	卡片类型 - G
2	调速器类型 - C
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 22	$P_{MAX}$ - 最大原动机输出功率 (MW)
23 - 27	R - 调差系数
28 - 32	$T_1$ - 控制时间
38 - 42	$T_3$ - 伺服机时间常数
43 - 47	$T_4$ - 汽轮机阀碗时间常数
48 - 52	$T_5$ - 汽轮机再热器时间常数
53 - 57	F - 再热器前轴容量除以总轴容量
58 - 62	$D_H$ - 转子阻尼的近似值

- 1) 需要两张数据卡片，一张用于高压单元，一张用于低压单元；
- 2) 对每一单元要输入： $P_{MAX}$ ， $R$ ， $T_1$ ， $T_3$ ， $T_4$ ， $T_5$ ， $F$ ， $D_H$ ；
- 3) 程序求出 $K = P_{MAX}/\text{功率基准值} \times R$ ；
- 4) 近似的转子阻尼可按如下计算：

$$D_H = \frac{1}{2} \left[ \frac{(X_d - X_d'')T_{do}''}{(X_d + X_T)^2} + \frac{(X_q - X_q'')T_{q0}''}{(X_q + X_T)^2} \right]$$

5) P<sub>MAX</sub>标么值 = P<sub>MAX</sub>/功率基准值。

### 11.3.1 汽轮机调速器模型 1 (GS 卡)

[illegible]

1	卡片类型 - G
2	调速器类型 - S
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 22	$P_{MAX}$ - 原动机最大输出功率 (MW)
23 - 28	$P_{MIN}$ - 原动机最小输出功率 (MW)
29 - 33	R - 调差系数
34 - 38	$T_1$ - 控制时间
39 - 43	$T_2$ - 一般为零
44 - 48	$T_3$ - 伺服机时间常数
49 - 54	$VEL_{OPEN}$ - 最大的汽门开启速度 (每秒标么), 必为正数
55 - 60	$VEL_{CLOSE}$ - 最大的汽门关闭速度 (每秒标么), 必为正数
61 - 66	- 死区, 为相对于系统频率的标么值

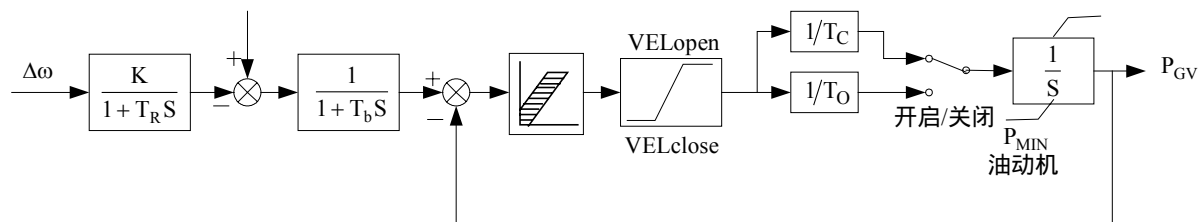
2) 用户使用S型调速器时，必须指定原动机数据。原动机类型A、B、C、D、E、F必须与此卡配合。

美国IEEE工作委员会1973年12月报告中推荐的GS型常用参数如下：[7]

类 别	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$\dot{P}_{UP}$	$\dot{P}_{DOWN}$
GE公司有蒸汽反馈的电液系统 <sup>(1)</sup>	0	0	0.025	0.1	0.1
GE公司无蒸汽反馈的电液系统	0	0	0.1	0.1	0.1
西屋公司有蒸汽反馈的电液系统 <sup>(1)</sup>	2.8 <sup>(2)</sup>	1.0 <sup>(2)</sup>	0.15	0.1	0.1
西屋公司无蒸汽反馈的电液系统	0	0	0.1	0.1	0.1
机械液压系统	0.2~0.3	0	0.1	0.1	1.0

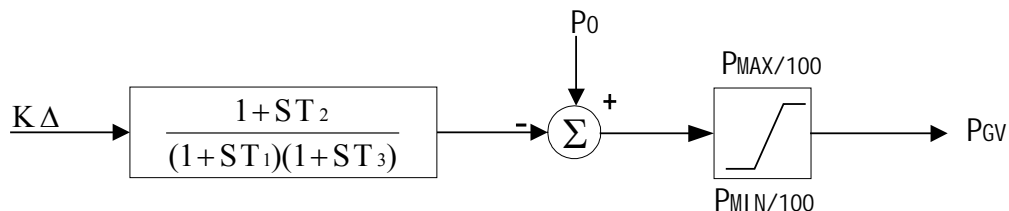
注：

- 1) 蒸汽反馈包括蒸汽容积时间常数 $T_{CH}$ 在内，使用时应予修正
- 2) 这些数值对不同机组有很大变动。
- 3) R的典型值为0.05，故放大系数K典型值为20。



1 - 2	卡名称 GL
4 - 11	发电机名
12 - 15	发电机基准电压
16	发电机识别码
17 - 22	$P_e$ ，原动机额定输出功率 (MW)
23 - 27	$K$ ，转速放大倍数 (系统速度变动率的倒数)
28 - 32	，系统迟缓率
33 - 37	$T_r$ ，调速器滑阀组时间常数
38 - 42	$T_b$ ，中间滑阀组时间常数
43 - 47	$T_o$ ，油动机开启时间常数
48 - 52	$T_c$ ，油动机关闭时间常数
53 - 57	$VEL_{close}$ ，最大关闭速度，标么
58 - 62	$VEL_{open}$ ，最大开启速度，标么
63 - 67	$P_{MAX}$ ，最大原动机输出功率，标么值
68 - 72	$P_{MIN}$ ，最小原动机输出功率，标么值

		1								2								3								4								5								6								7																												
T	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G	Y	NAME								kV		I		Pmax		Pmin		R		T1		T2		T3		TYPE W HYDRO GOVERNOR																																																				
P	E									D																																																																				
W		A8								F4.0		A1		F6.1		F6.1		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3																																																						



1	卡片类型 - G
2	调速器类型 - W
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 22	$P_{MAX}$ - 原动机最大输出功率 (MW)
23 - 28	$P_{MIN}$ - 原动机最小输出功率 (MW)
29 - 33	R - 调差系数
34 - 38	$T_1$ - 控制时间
39 - 43	$T_2$ - 水轮机恢复时间
44 - 48	$T_3$ - 伺服机时间常数
49 - 54	$VEL_{OPEN}$ - 最大水门开启速度 (每秒标么)
55 - 60	$VEL_{CLOSE}$ - 最大水门关闭速度 (每秒标么)

- 1) 程序计算： $K = P_{MAX} / (\text{功率基准值} * R)$
- 2) 用户使用W型调速器时，必须指定原动机数据。原动机W型必须和此型配合。

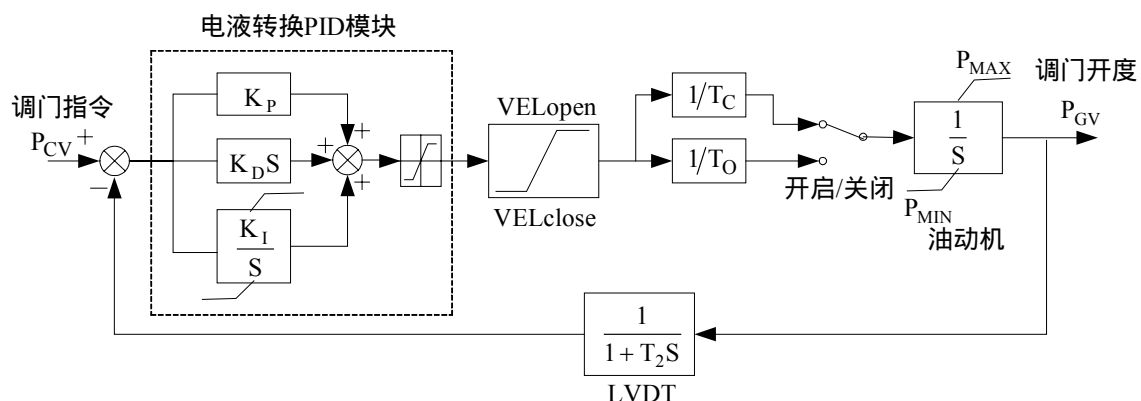


## 11.4 单独的电调型调速器模型（GA、GI\GI+、GJ、GK 卡）

电调型调速系统主要由调节系统（控制系统）、电液伺服系统和原动机组成，调节系统对应模型GI\GI+、GJ、GK，电液伺服系统对应模型GA，原动机模型对应11.5节的TA\TB\TC\TD\TE\TF。对于一个完整的调速器和原动机模型，应同时包含上述三类模型。因此，在填写电调型调速器时，应选择GI\GI+、GJ、GK中的一个模型、GA卡和TA\TB\TC\TD\TE\TF中的一个模型才能组成一个完整的模型。

### 11.4.1 电液伺服系统模型（GA 卡）

1										2										3										4										5										6										7										8																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																									
G	A	NAME										kV	I	D	PE					TC					TO					VELclose					VELopen					Pmax					Pmin					T1					KP					KD					KI					NTGmax					NTGmin					PIDmax					PIDmin					
A2		A8										F4.0	A1		F6.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2					F4.2															



- 1 - 2      卡名称 GA
- 3          空格
- 4 - 11     发电机名
- 12 - 15    发电机基准电压
- 16          发电机识别码
- 17 - 22     $P_e$ ，原动机额定输出功率（MW）
- 23 - 26     $T_c$ ，油动机关闭时间常数（秒）
- 27 - 30     $T_o$ ，油动机开启时间常数（秒）
- 31 - 34     $VEL_{close}$ ，过速关闭系数（标么值）
- 35 - 38     $VEL_{open}$ ，过速开启系数（标么值）
- 39 - 42     $P_{MAX}$ ，最大原动机输出功率（油动机最大行程或调门最大开度）（标么值）
- 43 - 46     $P_{MIN}$ ，最小原动机输出功率（油动机最小行程或调门最小开度）（标么值）
- 47 - 50     $T_1$ ，油动机行程反馈环节（LVDT）时间（秒）

PID 环节限幅环节 INTG\_MAX 和 INTG\_MIN、PID\_MAX 和 PID\_MIN，当上下限值都不填写或为 0 时，取缺省值 9999 和-9999。

GI 卡如下：

[illegible]

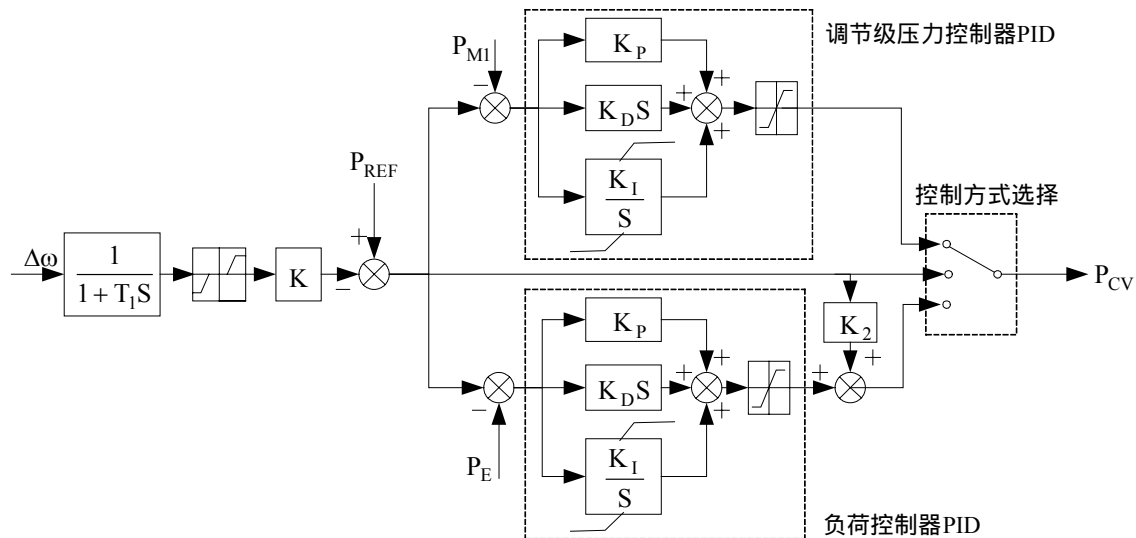
- 2005 年 9 月 - 99 - 中国电力科学研究院系统所

- [illegible]

- 注：
- 1) 该调速器控制部分模型需要填写 2 张卡，即 GI/GI+卡；
  - 2) GI 卡中 17-22 列的死区 应填写死区值的两倍，如死区  $\pm 0.001$ ，则应填写 0.002，程序将死区限制值处理为  $\pm 0.5$ 。死区是相对于基准频率的标么值。
  - 3) 负荷自动开关和调节级压力自动开关必须填写 1 或者 2，不能填写其他值。
  - 4) 对于任何一个限幅环节 上下限幅值都不填或为 0 时 采用缺省值 9999 和 -9999。

## 11.4.3 电调型调速器调节系统模型 2 (GJ 卡)

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
GJ	NAME									kV	ID	T1	K1									I	KP	KD	KI	NTGmax	NTGmin	PIDmax	PIDmin	K2	Wmax	Wmin																																															
A2	A8									F4.0	A1	F5.3	F6.4									F5.2	I1	F5.3	F5.3	F5.3	F4.2	F4.2	F4.2	F4.2	F5.3	F5.3	F5.3																																														



- 1 - 2      卡名称 GJ  
 4 - 11    发电机名  
 12 - 15   发电机基准电压  
 16        发电机识别码  
 17 - 21   转速测量环节时间常数  $T_1$  (秒)  
 22 - 27   转速偏差死区 (相对系统频率的标么值, 死区为  $\pm 0.5$  )  
 28 - 32   转速偏差放大倍数  $K_1$   
 33        控制方式选择, (各种方式下, 一次调频均能自动投入)  
           1 - 调节级压力反馈控制;  
           2 - DEH 开环控制;  
           3 - 负荷反馈控制。  
 此值必须填写, 无缺省值。

33 列后面为调节级压力控制器或负荷控制器 PID 相关的参数, 与 33 列选择值有关。

- 34 - 38    PID 比例环节倍数  $K_P$   
 39 - 43    PID 微分环节倍数  $K_D$   
 44 - 48    PID 积分环节倍数  $K_I$   
 49 - 52    PID 积分环节限幅上限 INTG\_MAX  
 53 - 56    PID 积分环节限幅下限 INTG\_MIN  
 57 - 60    PID 输出限幅环节的上限 PID\_MAX  
 61 - 64    PID 输出限幅环节的下限 PID\_MIN  
 65 - 69     $K_2$  负荷控制前馈系数。

70 - 74	一次调频负荷上限
75 - 79	一次调频负荷下限

注：

- 1) 22-27 列的死区 应填写死区值的两倍，如死区  $\pm 0.001$ ，则应填写 0.002，程序将死区限制值处理为  $\pm 0.5$ 。死区是相对于基准频率的标么值。
- 2) 对于任何一个限幅环节，上下限幅值都不填或为 0 时，采用缺省值 9999 和 -9999。



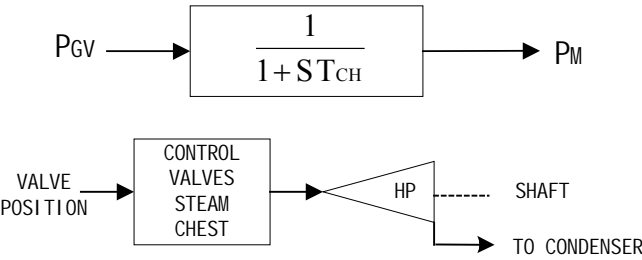
注：

- 1) 22-26 列的死区 应填写死区值的两倍，如死区  $\pm 0.001$ ，则应填写 0.002，程序将死区限制值处理为  $\pm 0.5$ 。死区是相对于基准频率的标么值。
- 2) 对于任何一个限幅环节，上下限幅值都不填或为 0 时，采用缺省值 9999 和 -9999。
- 3) 38 列控制方式选择必须填写 1、2 或 3，没有缺省值；其中填写 1 和 2 的计算结果相同。

11.5 单独的原动机模型（TA、TB、TC、TD、TE、TF、TW）

11.5.1 无再热器汽轮机模型（TA 卡）

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
T	Y	P	E		NAME										kV	I D	Tch	K1																																																													
T	A			A8										F4.0												A1												F5.3												F5.3																													

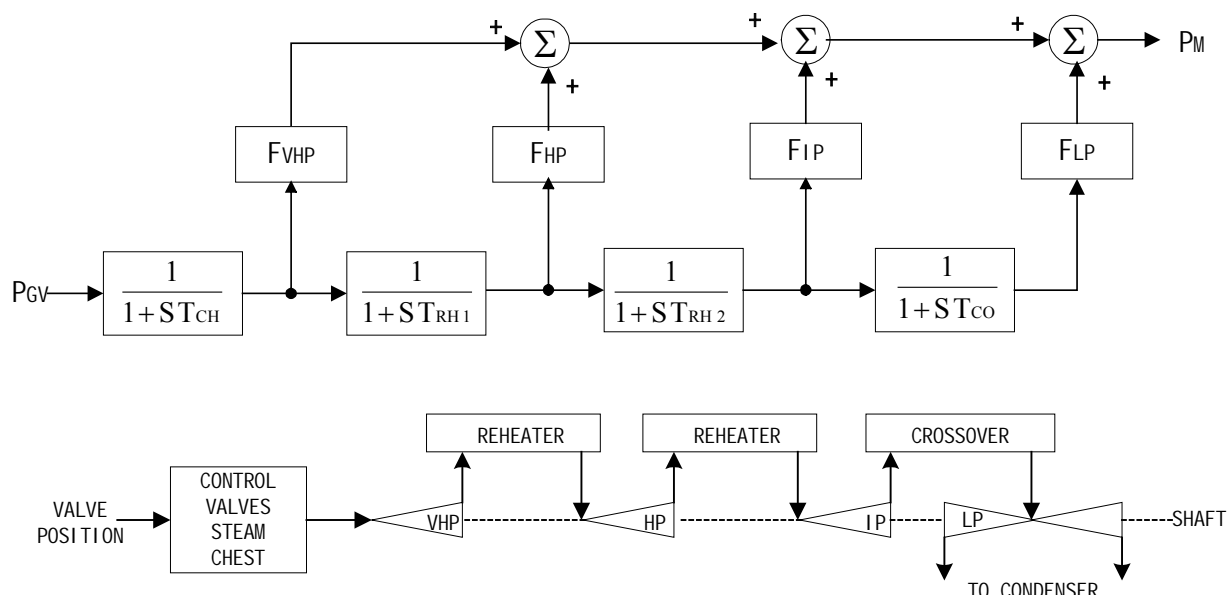


- 列
- 1 卡片类型 - T
  - 2 原动机类型 - A
  - 3 空格
  - 4 - 15 母线名及基准电压
  - 16 电机识别码
  - 17 - 21 T<sub>CH</sub>蒸汽容积时间常数（秒）
  - 22 - 26 K<sub>1</sub> = 1.0（必须）

- 注：
- 1) HP表示高压缸
  - 2) TCH一般取0.2~0.5秒



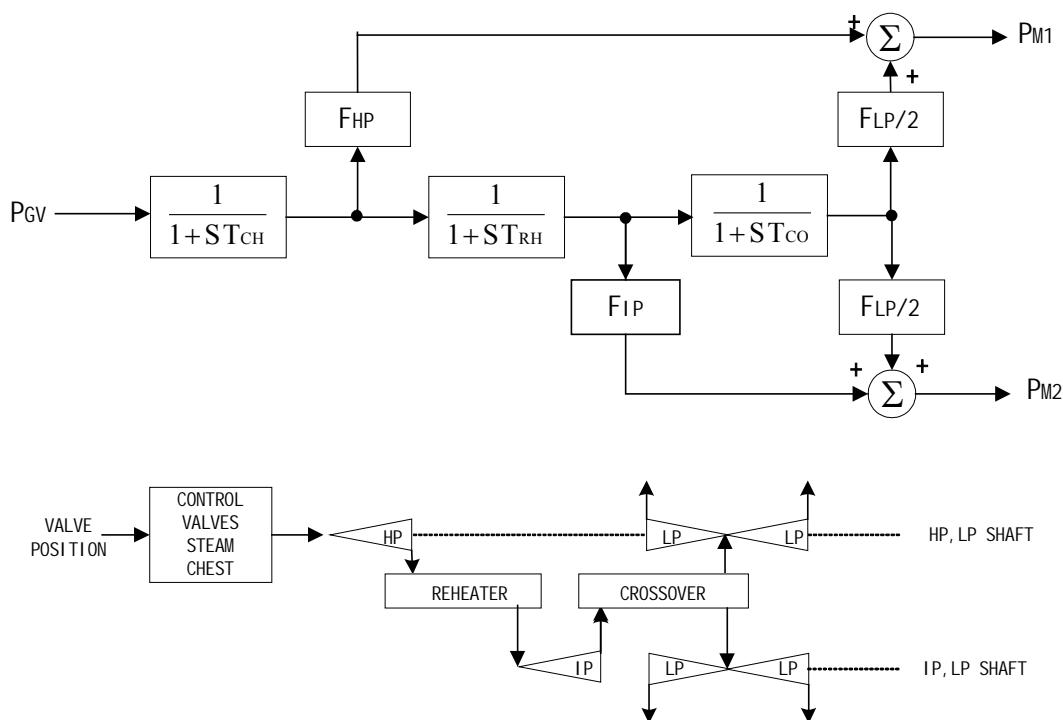




1	卡片类型 - T
2	透平机类型 - C
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 21	$T_{CH}$ 蒸汽容积时间常数 (秒)
22 - 26	$F_{VHP}$ 超高压缸功率比例
32 - 36	$T_{RH1}$ 第一再热器时间常数
37 - 41	$F_{HP}$ 高压缸功率比例
47 - 51	$T_{RH2}$ 第二再热器时间常数
52 - 56	$F_{IP}$ 中压缸功率比例
62 - 66	$T_{CO}$ 交叉管时间常数
67 - 71	$F_{LP}$ 低压缸功率比例

注: VHP表示超高压缸  
HP表示高压缸  
IP表示中压缸  
LP表示低压缸  
 $F_{VHP} + F_{HP} + F_{IP} + F_{LP} = 1$

$$F_{VHP} = 0.22, F_{HP} = 0.22, F_{IP} = 0.3, F_{LP} = 0.26$$
$$T_{CH} = 0.1 \sim 0.4 \text{秒}, T_{RH1} = 4 \sim 11 \text{秒}, T_{RH2} = 4 \sim 11 \text{秒}, T_{CO} = 0.3 \sim 0.5 \text{秒}$$



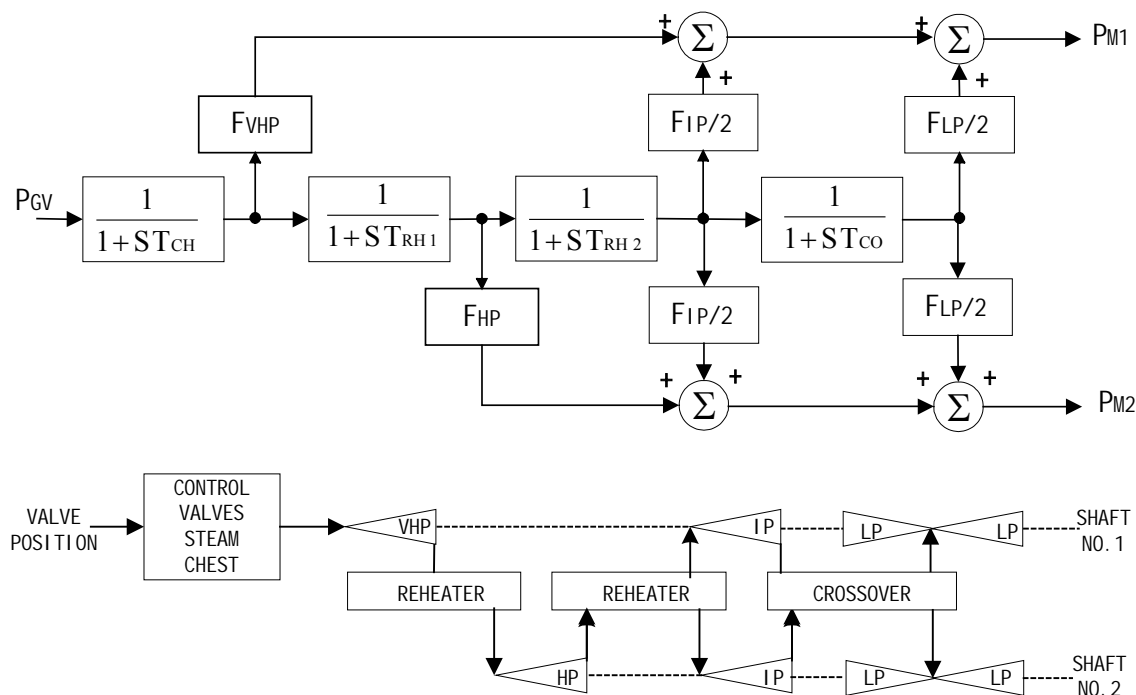
1	卡片类型 - T
2	透平机类型 - D
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 21	$T_{CH}$ 蒸汽容积时间常数（秒）
22 - 26	$F_{HP}$ 高压缸功率比例
32 - 36	$T_{RH}$ 再热器时间常数（秒）
37 - 41	$F_{IP}$ 中压缸功率比例
47 - 51	$T_{CO}$ 交叉管时间常数
52 - 56	$0.5F_{LP}$ 低压缸功率比例的一半
57 - 61	$0.5F_{LP}$ 低压缸功率比例的一半

注: HP表示高压缸  
IP表示中压缸  
LP表示低压缸  
 $F_{HP}+F_{IP}+F_{LP}=1$

$$F_{HP} = 0.3, F_{IP} = 0.3, F_{LP} = 0.4$$

$$T_{CH} = 0.1 \sim 0.4 \text{秒}, T_{RH} = 4 \sim 11 \text{秒}, T_{CO} = 0.3 \sim 0.5 \text{秒}$$



[illegible]

1	卡片类型 - T
2	透平机类型 - F
3	空格
4 - 15	母线名及基准电压
16	电机识别码
17 - 21	TCH蒸汽容积时间常数（秒）
22 - 26	FVHP超高压缸功率比例
32 - 36	TRH1第一再热气时间常数（秒）
37 - 41	FHP高压缸功率比例
47 - 51	TRH2第二再热气时间常数（秒）
52 - 56	FIP/2 1/2 中压缸功率比例
62 - 66	FIP/2 1/2 中压缸功率比例
62 - 66	TCO交叉管时间常数（秒）
67 - 71	FLP/2 1/2 低压缸功率比例
72 - 76	FLP/2 1/2 低压缸功率比例

注: VHP表示超高压缸  
HP表示高压缸  
IP表示中压缸  
LP表示低压缸  
 $F_{VHP} + F_{HP} + F_{IP} + F_{LP} = 1$

FVHP = 0.22 , FHP = 0.22 , FIP = 0.28 , FLP = 0.28

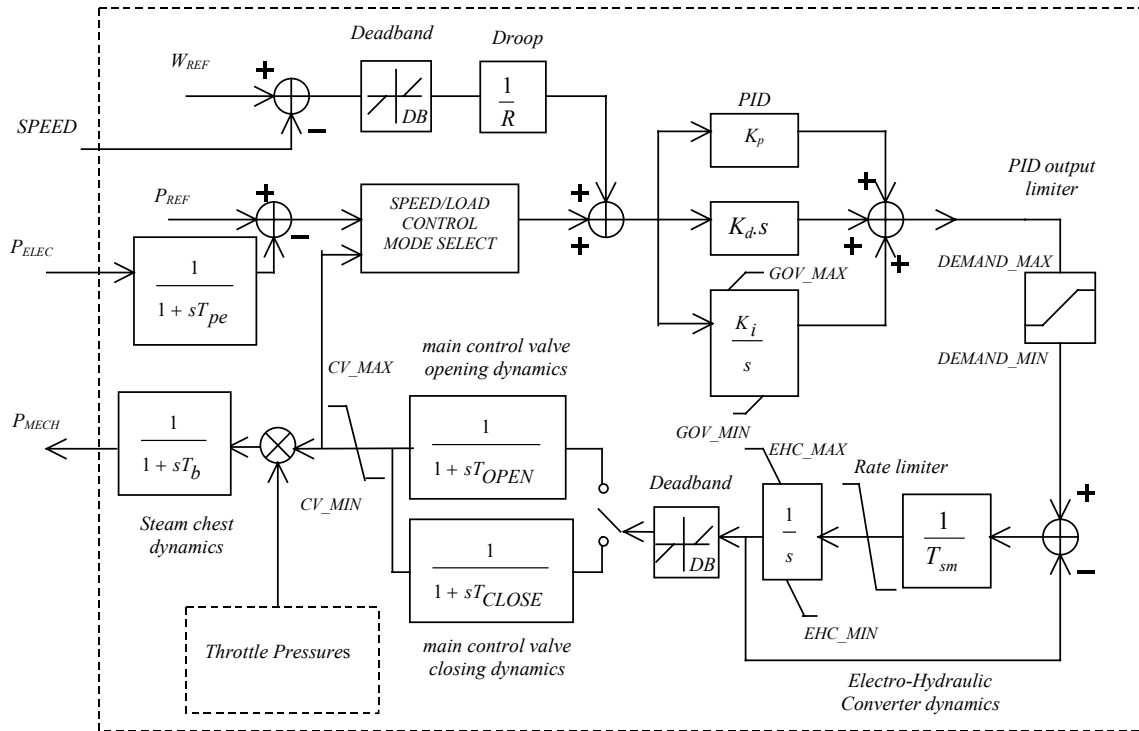
TCH = 0.1~0.4秒, TRH1 = 4~11秒, TRH2 = 4~11秒, TCO = 0.3~0.5秒





- 62 - 66 CV-MIN - 控制阀下限 ( pu )  
 67 - 71 KPE - 电磁功率反馈增益 ( pu/ pu )  
 72 - 76 TPE - 电磁功率反馈时间常数 ( sec )  
 78 控制模式：0 - 速度；1 - 速度和电磁功率；2 - 速度和机械功率。

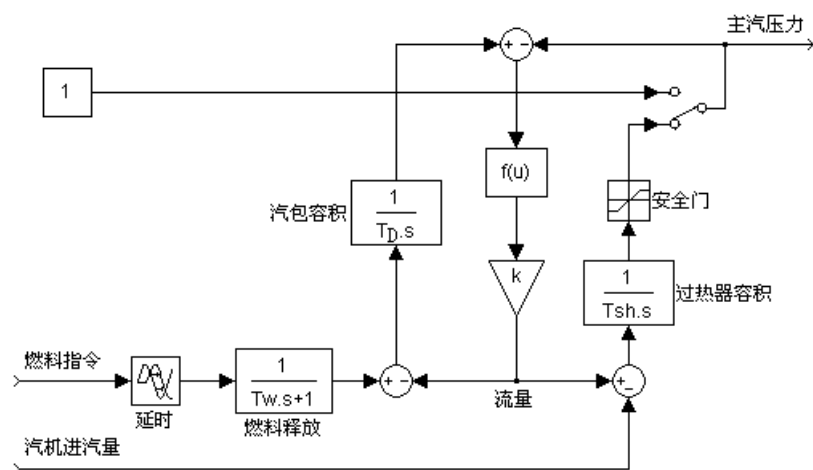
该模型的框图如下：



此模型只能与汽轮机模型TA和TB配合使用。



1										2										3										4										5										6										7																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0								
G	X	NAME								kV	I D	TSH								TD	TW								Tdelay																																																
A2	A8								F4.0	A1	F5.3								F5.3	F5.3								F5.3	F5.3								F5.3	F5.3																																							



- |       |      |                       |
|-------|------|-----------------------|
| 1-2   | A2   | 卡名称 GX                |
| 4-11  | A8   | 发电机名                  |
| 12-15 | F4.0 | 发电机基准电压               |
| 16    | A1   | 发电机识别码                |
| 17-21 | F5.3 | 过热器容积时间常数 $T_{SH}$    |
| 22-26 | F5.3 | 汽包蓄热容积时间常数 $T_D$      |
| 27-31 | F5.3 | 锅炉燃料释放的时间常数 $T_w$ (秒) |
| 32-36 | F5.3 | 过热器及主汽管道流量系数          |
| 37-41 | F5.3 | 延时 $T_{delay}$        |
| 42-46 | F5.3 | 输出限幅环节的最大值            |
| 47-51 | F5.3 | 输出限幅环节最小值             |

- 1) 本卡中 27-31 列和 37-41 列的值不必填写；
- 2) 42-51 列的限幅环节最大最小值 ,只有都不填或者填写 0 时 ,才采用缺省值 9999 和-9999。

## 11.8 调速器频率参考信号修改卡(IGV/IGV+卡)

共有两张卡，分别为 IGV 卡和 IGV+卡，IGV+卡为 IGV 卡的补充。

IGV卡的格式如下：

1								2								3								4								5								6								7								8							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0														
IGV		NAME								BASE		ID		TSTART				T1				FREQ1				T2				FREQ2				T3				FREQ3				T4				FREQ4				T5				FREQ5									
A3		A8								F4.0		A1		F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3													

- 1-3        A3    IGV
- 5-12     A8    发电机名称
- 13-16    F4.0 发电机基准电压
- 17        A1    发电机ID
- 19-23    F5.3 频率变化的起始时刻（周波）
- 29-33    F5.3 第一个点对应的时刻（周波）
- 34-38    F5.3 第一个点对应的频率变化量（Hz）
- 39-43    F5.3 第二个点对应的时刻（周波）
- 44-48    F5.3 第二个点对应的频率变化量（Hz）
- 49-53    F5.3 第三个点对应的时刻（周波）
- 54-58    F5.3 第三个点对应的频率变化量（Hz）
- 59-63    F5.3 第四个点对应的时刻（周波）
- 64-68    F5.3 第四个点对应的频率变化量（Hz）
- 69-73    F5.3 第五个点点对应的时刻（周波）
- 74-78    F5.3 第五个点点对应的频率变化量（Hz）

IGV+卡的格式如下：

1								2								3								4								5								6								7								8			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0										
IGV+		NAME						BASE		ID	T6				FREQ6				T7				FREQ7				T8				FREQ8				T9				FREQ9				T10				FREQ10				T11				FREQ11				
A4		A8						F4.0		A1	F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3				F5.3								

- 1-4        A4    IGV+
- 5-12     A8    发电机名称
- 13-16    F4.0 发电机基准电压
- 17        A1    发电机ID
- 19-23    F5.3 第六个点点对应的时刻（周波）
- 24-28    F5.3 第六个点点对应的频率变化量（Hz）
- 29-33    F5.3 第七个点点对应的时刻（周波）
- 34-38    F5.3 第七个点点对应的频率变化量（Hz）
- 39-43    F5.3 第八个点点对应的时刻（周波）
- 44-48    F5.3 第八个点点对应的频率变化量（Hz）
- 49-53    F5.3 第九个点点对应的时刻（周波）

54-58	F5.3	第九个点对应的频率变化量 (Hz)
59-63	F5.3	第十个点对应的时刻 (周波)
64-68	F5.3	第十个点对应的频率变化量 (Hz)
69-73	F5.3	第十一个点对应的时刻 (周波)
74-78	F5.3	第十一个点对应的频率变化量 (Hz)

说明：

- 1) 需要模拟调速器 GS、GW、GL、GI/GI+、GJ、GK 卡中频率参考信号改变时，需要填写 IGV\IGV+卡；
- 2) IGV+卡是 IGV 卡的补充，两者一共可以填写 11 个点，如果小于 5 个点，就可以只填写 IGV 卡。一张 IGV 卡后面最多只能有一张 IGV+卡，IGV+卡必须与 IGV 卡联合使用，否则无效。
- 3) 每个点的数据有两个，第一个为该点对应的频率变化量，单位是 Hz，该变化量就是相对于 50Hz 的变化量，例如 51Hz，则填写 1 即可；第二个点为该点对应的时刻，单位为周波
- 4) 数据卡中各个点应该按照发生时间的先后顺序填写，否则可能会出现错误；
- 5) IGV\IGV+卡中所有点的时刻值都必须大于或者等于 IGV 卡中 19-23 列的起始时刻，否则出错。
- 6) 没有调速器，则上述卡无效。

例如：

对于发电机“GEN1 13.8”，调速器的参考频率从 10 周波开始变化，到 20 个周波，增加到 51Hz，保持 50 个周波（即到 70 周波），然后立即恢复到 50Hz，则此该曲线除了起始点外共有 3 个拐点，即 (51, 20), (51, 70), (50, 70)。则可以填写 IGV 卡

IGV GEN1 13.8 10. 20. 1. 70. 1. 70. 0.

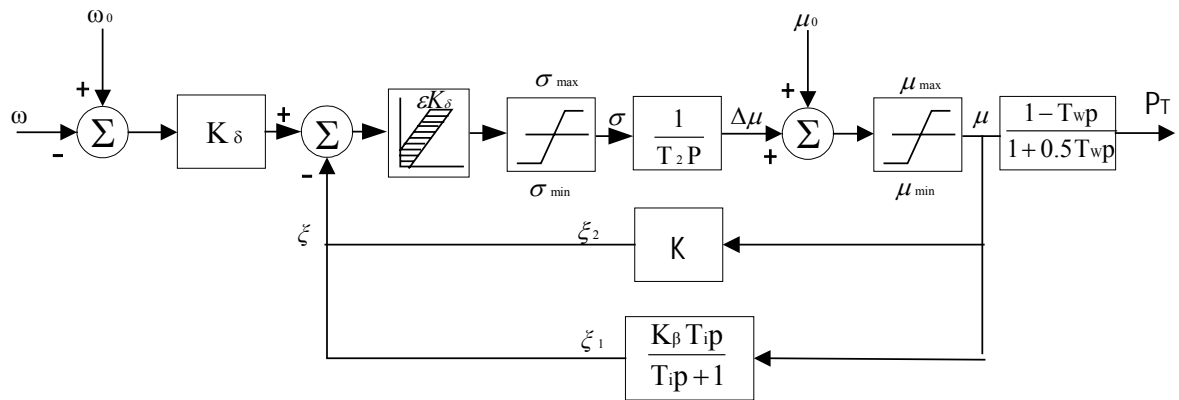
这样，从 10 周波开始修改调速器的频率参考值，10 周波到 20 周波的斜率为 (1-0)/(20-10)，20 周波到 70 周波保持不变，一直为 51Hz，70 周波立即恢复为 50Hz，70 周波后不变。

## 11.9 关于原动机调速器模型的几点说明

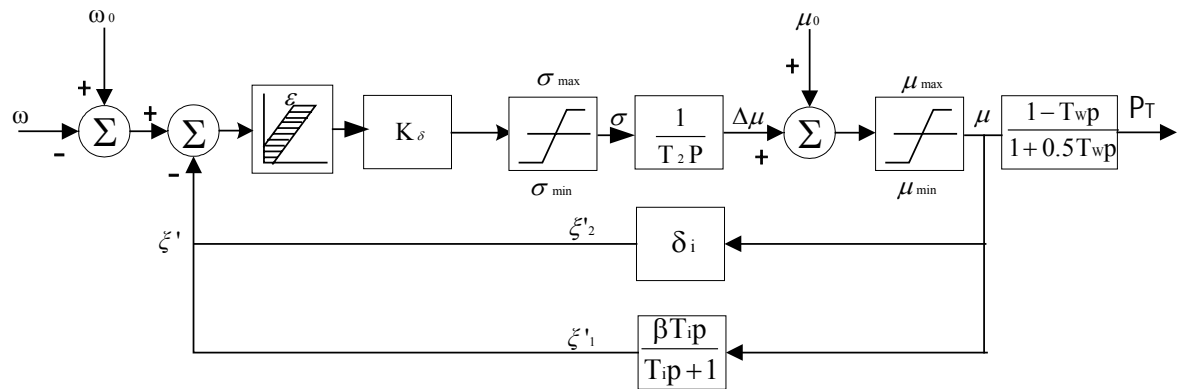
1) 以上原动机数据取自1973年12月IEEE工作委员会关于汽轮机与水轮机动态模型的报告[7]，仅供参考。

2) GH型水轮机调速器框图与国内常用的水轮机调速器框图略有不同，在使用时要加以充分注意，以免搞错，现作简略说明如下：

国内常用的框图有如下两种：[10]



( a )



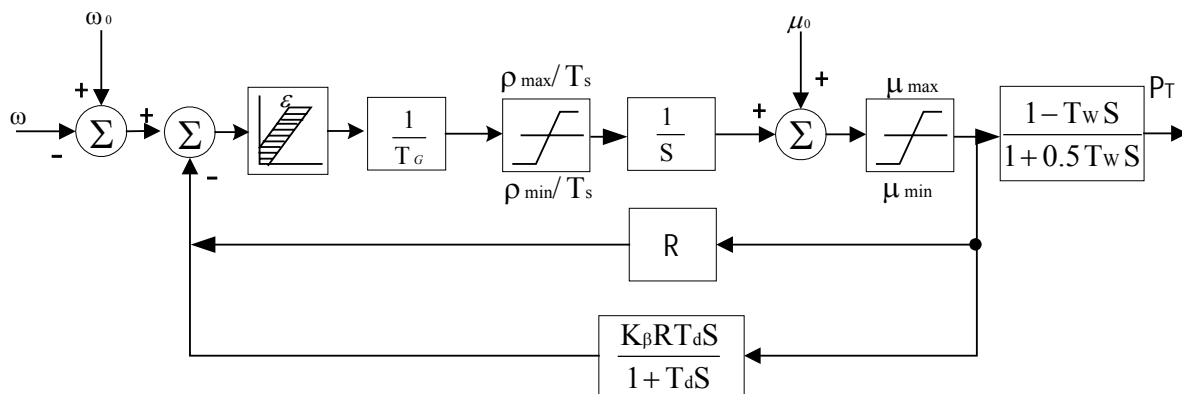
( b )

水轮机调速系统传递函数框图

$$\begin{aligned} \text{令：} \quad K_{\delta} &= 1/R & K &= 1 & T_i &= T_d \\ \delta_i &= R & \beta &= K_{\beta} & \sigma &= \rho \end{aligned}$$

比较图 (a) 和图 (b)，显然，图 (b) 是 (a) 的等价变换，即将放大环节  $\frac{1}{R}$  移到失灵区之后，相应的硬反馈和软反馈环节均要作变换。

进一步对图 (b) 再作变换, 先将限幅环节  $\int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}}$  移到积分环节  $\frac{1}{T_s S}$  后, 再将积分环节拆为  $\frac{1}{T_s}$  和  $\frac{1}{S}$  两个环节, 并且将放大环节  $\frac{1}{R}$  和  $\frac{1}{T_s}$  合并记为  $\frac{1}{T_G}$ , 则可得到:



(c)

比较图 (c) 和前面GH型框图, 可见两者基本一致。但是在套用国内参数时要注意:

(a) 时间常数  $T_G = R \cdot T_s$ , 国内取值  $R$  一般为 0.05,  $T_s$  为 4~8 秒, 故  $T_G \approx 0.2 \sim 0.4$  秒。

(b) 增加了一个惯性环节  $\frac{1}{1+ST_P}$ , 模拟滑阀及其伺服机,  $T_P \approx 0.03 \sim 0.05$  秒。

(c) 水门开闭速度  $\dot{P}_{UP}$  和  $\dot{P}_{DOWN}$  对应  $\rho_{\max}/T_s$  和  $\rho_{\min}/T_s$ , 国内  $\rho$  的取值一般为  $-1.0 < \rho < 1.0$ , 如  $T_s$  取为 5 秒, 则

$$\dot{P}_{UP} = VEL_{OPEN} * P_{MAX}(\text{标么}) = \rho_{MAX}/T_s * P_{MAX}(\text{标么})$$

$$\dot{P}_{DOWN} = (-VEL_{CLOSE}) * P_{MAX}(\text{标么}) = \rho_{MIN}/T_s * P_{MAX}(\text{标么})$$

因此有:

$$VEL_{OPEN} = \frac{\rho_{\max}}{T_s} = \frac{1.0}{4 \sim 8} \approx 0.1 \sim 0.2;$$

$$VEL_{CLOSE} = \frac{-1.0}{4 \sim 8} \approx -0.1 \sim -0.2$$

GH卡中要求输入的量  $VEL_{OPEN}$  和  $VEL_{CLOSE}$ , 其与国内参数关系为:

$$VEL_{OPEN} = \frac{\rho_{\max}}{1/R} * \frac{1}{T_G} = \frac{\rho_{\max}}{1/R} * \frac{1}{RT_s} = \frac{\rho_{\max}}{T_s} = \frac{1.0}{4 \sim 8} = 0.1 \sim 0.2$$

同理  $VEL_{CLOSE} = -0.1 \sim -0.2$ , 但程序中自动加了负号, 故  $VEL_{CLOSE} = 0.1 \sim 0.2$

(d) 硬反馈系数取为调差系数  $R$

(e) 软反馈系数  $D_d = K_\beta * R$ , 国内取值  $K_\beta = \beta / \sigma$ ,  $\beta \approx 0 \sim 0.6$ ,  $\sigma \approx 0.05 \sim 0.1$ , 因此  $K_\beta = 0 \sim 12$ ,  $D_d = 0 \sim 0.6$

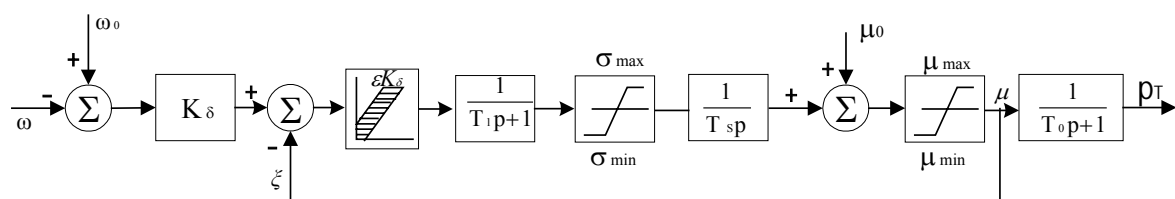
(f) 软反馈时间常数  $T_d$ , 国内一般取为 2.5~10 秒

3) 对于GS模型作如下说明:

(a) 不难发现, 对GS型框图中的限幅环节进行处理, 并消去反馈环节以后, 可以得到前面GG型的调速器简化框图。

(b) GS型与国内汽轮机液压调速器框图略有不同, 在使用时要加以注意。

国内常用的框图为：[10]



显然，与GS型的区别在于以下两点：

GS型的继电器、错油门惯性环节  $\frac{1}{1+T_1p}$  在反馈量之前。

GS型将积分环节  $\frac{1}{T_{sp}}$  拆为  $\frac{1}{T_s}$  和  $\frac{1}{p}$  两个环节，将限幅环节  $\dot{P}_{UP} \sim \dot{P}_{DOWN}$  移至  $T_s$  之后。

因此，时间常数  $T_1$  和限幅值  $\dot{P}_{UP} \sim \dot{P}_{DOWN}$  与国内常用的有所不同。

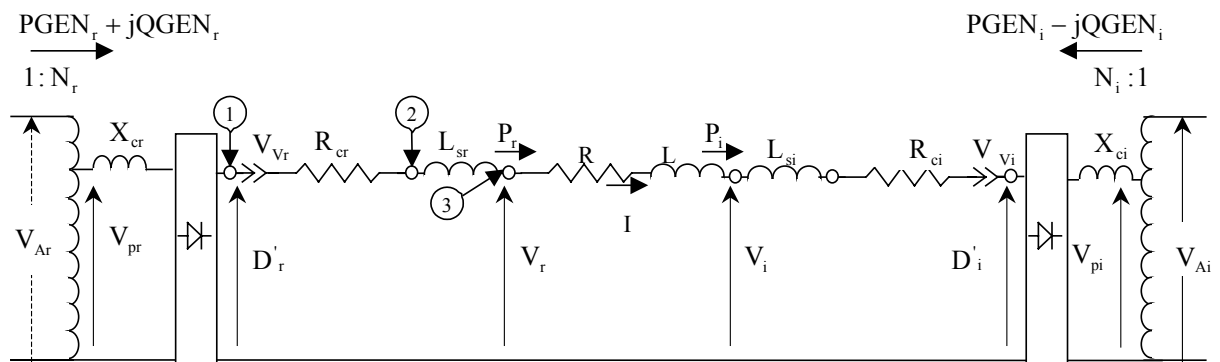
## 12 直流系统控制和调制模型

BPA 程序可以研究两端直流和多端直流系统。直流系统结构由潮流数据给出。程序中可选的直流模型有以下几种：

- 1) 两端直流详细模型：对于整流器和逆变器都需要一张D卡，这种模型可采用定熄弧角控制（CEA）和余裕开关。各种调制方式（DS卡）都适用于这种模型。直流线路故障由两端直流操作卡（LS卡）给出。
- 2) 两端直流简化模型：对于整流器和逆变器都需要一张DT卡，这种模型假设直流端有一个理想的控制系统。定熄弧角控制和余裕开关都可用，调制和线路故障操作目前还不能用于这种模型。
- 3) 多端直流系统详细模型：对于整流器和逆变器都需要一张D卡，多端直流模型采用角控制方式，但在D卡的第二列填A可改变为定熄弧角控制。用多端直流操作卡模拟多端直流系统故障和操作。
- 4) 消去直流线路：如果用于暂态稳定研究的潮流中有直流线路，那么在暂态稳定数据中就必须有直流线路。有时用户可能希望在暂态稳定研究中消去直流线路而不用重新计算潮流，为此，在D卡的79列填一个非空字符表示消去该换流器，程序将把换流器的母线初始有功、无功潮流转换为该母线的等值负荷，并消去该换流器的控制系统，整流器功率转换为正的负荷，逆变器转换为负的负荷。

当使用消去功能时，请注意以下几点：

- a. 多端直流和双端直流的换流器都可消去。
- b. 每条直流线路的所有换流器都必须消去，否则将导致致命错误而退出计算。
- c. 所有要消去的换流器都需要LN卡。
- d. 负荷模型卡可用于被消去换流器的等值负荷。
- e. 直流输出卡不能用于被消去的换流器，该换流器母线已作为普通负荷母线处理。



两端直流线路模型

$$E_r = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} N_r V_{Ar} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{pr}$$

$$D'_r = E_r \cos \alpha - \frac{3I}{\pi} X_{cr}$$

$$\cos \theta_r = D'_r / E_r$$

$$\cos \gamma_r = \frac{IX_{cr}}{\sqrt{2}V_{pr}} - \cos \theta_r$$

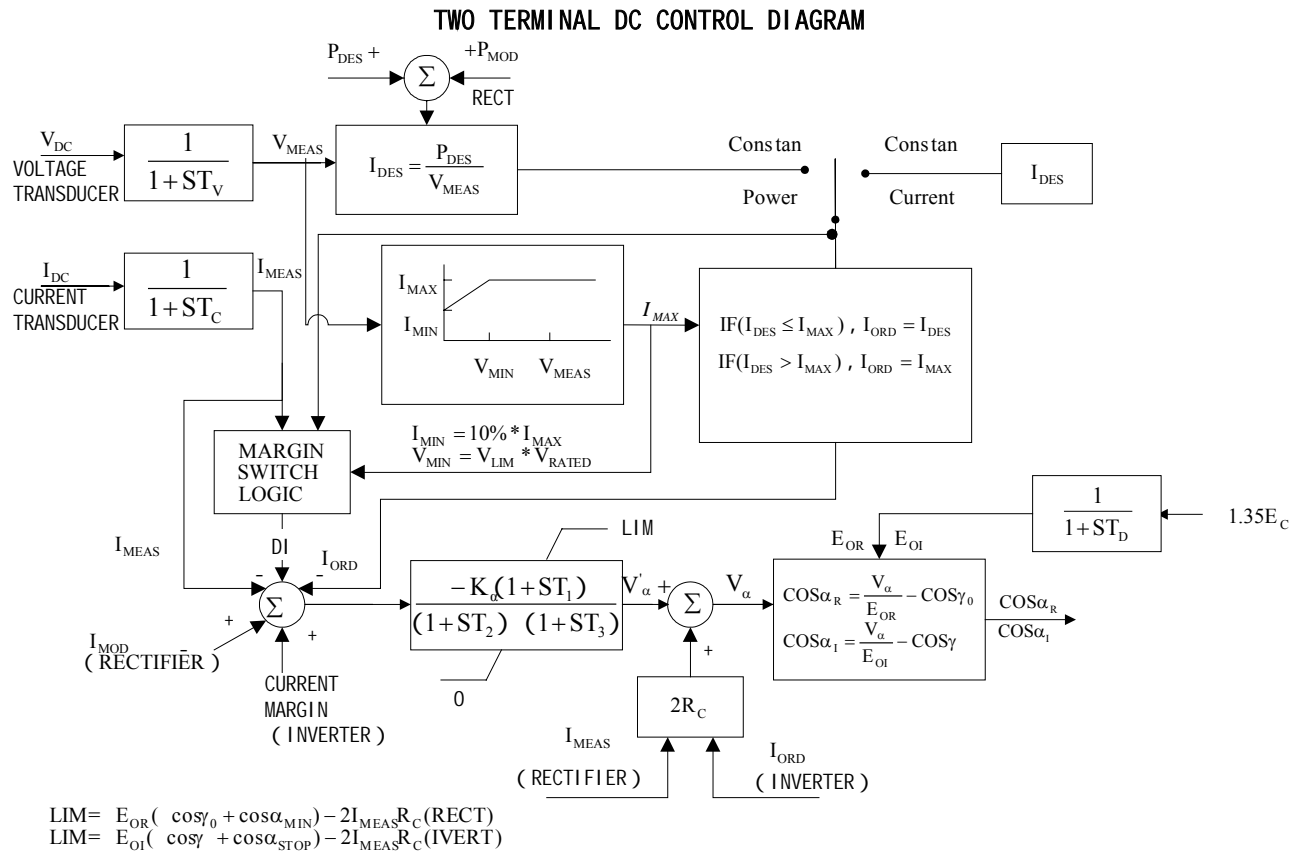
$$PGEN_r = D'_r I$$

## 12.1 直流系统控制数据卡（D 卡）

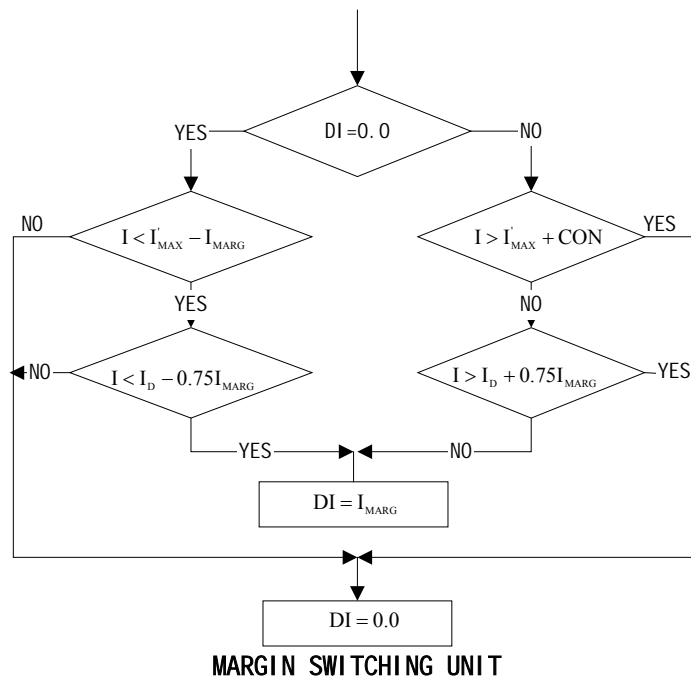
列

注：此卡适用于两端及多端直流母线。





两端直流系统控制框图



\* DI初始为零，在第一个0.25秒内保持为零，在这段时间，执行以上流程，以确定是否改变DI值，DI的新值用于以后的0.5秒。在0.75秒及其后的每0.5秒间隔，执行以上流程更新DI的值。在每0.5秒间隔内，DI保持定值。

CON = 72安培

## 12.2 两端直流系统简化模型（DT 卡）

1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4

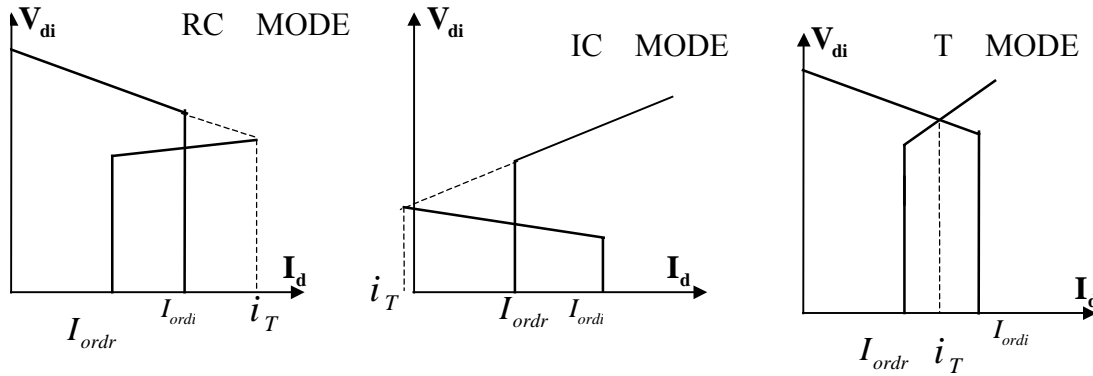
列

- 1 卡片名称
- 4 - 11 NAME 母线名称
- 12 - 15 基准电压，kV
- 28 - 32 DV（VLIM）过载截断电压值（标么值）
- 38 - 42 I<sub>MAX</sub>，过电流能力（标么值）
- 43 - 47 I<sub>MARG</sub>，电流余裕值（标么值）
- 63 - 67 T<sub>C</sub> 电流测量回路时间常数（秒）
- 68 - 72 T<sub>V</sub> 电压测量回路时间常数（秒）
- 73 - 77  $\alpha_{stop}$ ，逆变器最小点燃角（整流器的最小点燃角由潮流数据给出）
- 80 MSU，余裕开关单元关键码，为零时表示此换流器有余裕开关单元，否则表示没有电流余裕开关单元。

关于简化模型的说明：

简化模型的基本假设在于控制直流电流的直流控制器通常比电机控制器（调速器）快得多。因此，直流系统对扰动的响应要比电机的响应快得多。利用这一特性，在简化模型里认为直流控制器的电流控制器（CURRENT CONTROLLER 略为 CC）是理想的，因而可以忽略电流控制器的动态过程，认为直流线路电流  $I_d$  在电流控制器控制下将保持直流电流为给定值  $I_{ord}$ （即，当整流器电流控制器起作用时， $I_d = I_{ord}$ ，当逆变器起作用时， $I_d = I_{ordi} = I_{ord} - I_{marg}$ ）。

电流控制方式（哪个电流控制器起作用）的确定，用控制器稳态特性来解决。如下图所示，有三种基本运行组合：



Operating charateristic at the invertor dc terminal

Showing the value of trial current,  $i_T$ , for three different operating modes

### 1) 整流器控制模式 (CC - CEA控制)

正常情况下控制的设置是整流侧控制器控制线路电流 (CC控制), 逆变器控制器保持熄弧角  $\gamma_i$  恒定 (CEA控制), 这时,  $I_d = I_{ord}$ ,  $i_T = 0$  (最小熄弧角)。

### 2) 逆变器控制模式 (CIA - CC控制)

当整流侧控制器达到其上限时, 点燃角  $\alpha_r$  为最小值 (定点燃角CIA控制), 逆变侧的电流控制器进行控制。

这时  $I_d = I_{ordi}$ ,  $i_T = 0$  (最小点燃角)。

### 3) 过渡控制模式 (CIA - CEA控制)

当两端控制器都处于极限 (整流器CIA, 逆变侧CEA) 时, 就是这种模式, 在这期间的线路的动态过程唯一地由直流线路等值电路决定, 因此,

$$\alpha_r = \alpha_0, \gamma_i = \gamma_0$$

$$I_d = I_r = \frac{1}{1 + T_L S} I_{DC}$$

其中:

$$T_L = R_T / L_T = (R_{cr} + R_{eqr} + R_L - R_{ci} + R_{eqi}) / (L_{sr} + L_L + L_{si})$$

$$I_{DC} = (V_{dor} \cos \alpha_0 - V_{doi} \cos \gamma_0 - 2V_D) / R_T$$

程序用  $i_T, I_{ordr}, I_{ordi}$  (见上图) 之间的关系识别这些控制模式:

当  $i_T > I_{ordr}$ , CC-CEA控制

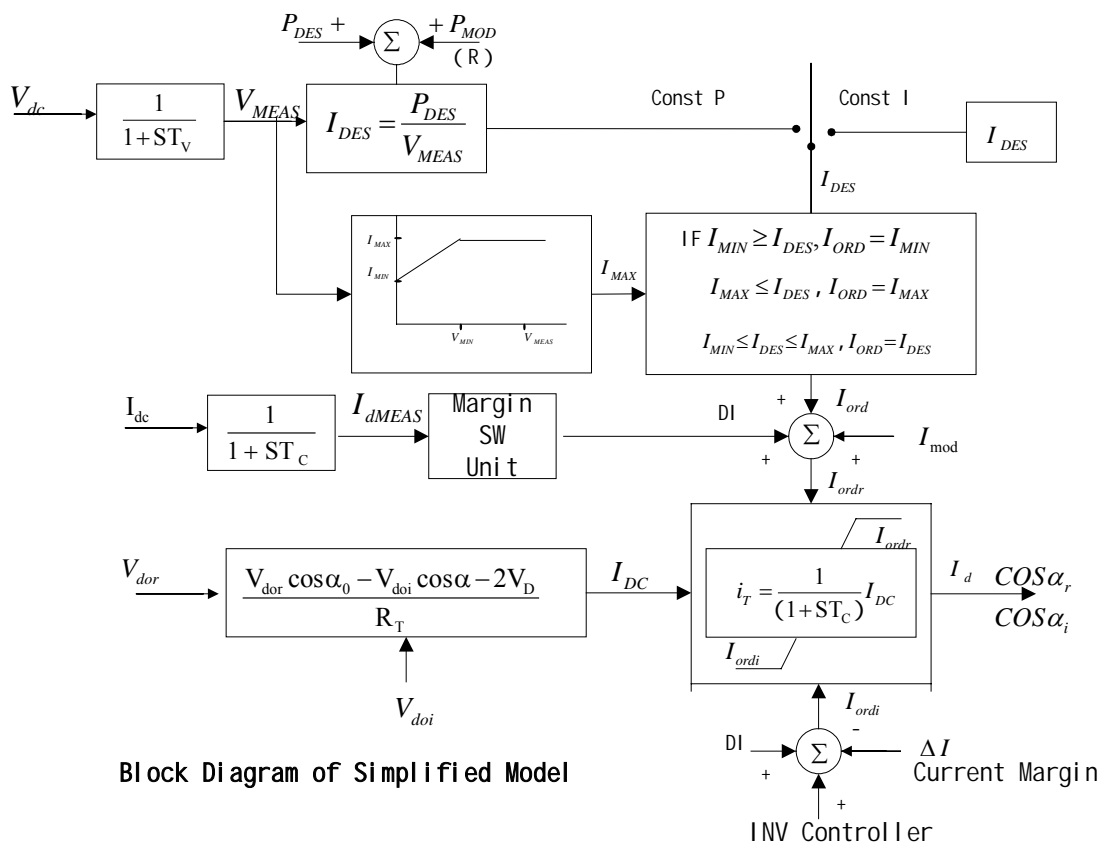
当  $i_T < I_{ordi}$ , CIA-CC控制

当  $I_{ordi} < i_T < I_{ordr}$ , CIA-CEA控制

除这三种模式外, 程序还检查并识别第四种运行模式 (CC - CIA控制), 当电流控制在整流侧且达到上限时就会出现这种运行模式。那么逆变侧的控制就从CEA改变为一种准稳态 (quasi-stationary) 状态, 其点燃角被假定处于恒定。这种模式防止逆变侧控制

器的点燃角突然从一个极端跳到另一个极端，这在假想的模型是可能的，但实际上不可能，这种模式出现在线路发生严重故障期间。

程序中考虑了余裕控制单元。但用简化模型不能模拟功率反转和直流线路故障，简化直流模型框图如下。



### CONTROL SCHEME LOGIC

If  $i_T < i_{ordr}$  CC-CEA Control

$$I_d = i_{ordr}$$

$$r = 0; V_{dor} \cos \alpha_r = V_{doi} \cos \alpha_0 + 2V_D + R_T I_d$$

If  $i_T < i_{ordi}$  CIA-CC Control

$$I_d = i_{ordi}$$

$$r = 0; V_{dor} \cos \alpha_r = V_{doi} \cos \alpha_0 - 2V_D - R_T I_d$$

If  $i_{ordi} < i_T < i_{ordr}$  CIA-CEA Control

$$I_d = i_T$$

$$r = 0; i = 0$$

列

- ## 12.4 直流调制卡 (DS 卡)

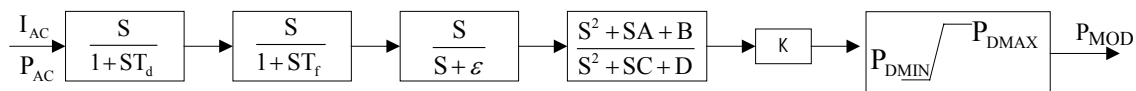
#### 12.4.1 小方式调制（适用于整流侧）

- 列

- |         |                      |
|---------|----------------------|
| 1 - 2   | 卡片类型 - DS            |
| 4 - 11  | 换流站换流变压器整流侧母线名       |
| 12 - 15 | 基准电压                 |
| 16 - 18 | $T_d$ - 微分环节时间常数 (秒) |
| 19 - 21 | $T_f$ - 滤波器时间常数 (秒)  |
| 25 - 27 | - 引导补偿因子             |

## HIGH LEVEL MODULATION MODEL

1									2									3									4									5									6									7								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
D	S	NAME						KV			T <sub>a</sub>			T <sub>r</sub>			$\mathcal{E}$			A			B			C			D			K			P <sub>DMIN</sub>			P <sub>DMAX</sub>			H I L O	NAME1						KV1			NAME2						KV2					
A0	A1	A8						F4.0			F3.3			F3.3						F3.3			F3.1			F3.1			F3.1			F4.3			F5.4			F5.1				A1	BRANCH						MONITORED													



1 - 2	卡片类型 - DS
4 - 11	换流站换流变压器整流侧母线名
12 - 15	基准电压
16 - 18	$T_d$ - 微分环节时间常数 (秒)
19 - 21	$T_f$ - 滤波器时间常数 (秒)
25 - 27	- 引导补偿因子
28 - 30	A - 陷波滤波器参数
31 - 33	B - 陷波滤波器参数
34 - 36	C - 陷波滤波器参数
37 - 39	D - 陷波滤波器参数
40 - 43	K - 大方式调制增益 (由功率变化率 (MW/秒) 产生的直流调制功率 (MW))
44 - 48	$P_{D\min}$ , $P_{D\min}=P_{DO}+P_{MOD\min}$ , 即安排的直流功率与功率调制量下限之和, MW。
49 - 53	$P_{D\max}$ , $P_{D\max}=P_{DO}+P_{MOD\max}$ , 即安排的直流功率与功率调制量上限之和, MW。
54	HILO - HILO = 3, 输入量为 $P_{ac}$ ; HILO=4, 输入量为 $I_{ac}$
56 - 80	量测支路两端的节点名和基准电压, 输入信号由该支路测得。



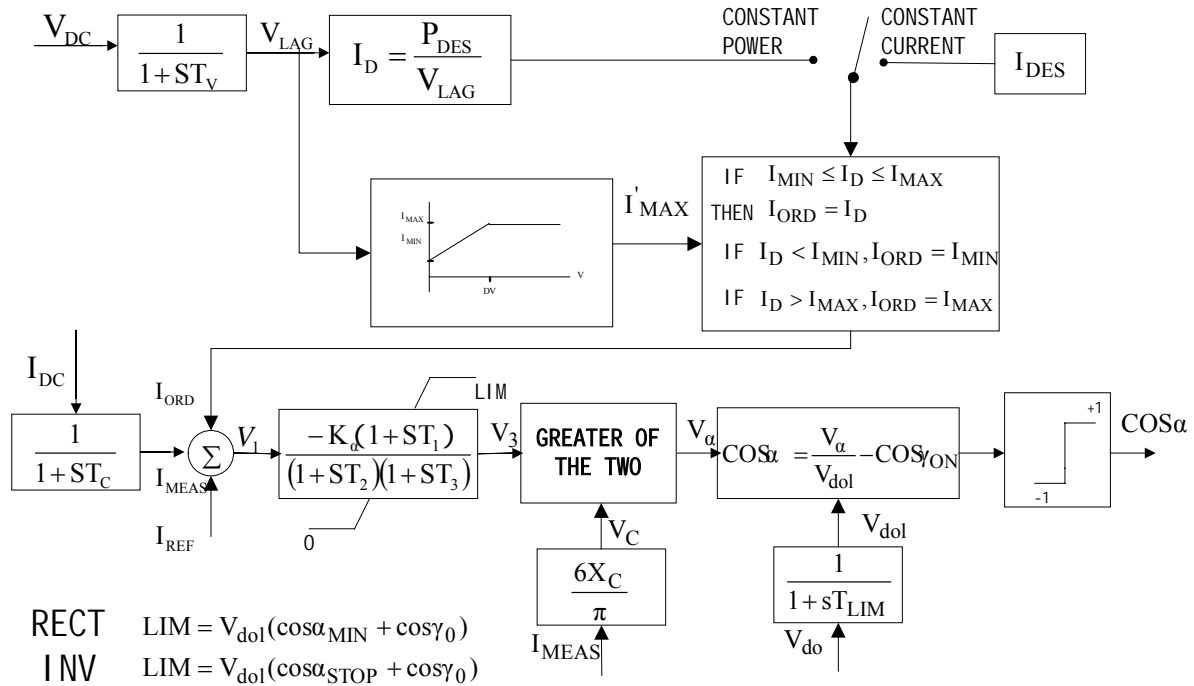




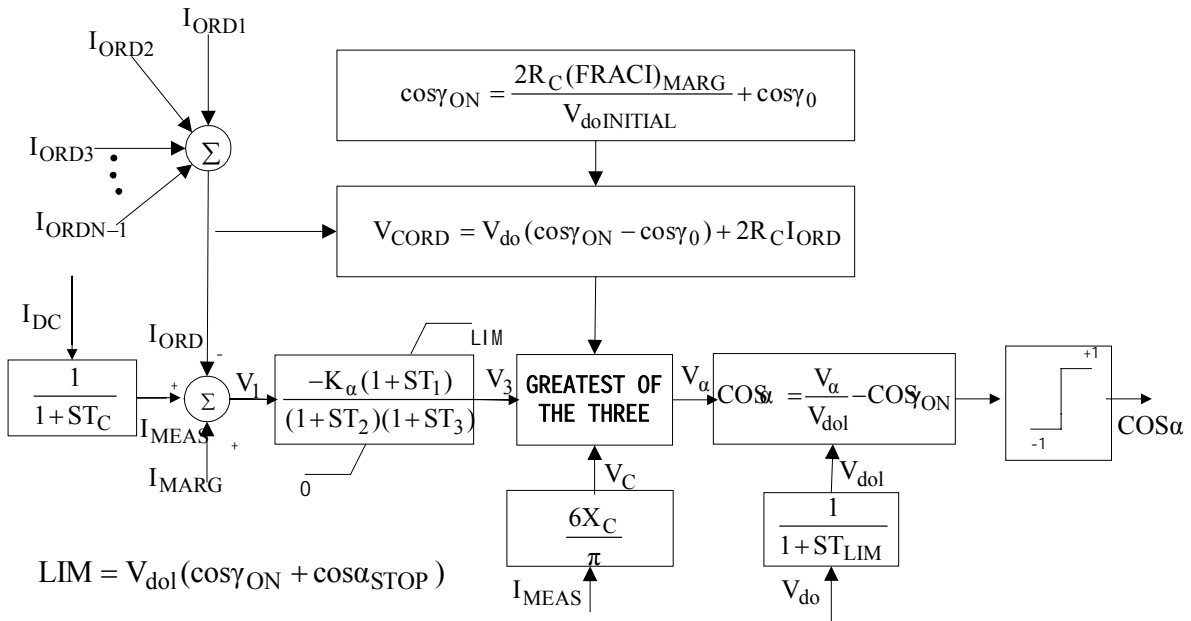
## 12.5 多端直流系统模型 (D 卡、DC 卡、DV 卡)

### 12.5.1 多端直流控制系统模型 (D 卡)

D 卡详见两端直流模型对应的 D 卡。



#### 多端直流整流器和逆变器控制系统 (无电流余裕)



#### 多端直流整流器和逆变器控制系统 (有电流余裕)



- |         |  |
|---------|--|
| 1 - 2   | 卡片类型DC                                     |
| 4 - 11  | 母线名  |
| 12 - 15 | 基准电压                                       |
| 16 - 20 | $Y_0$ - 基于额定电流的标么电流                        |
| 21 - 25 | $Y_1$ - 基于额定电流的标么电流                        |
| 26 - 30 | $V_1$ - 基于额定电压的标么电压                        |
| 31 - 35 | $V_2$ - 基于额定电压的标么电压                        |
| 46 - 50 | $V_{C1}$ - 直流电压 ( pu) 低于此值时，定功率方式改为定电流方式运行 |

### 12.5.3 多端直流电压控制卡 (DV 卡)

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
D	V	NAME								KV												V <sub>dRef</sub>										R <sub>comp</sub>																																															
A1	A1	A8								F4.0												F5.4										F4.0																																															

#### DEFAULT VALUE:

$$V_{dref} = (E_{or} \cos \alpha - R_{cr} I - D_r) - R_{comp} I_{RECT}$$

$$= (-E_{oi} \cos \alpha - R_{ci} I + D_i) + R_{comp} I_{INV}$$

#### CONSTRAINTS:

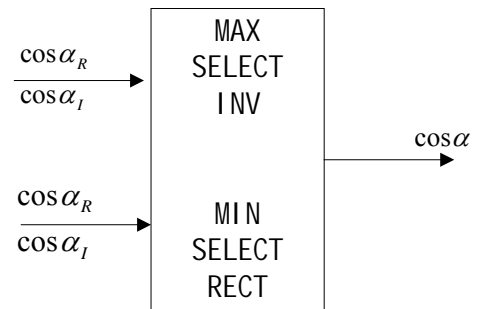
$$V_{dref} \geq E_{or} \cos \alpha - R_{cr} I - D_r - R_{comp} I_{RECT}$$

$$\geq -E_{oi} \cos \alpha + R_{ci} I + D_i + R_{comp} I_{INV}$$

#### CALCULATIONS:

$$\cos \alpha_r = [V_{dref} + I(\frac{3}{\pi} X_c + R_{COMP}) - D_r] / E_{or} \quad RECT$$

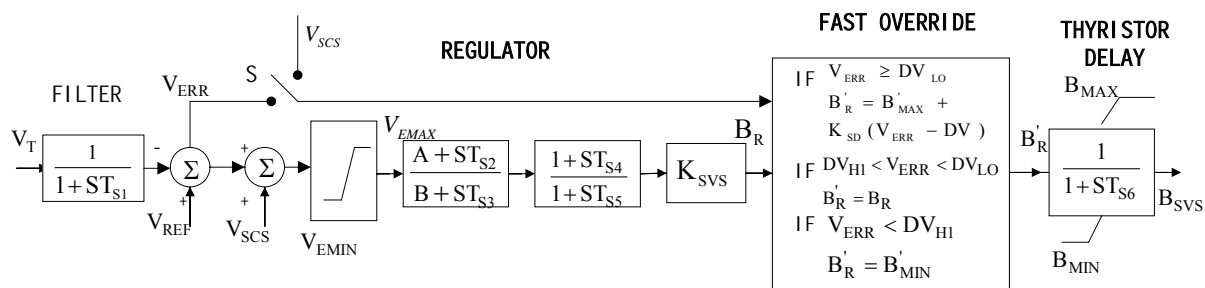
$$\cos \alpha_i = [-V_{dref} + I(\frac{3}{\pi} X_c + R_{COMP}) + D_i] / E_{oi} \quad INV$$



列

- 1 - 2      卡片类型DV
- 4 - 11    母线名
- 12 - 15   基准电压
- 44 - 48   V<sub>dref</sub> - 要求的电压 (kV)
- 49 - 52   R<sub>comp</sub> - 复合阻抗 (欧姆)

### 13.1 静止无功补偿器控制系统输入数据卡（V 卡）



1	卡片类型V
4 - 15	具有静止补偿器的母线名及基准电压
16	ID - 并联支路识别码
17 - 19	$T_{s1}$ - 滤波器时间常数 (秒)
20 - 22	$V_{EMAX}$ - 最大电压偏差 (标么值)
23 - 26	$T_{s2}$ - 第一级超前时间常数 (秒)
27 - 30	$T_{s3}$ - 第一级滞后时间常数 (秒)
31	A - 超前识别码 (目前必须为1)
32	B - 滞后识别码 (目前必须为1)
33 - 35	$T_{s4}$ - 第二级超前时间常数 (秒)
36 - 38	$T_{s5}$ - 第二级滞后时间常数 (秒)
39 - 42	$K_{svs}$ - 连续控制增益
43 - 46	$K_{SD}$ - 间断控制增益
47 - 50	$B_{MAX}$ - 最大导纳 (标么值)
51 - 54	$B'_{MAX}$ - 连续控制的最大导纳 (标么值)
55 - 58	$B'_{MIN}$ - 连续控制的最小导纳 (标么值)

- 
- 59 - 62       $B_{\text{MIN}}$  - 最小导纳 (标么值) ,  $B_{\text{MIN}}$  必须等于  $B'_{\text{MIN}}$
- 63-65       $T_{s6}$  - 可控硅 (Thyristor) 触发时延 (秒)
- 66 - 68      DV - 电压偏差
- 69 - 80      远距离信号母线名及基准电压, 即被控母线。如果空格, 则用 4 - 15 列的母线名基准电压。

输入数据：

- 1) 必须： $V_{\text{EMAX}}, T_{S3}, A = B = 1, K_{\text{SVS}}, B_{\text{MAX}}, B_{\text{MAX}}, B_{\text{MIN}} = B_{\text{MIN}}, T_{S6}$
- 2) 可选： $T_{S1}, T_{S2}, T_{S4}, T_{S5}, K_{\text{SD}}, DV$
- 3)  $V_{\text{EMIN}} = -V_{\text{EMAX}}$
- 4) 如果  $DV = 0$ , 那么  $DVLO = B'_{\text{MAX}}/K_{\text{SVS}}$ ,  $DVHI = B'_{\text{MIN}}/K_{\text{SVS}}$
- 5) 如果  $DV > 0.0$ , 那么  $DVLO = DV$ ,  $DVHI = -DV$
- 6) 当 W 卡中的 IERR 不等于 0 时, S 接近 VSCS 侧, 否则接 VERR 侧。



- 54 - 79      第一级输入信号设置：
- A型 - 加速功率，在54 - 65列指定母线名及基准电压，在66列指定发电机识别码。
- B型 - 从母线1到母线2的潮流（取母线1侧之值），在54 - 65指定母线1名，在67 - 78列指定母线2名，在79列填回路识别码。如果母线1和2之间的所有支路的潮流都作为输入数据使用，则在79列填一星号（\*）
- C型 - 以50Hz为基准的频率变化，在54 - 65列指定母线名

卡片2：  
列

- 1            卡片类型：W，本卡可省去，如果卡片没有省去，则V卡和卡片1必须有。
- 2            辅助控制类型：（D，E，F）
- D - 由V卡第69 - 80列指定的远方信号母线来的电压值
- E - 从系统到静止补偿器的无功潮流（Mvar）
- F - 从系统到静止补偿器的电流
- 4 - 15      NAME，kV - 具有静止补偿器的母线名及基准电压
- 16           ID - 并联支路识别码
- 17 - 20       $K_{s2}$  - 第二级测量回路增益
- 21 - 24       $T_{s10}$  - 第二级输入滤波器的滞后时间常数（秒）
- 25 - 28       $T_{s11}$  - 第二级超前时间常数（秒）
- 29 - 32       $T_{s12}$  - 第二级滞后时间常数（秒）

输入数据：

- 1) 必须： $K_{s1}, T_{s9}, A' = 0, B' = 1, T_{s13}, T_{s14}, K_{s3}, V_{SCSMAX}$
- 2) 如果第二级辅助信号要模拟，则 $K_{s2}$ 、 $T_{s12}$ 必须输入。
- 3) 可选： $T_{s7}, T_{s8}, T_{s10}, T_{s11}$
- 4)  $V_{SCSMIN} = -V_{SCSMAX}$

### 13.3 关于静补补充说明

- 1) 静止无功补偿和它的辅助控制环节的所有输入数据都是标么值，所有的增益也都是以标么值给出而所有时间常数以秒表示，电压基准值是第12 - 15列指定的母线电压值（kV），基准功率为系统功率基准，基准频率是50Hz，基准电流和导纳值可由基准功率和基准电压求得；
- 2) 正导纳是电容性的，并通过并联支路向网络提供无功功率（Mvar），正导纳能提高母线电压；
- 3) 在一给定的母线上只能设置一个静止补偿器，并且这一母线上不能有发电机；
- 4) 作为静止补偿器的母线可以删除，但不能再次投入；
- 5) 作为静止补偿器的母线并联支路，不能用开关操作加以修改；
- 6) 联接到具有静止补偿器的母线上的线路可以删除和修改；
- 7) 模拟静止补偿器时，采用小的电网时间步长（1周或更小）求解是必要的。当有疑问时，可将一完整步和该步长之半的计算结果进行比较后再来确定。如果电网时间步长减小，那么必须按比例减小求解步长，以保持相同的微分方程时间步长；
- 8) 当使用间断控制时，对增益KSD要特别注意。KSD的选择必须与其它参数的选择值一致，以防止出现不希望要的性能；
- 9) 在潮流程序中具有静止补偿器并联支路的母线以Q型母线（有功出力为0）表示，并联静止补偿器作为无功电源处理，发无功的限制值可由导纳限制值乘上电压的平方求得；
- 10) 输出部分程序将静补模型按电机处理，输出量可由输出卡中的电机卡（G卡）得到，对应关系如下：

<u>电机选择项</u>	<u>静补选择项</u>
机械功率	$B_{svs}$ (标么值)
调节器输出	$V_{scs}$ (标么值)
辅助信号	辅助信号1 ( $P$ , $f$ 或 $P_{acc}$ )
励磁电压	辅助信号2 ( $V_T$ , $Q$ 或 $T$ )



## 14 不对称故障序网卡 (CASE、XO、XR、LO、LM 卡)

### 14.1 总的说明

- 1) 本程序不须对负、零序网重新编号及重新填写负、零序网的全部参数，负、零序网自动形成。

- 2) 负序网络仅须填发电机负序电抗值及负荷负序导纳值，这可通过CASE卡实现。

对隐极机 $X_2=1.22X''_d$ ，对凸极机 $X_2=(X''_d+X''_q)/2$

近似有 $X''_d \approx X''_q$

所以，隐极机 $X_2=1.22bX'_d$ ，凸极机 $X_2=bX'_d$

$b=X''_d/X'_d$ ，b值可在CASE卡中填入，缺省为0.65。

对负荷的正负序阻抗有

当： $Z_1 = 0.8 + j0.6$  (标么值)

$Z_2 = 0.19 + jC$  (标么值)

C值可在CASE卡中填入，缺省值 $C = 0.36$

- 3) 对零序网络的处理

- 不需对零序网络节点重新编号
- 发电机与负荷中均无零序电流，处于开路状态
- 线路零序参数可以用LO卡输入，亦可不填程序自动按缺省公式计算出零序参数。
- 如线路正序为： $G_1-jB_1=1/(R_1+jX_1)$
- 则线路零序为： $G_0-jB_0=0.8G_1-j0.313B_1$ ， $G_{co}=0.7G_{c1}$ ， $B_{co}=0.68B_{c1}$
- 如填LO卡，则线路零序参数按所填数值运算。
- 变压器必须填变压器零序电抗XO，根据变压器绕组接线形式及铁芯结构不同须填不同的XO卡。
- 线路并联电抗器及其中性点接地小电抗须填XR卡，对 $Y_0/Y_0$ 双绕组变压器亦须填XR卡。
- 对线路有零序互感的情况，须填LM卡。





## 14.4 线路零序参数卡 (LO 卡)

1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	

列

- 1 - 2      LO    卡片类型
- 5 - 12     BUS A    线路A侧母线名
- 13 - 16    KV    基准电压
- 19 - 26    BUS B    线路B侧母线名
- 27 - 30    KV    基准电压
- 33          PAR    平行码
- 36 - 42    R<sub>0</sub>    线路零序电阻 (标么值)
- 43 - 49    X<sub>0</sub>    线路零序电抗 (标么值)
- 50 - 56    G<sub>a0</sub>    线路BUS A 侧零序对地电导 (标么值)
- 57 - 63    B<sub>a0</sub>    线路BUS A 侧零序对地电纳 (标么值)
- 64 - 70    G<sub>b0</sub>    线路BUS B 侧零序对地电导 (标么值)
- 71 - 77    B<sub>b0</sub>    线路BUS B 侧零序对地电纳 (标么值)

说明：

- 1) 当用户有线路零序阻抗参数时可用LO卡输入，此时不按缺省公式来计算线路的零序参数。否则不须填LO卡。
- 2) 当潮流数据中把并联电抗器与线路对地电容合并 (用E卡) 时，用此卡也可以体现并联电抗器的零序电抗，把并联电抗器的零序电抗与线路零序对地电容相互合并在线路两端对地电纳中。如果潮流中电抗器用B卡的并联负荷表示，电抗器的零序应用XR卡模拟。
- 3) 若仅一侧有并联电抗器，则为不对称支路，应填G<sub>a0</sub>、B<sub>a0</sub>、G<sub>b0</sub>、B<sub>b0</sub>。
- 4) 如无电抗器，或双侧有相同的并联电抗器，则为对称零序支路，G<sub>a0</sub>=G<sub>b0</sub>、B<sub>a0</sub>=B<sub>b0</sub>，此时G<sub>a0</sub>、B<sub>a0</sub>要填，G<sub>b0</sub>、B<sub>b0</sub>不填，或填G<sub>b0</sub>=0、B<sub>b0</sub>=0，则重新自动取G<sub>b0</sub>=G<sub>a0</sub>、B<sub>b0</sub>=B<sub>a0</sub>。

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
L	M	BUS A								B1		BUS B								B2		P A R		BUS I								BI		BUS J								BJ		P A R		R <sub>m</sub>								X <sub>m</sub>																									
A2		A8								F4.0		A8								F4.0		A1		A8								F4.0		A8								F4.0		A1		F7.4								F7.4																									

列

- |         |       |            |
|---------|-------|------------|
| 1 - 2   | LM    | 卡片类型       |
| 5 - 12  | BUS A | 线路1的A侧母线名  |
| 13 - 16 | B1    | 电压基准       |
| 19 - 26 | BUS B | 线路1的B侧母线名  |
| 27 - 30 | B2    | 电压基准       |
| 33      | PAR   | 平行码        |
| 36 - 43 | BUS I | 线路2的I侧母线名  |
| 44 - 47 | BI    | 电压基准       |
| 50 - 57 | BUS J | 线路2的J侧母线名  |
| 58 - 61 | BJ    | 电压基准       |
| 64      | PAR   | 平行码        |
| 67 - 73 | $R_m$ | 互感电阻 (标么值) |
| 74 - 80 | $X_m$ | 互感电抗 (标么值) |

## 14.6 线路零序缺省参数卡 (LO-Z 卡)

0	1	2	3	4	5	6	7	8														
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890														
LO	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	K <sub>G0</sub>	K <sub>B0</sub>	K <sub>G00</sub>	K <sub>BC0</sub>	V <sub>MIN</sub>	V <sub>MAX</sub>
A2		A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	F5.4	F5.4	F5.4	F5.4	F5.1	F5.1

列

1~2          A2          字母 L0

4            A1          字母 Z

6~7          A2          分区名1

9~10        A2          分区名2

.....

48~49       A2          分区名15

(6~50列用于填写15个分区名, 每两个分区名之间有一个空格)

51~55       F5.4       线路零序电导相对于正序电导的倍数  $K_{G0}$

56~60       F5.4       线路零序电纳相对于正序电纳的倍数  $K_{B0}$

61~65       F5.4       线路对地支路零序电导相对于对地支路正序电导的倍数  $K_{G00}$

66~70       F5.4       线路对地支路零序电纳相对于对地支路正序电纳的倍数  $K_{BC0}$

71~75       F5.1       电压等级限制最小值  $V_{MIN}$

76~80       F5.1       电压等级限制最大值  $V_{MAX}$

说明：

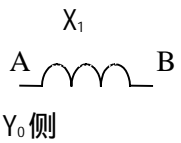
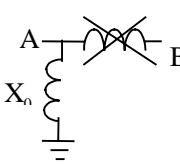
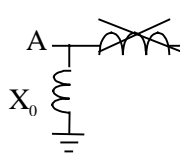
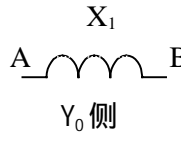
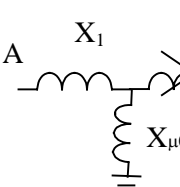
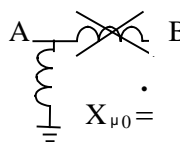
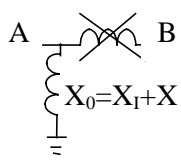
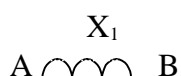
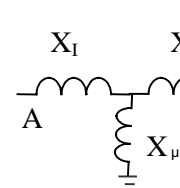
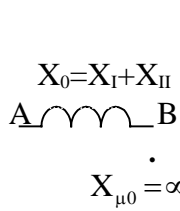
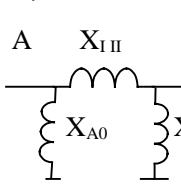
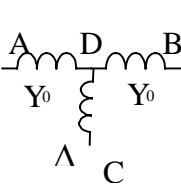
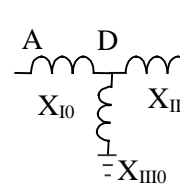
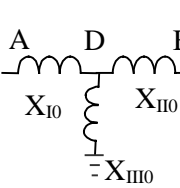
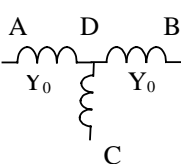
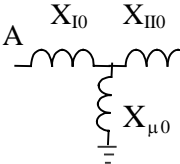
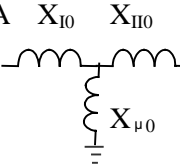
- 1) 原 BPA 稳定程序中线路的缺省零序参数是固定的, 增加该卡的目的是提供填写不同分区和电压等级线路的零序参数的功能;
- 2) 6~50 列可以填写 15 个分区名, 如果没有填写任何分区, 则该卡适用于全系统所有分区;
- 3) 51~70 列可以填写 4 个参数, 为零序参数相对于正序参数的倍数, 上述参数分别为线路的零序电导、电纳和对地支路电导、电纳相对于相应正序参数的比例。此部分内容必须填写, 否则该卡无效;
- 4) 71~80 填写电压等级范围, 在指定分区中, 如果线路电压等级在  $V_{MIN}$  和  $V_{MAX}$  之间, 则采用此缺省参数, 否则不采用缺省参数, 此部分的主要目的是让用户选定该缺省参数适用的电压等级。VMIN 的缺省值为 0, VMAX 的缺省值很大。
- 5) 程序在计算线路零序参数时, 首先采用 LO 卡中的参数; 如果没有此参数, 则采用本卡指定的参数; 对于本卡, 含有分区的卡的优先级高于没有任何分区的卡的优先级。如果没有使用本卡指定线路的零序参数, 则采用程序原有的缺省参数。
- 6) 对于联络线, 如果两侧的分区分名不同, 如果没有 LO 指定零序参数, 则缺省参数的处理方法为首先寻找本卡是否指定了两侧节点对应的分区和电压等级的缺省参数, 如果两个都指定了, 必须零序系数相同才能采用该参数; 否则, 采用没有填写分区名的 LO-Z 卡的参数。

## 14.7 关于变压器和电抗器填法的讨论

### 1) 变压器零序电抗的具体填法：

对单相变压器及五柱变压器，由于正序磁路与零序磁路都是在铁芯中构成闭合回路，如其接地方式允许零序电流流通，则零序电抗等于正序电抗。

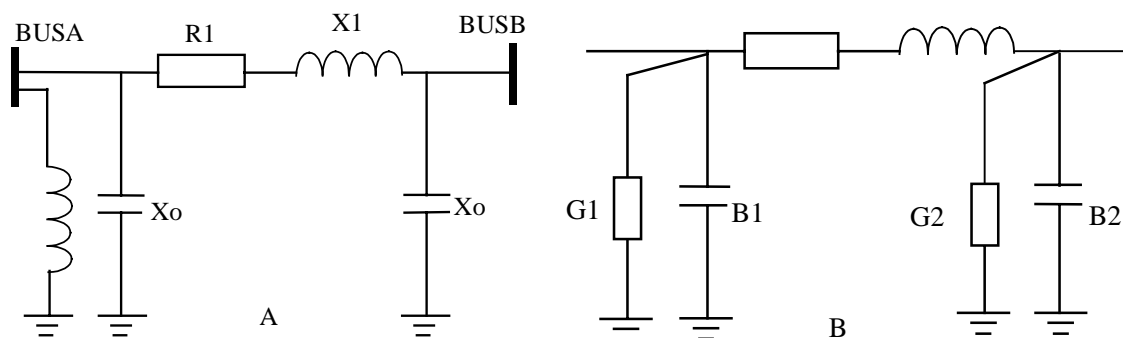
对三柱三绕组变压器有下表：

结线	变压器正序回路	零序电路	零序表示法 (I)	零序表示法 (II)
(1) $Y_0/\Delta$				
(2) $Y_0/Y$				
(3) $Y_0/Y_0$				<p>由于 C 点在正序电路中无，故 Y 变成 <math>\Delta</math></p>  $X_{III} = X_I + X_{II} + \frac{X_I X_{II}}{X_{\mu 0}}$ $X_{A0} = X_I + X_{\mu 0} + \frac{X_I X_{\mu 0}}{X_{II}}$ $X_{B0} = X_{II} + X_{\mu 0} + \frac{X_{II} X_{\mu 0}}{X_I}$
(4) $Y_0/Y_0/\Delta$				
(5) $Y_0/Y_0/Y$				

## 2) 关于线路并联电抗器在潮流、稳定计算中填法的讨论：

在潮流中并联电抗器填法有两种：

- A. 并联电抗器以并联导纳负荷挂在母线上，在B卡中35 - 38列中填入电抗器容量，实际按电抗器容量及额定电压加入一电纳，随潮流方式不同，该点电压不同，电抗器吸收的无功会不同于电抗器额定容量。
- B. 并联电抗器与线路对地电容合并，形成不对称支路，即 $G1 \neq G2$ ， $B1 \neq B2$ ，可用E卡表示。



在稳定计算中对并联电抗器的处理法列表如下：

潮流表示	故障形式	零序参数卡	计算结果
不增设小开关，电抗器接于母线 B卡，L卡	本线路无开断操作 系统对称故障	可不填	正确
不增设小开关，电抗器接于母线 B卡，L卡	本线路二侧三相开断 系统对称故障	可不填	不正确 (电抗器未切除)
不增设小开关，电抗器并入线路 E卡	本线路二侧三相开断 系统对称故障	可不填	正确
不增设小开关，电抗器接于母线 B卡，L卡 或电抗器并入线路 E卡	系统有不对称故障 本线路无开断操作	XR卡或L0卡	正确
增设小开关节点，电抗器接于线 路侧母线 B卡，L卡 或电抗器并入线路 E卡	系统有不对称故障 本线路有开断操作	XR卡或L0卡	正确

A. 仅在本线路有不对称开断（单相断开、二相断开）时须要在本线上增加二个小开关节点。

B. 系统无不对称故障，本线路二侧三相断开，不需增加节点。但如一侧有电抗器，在潮流中要用E卡。如果双侧均有电抗器则仍可用L卡（双侧电抗器均并入对地电容），而电抗器挂在母线作为并联导纳则出错。

C. 一般情况下，电抗器可表示为并联导纳负荷。在有不对称故障时，稳定数据中用XR卡表示电抗器零序电抗。

D. 如线路填L0卡，则可包括电抗器零序电抗在内。不须再填XR，如潮流中用E卡，则必须用L0卡。



## 15 负荷模型

### 15.1 代数模型（LA、LB 卡）

1									2									3									4									5									6									7									8								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0												
L	SUBTYPE	CHGCODE	NAME									KV	ZONE	INTERCHANGE AREA NAME									CONSTANT IMPEDANCE			CONSTANT CURRENT			CONSTANT MVA			FREQUENCY SENSITIVITY LOAD TYPE A			FREQUENCY SENSITIVE FACTORS																																				
																							P <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub>	L <sub>DP</sub>	L <sub>DQ</sub>																																							
A1	A1		A8									F4.0	A2	A10									F5.3			F5.3			F5.3			F5.3			F5.3			F5.3			F5.3			F5.3																											

列

- 1 卡片类型 - L
- 2 负荷模型类型 - A或B
- 4 - 15 母线名及基准电压
- 16 - 17 分区
- 18 - 27 区域名
- 28 - 32 恒定阻抗有功负荷比例
- 33 - 37 恒定阻抗无功负荷比例
- 38 - 42 恒定电流有功负荷比例
- 43 - 47 恒定电流无功负荷比例
- 48 - 52 恒定功率有功负荷比例
- 53 - 57 恒定功率无功负荷比例
- 58 - 62 与频率有关的有功负荷比例（A型）
- 63 - 67 与频率有关的无功负荷比例（A型）
- 68 - 72 频率变化1%引起的有功变化百分数
- 73 - 77 频率变化1%引起的无功变化百分数

稳定程序提供两种负荷模型：

类型LA 
$$P = P_0[P_1V^2 + P_2V + P_3 + P_4(1 + \Delta f L_{DP})]$$

$$Q = Q_0[Q_1V^2 + Q_2V + Q_3 + Q_4(1 + \Delta f L_{DQ})]$$

类型LB 
$$P = P_0(P_1V^2 + P_2V + P_3)(1 + \Delta f L_{DP})$$

$$Q = Q_0(Q_1V^2 + Q_2V + Q_3)(1 + \Delta f L_{DQ})$$

说明：

- 1) 对于LA有： $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.0$        $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1.0$   
 对于LB有： $P_1 + P_2 + P_3 = 1.0$        $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.0$
- 2) 卡的填法有三种：
  - a. 对区域(Area)填负荷特性卡，区域内全部负荷按此特性。
  - b. 对分区(Zone)填负荷特性卡，该分区内全部负荷特性就采用此特性。
  - c. 对每个负荷母线（Name）填负荷特性卡。

如果一个区域中负荷特性基本相同，可填Area负荷特性卡，而在这区域中有一个分区（如01区）有特殊性，可加填分区负荷特性卡。此外这区域还有几个特殊点有特殊负荷特性，则另加填母线负荷特性卡。

- 3) 若综合负荷中有一定比值的异步马达者，剩余比值的负荷也必须填负荷卡。
- 4) 当母线电压低于一定值时，恒定功率负荷和恒定电流负荷将转为恒定阻抗负荷，以避免计算失败。计算控制继续卡F1卡的第28~31列可以指定该电压值，缺省值为0.5pu。

## 15.2 新静态负荷模型

### 综合动态负荷模型

$$\begin{aligned} \text{LA: } P &= P_0 (P_1 V^2 + P_2 V + P_3 + P_4 (1 + f \cdot L_{dp}) + P_5 V^{Np}) \\ Q &= Q_0 (Q_1 V^2 + Q_2 V + Q_3 + Q_4 (1 + f \cdot L_{dq}) + Q_5 V^{Nq}) \\ \text{LB: } P &= P_0 (P_1 V^2 + P_2 V + P_3 + P_5 V^{Np}) (1 + f \cdot L_{dp}) \\ Q &= Q_0 (Q_1 V^2 + Q_2 V + Q_3 + Q_5 V^{Nq}) (1 + f \cdot L_{dq}) \end{aligned}$$

其中： LA 型：  $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 1$$

$$\text{LB 型： } P_1 + P_2 + P_3 + P_5 = 1$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 = 1$$

$Np$ 、 $Nq$  为任意常数；

$$V = U / U_0 ;$$

$f$  为标么值。

卡片格式：需要两张卡来填写参数，即 LA 或 LB 卡及其继续卡 L+卡。

LA 和 LB 卡见 15.1。

L+卡紧接于 LA 或 LB 卡之后。

L+卡的格式与 LA、LB 卡类似， $P_1$ 、 $Q_1$  的位置填  $P_5$ 、 $Q_5$ ； $P_2$ 、 $Q_2$  的位置填  $Np$ 、 $Nq$ 。

例：

LB	N16	230.	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	-2.
L+	N16	230.	0.6	0.6	2.5	2.5				

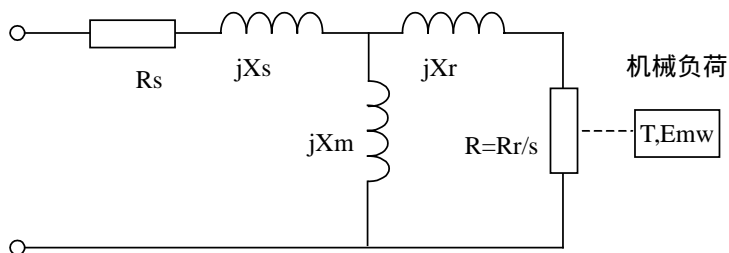
列

- |         |   |
|---------|---|
| 1 - 2   | 卡片类型 - MI   |
| 4 - 11  | 节点名   |
| 12 - 15 | 基准电压 (kV)   |
| 16      | ID - 识别码, 用于识别同一母线上的不同机组  |
| 17 - 22 | $E_{MWS}$ , 马达的动能, 单位为兆瓦·秒  |
| 23 - 25 | P, 马达功率占母线有功负荷的比例 (P 1.0)   |
| 29 - 32 | MVA BASE, 马达的基准功率值 (MVA), 马达参数以此为基准值, 缺省值系统基准容量MVA                |
| 33 - 37 | $R_S$ —定子电阻 (标么值)   |
| 38 - 42 | $X_S$ —定子电抗 (标么值)   |
| 43 - 47 | $X_M$ —激磁电抗 (标么值)   |
| 48 - 52 | $R_R$ —转子电阻 (标么值)   |
| 53 - 57 | $X_R$ —转子电抗 (标么值)   |
| 58 - 60 | $V_I$ —马达低压释放的电压值 (当马达机端电压降到 $V_I$ 以下, 经 $T_I$ 延时后切除马达)           |
| 61 - 64 | $T_I$ —马达低压释放时延 (秒)   |
| 65 - 69 | A - 转矩方程常数  |
| 70 - 74 | B - 转矩方程常数  |
| 80      | IM - 马达滑差达到1时的处理方式<br>= 0 - 稳定程序停止计算<br>= 1 - 堵转 (缺省)<br>= 2 - 切除 |

说明：

1) 模型：

感应马达静态等值电路如下：



$X = X_s + X_m$  转子开路电抗

$X' = X_s + \frac{X_m X_R}{X_m + X_R}$  转子不动时短路电抗

$$\omega_b = 2\pi f_{base}, f_{base} = 50$$

$$\omega_r = 1 - S$$

$$\frac{dE'_d}{dt} = -\frac{1}{T_c} [E'_d + (X - X') I_q] - \omega_b (\omega_r - 1) E'_q$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = -\frac{1}{T_o} [E'_q - (X - X') I_d] + \omega_b (\omega_r - 1) E'_d$$

$$I_d = \frac{1}{R_s^2 + X'^2} [R_s (V_d - E'_d) + X' (V_q - E'_q)]$$

$$I_q = \frac{1}{R_s^2 + X'^2} [R_s (V_q - E'_q) - X' (V_d - E'_d)]$$

$$T_E = E'_d I_d + E'_q I_q$$

$$T_M = (A\omega_r^2 + B\omega_r + C)T_0$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{2T_j} (T_E - T_M)$$

A、B、C：机械转矩系数，C由下列式子求得：

$$A\omega_0^2 + B\omega_0 + C = 1.0$$

$$\omega_0 = 1 - S_0$$

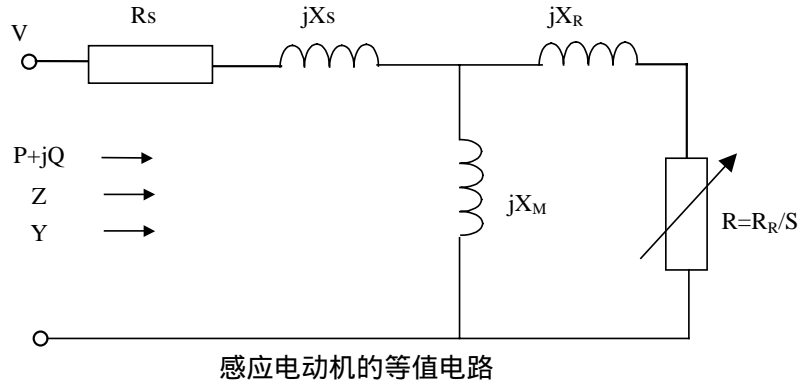
## 2) 初始化过程说明：

马达吸收的初始功率等于马达所在母线的总功率乘以MI卡23-25列给出的比例乘子。用潮流的机端电压和MI卡给出的电抗值计算马达的初始滑差。如果初始滑差不在0.001-0.2标么值范围内，将打出一个致命错误诊断信息。

其次计算马达吸收的无功功率，如果马达的功率因数超出0.5-0.98标么值范围，将打出一个致命错误诊断信息。

从母线的总负荷里扣除马达功率后的剩余负荷就是该母线的固定负荷。注意必须指定剩余负荷的负荷特性。

## 3) 初始化计算：



已知：V、P、 $R_s$ 、 $X_s$ 、 $X_M$ 、 $X_R$   $R_r$

求：S、Q (S为滑差)

令：

$$X_{Rm} = X_R + X_M$$

$$X_{SM} = X_s + X_M$$

$$X_P = X_s X_R + X_s X_M + X_M X_R$$

$$Z = R_s + jX_s + \frac{(jX_M)(R + jX_R)}{R + jX_{RM}} = \frac{1}{Y}$$

$$P + jQ = \dot{V} I^* = V^2 \bar{Y}$$

$$\text{REAL}(\bar{Y}) = P / V^2$$

$$Y = \frac{R + jX_{RM}}{R_s R - X_P + j(R_s X_{RM} + R X_{SM})}$$

$$= \frac{R_s R^2 + X_M^2 R + R_s X_{SM}^2 - j(X_{SM} R^2 + X_P X_{RM})}{A' R^2 + B' R + C'}$$

其中

$$A' = R_s^2 + X_{SM}^2$$

$$B' = 2R_s X_M^2$$

$$C' = X_P^2 + R_s^2 X_{RM}^2$$

令：

$$A = A' P / V^2 - R_s$$

$$B = B' P / V^2 - X_M^2$$

$$C = C' P / V^2 - R_s X_{Rm}^2$$

则：

$$R = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$S = R_R / R$$

为保证滑差值的可靠,将作以下检查:

$$B^2 - 4AC > 0$$

$$0.001 \leq S \leq 0.2$$

马达消耗的无功功率：

$$Q = \text{IMAG}(V^2 \bar{Y})$$

$$= \frac{(V^2)(X_{SM} R^2 + X_P X_{RM})}{A' R^2 + B' R + C'}$$

功率因数  $PF = \cos[\text{TAN}^{-1}(Q/P)]$

为保证功率因子可靠,将作以下检查：

$$0.5 < PF < 0.98$$

注意：前面的A、B不是MI卡的A、B系数。

例：

已知：V=1.0064 P=0.40 RS=0.032 XS=0.443 XM=20.15 XR=0.375 RR=0.034

那么：XRM=20.525 XSM=20.573 XP=16.6488

A'=424.073 B'=25.9854 C'=277.615

A=167.446 B=-395.760 C=96.1572

R=2.08855 S=0.034/R=0.01628 Q=0.2003

$\phi=0.8942$

- 4) 计算过程中，如果马达的滑差达到1，将根据MI卡中的第80列对马达进行处理。在FF卡中的第60列也可以指定马达滑差达到1的处理方式，但是，只有当MI卡的第80列不填写任何值时，才按照FF卡指定的方式处理。
- 5) 第80列的马达处理方式代码必须是0、1、2或空格，如果大于2，则作为1处理。
- 6) 在稳定数据文件中，马达卡应填写在发电机相关数据卡后面。
- 7) 负荷中含有马达时，为了避免计算过程出现异常，应采用较小的步长，一般可采用0.5周波。容量相对很小的马达，一般对电网的影响很小，为了避免计算异常，一般应将其删除。
- 8) 在DEBUG卡中的24列填写非零值，可以输出马达的初始滑差、初始有功无功功率、初始功率因数等参数。



说明：

1) 本马达模型、初始化等方面与15.3中马达模型完全一致，只是填写方法不同。

- 第15.3节的感应马达卡MI卡中，用户需要填写马达的基准功率值和动能，而本节的感应马达卡与MI卡不同之处在于它填写的是马达的负载率和惯性时间常数，程序计算该马达的功率基准值和动能；
- 本卡可以按照分区或者区域形式填写；

2) 马达动能和基准功率值的计算方法：

$$\text{基准功率值 MVABSE} = \frac{P_{\text{powerflow}} \times P_{\text{per}}}{K_L}$$

$$\text{马达动能 } E_{\text{WMS}} = \frac{T_J}{2} \cdot \text{MVABSE}$$

其中， $P_{\text{powerflow}}$  为潮流中该马达节点的有功负荷， $P_{\text{per}}$  为 23~25 列中马达功率占母线功率的百分比， $K_L$  为第 26~29 列的负载率， $T_J$  为第 17~22 列的惯性时间常数。

3) 不含有马达的节点数据卡MB卡

在采用上述分区和区域形式的马达卡 MJ 卡和 MK 卡时，将对指定分区或者区域所有的负荷节点对应的马达卡；但是有的节点可能不存在马达，全部都是静态负荷；增加该卡的目的是为了排除指定分区或者区域中没有马达的负荷节点。

每一个 MB 卡最多可以填写 5 个节点，可以同时填写多个 MB 卡。具体格式如下：

1~2	A2	MB
4~11	A8	节点 1 名称
12~15	F4.0	节点 1 基准电压
18~25	A8	节点 2 名称
26~29	F4.0	节点 2 基准电压
32~39	A8	节点 3 名称
40~43	F4.0	节点 3 基准电压
46~53	A8	节点 4 名称
54~57	F4.0	节点 4 基准电压
60~67	A8	节点 5 名称
68~71	F4.0	节点 5 基准电压

4) 优先级

如果原马达卡 MI 卡、分区马达卡 MJ 卡、区域马达卡 MK 卡、MB 卡和单个节点形式 ML 卡同时存在，优先级为 MI 卡、ML 卡、MB 卡、MJ 卡、MK 卡。

5) 在上述的马达卡ML、MJ、MK卡中可以指定初始滑差（原来是计算初始滑差），根据给定的初始滑差计算马达的基准容量MVABASE。



定初始滑差的填写方法有两种：

- 在上面马达卡的基础之上，在第 16 列填写标志“S”，75~79 列填写初始滑差值，格式为 F5.4，此时第 26~29 列的负载率无效。（原来的）
- 在上面马达卡的基础之上，在第 79 列填写字符“S”，26-29 列填写初始滑差值，格式为 F4.4。（新增的方法）

填写的初始滑差必须在 0.001 和 0.2 之间。

计算 MVABASE 的方法如下：

首先计算马达等值电路端口的等值阻抗：

$$Z_{\Sigma} = R_s + jX_s + \frac{jX_m \cdot (R_r/S + jX_r)}{jX_m + R_r/S + jX_r}$$

然后计算

$$P_t^* = R_e \left( \dot{V}_{t(0)} \hat{I}_{(0)} \right) = R_e \left( \dot{V}_{t(0)} \frac{\hat{\dot{V}}_{t(0)}}{\hat{Z}_{\Sigma}} \right)$$

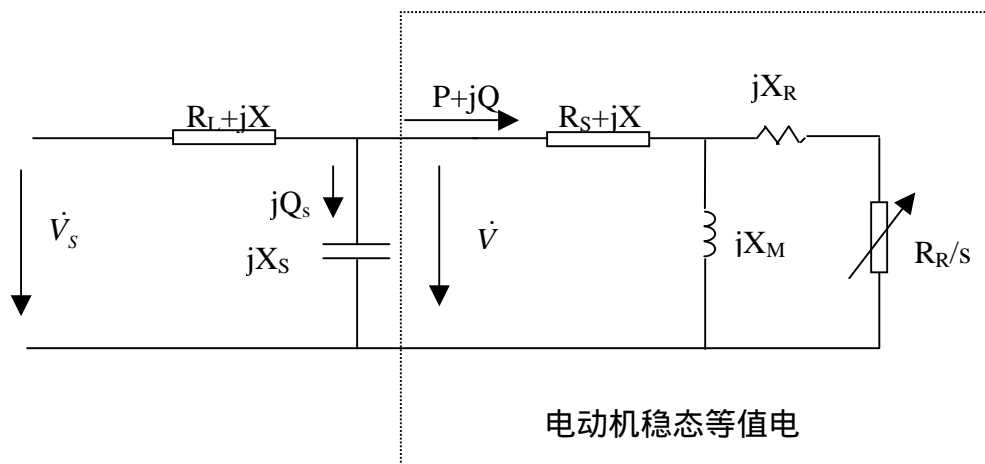
该值为电动机初始有功功率以电动机本身容量为基准的标么值，则

$$\text{电动机基准容量为 MVABSE} = \frac{P_{\text{powerflow}} \cdot P_{\text{per}}}{P_t^*}$$

$$\text{马达动能 } E_{\text{WMS}} = \frac{T_J}{2} \cdot \text{MVABSE}$$

- 6) 使用MJ卡和MK卡形成马达时，当负荷节点的功率低于30-32列的数值时，不形成马达负荷。
- 7) 在DEBUG卡中的24列填写非零值，可以输出马达的初始滑差、初始有功无功功率、初始功率因数等参数。
- 8) 其它相关的问题可参考15.3节中的说明。





其中除了配电网和无功补偿外的马达模型与原来的马达模型（即 15.3 和 15.4 中的模型）完全一致。

数据卡中 29-32 列的电压比例定义为

$$\left| \frac{\dot{V}_s}{\dot{V}} \right| = c \quad (c \text{ 可取 } 1.0-1.05)$$

计算马达端点的并联无功补偿量  $Q_{SC}$ ：

$$Q' = \frac{-2V^2 X_L \pm \sqrt{(2V^2 X_L)^2 - 4(R_L^2 + X_L^2)((V^2 + PR_L)^2 + (PX_L)^2 - V^4 c^2)}}{2(R_L^2 + X_L^2)}$$

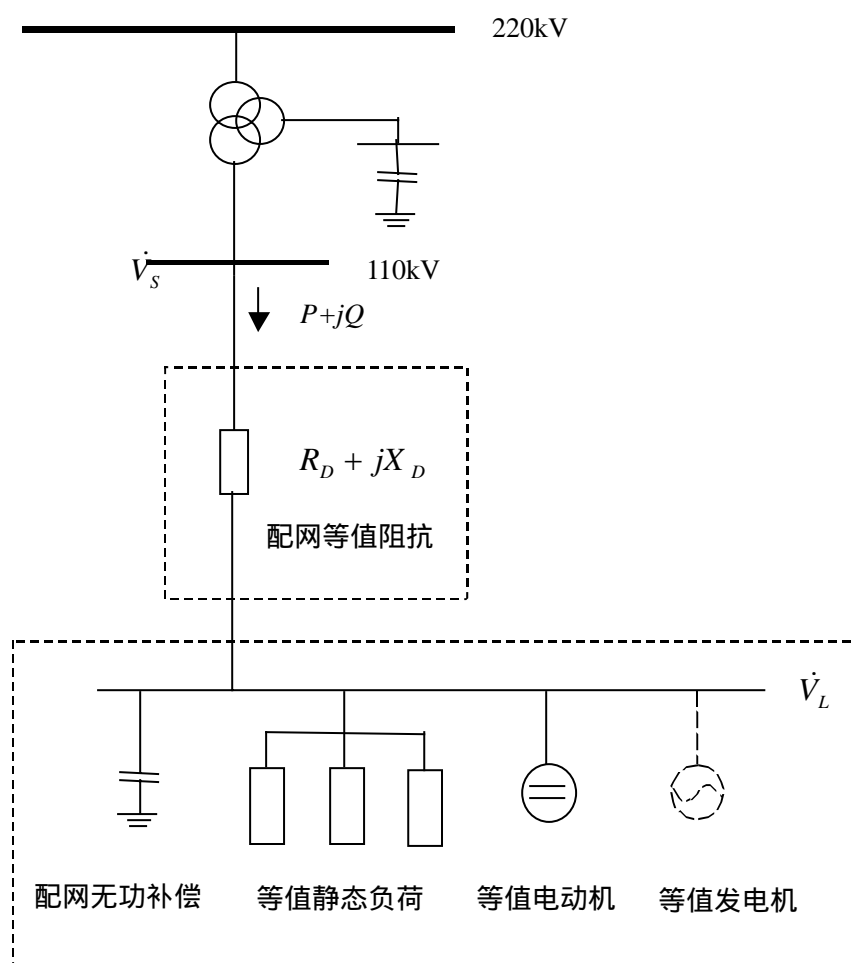
$$Q_{SC} = Q' - Q$$

然后就可以计算出并联电抗：

$$X_{SC} = \frac{V^2}{Q_{SC}}$$

1-2	A2	LE
4-11	A8	节点名
12-15	F4.0	基准电压
4-5	A2	分区名（按照分区形式填写，此时 6-15 列必须为空）
6-15	A10	区域名（按照区域形式填写，此时 4-5 列必须为空）
17	A1	支路顺序号（此值必须填写，同一个负荷节点可以有多条配电网支路，此值用于区分这些支路，同时用于识别与此支路相连的马达、静态负荷和发电机，一般可填写 1、2、3 等）
19-23	F5.3	配电网支路电阻 $R_D$ （相对配电网支路初始负荷容量的标么值）
24-28	F5.3	配电网支路电抗 $X_D$ （相对配电网支路初始负荷容量的标么值）
32-34	F3.3	本支路有功功率占该节点总负荷有功功率的比例，缺省值 1
35-37	F3.3	本支路无功功率占该节点总负荷无功功率的比例，缺省值与有功比例相同
38-42	F5.3	与本支路相连的所有发电机的有功总出力（MW）
43-47	F5.3	与本支路相连的所有发电机的无功总出力（Mvar）
48-52	F5.3	配电网支路静态负荷的功率因数

该模型如下：



负荷与配电网综合模型结构

说明：

1) 同一个负荷节点可以有多个配电网支路综合负荷模型数据卡，每个支路都需要填写 LE 卡，各个配电网支路之间采用 LE 卡中 17 列的支路顺序号区分，对于每个 LE 卡，支路顺序号必须填写。

2) 同一个负荷节点连接的所有配电网支路数据卡的有功无功百分比之和不能大于 1，即同一个负荷节点相关的 LE 卡中 32-37 列的百分比之和小于或等于 1。

3) 对于每个 LE 卡，19-28 列的配电网支路阻抗的基准容量为该配电网支路初始负荷容量。

4) 如果有发电机与配电网支路相连，在 LE 卡中 38-47 列应该填写这些发电机总的初始有功无功出力；相反，如果没有发电机相连，则 LE 卡 38-47 列必须为 0 或不填。

5) 配电网支路负荷的计算方式

配电网支路初始功率为节点总负荷与配电网支路功率比例（LE 卡 32-37 列）的乘积，即

$$\begin{cases} P_0 = P_{\text{Load}} * P_{\text{per}} \\ Q_0 = Q_{\text{Load}} * Q_{\text{per}} \end{cases}$$

与配电网支路相连的综合负荷功率为上述初始功率减去配电网消耗的有功无功功率，即

$$\begin{cases} P'_0 = P_0 - \Delta P \\ Q'_0 = Q_0 - \Delta Q \end{cases}$$

与配电网支路相连的静态负荷、马达和无功补偿的总的有功无功功率为上面的综合负荷功率加上与该配电网支路相连的发电机有功无功出力，即

$$\begin{cases} P_1 = P'_0 + P_{\text{GEN}} \\ Q_1 = Q'_0 + Q_{\text{GEN}} \end{cases}$$

与配电网支路相连的马达的功率为

$$P_{\text{MOTOR}} = P_1 \times P_{\text{MPER}}$$

扣除所有马达的有功无功，则静态负荷、无功补偿的总的有功无功为

$$\begin{cases} P_2 = P_1 - P_{\text{MOTOR}} \\ Q_2 = Q_1 - Q_{\text{MOTOR}} \end{cases}$$

则上面的有功功率  $P_2$  为静态负荷有功功率，静态负荷的无功功率根据给定的静态负荷功率因数（LE 卡中 48-52 列）进行计算，即

$$\begin{cases} P_{\text{STATIC}} = P_2 \\ Q_{\text{STATIC}} = P_2 \times \tan[\arccos(\text{PFac})] \end{cases}$$

无功补偿的容量计算为

$$Q_{\text{COMP}} = Q_2 - Q_{\text{STATIC}}$$

#### 6) 与配电网支路相连的发电机相关说明

对于与配电网支路相连的发电机，填写数据卡时，必须在 MF\MC\MG 卡中的第 3 列填写所属配电网支路顺序号，即对应 LE 卡中 17 列的支路顺序号；如果不填写此值，程序认为该发电机不与配电网支路相连，而直接与所属节点相连。

与配电网相连的发电机的数据卡 MF\MC\MG 卡中有功无功百分比为相对于配电网支路数据卡 LE 卡 38-47 列发电机总的初始有功无功出力的比例，与同一条配电网支路相连的所有发电机功率比例之和必须等于 1。

对于与配电网相连的发电机的所有的数据卡中，只需在 MF\MC\MG 卡中第 3 列填写所属配电网支路顺序号，其它的数据卡，如 M 卡、励磁、调速器、PSS 等相关的数据卡第 3 列都不需要填写。

对于同一个节点，该节点含有配电网支路综合负荷模型数据卡 LE 卡，如果有发电机与配电网支路相连，并且同时也有发电机与该节点直接相连，则这些发电机的相关数据卡中 16 列的 ID 号必须不同。

#### 7) 与配电网支路相连的马达相关说明

与配电网支路相连的马达卡，必须在 MI\MJ\MK\ML 中第 3 列填写对应的配电网支路顺序号，即对应的 LE 卡中 17 列的顺序号。

与配电网支路相连的马达卡中的有功比例为相对于 (5) 中配电网支路考虑发电机后有功负荷的比例；与同一个配电网支路相连的所有马达总的比例不能大于 1。

对于同一个节点，该节点含有配电网支路综合负荷模型数据卡 LE 卡，如果有马达与配电网支路相连，并且同时也有马达与该节点直接相连，则这些马达的相关数据卡中 16 列的 ID 号必须不同。

8) 与配电网支路相连的静态负荷特性可以采用 LA\LB\LC 填写，必须在 LA\LB\LC 卡填写对应 LE 卡 17 列的支路顺序号。如果不填写 LA\LB\LC 卡，则静态负荷部分作为恒阻抗处理。

9) 初始化时，如果配电网支路阻抗的压降超过 0.05pu，程序会给出警告信息，表示电抗可能过大或负荷过重导致压降较大，此警告对计算过程没有任何影响。

10) 稳定数据中含有 LE 卡时，如果静态负荷数据卡 LA\LB 卡、发电机数据卡 MF\MC\MG 卡或马达数据卡 MI\MJ\MK\ML 卡中第 3 列填写了非空字符，但是在 LE 卡中没有找到对应的 LE 卡，会给出错误信息。

但是，如果没有 LE 卡，则程序不作上述检查，即 LA\LB\LC 卡、MF\MC\MG 卡和 MI\MJ\MK\ML 卡与第 3 列为空的处理方法相同。

11) 低压或低频切负荷时，按照设定的切除比例切除配电网支路中的静态负荷、无功补偿、马达，但是不切除与配电网支路相连的发电机，同时也不修改配电网支路的阻抗。

12) 采用故障卡 LS-4 卡切除某个配电网支路的静态负荷时，必须在 LS-4 卡的 34 列填写该配电网支路数据卡 LE 卡中 17 列的支路顺序号，如果不填写，则切除的不是配电网支路的负荷，而是直接与该节点相连的静态负荷。

如果程序没有找到填写的配电网支路，会给出错误信息，计算停止。

如果切除的负荷大于最大可切除的负荷，则切除对应的全部负荷，不会过切，并且

会给出警告信息。

13) 对于含有配电网支路的负荷采用 B 卡输出有功无功时，配电网支路部分输出的是配电网支路的总负荷，即同时包含与该配电网支路相连的所有的静态负荷、无功补偿、马达和发电机功率，而不仅仅是静态负荷的功率。与配电网支路相连的马达和发电机相关变量仍然可以采用 G 卡输出，但是输出的值与实际值稍有差别。

14) LE 卡 48-52 列的功率因数必须在-1 和 1 之间。但是可以填写 99999，填写该值后，则没有无功补偿，即总负荷除去马达负荷后都是静态负荷。

15) 与配电网直接相连的静态负荷，如果使用负荷周期波动数据卡 LF 卡，应该在 LF 卡的 69 列填写 LE 卡 17 列的顺序号；否则，该 LF 卡与节点直接相连的静态负荷对应。

LE 卡填写实例：

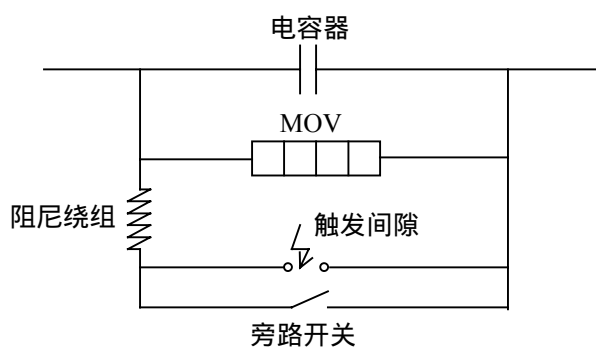
ML1母线2	230.	11.86	.5	0.51	0.	0.12	3.499.02	.12	.85	0
ML2母线2	230.	21.86	.5	0.51	0.	0.12	3.499.02	.12	.85	0
LE 母线2	230.	1	0.02	0.05	0.50.5			0.3		
LE 母线2	230.	2	0.02	0.05	0.50.5			0.3		
LB1母线2	230.				1.0	1.0				
LB2母线2	230.				1.0	1.0				



## 16 串补和可控串补

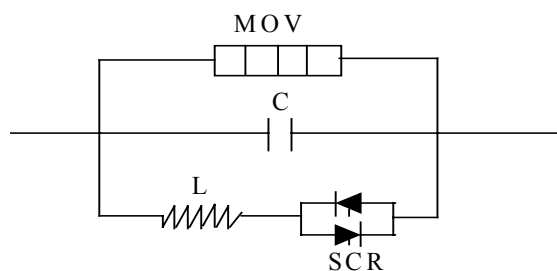
### 16.1 总的说明

串补主要有固定串补和可控串补两种类型。固定串补基本结构示意图如下：



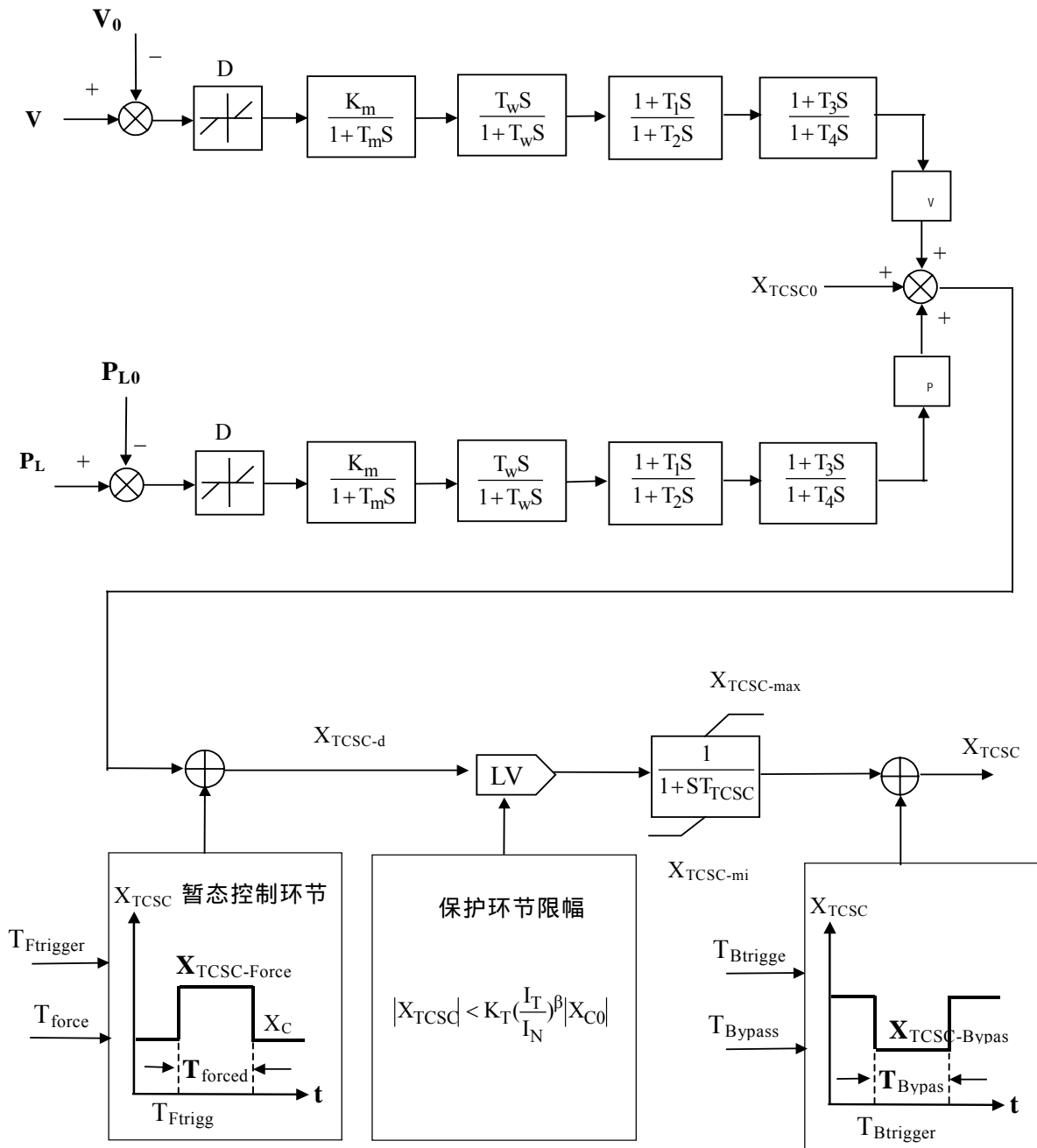
其中主要包括电容器及其保护装置，即氧化锌避雷器（MOV）、触发间隙、旁路开关。

可控串补的基本结构示意图如下图：

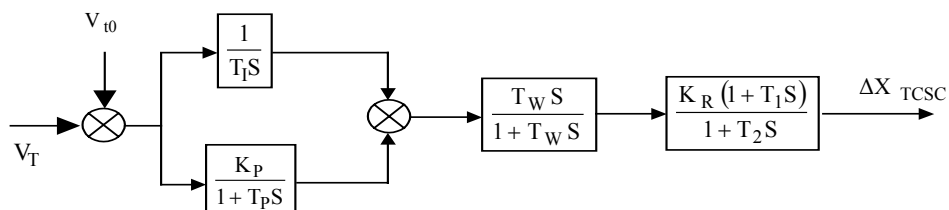


它与固定串补相比增加了双向晶闸管控制的电感支路，通过调节可控串补的触发角可以平滑调节其等值电抗，它具有提高系统暂态稳定性、抑制系统振荡等功能。

可控串补的控制框图是采用线性控制结合 Bang-Bang 控制，如下图所示：



上图中线性控制部分中采用的是类似于 PSS 的控制方式，也可以采用 PID 控制，如下图所示：



线性控制部分可以采用功率控制和电压控制相结合的方式，也可以只采用功率控

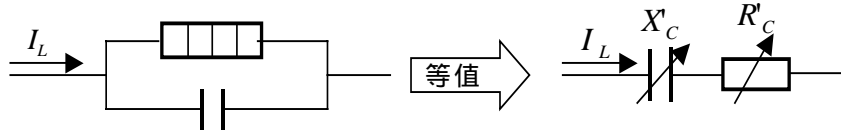
制或者电压控制，并且每个控制模块中即可以使用 PID 控制又可以采用类似于 PSS 的控制方式。

可控串补的限幅环节主要考虑了电容器的电压和电流耐受能力。由电容器电压和电流耐受能力决定的电抗为：

$$X_{TCSC,max}^T = X_{TCSC, rated} \cdot \left( \frac{I_T}{I_N} \right)^\beta \cdot K_T$$

此外，该 TCSC 控制框图中还设置了两个开环控制，即暂态控制环节和旁路控制环节。当线路短路故障后三相断开，暂态稳定控制环节动作，将并联线路的可控串补的容抗调节到最大，补偿一段时间后，再转换到正常的调节方式；其补偿的时间需要预先设定。

在固定串补和可控串补中都含有氧化锌避雷器（MOV），它的作用是限制电容器两端的电压来保护电容器。模拟它的功能采用线性化模型。当线路电流  $I_L$  大于电容器保护水平电流  $I_{pr}$  的 0.98 倍时，MOV 导通，固定串补用线性化模型来代替。如下图所示：



其中线性化模型中等值电阻和电抗是线路电流的函数，基本关系式为：

$$R'_C = X_{C0} \left( 0.0745 + 0.49e^{-0.243I_{pu}} - 35.0e^{-5.0I_{pu}} - 0.6e^{-1.4I_{pu}} \right)$$

$$X'_C = X_{C0} \left( 0.1010 - 0.005749I_{pu} + 2.088e^{-0.8566I_{pu}} \right)$$

其中的  $I_{pu}$  是线路电流相对于电容器保护水平的标么值，即  $I_{pu} = \frac{I_L}{I_{pr}}$ ， $I_L$  为线路电流， $I_{pr}$  是电容器的保护水平电流； $X_{C0}$  是正常情况下电容器的容抗值。

当 MOV 导通后，如果线路电流小于电容器保护水平电流的 0.98 时，MOV 停止导通。MOV 导通后会吸收一定的能量，当吸收的能量达到限定值时，触发间隙触发导通将整个串补装置短接；如果 MOV 中的电流峰值达到设定值，为了避免 MOV 能量增长过快，也要将触发间隙触发导通；触发间隙导通的同时给旁路开关发合闸命令。当串补旁路后，经过设定的时间后重新投入运行。

列	内容
1 - 2	卡片类型—RZ
4	卡片子类型—A
6 - 13	节点 1 名称
14 - 17	节点 1 基准电压 (kV)
19 - 26	节点 2 名称
27 - 30	节点 2 基准电压 (kV)
31	回路号
33 - 38	固定串补的容抗值 (p.u.) , 容性为正
39 - 42	线路额定电流 (A)
43 - 46	过电压保护水平倍数
47 - 51	MOV 能量限制值 (MJ)
52 - 56	MOV 能量增长速度限制 (MJ/CYCLE)
57 - 61	线路电流最大值限制 (kA)
62 - 65	串补重投时间的起始值 (周波)
66 - 70	串补重投的延迟时间 (周波)
71 - 75	串补重投线路最大限制电流 (kA)
76 - 79	超过重投线路最大限制电流的延迟时间 (周波)
80	断线串补重投标志。1—投入; 0-不投入

1) 如果含有固定串补，此卡是必须的。

2) MOV 能量限制值、MOV 能量增长速度限制和线路电流最大值限制中，只要满足一个条件就会将串补旁路。实际中可能采用其中的一个或者几个，一般来说 MOV 能量限制值是必须的，不需要的不填写即可。

3) 如果串补旁路，经过一段时间会重新投入。如果重投时间起始值为零，则重投时刻为旁路时间加上重投的延迟时间；否则，重投时刻为重投起始时间加上重投延迟时间。

- 
- 4) 在串补重投时，如果线路电流大于串补重投线路最大限制电流，则串补不投入；如果经过 76 - 79 列的时间后，仍满足上述条件则不再投入；如果在 76 - 79 列的时间内，不满足上述条件，则立即投入。
  - 5) 串补重新投入时，如果线路断开，重投与否取决于第 80 列的数值，如果为零，则不投入，否则投入。



16.3.2 功率控制部分数据卡（RZ—P 卡）

0									1									2									3									4									5									6									7									8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	R	Z									P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

列

- 1 - 2      卡片类型—RZ
- 4          卡片子类型—P
- 6 - 13     节点 1 名称
- 14 - 17    节点 1 基准电压（kV）
- 19 - 26    节点 2 名称
- 27 - 30    节点 2 基准电压（kV）
- 31         回路号
- 33 - 37    模型 1 为时间常数  $T_1$ （秒），模型 2 为时间常数  $T_1$ （秒）
- 38 - 42    模型 1 为时间常数  $T_p$ （秒），模型 2 为时间常数  $T_2$ （秒）
- 43 - 47    模型 1 为时间常数  $T_w$ （秒），模型 2 为时间常数  $T_3$ （秒）
- 48 - 52    模型 1 为时间常数  $T_1$ （秒），模型 2 为时间常数  $T_4$ （秒）
- 53 - 57    模型 1 为时间常数  $T_2$ （秒），模型 2 为时间常数  $T_M$ （秒）
- 58 - 62    模型 1 为放大倍数  $K_p$ ，模型 2 为时间常数  $T_w$ （秒）
- 63 - 67    模型 1 为放大倍数  $K_R$ ，模型 2 为放大倍数  $K_M$
- 68 - 72    电压控制模块所占的比例因子    p
- 73 - 78    控制死区 D
- 80         采用的控制模型。1—PID 控制；2—类似于 PSS 控制

说明：

- 1) 如果不采用电压控制部分，则应令  $p=1$ ；否则，应满足  $v+ \quad p=1.0$
- 2) 如果不采用 TCSC 控制框图中线性控制部分中电压控制，则不需要填写此卡。

### 16.3.3 限幅环节和一阶惯性环节参数卡（RZ—C 卡）

0	1	2	3	4	5	6	7	8							
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0							
RZ	C	BUS1 NAME	BASE1	BUS2 NAME	BASE2	ID	$I_N$	$\beta$	$K_T$	$X_c$	$X_{tcsc-min}$	$X_{tcsc-max}$	$X_L$	$T_{TCSC}$	
A2		A8	F4.0	A8	F4.0	A1	F5.1	F6.3	F5.3	F6.5	F6.5	F6.5	F6.5	F5.3	

列

- 1 - 2      卡片类型—RZ
- 4          卡片子类型—C
- 6 - 13     节点 1 名称
- 14 - 17    节点 1 基准电压 (kV)
- 19 - 26    节点 2 名称
- 27 - 30    节点 2 基准电压 (kV)
- 31          回路号
- 33 - 37    线路额定电流  $I_N$  (A)
- 38 - 43    电容器电压电流耐受能力决定的电抗中的系数  $\beta$
- 44 - 48    电容器电压电流耐受能力的系数  $K_T$
- 49 - 54    可控串补电容器的容抗值  $X_c$  (pu)，容性为正
- 55 - 60    可控串补等效容抗最小值  $X_{tcsc-min}$  (pu)，容性为正
- 61 - 66    可控串补等效容抗最大值  $X_{tcsc-max}$  (pu)，容性为正
- 67 - 72    可控串补中电抗器的电抗值  $X_L$  (pu)，感性为正
- 73 - 77    一阶惯性环节时间常数  $T_{TCSC}$  (秒)

说明：

- 1) 如果含有可控串补，此卡是必须的。
- 2) 第 38 - 43 列的参数一般为一个负值。
- 3) 第 49 - 72 列可控串补的电抗值都添标么值，并且都为正。



### 16.3.4 MOV 参数卡 (RZ-M 卡)

1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
R	Z									M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

列

- 1 - 2      卡片类型—RZ
- 4          卡片子类型—M
- 6 - 13     节点 1 名称
- 14 - 17    节点 1 基准电压 (kV)
- 19 - 26    节点 2 名称
- 27 - 30    节点 2 基准电压 (kV)
- 31          回路号
- 33 - 37    可控串补中电容器的保护水平倍数
- 38 - 43    MOV 能量限制值  $E_{lim}$  (MJ)
- 44 - 48    MOV 能量增长速度限制 (MJ/CYCLE)
- 49 - 54    串补支路最大线路电流限制 (KA)
- 55 - 59    可控串补重投时间初始值  $T_{init}$  (周波)
- 60 - 64    可控串补重投延迟时间  $T_{close}$  (周波)
- 65 - 70    串补重投最大线路电流限制 (KA)
- 71 - 75    串补重投最大线路电流延迟时间 (周波)
- 76          断线串补重投标志。1-投入；0-不投

说明：

- 1) 如果含有可控串补，此卡是必须的。
- 2) MOV 能量限制、能量增长速度限制和 MOV 最大线路电流限制都会使串补旁路。实际中可能采用其中的一个或者几个，不采用的不填即可。
- 3) 如果串补旁路，经过一段时间会重新投入。如果第 55 - 59 列的重投时间起始值为零，则重投时刻为旁路时刻加上重投的延迟时间；否则，重投时刻为重投起始时间加上重投延迟时间。
- 4) 串补重投时，如果线路电流大于重投最大线路电流限制，则不重投；如果经过 71 - 75 列的延迟时间后，仍满足上述条件，则不再重投；如果在 71 - 75 列的延迟时间内，不满足上述条件，则重新投入。
- 5) 在串补重新投入时刻，如果线路断开，则重投与否取决于第 76 列，如果为零，则不重投，否则，投入。











17.3 自动减负荷输入数据(按 MW 计)

			1								2								3								4								5								6								7								8	
U T Y P E	S C U B T Y P E	B G	N A M E	k V	LEVEL1								LEVEL2								LEVEL3								LEVEL4								LEVEL5								W															
					VOLT (pu)	D I C E N Y L C A L				LOAD SHED (MW)	VOLT (pu)	D I C E N Y L C A L				LOAD SHED (MW)	VOLT (pu)	D I C E N Y L C A L				LOAD SHED (MW)	VOLT (pu)	D I C E N Y L C A L				LOAD SHED (MW)	VOLT (pu)	D I C E N Y L C A L				LOAD SHED (MW)																										
						FREQ (HZ)	Y	E	S			FREQ (HZ)	Y	E	S			FREQ (HZ)	Y	E	S			FREQ (HZ)	Y	E	S			FREQ (HZ)	Y	E	S		FREQ (HZ)	Y	E	S																						
U			A8	F4.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0	F4.2	F3.1	F5.0																																

列

- 1

卡片类型 U
- 2

子型 F(频率)、V(电压)
- 4-15

母线名及其基准电压
- 16-27

第一级(LEVEL 1)
- 16-19

减负荷时的电压(pu)或频率(Hz)
- 20-22

减负荷前的时延(周)
- 23-27

被减去的负荷值 (MW)
- 28-39

第2级
- 40-51

第3级
- 52-63

第4级
- 64-75

第5级
- 80

特别码W，表示以MW为单位所减去负荷。
- 诸级各量的意义同第一级

说明：

- 1) 除减负荷以MW表示外，其余各量意义均同按标么值计减负荷卡。
- 2) 无功负荷按初始无功负荷Q总用于有功的比例减负荷(Mvar)，即 $Q_{切}=(P_{切}/P_{总}) * Q_{总}$ 。
- 3) 负序网未考虑负荷变化，不对称故障时，有误差。







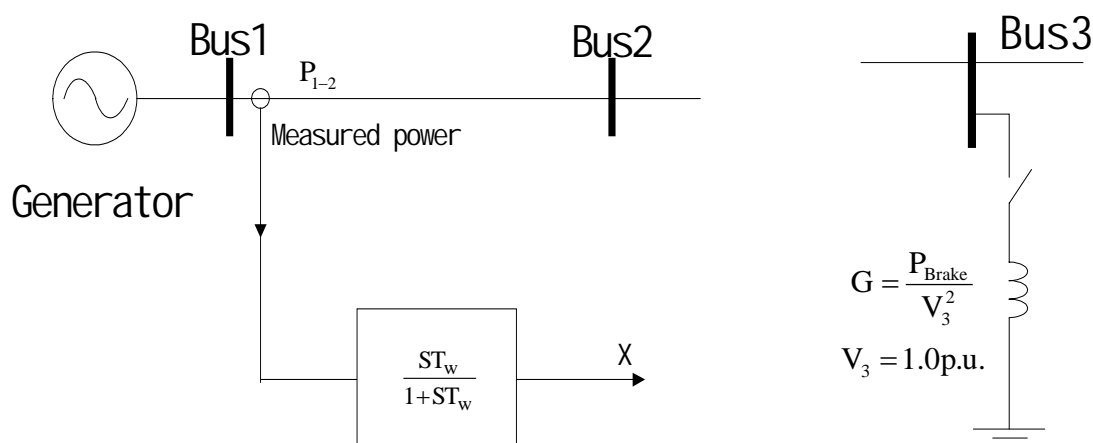
17.6 新自动减负荷继续卡（U+卡）

1										2										3										4										5										6										7										8														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																									
U +	NAME										KV	SHUNT	FREQ VOLT				TIMER				PCB				LOAD SHED				FREQ VOLT				TIMER				PCB				LOAD SHED				FREQ VOLT				TIMER				PCB				LOAD SHED																											
													LEVEL 6				LEVEL 7				LEVEL 8				LEVEL 9				LEVEL 10																																																							
													F5.3 F3.0 F2.0 F3.3				F5.3 F3.0 F2.0 F3.3				F5.3 F3.0 F2.0 F3.3				F5.3 F3.0 F2.0 F3.3				F5.3 F3.0 F2.0 F3.3				F4.2 F3.0 F2.0 F3.3																																																			
A2	A8										F4.0	A1																																																																								

列

- 1—2 卡片标记U +
- 4—15 母线、分区、区域名  
对于母线，4—15 列给出母线名及其基准电压  
对于分区，14—15 列给出分区名（4—13列必须为空白）  
对于区域，4—13列 给出区域名（14—15列必须为空白）  
对于全系统，4—8列 填写 TOTAL（9—15列必须为空白）
- 16 SHUNT = 空格，不切除并联支路  
= S，切除并联支路
- 17—29 第6级整定值  
17—21 Freq / Volt 母线频率（赫兹）或电压（标么值）的门槛值。减负荷  
计时器由此值开始计时，若为电压偏差，此数应为负值。  
22—24 Timer 延时（周），在发信号给断路器前频率或电压必  
须保持低于门槛值的时间。  
25—26 PCB 断路器跳闸时间（周），包括辅助继电器时延。  
27—29 Load Shed 母线有功和无功切负荷占母线总负荷的比例。  
30—42、43—55、56—68、69—80 第 7—10 级整定值。

### 18.1 电气制动控制卡(RB 卡)



1-2	卡型	RB
7-18	NAME1、	kV1 功率测量线路1侧节点及基准电压(见图)
20-31	NAME2、	kV2 功率测量线路2侧节点及基准电压
32	PAR	功率测量线路平行码
34-45	NAME3、	kV3 制动电阻所在节点名及基准电压
46	ID	制动电阻识别码
47-51	PBRAKE	制动功率(MW)，程序使用由节点基准电压值(kV3)算出的制动电导。
52-56	PDROP	制动投入所要求的 $P_{1-2}$ 的功率降落值(MW)，空格或零时表示省缺，为 $10^{10}$ 。
57-60	VDROP	制动投入所要求的节点2的电压降落值(pu)，空格或零时表示省缺，为 $10^{10}$ 。
61-63	TW	冲溃(Washout)时间常数，可用小值(0.1秒)来近似估计线路功率的微分值(秒)
64-67	TMAX	制动投入时间，即允许制动连续作用的最大时间(周)
68-71	TMIN	制动切除后可再投入的最小时间间隔(周)
72-75	TINSRT	制动投入时延，包括继电器、通讯和断路器时延
76-80	PBIAS	允许制动投入的最小初始功率



## 18.3 关于电气制动的说明

### (1) 电气制动模型

#### 1) 制动投入方式

卡片RB给出两种制动方式中的一种，即确定制动的投入，它还包括预先给定的正常切除时间，一张或更多的RB卡可用于执行不同地点的同样制动。具有投入信号的卡片接收制动单元的完全控制，直到所要求的操作时间达到为止。

制动安放在节点(NAME3, kV3)，并有给定的功率(PBRAKE)，当节点(NAME2, kV2)的电压低于一定水平(VDROP)，而且由(NAME1, kV1)到(NAME2, kV2)的功率降低了一定值(PDROP)或更多时，经一定时延(TINSRT)后制动投入。

省缺的VDROP ( $10^{10}$ ) 将去掉节点电压这个限制制动电阻投入的条件，省缺的PDROP ( $10^{10}$ ) 将防止在任何情况下因RB卡而投入制动。

经TMAX周后，制动退出，且在经过TMIN周时间以前不得再投入。

节点(NAME1, kV1)和节点(NAME2, kV2)之间的初始功率低于偏置值(PBIAS)时，不得投入电气制动。节点(NAME3, kV3)上可有多多个被控制电气制动，以识别码ID识别，每一不同的制动由不同的RB卡控制。

TW是与处理节点(NAME1, kV1)到节点(NAME2, kV2)功率信号有关的恢复时间常数(Reset time constant)。如想用一很小的TW值，那么先将TW乘以通常的功率下降值填入，这样可将过程框图作为微分环节处理。RC卡给出了第二种建立制动的投入方式，其是以估计转子速度为基础的。这种方式与上面描述的RB卡建立的第一种投入方式无关。但一旦投入，其仍按第一种方式的准则切除。FINS的省缺值 ( $10^{10}$ ) 使由RC卡引起的制动投入不执行。

#### 2) 提早切除制动

RC卡除了提供第二种制动方式外，还可根据规定的测量功率变化率或总和来提早切除。一旦处理信号低于指定的门限值(FDISC)，且加速功率估计值不大于零，则在经过了至少TBLOCK时间后，置于节点(NAME3, kV) (RC卡) 上的制动才经TDISC时延后切除。

若以上条件不满足，则要经TMAX时间后，制动才切除。

处理信号是以线路(NAME4, kV4)到(NAME5, kV5)的功率作为输入框图的输出。

此框图可用于从电厂功率的恢复来估计转子速度，或者如同在Chief Joseph制动提早切除时所做的那样来估计交流联络线的功率变化率。

转子速度的估计采用RC卡的选择一来实现。

交流联络线功率变化率的估计采用RC卡的选择二来实现。。

偏置值(PCBIAS)也包括在RC卡内，以防止(NAME4, kV4)至(NAME5, kV5)之间功率低于偏置值时制动投入。例如，Chief Joseph制动在交流联络线功率低于800MW时不执行操作。RB卡和RC卡上的偏置值必须满足才可进行操作。

## (2) RB、RC卡使用指南

- 1) 至少可用5个RB卡和5个RC卡；
- 2) 控制一个特定的制动可用一个以上RB卡；
- 3) RB卡可单独使用，若有对应的RC卡同时使用，则RC直接放在相应的RB卡之后；
- 4) 当以下值为零或空格时，给出的省缺值为一个时间步长：  
TMIN      TINSRT      RDISC      TBLOCK
- 5) 当以下值为零或空格时，程序将自动停止执行：  
TW          TMAX          PBRAKE      T2          M
- 6) 当VDROP或PDROP小于零时，程序将自动停止执行；
- 7) 当PDROP，VDROP，FINS为零或空格时，给出省缺值 $10^{10}$ 。

## (3) 制动投入

- 1) 如果下列条件全部满足，制动投入：

$$X \geq \text{PDROP} > 0$$

$$V_2 < \text{VDROP}$$

$$P_{1-2} \geq \text{PBIAS} \text{ (仅检验初始条件)}$$

$$P_{4-5} \geq \text{PBIAS}^* \text{ (仅检验初始条件)}$$

- 2) 如果下列条件全部满足，制动投入：

$$P_{1-2} \geq \text{PBIAS} \text{ (仅检验初始条件)}$$

$$P_{4-5} \geq \text{PBIAS} \text{ (仅检验初始条件)}$$

$$\hat{F} \geq \text{FINS}$$

注 \*：只有和RC卡一起使用时，才有该项条件

## (4) 制动切除

- 1) 当 $t \geq T_{\text{MAX}}$ 时，制动切除
- 2) 提早切除(即切除时间小于 $T_{\text{MAX}}$ )

选择一：估计制动切除的转速

如果以下条件满足，制动切除

$$\hat{F} \leq \text{FDISC} \quad t \geq \text{TBLOCK} \quad \hat{P}_{\text{acc}} \leq 0$$

选择二：联络线功率的微分

当以下条件满足，制动切除

$$Y \leq \text{FDISC} \quad t \geq \text{TBLOCK}$$

- (5) 另外，当不对称故障存在时，负序网中尚未考虑制动电阻，有误差。

[illegible]

4-11 线路节点 1 名称

12-15 线路节点 1 基准电压

17-24 线路节点 2 名称

25-28 线路节点 2 基准电压

29 线路回路号 ID

32-39 低压控制节点 1 名称

40-43 低压控制节点 1 基准电压

44-47 低压控制节点 1 的低电压限制值 ( pu )

48-51 低压控制节点 1 的低压时间延迟 (周波)

53-60 低压控制节点 2 名称

61-64 低压控制节点 2 基准电压

65-68 低压控制节点 2 的低电压限制值 ( pu )

69-72 低压控制节点 2 的低压时间延迟 (周波)

- 一条线路可以填写两个低压控制节点，最多允许填写 200 张 RA 卡；
- 任何一个低压控制节点电压低于指定值，并且持续时间达到给定的延迟时间，线路将自动断开；
- 由于程序目前无法识别线路高抗，因此，在跳开线路时无法处理高抗；
- 在跳线路时，要注意该线路是正常的，即没有发生故障也没有断开，否则计算结果不正确。

20 低压自动切除电抗器（UL卡）

										1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																														
U L		NAME								kV			N	V <sub>b</sub>		V <sub>1</sub>			V <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>												NAME R								kVR																																													
		A8								F4.0			I2	F4.0		F4.2			F4.2		F4.1			F4.1												A8								F4.0																																													

列

- 1-2 卡片类型 UL
- 4-15 NAME , kV 低压电抗器所在母线名及基准电压
- 18-19 N 电抗器组数
- 21-24 V<sub>b</sub> 受低压电抗器控制之母线的参考基准电压(kV)。这里考虑了继电保护的  
实际整定，一般不因运行方式的改变而重新整定，故不以正常电压为基准。
- 26-29 V<sub>1</sub> 故障启动电压(相对V<sub>b</sub>的标么值)
- 31-34 V<sub>2</sub> 恢复电压(相对V<sub>b</sub>的标么值)
- 36-39 T<sub>1</sub> 第一级电抗器切除的时延(周)
- 41-44 T<sub>2</sub> 切除第一组电抗器后，其余各组电抗器切除的时延（周）。
- 69-80 NAME R , KVR 受低压电抗器控制电压的母线名及基准电压。

说明：

- 1) 低压电抗器按组切除，每动作一次，切除一组电抗器，直至切完(若电压不恢复)，  
切除后不再投入。
- 2) 切除条件：

A 若  $V_R < V_1 \frac{V_b}{kVR}$  (pu)，持续了T<sub>1</sub>周，则切除第一组电抗器。

B 切除第一组电抗器后，若电压  $V_R < V_2 \frac{V_b}{kVR}$  (pu)，持续了T<sub>2</sub>周，则切除第2组电抗  
器。其后各组电抗器均按此条件切除。
- 3) 在潮流计算中应把要切除的电抗器按无功负荷(Mvar)填入潮流数据(B卡)，同时该节  
点不能再有其它负荷。
- 4) 负序网尚未考虑电抗器切除，有不对称故障时，有误差。



21 电容器、电抗器自动投切控制（VC卡）

1										2										3										4										5										6										7										8									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																				
V	C	NAME								KV		V <sub>1</sub>		V <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>														V <sub>B</sub>		NAME C								KV C																																					
A2		A8								F4.0		F5.3		F5.3		F5.3		F5.3														F5.3		A8								F4.2																																					

列

- 1—2 VC 卡片标记
- 4—15 母线名及电压基准
- 17—21 V<sub>1</sub> 低电压控制值（pu）
- 22—26 V<sub>2</sub> 高电压控制值（pu）
- 27—31 T<sub>1</sub> 第一次动作时延（秒）
- 32—36 T<sub>2</sub> 后续动作时延（秒）
- 64—68 V<sub>B</sub> 电压控制值（pu），若V<sub>B</sub> = 0，则 V<sub>B</sub> = 初始电压
- 69—80 受控母线名及电压基准

投切原则：

- 当受控电压 $V < V_B - V_1$ ，第一次动作前，持续T<sub>1</sub>秒，则投一组电容器或切一组电抗器；  
第一次动作后，持续T<sub>2</sub>秒，则投一组电容器或切一组电抗器。
- 当受控电压 $V > V_B + V_2$ ，第一次动作前，持续T<sub>1</sub>秒，则切一组电容器或投一组电抗器；  
第一次动作后，持续T<sub>2</sub>秒，则切一组电容器或投一组电抗器。

电容器、电抗器参数，由潮流程程序的X卡给出。

22 负荷持续增长卡（LI卡）

1										2										3										4										5										6										7										8																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																											
L	I	NAME								KV								P								Q								T								TEND								W																																				
A2		A8								F4.0								F6.2								F6.2								F5.1								F5.1								A																																				

列

- 1—2LI 卡片标记
- 4—15

母线、分区、区域名

对于母线，4—15 列给出母线名及其电压基准

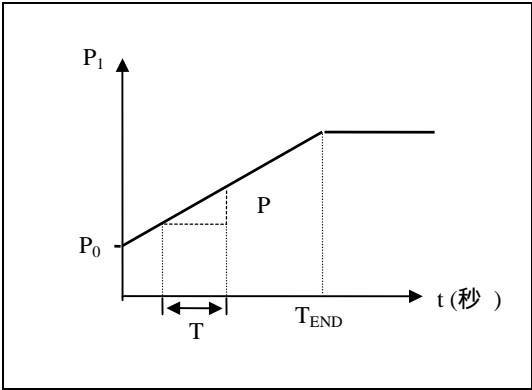
对于分区，14—15 列给出分区名（4—13列必须为空白）

对于区域，4—13列 给出区域名（14—15列必须为空白）

对于全系统，4—8列 填写 TOTAL（9—15列必须为空白）
- 17—22P 在 T时间内，有功功率增长量
- 23—28Q 在 T时间内，无功功率增长量
- 29—33T 功率增长 P、 Q所需的时间（秒），缺省为 60 秒
- 34—38T<sub>END</sub> 功率增长结束时间（秒）
- 40

特别码 填W，表示功率增长以MW、Mvar 计

不填，表示功率增长以初始负荷的百分数计





说明：

(1) 本卡可以分别填写对应 LF 中每个振荡频率的起始时间和结束时间，每个 LFT 卡应该与一个 LF 卡对应，并且 4-15 列应相同，否则 LFT 卡无效；

(2) 如果对应某个频率没有填写起始时间和结束时间，则其缺省的起始时间为 0，结束时间为对应 LF 卡中 63-67 列的 TEND (TEND 缺省为整个计算时间)；

(3) 对应每个振荡频率，如果结束时间大于对应 LF 卡中的 TEND，则强制其为 TEND，即达到 TEND 时刻后，振荡结束。

(4) 本卡对在稳定数据文件中的填写位置没有特殊要求；一般与 LF 卡填写在一起即可。

(5) 负荷波动的计算公式为

$$P = P_0 + \sum P_i \sin(\omega_i \cdot (t - T_{0i})) \quad i = 1, 2, 3$$

(6) 对于 LF\LFT 卡，对应的节点必须是负荷节点，并且必须采用 LA\LB 卡指定了静态负荷特性，否则无效。

(7) LF\LFT 卡只对静态负荷进行修改。

24 带负荷调压变压器控制卡（TC卡）

1										2										3										4										5										6										7										8																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																														
T	C	NAME 1								KV 1								NAME 2								KV 2								ID								V <sub>1</sub>								V <sub>2</sub>								T <sub>1</sub>								T <sub>2</sub>																V <sub>B</sub>								NAME C								KV C							
A2		A8								F4.0								A8								F4.0								A1								F5.3								F5.3								F5.3								F5.3																F5.3								A8								F4.2							

列

- 1—2 TC 卡片标记
- 4—28 变压器两侧母线名及电压基准
- 30 ID 变压器支路平行码
- 31—36 V<sub>1</sub> 低电压控制值（pu）
- 37—41 V<sub>2</sub> 高电压控制值（pu）
- 42—46 T<sub>1</sub> 第一次动作时延（秒）
- 47—51 T<sub>2</sub> 后续动作时延（秒）
- 64—68 V<sub>B</sub> 电压控制值（pu），若V<sub>B</sub> = 0，则 V<sub>B</sub> = 初始电压
- 69—80 受控母线名及电压基准

变压器抽头动作原则：

- 当受控电压  $V < V_B - V_1$ ，第一次动作前，持续T<sub>1</sub>秒，调一档变压器抽头；  
第一次动作后，持续T<sub>2</sub>秒，调一档变压器抽头。
- 当受控电压  $V > V_B + V_2$ ，第一次动作前，持续T<sub>1</sub>秒，调一档变压器抽头；  
第一次动作后，持续T<sub>2</sub>秒，调一档变压器抽头。

带负荷调压变压器参数由潮流的R卡给出。

[illegible]

1	卡片类型	R
2	子型	S
3	空格	
4-15	NAME kV	母线名和基准电压(kV)
16-20	空格	
21-24	FRELAY	减负荷频率基准(Hz)
25-28	TLEVER	时间水平(秒)
29-32	BKRDLY	开关时延 (周)
33-44	PSHED1 , QSHED1	减去的恒定阻抗部分有功和无功负荷(MW , Mvar)
45-56	PSHED2 , QSHED2	减去的恒定电流部分有功和无功负荷(MW , Mvar)
57-68	PSHED3 , QSHED3	减去的恒定功率部分有功和无功负荷(MW , Mvar)
69-80	PSHED3 , QSHED3	减去的与频率有关的有功和无功负荷(MW , Mvar)

本模型表示CF-1或其它感应磁盘类型的继电器，动作时间是频率衰减变化率的函数。有两个基本的参数：① FRELAY：减负荷频率基值；② TLEVER：时间水平。当系统频率低于FRELAY时，磁盘开始转动。TLEVER是决定触点闭合前所要转动的的时间标准。

图RS-1是本模型的框图。须注意,频率偏差信号要乘 $V/V_0$ ,即现有电压和稳态电压之比。故当母线电压低于稳态时,触点闭合时间将延长。图RS-2为西屋公司给出的CF-1特性曲线。

The diagram illustrates a speed feedback control system. The reference speed  $f_{ref}$  is compared with the feedback speed  $V/V_0$  at a summing junction. The error signal is integrated by a  $K/s$  block to produce the motor speed  $x$ . The speed  $x$  is compared with a Trip limit at another summing junction. A graph of position  $X$  vs time shows a linear increase until the Trip limit is reached, after which the position remains constant.

当 $x \geq TLEVER$ 时，发出减负荷信号，输入数据包括：

- 1) 减负荷的频率基值
- 2) 时间水平(TLEVER)

K初始计算为：

$$K = 1 / (2.3 + 0.125(f - 49))$$

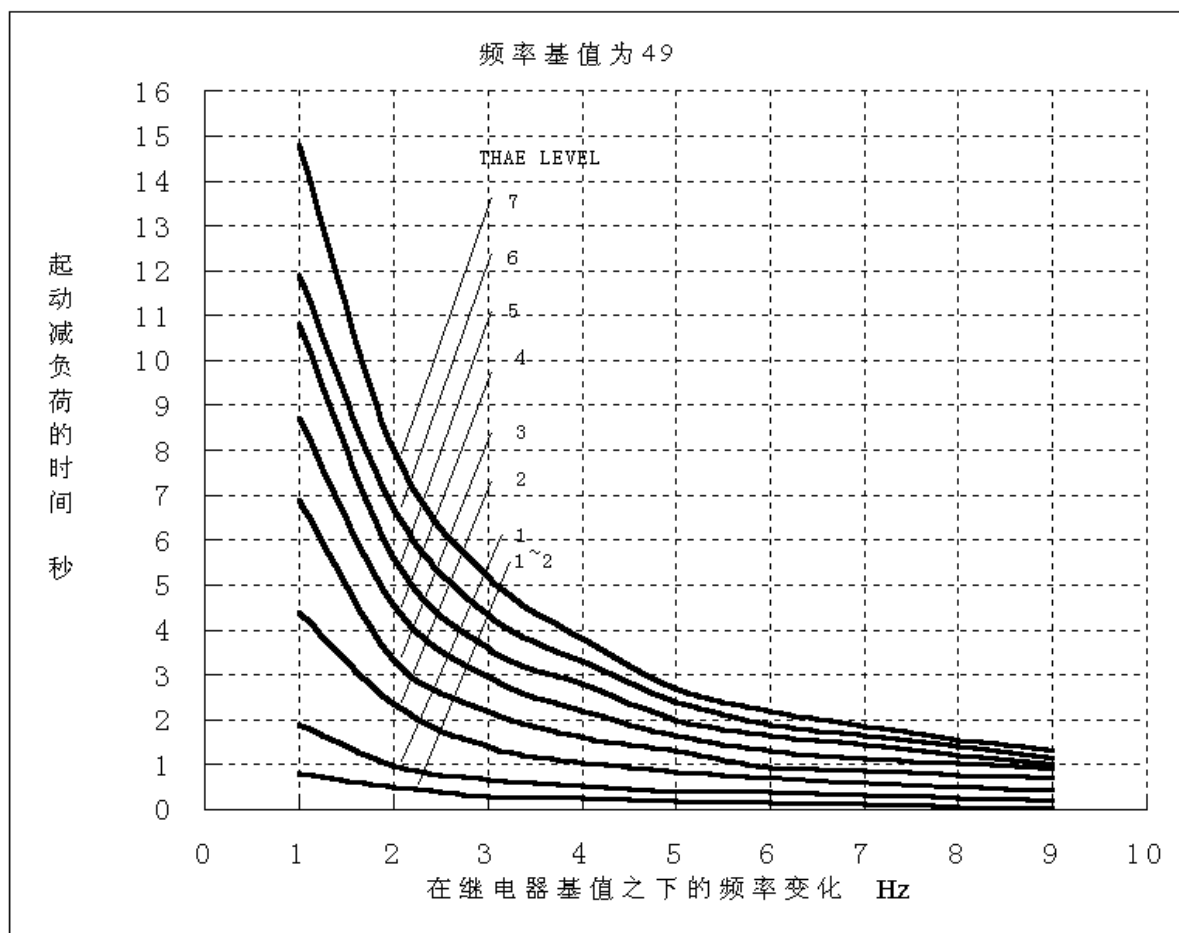


图 RS-2

		1								2								3								4								5								6								7								8																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	S U B T Y P E																																																																																							
		NAME									kV (kV)					I D			GFREQ1 (HZ)				RDELA Y (CYCLE)				GFREQ2 (HZ)				BKRDLY (CYCLE)																																																									
R	M	A8									F4.0				R	I			F5.2				F5.2				F5.2				F5.2																																																									

1	卡片类型	R
2	子型	M
3	空格	
4-16	NAME, kV, ID	发电机母线名、基准电压(kV)和发电机识别码
17-20	空格	
21-25	GFREQ1	有时延的第一频率水平(Hz)
26-30	RDELAY	GFREQ1的时延(周)
31-35	GFREQ2	立即跳闸的频率水平(Hz)
36-40	BKRDLY	断路器动作时间(周)
41-80	空格	

保护给出两个频率数整定值GFREQ1和GFREQ2。在频率低于GFREQ1且经过时延为RDELAY周后跳开发电机。频率低于GFREQ2则立即跳开。



列

- 说明：

中国电力科学研究院系统所



## 29 阻抗继电器(失步闭锁继电器)

										1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
R	S	C								NAME1										kv1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

---

输入数据：

- 1) 继电器所在母线
- 2)  $Z_T$ 圆的直径 $Z$ (标么值)
- 3)  $Z_T$ 圆心位置 $C_T$ (标么值)
- 4)  $Z_T$ 圆的开断时间(周)
- 5) 关键数1(Key No.1),  $Z_T$ 圆是否开断本地开关。
  - 5a) 本地开关重合时间(周)
- 6) 由 $Z_T$ 圆开断的远方开关, 最多5个。
  - 6a) 远方开关重合时间(周)
- 7) 关键数2,  $Z_T$ 圆操作, 视在阻抗 $Z$ 进入或从反向出。
- 8a)  $Z_B$ 闭锁圆直径(标么值)
- 8b)  $Z_B$ 闭锁圆圆心位置 $C_B$ (标么值), 角度 $A_B$ (度)。
- 8c)  $Z_B$ - $Z_T$ 之间最小间隔时间(周), 视在阻抗 $Z$ 超出 $Z_T$ 时, 启动闭锁。
- 9) 关键数3, 载波引导操作, 无时延在线路两端同时动作。





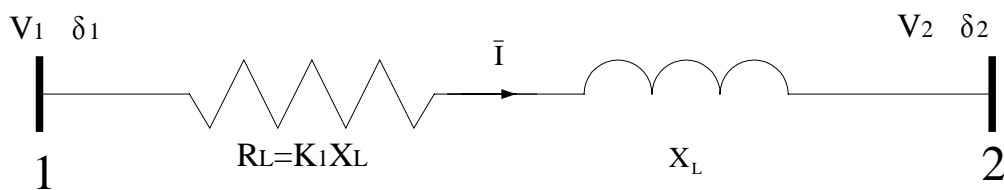
### 30.4 关于省缺距离继电器的说明

距离继电器是一种常用的线路保护装置,为了便于考虑线路的距离保护在暂态稳定过程的动作,而又不需填写太多的阻抗继电器,程序中给出了一种简单的距离继电器模型。这种模型可适用于所有线路(某些特殊线路除外)。它根据给定的线路电阻和电抗的近似比值(不计电容),按下列条件构成保护的阻抗特性:

- 1) 保护分为二段,即保护 Ⅰ段和保护 Ⅱ段,其保护范围分别为85%和125%。
- 2) 阻抗圆经过R-X平面原点
- 3) 经过圆心的直线与R轴正方向的最大偏转角为 $75^{\circ}$ 。
- 4) 继电器动作时限视线路电压等级而定:
  - i) 第 Ⅰ段保护在任一端操作,对所有电压等级都将延时切除,延时时间由计算人员给出;
  - ii) 对220kV以上电压等级认为有通讯通道,可在线路两端同时切除;
  - iii) 对220kV以下线路,可在任一端瞬时动作。
- 5) 可以根据选择进行重合闸操作。
- 6) 所有平行线路在开断和重合时均按单回线进行。
- 7) 当线路两端电压相角差等于或大于 $60^{\circ}$ 后,才进入继电器处理。
- 8) 以下几类支路不进入省缺距离继电器处理:
  - i) 阻抗继电器显式定义的支路;
  - ii) 变压器支路;
  - iii) 用线路故障操作卡(LS卡)定义的执行开关操作的支路;
  - iv) 计算人员特别指定的支路。

继电器的动作条件推导如下:

下图是应用省缺距离继电器的典型支路,不计线路电容:



省缺距离继电器典型支路

图中K是线路 $R_L/X_L$ 的近似比值。

前述定义的继电器阻抗圆如下图所示:

$$\theta = 75^{\circ}$$

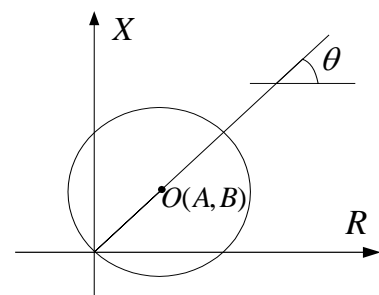
$$A = FX_L \cos \theta = aX_L$$

$$B = FX_L \sin \theta = bX_L$$

F为保护范围系数,定义如下:

继电器达到距离 $= 2F \cdot X_L =$ 阻抗圆直径。

对于 Ⅰ保护 段:  $2F=0.85$



省缺阻抗圆

保护 段：2F=1.25

线路视在阻抗

$$Z = \frac{V_{ij}}{I_{ij}} = \frac{V_{ij}}{V_i - V_j} (KX_L + jX_L) = \alpha X_L + j\beta X_L$$

当线路视在阻抗位于圆内或其上时，则有  $(\alpha X_L - A)^2 + (\beta X_L - \beta)^2 \leq (FX_L)^2$

即:  $\alpha^2 + \beta^2 - 2\alpha A - 2\beta B \leq 0$

下表是各电压等级所对应的  $R_L/X_L$  的近似比的BPA推荐值 ,用户可根据我国实际情况进行修改。当无对应的电压等级时可取最近值。

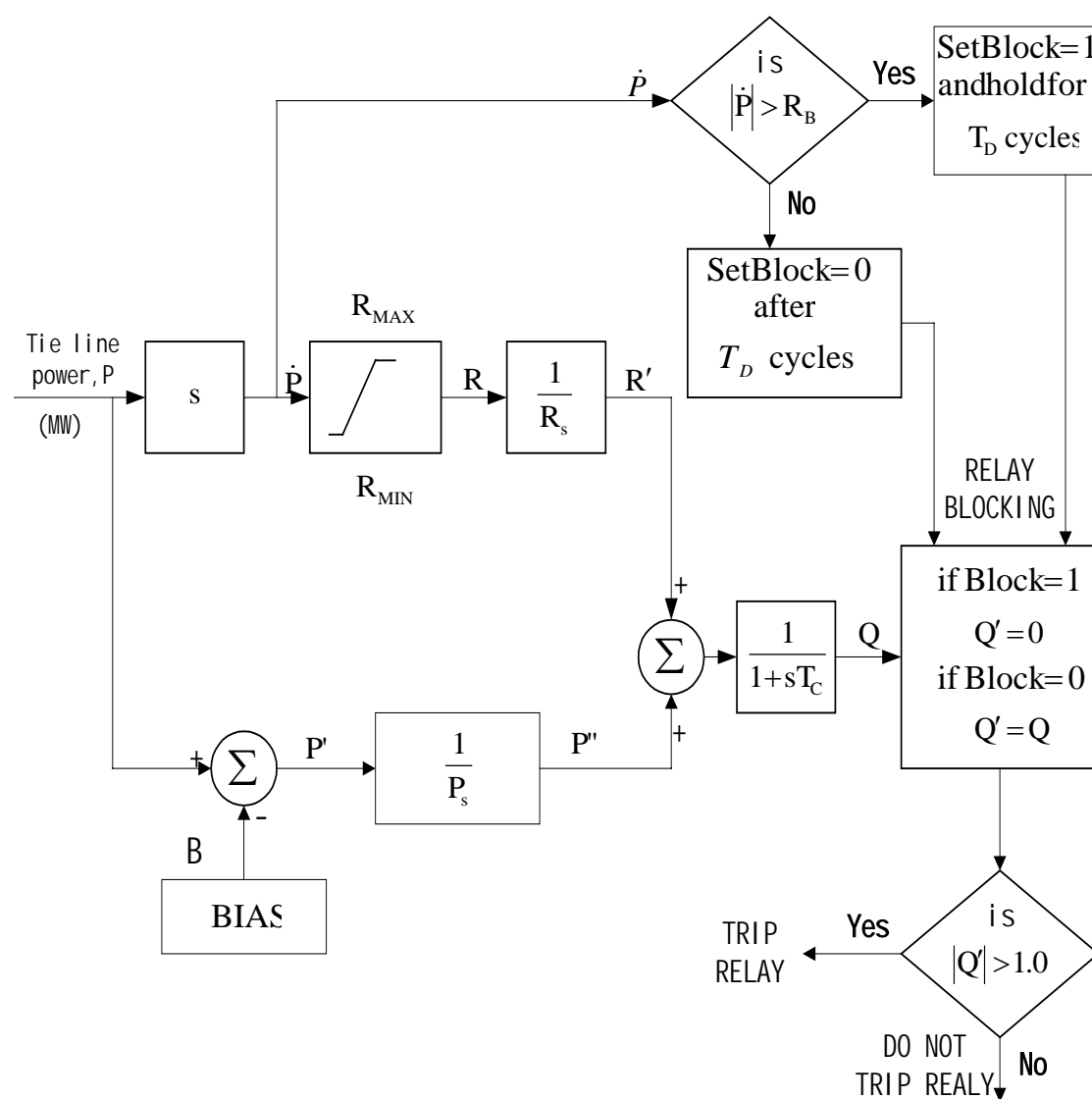
各电压等级所对应的  $R_L/X_L$  比值

电压等级(kV)	$R_L/X_L$
13.8	0.5
16.5	0.5
18.0	0.5
69.0	0.5
115.0	0.31
132.0	0.25
230.0	0.125
280.0	0.125
345.0	0.095
500以上	0.05



## 31 功率摇摆继电器

### 31.1 功率摇摆继电器(类型 1)

[illegible]

列	
1	卡片类型 R
2	继电器类型(1)
3-6	空格
7-18	母线1的名称及基准电压
19	填“C”时，表示不断开此线路，仅用于远方继电器操作；否则用于本线路。
20-31	母线2的名称及基准电压
32	线路平行码
33	分段数
34-38	$R_B$ 功率变化率阻断基值(MW/秒)
39-43	$R_{MAX}$ 最大变化率(MW/秒)，最小值取最大值的负值
44-48	$R_S$ 变化率基值(MW/秒)
49-53	偏置基值，与功率水平基值一起，定义可在母线1、2间流动的功率；若偏置基值为正，表示由母线1流向母线2。
54-58	$P_S$ 功率水平基值(MW)
59-63	$T_C$ 积分时间常数(秒)
64-68	$T_D$ 阻断时延(周)
69-73	空格
74-78	传递操作时延(周)
79-80	空格

说明:

- 1) 微分回路不考虑由于开关造成的功率变化。因此在开关 $0^+$ 时刻功率对时间的导数等于开关 $0$ 时刻的值

- 2) 时间步终了时功率对时间的导数假设为时间步内的平均值，即为:

$$\dot{P}_2 = (P_2^- - P_1^+) / \Delta t$$

此处： $\dot{P}_2$ 是时间步终了时的功率变化率

$P_2$ 是时间步终了时的功率

$P_1$ 是时间步开始时的功率

$t$ 是交流网络的步长

- 3) 若 $|\dot{P}_2|$ 超过微分阻断基值，则微分阻断计时器在时间步终了时，被置为阻断时延。

若 $|\dot{P}_2|$ 小于或等于微分阻断基值，则计时器时间被减去  $t$ ，即:

$$\text{当 } |\dot{P}_2| > R_B, \text{TIM2} = T_D \quad \text{当 } |\dot{P}_2| \leq R_B, \text{TIM2} = \text{TIM1} - t$$

此处： $R_B$ 是微分阻断基值  $T_D$ 是阻断时延

$\text{TIM1}$ 是时间步开始时的计时器时间

$\text{TIM2}$ 是时间步终了时的计时器时间

- 4) 继电器在时间步终了时操作必须满足以下条件:

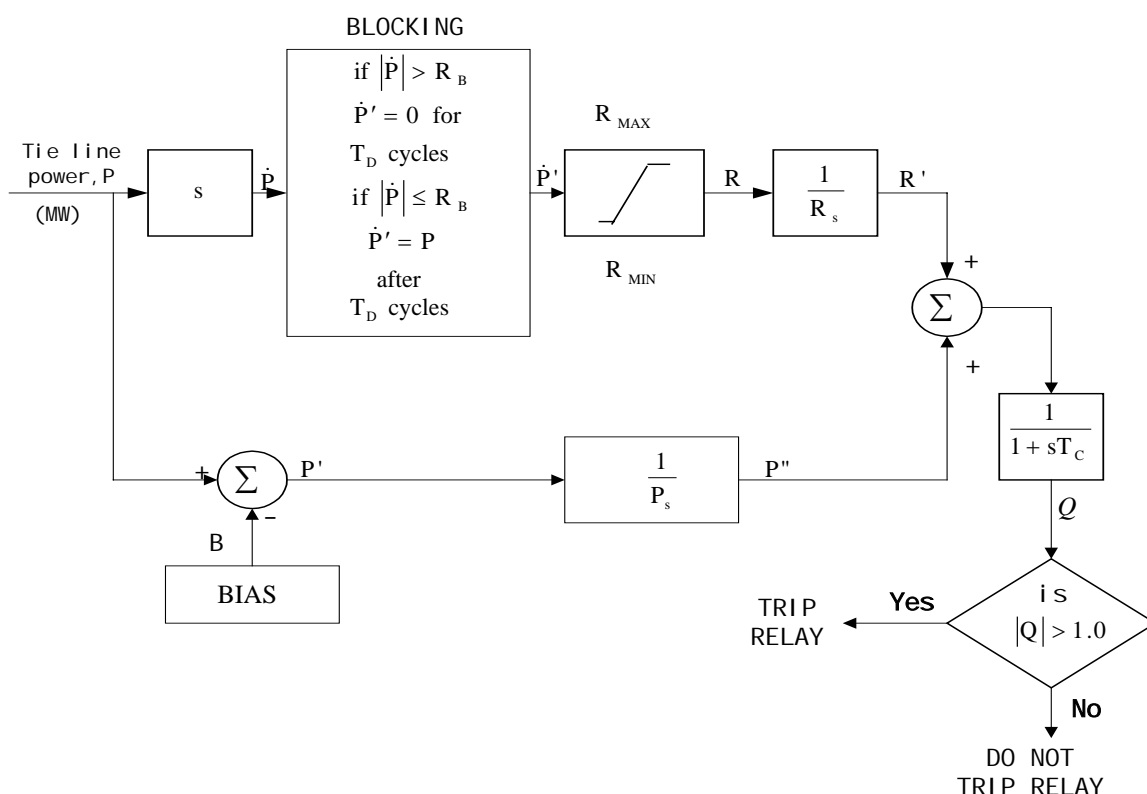
a) 积分器输出值的绝对值必须大于1

b)  $\text{TIM2}$ 必须小于或等于零

- 5) 若继电器开断一线路，则此线路须在时间步终了且满足以上4)的条件时才可打开。

同样，远方继电器传递开断时延也设在时间步终了。

- 6) 远方继电器一旦起动，则要继续到操作完毕，即不可自恢复。

[illegible]

1	卡片类型	R
1	普通卡	1
2	贵宾卡	2
3	会员卡	3
4	积分卡	4
5	优惠券	5
6	礼品卡	6
7	储值卡	7
8	联名卡	8
9	预付费卡	9
10	其他卡	10

## 2 继电器类型(2)

3-6 空格

7-18 母线1的名称及基准电压

19 填“C”时，表示不断开此线路，仅用于远方继电器操作。否则用于本线路

20-31 母线2的名称及基准电压

32 线路平行码

33 分段数

34-38  $R_B$  功率变化率阻断基值(MW/秒)

39-43  $R_{MAX}$  最大变化率(MW/秒), 最小值取最大值的负值

44-48	R <sub>S</sub>	变化率基值(MW/秒)
-------	----------------	-------------

49-53 偏置基值，与功率水平基值一起定义可在母线1、2间流动的功率，若偏置基值为正，表示由母线1流向母线2。

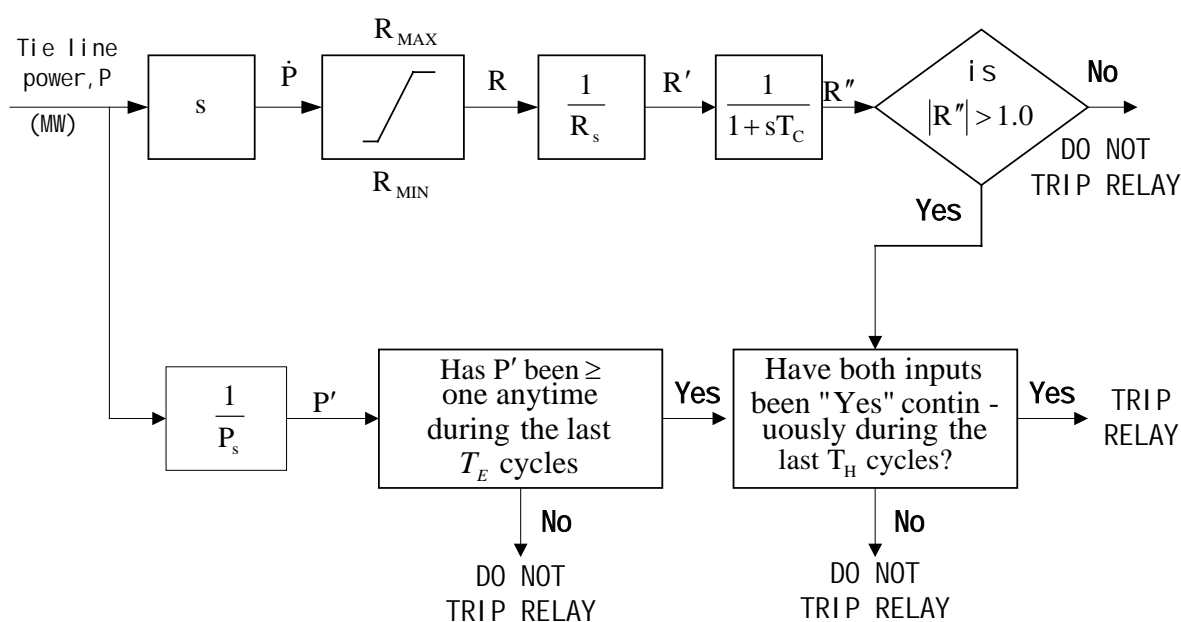
54-58	$P_s$	功率水平基值(MW)
-------	-------	------------

59-63	$T_C$	积分时间常数(秒)
64-73		空格
74-78		传递操作时延(周)
79-80		空格
79-81		

说明：

除以下条件外，其余各种假设与类型1相同

- 1)  $T_{IM2}$ 小于或等于零时， $\dot{P}_2'$ 等于 $\dot{P}_2$ ，否则 $\dot{P}_2'$ 为零。参见类型2框图定义之 $\dot{P}_2'$ 。
- 2) 积分器输出绝对值大于1时，才开断线路。

[illegible]

列

- |       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| 1     | 卡片类型 R                                |
| 2     | 继电器类型(3)                              |
| 3-6   | 空格                                    |
| 7-18  | 母线1的名称及基准电压                           |
| 19    | 填“C”时，表示不断开此线路，仅用于远方继电器操作；否则用于本线路。    |
| 20-31 | 母线2的名称及基准电压                           |
| 32    | 线路平行码                                 |
| 33    | 分段数                                   |
| 34-38 | $R_{MAX}$ 最大变化率(MW/秒)                 |
| 39-43 | $R_{MIN}$ 最小变化率(MW/秒)，若是负值，在此范围内填入负号。 |
| 44-48 | $R_S$ 变化率基值(MW/秒)                     |
| 49-53 | 空格                                    |
| 54-58 | $P_S$ 功率水平基值(MW)                      |
| 59-63 | $T_C$ 积分时间常数(秒)                       |
| 64-68 | $T_E$ 保持时延(周)                         |
| 69-73 | $T_H$ 辅助继电器时延(周)                      |
| 74-78 | 传递操作时延(周)                             |

79-80      空格

说明：

除以下条件外，其余各种假设与类型1相同。

- 1) 当  $|P'_2| \geq 1$ ，保持计时器基值整定为等于保持时延；若  $|P'_2| < 1$ ，则时间基值减去  $\Delta t$ ，即：  
    当  $|P'_2| \geq 1$ ， $TIM2 = T_D$   
    当  $|P'_2| < 1$ ， $TIM2 = TIM1 - \Delta t$   
    这里： $P'_2$ 是时间步终了时的 $P'$ 值， $P'$ 定义见类型3框图；  
           $TIM1$ 是时间步开始时时间基值， $TIM2$ 是时间步终了时时间基值；  
           $T_D$ 是保持时延， $\Delta t$ 是时间步长。
- 2) 当以下两个条件在时间步终了时满足，则将辅助计时器时间基值 $TAUX2$ 减去  $\Delta t$ ；否则， $TAUX2$ 置为零。
  - a) 积分器输出大于或等于1；
  - b)  $TIM2$ 大于零。
- 3) 当 $TAUX2$ 大于或等于辅助继电器时延时，继电器动作。



### 33 输出部分说明

- 输出结果可写成以下三种文件：

- 1)打印列表的输出文件 (\*.OUT)
- 2)生成曲线作图工具 (CurveMake) 调用的稳定曲线文件 (\*.CUR)
- 3)用于其它程序输入的辅助文件

- 下列选择码表示输出结果写入何种文件

- 0 - 无输出
- 1 - 输出文件
- 2 - 稳定曲线文件
- 3 - 输出文件和稳定曲线文件
- 4 - 辅助文件
- 5 - 输出文件和辅助文件
- 6 - 辅助文件和稳定曲线文件
- 7 - 输出文件、稳定曲线文件和辅助文件

- 输出分析功能：

稳定程序输出部分有以下几种分析功能，以帮助用户分析计算结果：

- 1) 不良电压分析  
用户可在MH卡给出最高电压(EXMAX)和最低电压(EXMIN)，程序将列出大于EXMAX，小于EXMIN的母线电压。省缺值为EXMAX=1.3pu，EXMIN=0.8pu。
- 2) 不良视在阻抗分析  
用户可在MH卡给出一个角度参考值AREF，程序将列出线路两端相角差超过AREF的线路及其视在阻抗，AREF的省缺值为60度。值得注意的是，程序是用潮流和网络数据进行角度差检查的，如在稳定计算中线路已被修改或删除，该线路的视在阻抗就不正确。
- 3) 低电压分析  
程序将统计出整个计算过程中母线电压最低的20条母线及其出现的时刻，对称短路故障期间自动不予统计。低电压表必定列出，不能取消。
- 4) 低频分析  
程序将计算并统计整个计算过程中母线频率最低的20条母线及其出现的时刻，若在MH卡中给出了T1、T2，则只统计T1-T2期间的频率，若T1、T2未给出，短路故障期间的母线频率不予统计。
- 5) 最大、最小值分析  
对输出文件中的每一个变量，程序将计算并给出其最大值和最小值，若在MH卡中给出了时间段T1-T2，程序将只给出T1-T2时间段的最大值和最小值。若T1、T2为空格，则给出整个计算时间中的最大值和最小值。
- 6) 按时间顺序多变量的集中输出  
在显示摇摆曲线的同时，每一时间步显示对应的两台机组名称，并写入输出文件(包括对应的角度值)；对发电机角度和母线电压采取按时间顺序输出的形式，按角度的大小顺序对所有发电机组进行排序、输出，或者按计算人员指定的发电机次序，按时间顺序以集中的形式输出发电机角度，以便分析计算结果。



在所有输出卡之前，标志执行BPA输出程序部分。

BPA输出部分可以独立运行，当一次运算以后，可以多次输出，仅需保留运算时产生的求解文件(\*.SOL, \*.OPT)，单独运算时，90卡为文件的第一张卡。

[illegible]

列

1-2 MH

4-5 NUMPLT: 每个画面可画的曲线条数, 省缺时为4, 最大为15。

7-11 MAXT:自运算起点开始计的最终打印和画图时间,以周计。但计算时间必须大于或等于MAXT,省缺时,最终输出时间为计算最终时间。

13-22 EXMAX：每一时间步所要打印的母线越限电压的上限，省缺值EXMAX=1.3。输出与否由99卡中NOPZ项决定，NOPZ>0时输出(参阅99卡)。

24-33 EXMIN：每一时间步所要打印的母线越限电压的下限，省缺值EXMIN=0.8。输出与否由99卡中NOPZ项决定，NOPZ>0时输出(参阅99卡)。

35-44 AREF :角差比较基准值。每一时间步，每一支路两端角度差均与AREF比较，若角度超过AREF时，则输出“Bad Apparent Impedances”和支路两端E/I值，缺省 $\text{AREF}=60^{\circ}$ ，输出与否由99卡中NOPZ项决定。NOPZ>0时则输出(参阅99卡)。

46-50 EDT: 画图时的时间坐标刻度, 省缺时 EDT=50 周/英寸。

52-56 MXCYC:打印时间步,省缺时为求解的总时间步,当求解超过600时间步时,必须输入。

58-60 NSKP：每个NSKP时间步，画图或打印，省缺时，每一时间步均打印和画图。

62-65  $T_1$  (周波), 计算输出变量最大值最小值的起始时间 (缺省为计算起始时间)

67-70 T2 (周波), 计算输出变量最大值最小值的结束时间 (缺省为计算结束时间)

输出各个变量时，程序会同时输出对应变量在整个计算过程中的最大值和最小值，如果填写了T1和T2，程序只输出T1时刻和T2时刻的最大最小值；否则，输出整个计算过程中的最大值最小值。

71-75 TSTART (周波), 输出变量的起始时间, 如果不填写该值, 则从起始计算时间开始。

77 IFPLOT, 不为0, 稳定计算完成后, 不显示稳定计算曲线。

79 IDELSOL, 不为0, 保留SOL文件和OPT文件; 否则, 稳定计算完成后删除SOL  
文件和OPT文件。

注：

1) 本卡最通常的填法为仅填卡头MH, 其余部分全为空。

- 2) NSKP的作用是隔几步打印一次结果，如不填时每一步都有输出，如NSKP=3，则隔三步输出一次(相序输出暂不能用此功能)。
- 3) 稳定计算完成后，一般会输出一组曲线，可以按任意键察看曲线，察看所有的曲线后将曲线结果存储到CUR文件中。如果希望在稳定计算完成后不显示曲线，可以在本卡77天写一个非零整数。
- 4) 稳定计算过程中，程序会产生SOL和OPT为后缀的文件，这两个文件存储中间的计算结果用于结果输出，但是SOL文件较大，缺省条件下在完成结果输出后将这两个文件删除，如果想保留这两个文件，则在本卡79填写一个非零整数。



36.2 母线输出卡(B卡)

0										1										2										3										4										5										6										7										8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
B										BUS NAME																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

所有B卡必须放在一起，并在BH卡之后。

列

1 B

4-11 BUSNAME：母线名。

12-15 BASE：母线基准电压。

18 母线电压、角度输出选择。

21 母线频率偏差输出选择。

24 母线有功负荷。

27 母线无功负荷。

32-34 GRP：分组码，可为0-999，具有相同分组码的母线将画在同一坐标轴上，便于比较。若此组数超过每轴画图的极限，则画在以后轴上。

38 A相电压、角度输出。

40 B相电压、角度输出。

42 C相电压、角度输出。

44 负序电压、角度输出。

46 零序电压、角度输出。



说明：

- 1) 本卡的目的是输出暂态电压较低的部分节点和低电压时间较长的部分节点，每组BV/BV+卡的输出数据包含两组，第一组按照低电压时间长短的顺序输出部分节点，第二组按照最低暂态电压大小顺序输出部分节点，输出的节点数缺省都为30个。
- 2) 本卡必须填写在BH卡后面，即与节点输出卡B卡填写在一起。
- 3) 每张BV卡最多可以填写18个分区，如果没有填写任何分区，则本卡适用于整个系统。
- 4) 第59-68列可以填写输出节点电压等级范围。如果只有电压等级最小值为0，则其缺省值为0.0；如果只有电压等级最大值为0，则其缺省为一个很大的数值；如果电压等级最大值和最小值都为0，则缺省可以输出500kV及以上电压等级的节点电压。
- 5) BV+卡是BV卡的补充，同一组BV\BV+卡中，BV+卡必须放在BV卡的后面。可以有多个BV/BV+卡，最大限制数为10组。
- 6) 输出结果中包含节点低于BV卡71-74列指定电压的开始时间、结束时间和持续时间，如果低电压时间最长的节点的持续时间大于BV卡75-77列的时间值，程序将给出警告信息。同时，输出结果中包含有节点最低暂态电压，如果其最小值低于BV卡中78-80列的值，程序将给出警告信息。

## 37 发电机输出

### 37.1 发电机输出控制卡(GH)

0										1										2										3										4										5										6										7										8																																																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																						
GH										REFBUS										BASE										REFERENCE ID										CLASSIFICATION										MAX										MIN										CLASSIFICATION										MAX										MIN										CLASSIFICATION										MAX										MIN										IGRD									
A2										A8										F4.0										A1										I2										F6.0										F6.0										I2										F6.0										F6.0										I2										F6.0										F6.0										I3									

此卡必须在发电机输出卡之前，若某些变量需要在一定范围内输出，则需填写CLASSIFICATION、MAX、MIN项，否则按实际值输出。

列

1-2 GH

4 TS：按时间顺序集中输出识别码。

TS=1 在输出文件中，打印对应每一时间步具有最大相对角的机组名及相对角度，并且打印出计算过程中具有最大角度值时的机组名称、角度和时刻，而且对网内所有发电机按相对或绝对角度大小进行排序，然后按时间顺序依次集中输出，输出发电机的台数由用户来定，省缺值为13台，最多为600台。

TS=2 在输出文件中，打印对应每一时间步具有最大相对角的机组名称及相对角度，并且打印出计算过程中具有最大角度值的机组名称、角度和时刻，并且按计算人员指定的发电机输出次序，然后按时间顺序以集中形式输出发电机角度。

TS=3 除具有TS=1的功能外，输出与整个计算过程中最大摇摆角度所对应的两台发电机的相对(或绝对)角。

7-14 REFBUS：参考发电机母线名。

15-18 BASE：参考发电机母线基准电压。

20 ID：参考发电机识别码。

22-77 CLASSIFICATION=1：发电机角度(相对或绝对的)限幅选择。

2：滑差限幅选择。

3：励磁电压限幅选择。

MAX：上限幅值。

MIN：下限幅值。

78-80 IGRD：集中输出的发电机台数，省缺值为13。

注：

1) 如填参考发电机名，则以后所有发电机打出的角度为对参考发电机的相对角度，否则为绝对角度。

2) MAX、MIN不填时则实际上无限幅值。



MIN：下限幅值

所有发电机卡必须放在一起，并在GH卡之后。

列

1 G

4-11 GENBUS：发电机所在的母线名。

12-15 BASE：发电机所在的母线基准电压。

17 ID：发电机识别码。

20 发电机角度输出选择。 23 发电机速度偏差输出选择。

26 发电机励磁电压输出选择。 29 发电机磁链( $E'_d$ )输出选择。

32 发电机主磁场饱和输出选择。35 发电机机械功率输出选择。

38 发电机电磁功率输出选择。 41 发电机励磁饱和输出选择。

44 发电机调压器输出选择。 47 发电机加速功率输出选择。

50 发电机无功功率输出选择。 53 发电机励磁辅助信号(PSS)输出选择。

56 发电机阻尼力矩输出选择。 59 发电机励磁电流输出选择。

62 发电机区域加速功率输出选择。

63-70 参考发电机的节点名

71-74 参考发电机的基准电压

75 参考发电机的识别码

76-78 GRP：分组码

80 非零, 输出发电机功角曲线的衰减系数、振荡频率和阻尼比

注：

如果不在63-75列填写参考机，则参考机为GH卡中的参考机。

38 线路输出

38.1 线路输出控制卡(LH卡)

0										1										2										3										4										5										6										7										8																																																																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																										
L H										CLASSIFICATION										MAX										MIN										CLASSIFICATION										MAX										MIN										CLASSIFICATION										MAX										MIN										NSYM										NTIM										TD										T1										T2									
A2										I1										F6.0										F6.0										I1										F6.0										F6.0										I1										F6.0										F6.0										I3										I3										F4.3										F4.3										F4.3									

线路输出控制卡必须先于所有线路输出卡，若某些变量需在一定范围内输出，则需填写CLASSIFICATION、MAX、MIN项，则对此变量在一定范围内进行限幅输出，如不填，则按实际值输出。

CLASSIFICATION=：

1：线路有功潮流限幅选择。

2：线路无功潮流限幅选择。

3：线路视在阻抗限幅选择。

MAX：上限幅值。

MIN：下限幅值。

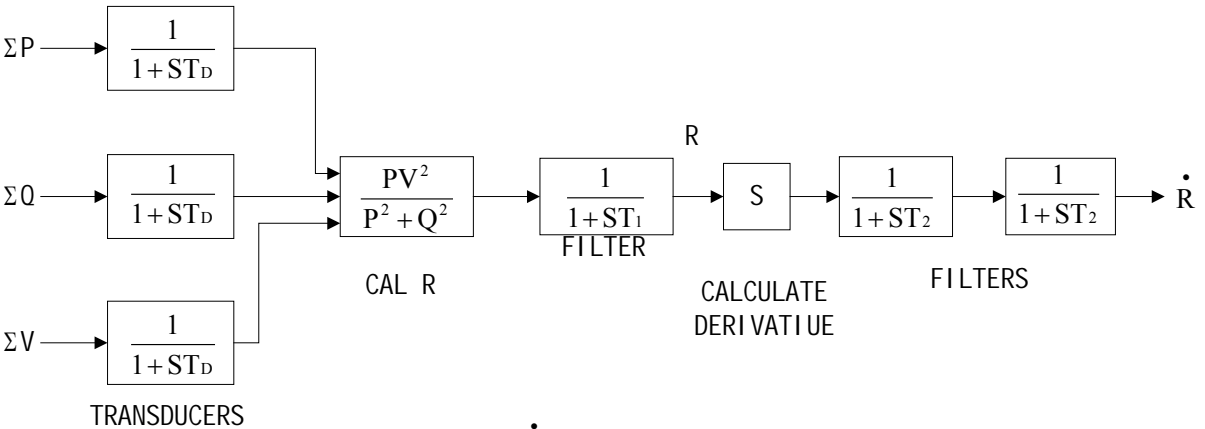
列

59-61 NSYM：每隔NSYM时间步，在视在阻抗图上画一个标识符，省缺值为4。

63-65 NTIM：每隔NTIM时间步，在视在阻抗图上打印时间(周)，省缺值为4。

67-80 TD、T1、T2：用于计算线路视在电阻变化率R的时间常数(秒)。

省缺值为： TD=0.012秒 T1=0.053秒 T2=0.053秒



R和R<sup>·</sup>的计算框图

## 38.2 线路输出卡(L卡)

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	BUS1	BASE1	BUS2	BASE2	PAR	LINE FLOW-MW	LINE FLOW-MVAR	APPARENT IMPEDANCE
A1	A8	F4.0	A8	F4.0	A1	I1	I1	I1
						F6.4	F6.4	F6.4
							F6.4	F6.4
								I3

所有L卡必须放在一起，并放在LH卡之后。

列

1 L

4-11 BUS1：线路一端母线名

12-15 BASE1：线路一端母线基准电压

17-24 BUS2：线路另一端母线名

25-28 BASE2：线路另一端基准电压

30 PAR：线路平行码

35 线路有功潮流输出选择

38 线路无功潮流输出选择

41 线路视在阻抗输出选择

43-48 RMAX：电阻上限幅值

50-55 RMIN：电阻下限幅值

57-62 XMAX：电抗上限幅值

64-69 XMIN：电抗下限幅值

72-74 GRP：分组号

80 非零，输出线路功率曲线的衰减系数、振荡频率和阻尼比

每一个轴面上仅画一个视在阻抗，每一视在阻抗画图时，必须有限制，一张卡的限制仅对本卡有效。画视在阻抗时，分组码无效。

注意：在稳定计算中有操作(如开断等)的线路一般不建议输出，输出的物理量可能无实质意义。

必须放在LH卡之后，L、LC卡必须放在一起。

1-2 LC

4-11      BUS1：线路一端母线名。

12-15 BASE1：线路一端母线基准电压。

17-24      BUS2：线路另一端母线名。

25-28 BASE2：线路另一端基准电压。

30 PAR：线路平行码。

35 线路电流输出选择。

38 线路阻抗输出选择。

41 线路电阻输出选择。

(对于38、41列)每轴画面仅画一根曲线,分组码无效。

43-48 Z/R的最大值。

50-55 Z/R的最小值。

49 A相电流输出。

56 B相电流输出。

63 C相电流输出。

70 负序电流输出。

71 零序电流输出。

57-62  $\dot{Z} / \dot{R}$  的最大值。

64-69  $\dot{Z} / \dot{R}$  的最小值。

72-74 GRP：分组码。

中国电力科学研究院系统所



[illegible]

- 78-80 I3 分组码



## 41 曲线衰减系数、振荡频率和阻尼比的输出

采用PRONY算法，可以计算某条曲线的振荡频率、衰减系数、阻尼比等，根据这些值可以判断是否衰减。本程序只对发电机功角、线路有功功率的曲线进行计算。

填写的方法：

在发电机输出卡G卡、线路输出卡L卡的第80列填写一个非零值，程序将自动计算对应的发电机功角、线路有功功率的衰减系数和、振荡频率和阻尼比。

程序在稳定结果文件OUT文件末尾集中输出所有计算的衰减因子和振荡频率。

说明：

1) 计算振荡频率、阻尼比时，可以针对整条曲线计算，也可以计算其中的一部分，即只计算某个时间段的振荡频率。可以采用MHC卡指定该时间段，具体格式如下：

列 格式

1-3 A3 卡名称MHC

5-8 F4.0 起始时间 $T_{\text{MIN}}$ （周波）

9-12 F4.0 结束时间 $T_{\text{MAX}}$ （周波）

该卡填写在MH卡的后面。不填写此卡，则 $T_{\text{MIN}}$ 缺省值为0， $T_{\text{MAX}}$ 缺省值为 $T_{\text{END}}$ ，即对整个计算时间内的数据进行计算。该卡填写时间对所有需要计算振荡频率和阻尼比的曲线有效。

2) 采用MHC卡选择时间段时，时间差一般应大于振荡周期的两倍。

3) 采用PRONY算法，能够计算出多个不同幅值、相角、衰减系数和振荡频率，但是其中只有1个或者2个是主要的，本程序从这些数据中挑选出2个主要的振荡模式输出，通常情况下，第一个振荡模式为主要的振荡的模式，有时第二个是主要的振荡模式。

4) 阻尼比的计算方法：假定计算的特征值为 $\alpha_i \pm j\omega_i$ ，其中的 $\alpha_i$ 为衰减系数， $\omega_i$ 为

振荡频率，阻尼比为 $\zeta_i = \frac{-\alpha_i}{\sqrt{\alpha_i^2 + \omega_i^2}}$ 。

[illegible]

附加作图卡可把两个不同的输出变量分别画在X轴和Y轴,附加作图功能是完全通用的,任一选项都可对应另一选项作图。时间坐标可在X轴和Y轴。

MV卡的4-28列给出Y轴数据标识，这一标识可以是一条线路、交流母线、直流母线或发电机，若要画时间则无需标识，29-53列给出X轴数据标识：

55 列给出Y轴输出选项。

59 列给出X轴输出选项。

这一选项必须是下列变量代码之一：

‘ B ’ 交流母线变量

‘D’ 直流母线变量

‘ G ’ 发电机变量

‘L’ 线路变量

‘ R ’ 串补变量

‘ T ’ 时间(周)

56-57 列给出Y轴图形输出码：

60-61 列给出X轴图形输出码：

每个选项的图形输出码如下：

- 交流母线：变量代码='B'

选项：

(1) 母线电压幅值(pu)

(2) 母线频率偏差(Hz)

- 直流母线变量代码='0'

选项：

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| (1) 点燃角(度)              | (2) 线路电流(kA)          |
| (3) 直流端电压(kV)           | (4) 直流调制信号(pu)        |
| (5) 熄弧角(度)              | (6) $V_{\alpha}$ (pu) |
| (7) $V_{\alpha}$ 初值(pu) | (8) 滞后角(度)            |
| (9) 直流功率(MW)            |                       |

● 交流线路变量代码= ‘ L ’

选项：

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| (1) 线路有功潮流(MW)    | (2) 线路无功潮流(Mvar)  |
| (3) 视在电阻(pu)      | (4) 视在电抗(pu)      |
| (5) 电流(A)         | (6) 视在阻抗(欧姆)      |
| (7) 视在阻抗变化率(欧姆/秒) | (8) 视在电阻变化率(欧姆/秒) |

● 发电机变量代码= ‘ G ’

选项：

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| (1) 发电机角(度)     | (2) 频率偏差(Hz)  |
| (3) 励磁电压(pu)    | (4) 磁链(pu)    |
| (5) 主磁场饱和(pu)   | (6) 机械功率(MW)  |
| (7) 电气功率(MW)    | (8) 励磁机饱和(pu) |
| (9) 调节器输出(pu)   | (10) 加速功率(MW) |
| (11) 无功功率(Mvar) | (12) PSS输出    |
| (13) 阻尼力矩(MW)   | (14) 励磁电流(pu) |

● 串补变量代码= ‘ R ’

选项：

A相串补变量：

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| (1) 固定串补电阻(pu)    | (2) 固定串补电抗(pu) |
| (3) 固定串补MOV能量(MJ) | (4) 可控串补电阻(pu) |
| (5) 可控串补电抗(pu)    | (6) 可控串补触发角(度) |
| (7) 可控串补MOV能量(MJ) | (8) 串补支路电流(A)  |

B相和C相串补变量含义与A相相同，代码分别为

B相：11、12、13、14、15、16、17、18

C相：21、22、23、24、25、26、27、28

● 时间，变量码= ‘ T ’，没有选项，以周计。

64 - 65

S=0，每隔4步画时间

>0，每隔几步画时间

<0，不画

### 43 发电机变量差值作图卡 (MV卡)

填写格式：

说明：

采用本数据卡后的输出变量为发电机1-发电机2的差

填写输出代码部分，即55~57和59~61不表示X轴和Y轴，都表示Y轴的输出选择，X轴都为时间。 例如：

MV	Gen1	16.5	Gen2	18.0	Y 1	Y 3
----	------	------	------	------	-----	-----

该卡表示输出发电机GEN1和GEN2的角度差和电气功率差的图形，X轴都为时间。

## 44 输出结束卡(99卡)

0	1									2	3									4	5									6	7									8											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
99				NOP				NOPZ		GF		GV		GS		GA		GVF																																	
A2				11				11		11		11		11		11		11																																	

列

- 1-2      99    此卡标志输出部分结束。是输出部分的最后一张卡。必须填写。
- 5        NOP=0或空，则无输出，=1则打印母线数，内外部母线对照识别表。
- 8        NOPZ=0或空，则无输出，=1则在输出开始时打印不良视在阻抗(大小和角度)，不良电压。不良标准由MH卡中的EXMAX、EXMIN、AREF所决定。
- 10       GF=0或空，则无输出，=1则打印最高频率偏差之发电机20台。
- 12       GV=0或空，则无输出，=1则打印最高励磁电压之发电机20台。
- 14       GS=0或空，则无输出，=1则打印最高PSS输出偏差之发电机20台。
- 16       GA=0或空，则无输出，=1则打印最大角度差之发电机20台。
- 18       GVF=1或空，则无输出，=1则打印计算过程中显示曲线的数值。

## 45 指定分区内寻找机组最大摇摆角卡(OGM卡)

对于非同步联网系统（纯直流联网），非同步系统机组间的最大相对摇摆角度已无实际意义。使用本卡可以在指定的分区内寻找机组间的最大摇摆角，最多25个分区，卡片放在99卡之后。

本卡的具体格式如下：

卡片	列	格式	内容
OGM	1~3	A3	卡片识别
Zone1	5~6	A2	分区1
Zone2	8~9	A2	分区2
Zone3	11~12	A2	分区3
Zone4	14~15	A2	分区4
Zone5	17~18	A2	分区5
Zone6	20~21	A2	分区6
.....	.....	.....	
Zone25	78~79	A2	分区25

即5-79列共可填写25个分区名，分区之间都有一个空格。如果分区数超过25个，可以填写第二张OGM卡，此时必须在第一张OGM卡的第80列填写“+”号。

## 46 输出结果总结卡(SUBEGIN-SUEND系列卡)

此部分数据卡的主要目的是根据用户需要输出部分总结性的信息。此部分包含有一组数据卡，其中的第一张卡为SUBEGIN，最后一张为SUEND，其它数据卡位于两者之间。该组数据卡必须放在稳定数据文件最后，即OGM卡后面。

具体的数据卡包括：

### 1. SUBEGIN

该卡必须为第一张卡，标志输出结果总结部分的开始。

### 2. SUEND

该卡必须是最后一张卡，标志输出结果总结部分的结束。

### 3. SU

普通文本输出卡，在第3-80列可以输入文本，用于输出数据时的提示信息。该卡主要用于后面的L、T、B、G、G+卡的提示信息用，这些数据卡只计算出对应的数值，一般在这些卡之前都有SU卡，SU卡与后面数据卡计算出的数值作为同一行输出。

### 4. L卡——输出线路初始有功功率（功率累加）

该卡用来输出线路的初始有功功率，遇到连续的L卡，则功率累加，因此可以输出某个断面的潮流。该卡的格式与潮流中的线路卡L卡格式完全相同，实际应用时直接拷贝潮流线路卡即可。

### 5. T卡——输出变压器支路的有功功率（功率累加）

该卡与L卡类似，其格式也与潮流中的线路卡T卡完全相同，实际应用时直接拷贝即可。

### 6. B卡——输出节点初始电压和最低暂态电压

输出节点的初始电压：B卡的格式与潮流中B卡的格式基本相同，不同的是4-6列的所有者代码必须为空。实际应用时将潮流中的B卡直接拷贝并保持4-6列为空即可。这样可以输出该节点的潮流节点电压。

输出最低暂态电压：B卡的格式与稳定输出卡B卡的格式完全相同，输出该节点的最低暂态电压（故障期间除外）。

### 7. G卡——输出发电机暂态过程中的最大摆角

格式与稳定发电机输出卡G卡的格式完全相同。该摆角是相对于GH卡参考机的摆角，如果没有参考机，则为绝对角。

### 8. G+卡——输出发电机的初始功率（功率累加）

该卡的格式与稳定发电机输出卡G卡的格式基本相同，不同之处就是在第2列填写“+”号。该卡输出发电机初始的有功功率，遇到连续的多个G+卡时，功率累加。

### 9. BL卡——输出BV卡中指定范围内的最低暂态电压信息

该卡只需要在1-2列填写“BL”即可，它输出BV卡中指定范围内的最低暂态电压相关的信息，如果没有填写BV卡，则此卡无效。

#### 10. GM卡——输出OGM卡指定范围内功角差最大的发电机相关信息

该卡只需要在1-2列填写“GM”即可，它输出OGM卡指定范围内功角差最大的发电机相关信息，如果没有填写OGM卡，则此卡无效。

#### 11. ST卡——输出是否稳定的信息

本卡根据BV卡计算出来的暂态最低电压值和最长低电压时间以及BV卡指定的判断判断系统是否稳定，而不是根据功角判断系统是否稳定。如果没有BV卡，则此卡无效。整个过程如下：

- 1) 计算BV卡指定范围内的最低暂态电压和低于BV卡71-74列电压值的最长时间；
- 2) 如果最低暂态电压低于BV卡78-80列的电压值，则认为系统不稳定；否则，根据低电压时间判断系统是否稳定，具体为：
  - 可以在ST卡中填写最短时间和最长时间，ST卡的4-8列填写时间最小值Tmin，9-13列填写时间的最大值Tmax，格式都为F5.1。如果低电压时间在Tmin和Tmax之间，认为系统达到了极限状态；小于Tmin，认为系统稳定；大于Tmax，认为系统失稳。
  - 如果在ST卡中没有填写最大值和最小值，则根据BV卡75-77列的时间值判断，如果低电压时间大于该值，认为系统不稳；否则认为系统稳定。

#### 12. FT卡——输出故障卡

本卡只需要在1-2列填写“FT”即可，可以输出稳定计算的故障数据卡。

例如：

如果在稳定数据文件中OGM卡后面填写

SUBEGIN

SU \*\*\*断面潮流

L	BUS1	525.	BUS2	525.	1 2840 .01407.12628	.07080
---	------	------	------	------	---------------------	--------

L	BUS1	525.	BUS2	525.	2 2840 .01407.12628	.07080
---	------	------	------	------	---------------------	--------

SU \*\*\*变压器潮流

T	TBUS1	525.	TBUS2	1.0	801 .00050.15510	500.0 1.0
---	-------	------	-------	-----	------------------	-----------

SU \*\*节点电压初值

B	BUS1	525.
---	------	------

SU \*\*发电机厂出力

G+	GEN1	15.8	3
----	------	------	---

G+	GEN2	15.8	3
----	------	------	---



SU 故障卡为

FT

SU \*\*\*暂态最低电压

B BUS1 525. 3

SU \*\*发电机的最大摆角

G GEN1 15.8 3

BL

GM

ST

SUEND

稳定结果文件OUT文件中的输出内容形式如下：(其中的数据为假定的)

\*\*\*断面潮流1000MW，

\*\*\*变压器潮流200MW，

\*\*节点电压初值530kV，

\*\*发电机厂出力340MW，

故障卡为

LS 母线B 230. 母线1 230. 1 0.0

LS -母线B 230. -母线1 230. -1 5.

\*\*\*暂态最低电压0.76pu，

\*\*发电机的最大摆角156度，

最低电压值是0.68，对应节点”BUS2 525.”，低于0.75持续时间30周波，

功角差最大的发电机是”GEN1 15.8”和”GEN2 10.5”，最大功角差为88度，

系统稳定（方式ABCD）。

说明：

- 1) 上述算例的内容都是假设的，只为了说明该组卡的使用方法和结果的输出形式，其中的\*号为发电机名、线路名等名称。
- 2) 该组卡的位置必须放在OGM卡之后，并且以SUBEGIN卡开始，SUEND卡结束。
- 3) SU卡是用于输出中提示型的文字，一般都应该有。对于B卡和G卡，如果前面没有SU卡，程序可以输出缺省的说明性文字；而T卡、L卡、G+卡应则不能输出，因此前面应有SU卡，否则只输出计算的结果。
- 4) BL、ST、GM卡的说明性文字是固定的，一般不需要前面有SU卡。

- 
- 5) 计算线路潮流的L卡、计算变压器潮流的T卡只需从潮流数据中拷贝对应的数据卡即可；输出节点潮流电压的B卡只需考虑潮流中的B卡，并保持4-6列的拥有者内容为空。
  - 6) 计算暂态最低电压的B卡和发电机最大功角的G卡与稳定输出卡中的B卡和G卡完全相同。
  - 7) BL卡和ST卡必须有对应的BV卡，即必须在节点输出卡中含有BV卡，否则这两个卡无效。
  - 8) GM卡必须有对应的OGM卡，否则该卡无效。

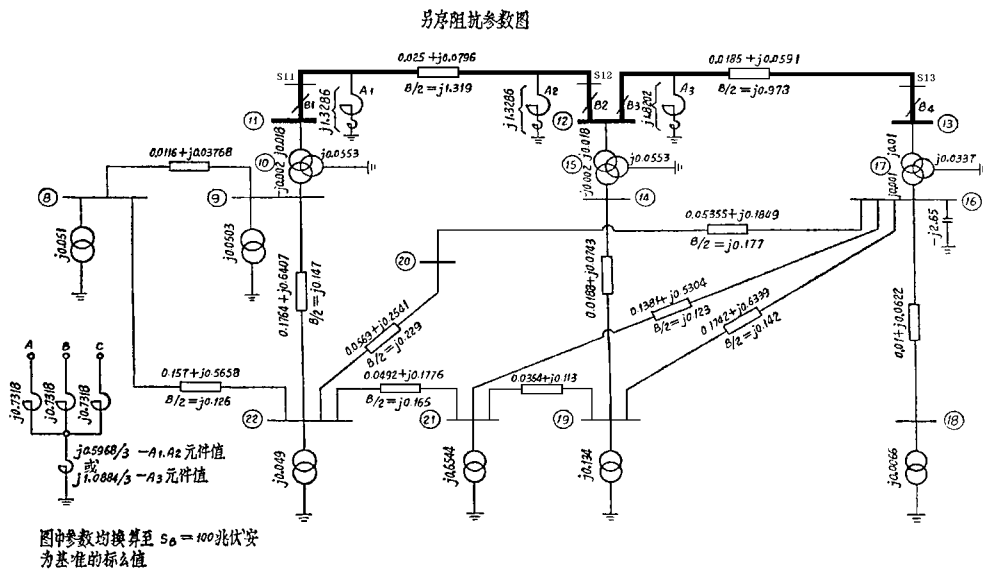
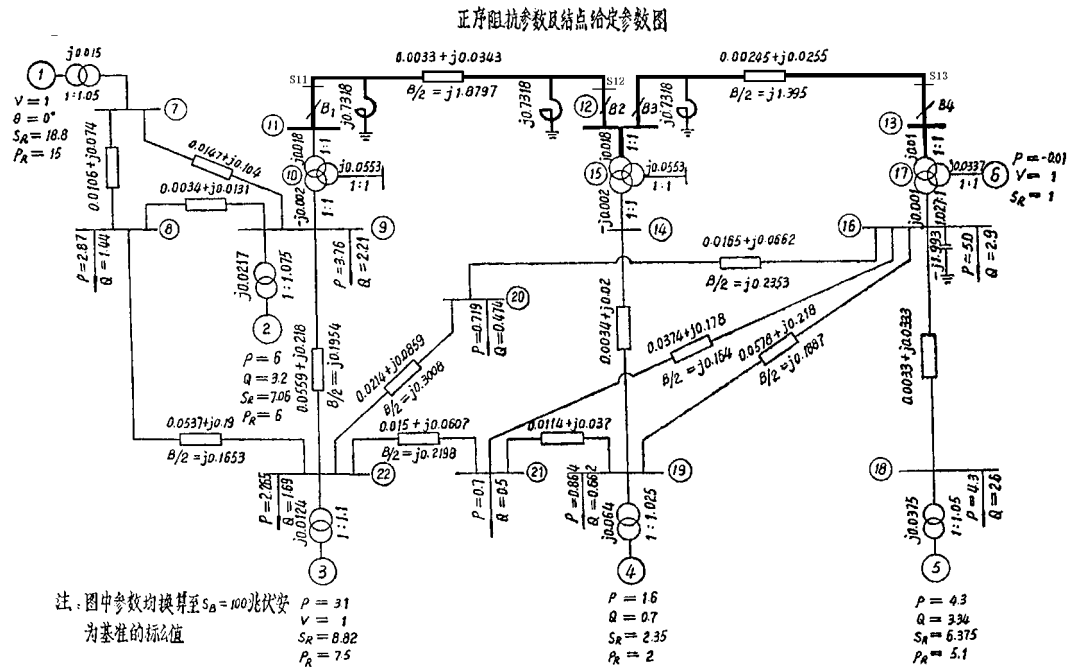
## 参考文献

- [1] 张力平、印永华、汤涌、严荣，《BPA暂态稳定程序简要使用说明》上册，电力科学研究院，1986年
- [2] 汤涌、印永华，《BPA暂态稳定程序简要使用说明》下册，电力科学研究院，1986年
- [3] 汤涌、卜广全，《BPA人机会话程序及作图程序使用说明》，电力科学研究院，1986年
- [4] 张一、印永华译，张力平校《BPA暂态稳定程序用户手册》，电力科学研究院，1984年
- [5] Computer Representation of Excitation Systems. IEEE COMMITTEE REPORT, IEEE PAS-Vol.87, No.6 JUNE 1968.
- [6] Excitation System Models for Power System Stability Studies. IEEE COMMITTEE REPORT. IEEE PAS-Vol. 100, No.2 Feb. 1981.
- [7] Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies. IEEE Committee Report. IEEE PAS-Vol. 92, No.6 Nov.-Dec. 1973.
- [8] Fast Transient Stability Solutions. Herman Dommel. Nobuo Sato. IEEE PAS-Vol.91. July/Aug.1972.
- [9] Multiterminal HVDC System Representation in a Transient Stability Program, Bonneville Power Administration U.S. Department of Energy.
- [10] 西安交通大学等，《电力系统计算》，水利电力出版社，1978年
- [11] [美] P.M.安德逊，A.A.佛阿德，《电力系统的控制与稳定》第一卷，水利电力出版社，1979年
- [12] BPA Transient Stability Program User's Guide, Bonneville Power Administration,1987.
- [13] 汤涌，BPA暂态稳定程序用户手册(中国版2.0)，能源部电力科学研究院，1991年8月
- [14] 汤涌、刘增煌、卜广全，BPA稳定程序新功能使用说明，电力工业部电力科学研究院，1996年9月

## 附录 A 应用实例

## 1 系统示例

本节将以图示系统为基础，介绍BPA暂态稳定程序的一些应用实例。



```

CASE PFTS2                      TS2.SAV          0.65 0.03 0.05 0.04 0.3
C -----
C                               TSET SYSTEM SWING DATA
C -----
LS S11      525. S12      525.      1  0.0                      1 1 1
LS S11      525. S12      525.     -1  5.0                      1 1 1
M N1        13.8 1880.      E
M N2        13.8 706.      S      .0238.0238.2241.66
M N3        13.8 882.      H      .0284.0284.0.1 0.2
M N4        13.8 235.      S      .078 .078 .1291.89
M N5        13.8 637.5     S      .031 .031 0.1 0.5
M N6        13.8 100.      SC     .148 .148 0.1 0.2
MC N1       13.8 7041.      .015 .015 .0151.015                      2.
MF N2       13.8 1500.      .0382.0764.321 .321 8.372.10.0360.11 0.362.
MF N3       13.8 3975.      .0396.068 .138 .068 7.24          0.11 0.442.
MF N4       13.8 784.      .121 .242 .77 .77 6.2 1.5          0.11 0.362.
MF N5       13.8 1960.      .048 .096 .306 .306 6.2 1.5        0.11 0.362.
MF N6       13.8 131.      .197 .394 1.6331.6336.921.7          0.11 0.362.
MI N8       230. 150. 0.4 150. .0130.11 3.0 0.0120.12          .774 -.207
EA N2       13.8 0 20. .08 0. -1. 0. 0.5 0.220.950. 5. .04 .04
EA N4       13.8 0 20. .08 0. -1. 0. 0.5 0.220.950. 5. .04 .04
EA N5       13.8 0 20. .08 0. -1. 0. 0.5 0.220.950. 5. .04 .04
EA N6       13.8 0 20. .08 0. -1. 0. 0.5 0.220.950. 5. .04 .04
GH N3       13.8 750. 0.05 0.2 0.04 5. 0.5 0.2 0.2 0.5
GS N2       13.8 600. 0 0.05 0.1 0. 0.25 0.1 1.
GS N4       13.8 200. 0 0.05 0.1 0. 0.25 0.1 1.
GS N5       13.8 510. 0 0.05 0.1 0. 0.25 0.1 1.
TA N2       13.8 0.5 1.
TA N4       13.8 0.5 1.
TA N5       13.8 0.5 1.
XO N1       13.8 N7      230. 2      .00001
XO N2       13.8 N9      230. 2      0.0503
XO N3       13.8 N22     230. 2      0.0490
XO N4       13.8 N19     230. 2      0.1340
XO N5       13.8 N18     230. 2      0.0066
XO N6       13.8 N17     525. 2      0.0337
XO N10      230. N11     525. 3      0.0180
XO N15      230. N12     525. 3      0.0180
XO N17      525. N13     525. 3      0.0100
XO N17      525. N16     230. 3      0.0010
XR N8       230. 0.0 0.0510
XR N10      230. 0.0553
XR N15      230. 0.0553
XR N21      230. 0.6544
LO N8       230. N9      230. 0.0116 0.03768
LO N9       230. N10     230. -0.002
LO N9       230. N22     230. 0.1764 0.6407          0.1470
LO N8       230. N22     230. 0.1570 0.5658          0.1260
LO S11      525. S12     525. 0.0250 0.0796          0.5663
LO N12      525. S13     525. 0.0185 0.0591          0.1260          0.9780
LO N14      230. N15     230. -0.002
LO N14      230. N19     230. 0.0188 0.0743
LO N18      230. N16     230. 0.0100 0.0622          0.3774
LO N16      230. N19     230. 0.1742 0.6339          0.1420
LO N16      230. N20     230. 0.053550.1849          0.1770
LO N16      230. N21     230. 0.1381 0.5304          0.1230
LO N19      230. N21     230. 0.0364 0.113
LO N20      230. N22     230. 0.0569 0.2541          0.2290
LO N21      230. N22     230. 0.0492 0.1776          0.1650
LO N11      525. S11     525. 0.0001
UF N21      230.49.8125 6.148.6125 8.948.4125 10.748.2125 10.748. 125 11.5 W
UF N19      230.49.8125 10.948.6125 15.848.4125 18.948.2125 18.948. 125 20.5 W
LAN8        230. 1.0 1.0
LAN9        230. 1.0 1.0
LAN16       230. 1.0 1.0
LAN18       230. 1.0 1.0

```

---

```

LAN19      230.          1.0  1.0
LAN20      230.          0.4  0.4          0.6  0.6
LAN21      230.          1.0  1.0
LAN22      230.          1.0  1.0
FF         2.0  150.
90
MH
BH
B  S13      525.  1  1          1  1  1  1
GH1  N3      13.8
G  N1       13.8  1          1  1
LH
L  S11      525. S12      525.  1  1
LC S11      525. S12      525.  1          1  1  1  1
99

```

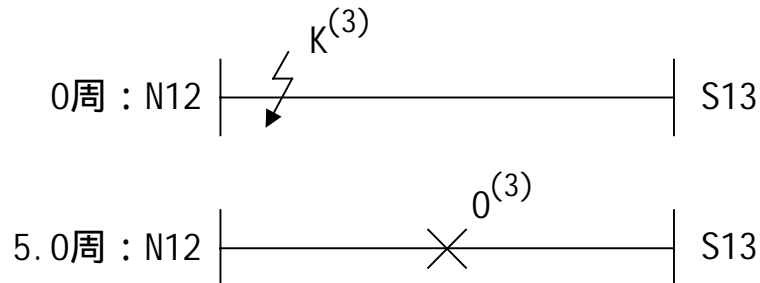
这是一个典型的稳定数据文件，其中有发电机经典模型（MC）、双轴模型（MF）及阻尼绕组参数(M)、励磁卡(EA)、水轮机的原动机调速系统卡（GH）、汽轮机的调速器卡（GS）和汽轮机的原动机卡（TA）、零序参数卡（XO，XR，LO）、代数模型负荷卡（LA）及马达负荷卡（MI）、最后是输出选择。

## 2 故障操作举例说明

### 2.1 线路出口三相短路、跳三相不重合

LS	N12	525	S13	525	1	0.0
LS	-N12	525	-S13	525	-1	5.0

说明: 1) 故障与操作过程:

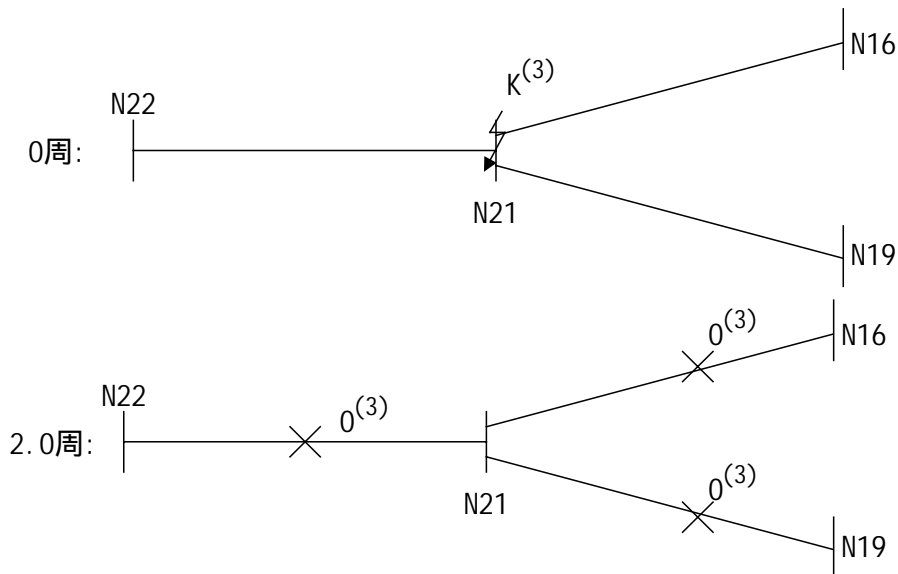


2) 跳线路时, 同时切除了线路的并联电抗器(潮流中以等值支路表示)

### 2.2 母线三相故障跳所有出线

LS	N21	230	N19	230.	2	0.0
LS	-N21	230	-N19	230.	-2	2.0
LS	-N21	230	-N16	230.	-1	2.0
LS	-N21	230	-N22	230.	-1	2.0

说明: 1) 故障与操作过程:

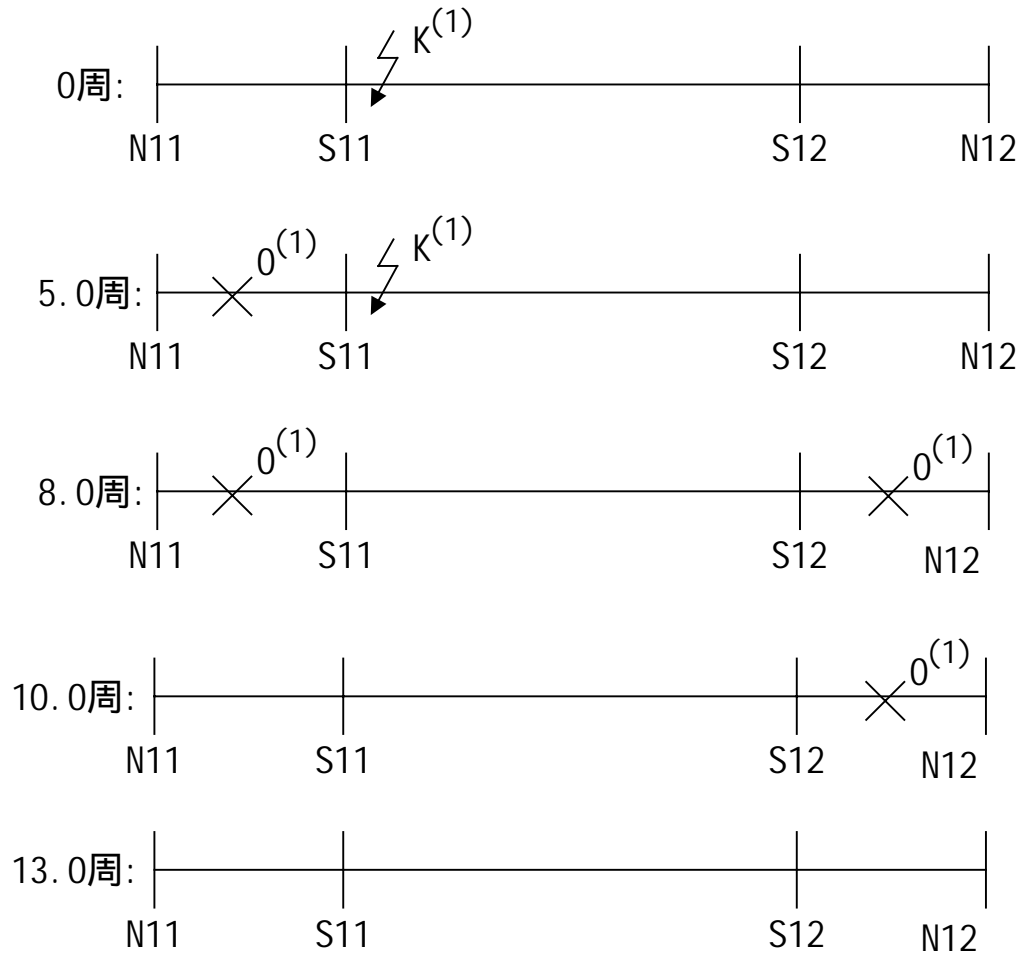


2) 用此方法跳线路, 适用于线路两侧开关同时动作, 并无不对称故障存在。否则, 应在第36列填9, 进行复故障操作计算。

## 2.3 单相瞬时短路、重合闸成功

LS	S11	525	S12	525	9	0.0	1	1	1
LS	S11	525	N11	525	9	5.0	7	1	1
LS	N12	525	S12	525	9	8.0	7	1	1
LS	S11	525	S12	525	-9	8.0	1	1	1
LS	S11	525	N11	525	-9	10.0	7	1	1
LS	N12	525	S12	525	-9	13.0	7	1	1

说明：1) 故障与操作过程：



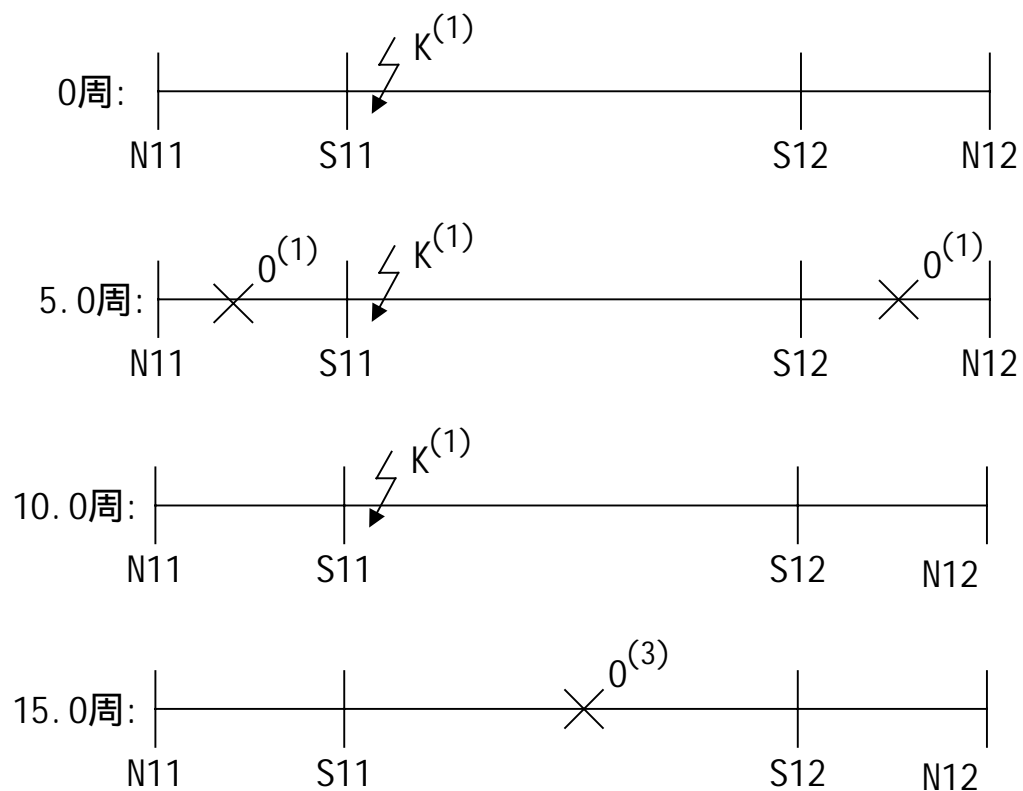
2) 卡中S11、S12两个节点为小开关节点，不对称故障跳闸，必须加小开关。



## 2.4 单相永久短路重合闸不成功跳三相（两侧同时跳）

LS	S11	525	S12	525	9	0.0	1	1	1
LS	S11	525	N11	525	9	5.0	7	1	1
LS	N12	525	S12	525	9	5.0	7	1	1
LS	S11	525	N11	525	-9	10.0	7	1	1
LS	N12	525	S12	525	-9	10.0	7	1	1
LS	S11	525	S12	525	-9	15.0	1	1	1
LS	-S11	525	-S12	525	-1	15.0			

说明：1) 故障与操作过程：

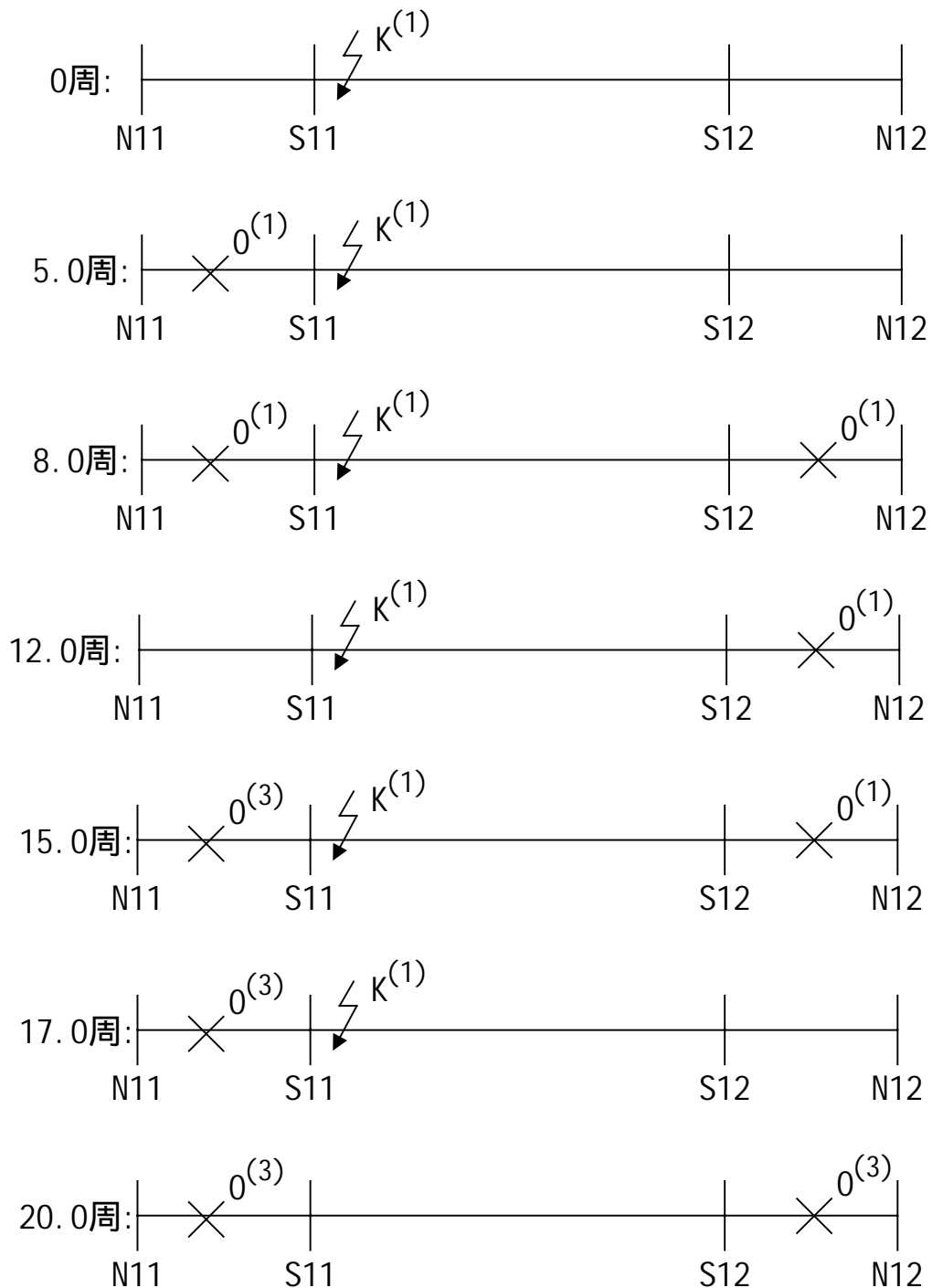


2) 使用最后一张卡时，应保证同时没有不对称故障存在。

## 2.5 单相永久短路重合闸不成功跳三相（两侧不同时跳闸）

LS	S11	525.	S12	525.	9	0.0	1	1	1
LS	S11	525.	N11	525.	9	5.0	7	1	1
LS	N12	525.	S12	525.	9	8.0	7	1	1
LS	S11	525.	N11	525.	- 9	12.0	7	1	1
LS	S11	525.	N11	525.	9	15.0	6	1	1
LS	N12	525.	S12	525.	-9	17.0	7	1	1
LS	N12	525.	S12	525.	9	20.0	6	1	1
LS	S11	525.	S12	525.	-9	20.0	1	1	1

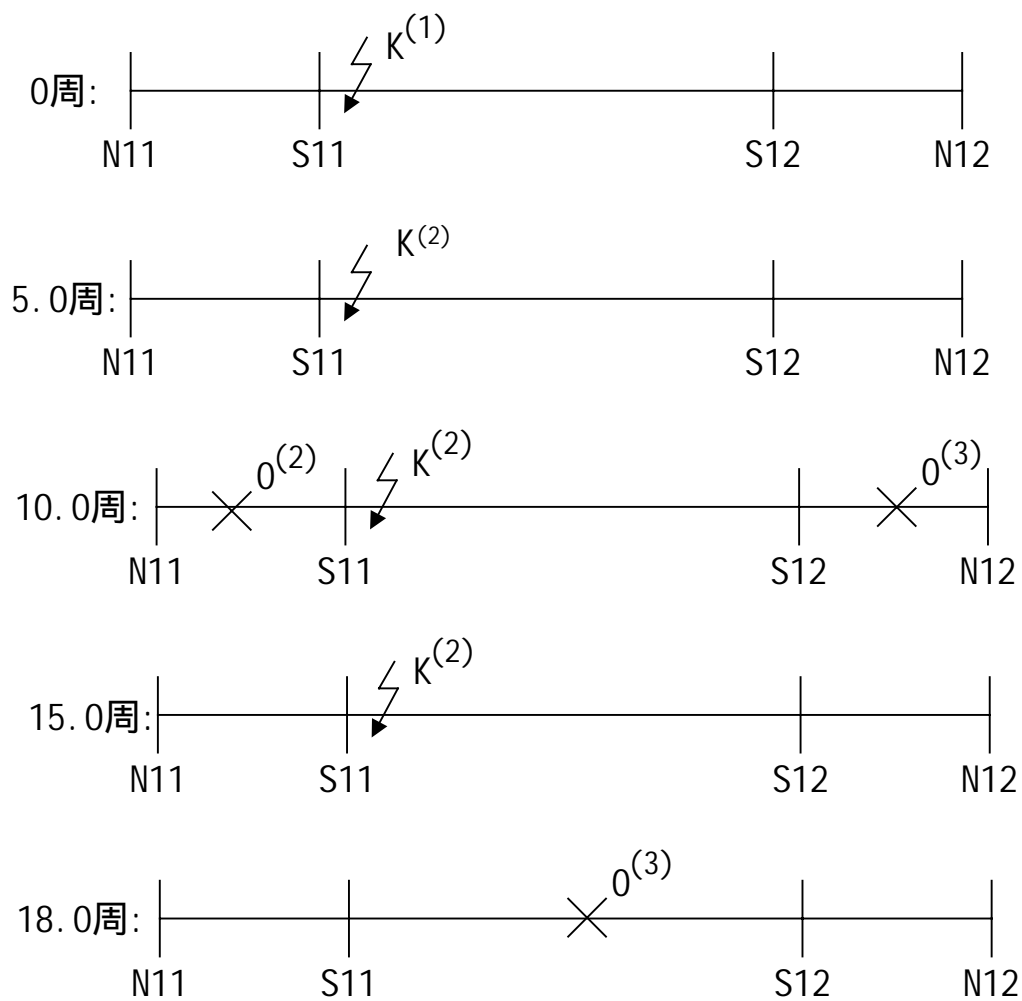
说明：1) 故障与操作过程：



## 2.6 单相短路转两相对地短路重合闸不成功跳三相

LS	S11	525	S12	525	9	0.0	1	1	1
LS	S11	525	S12	525	-9	5.0	1	1	1
LS	S11	525	S12	525	9	5.0	4	2	1
LS	S11	525	N11	525	9	10.0	8	2	1
LS	N12	525	S12	525	9	10.0	8	2	1
LS	S11	525	N11	525	-9	15.0	8	2	1
LS	N12	525	S12	525	-9	15.0	8	2	1
LS	S11	525	S12	525	-9	18.0	4	2	1
LS	-S11	525	-S12	525	-1	18.0			

说明：1) 故障与操作过程：



2) 类似的故障转移都应象本例一样，在同一时刻，把前一故障清除后，加入新的故障。

## 2.7 切机、切负荷：

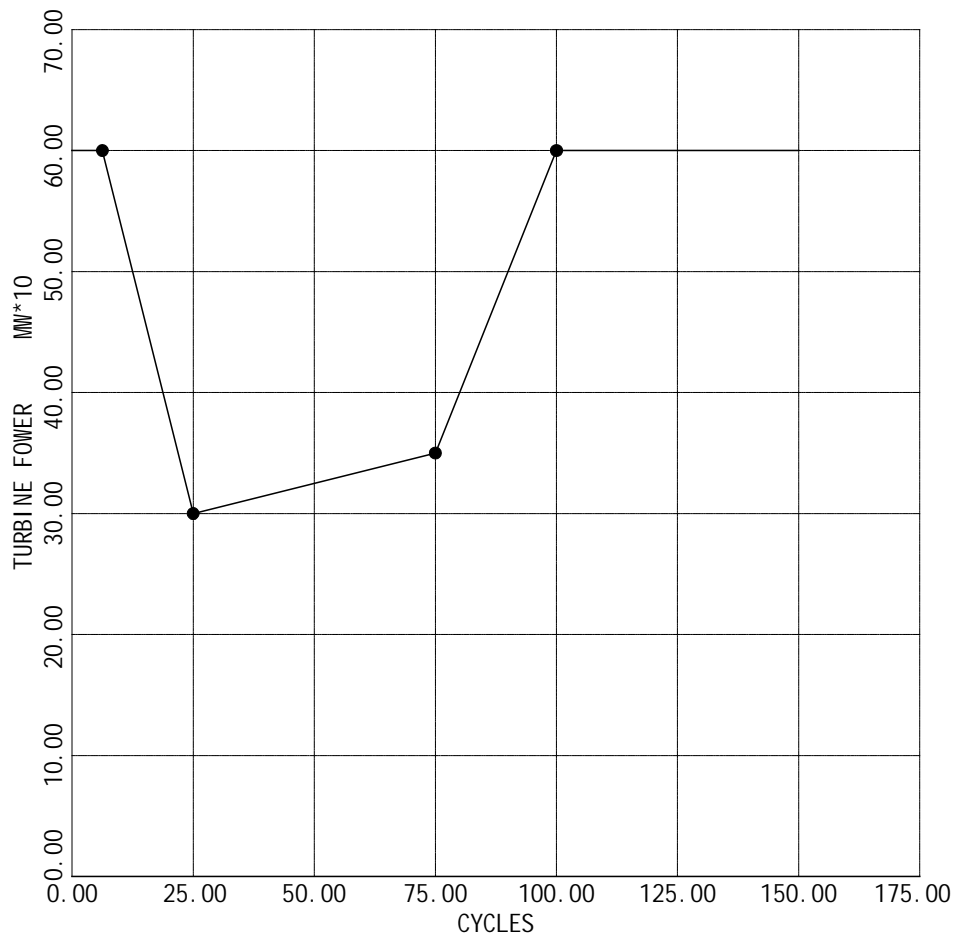
LS	N8	230.	4	0.0	-100.	-50.	
LS	N2	13.8	4	2.0			900000

- 说明：1) 第一张卡表示切除N8节点恒定阻抗负荷有功100MW、无功50Mvar；  
第二张卡表示切除N2节点的发电机全部切除。
- 2) 负序网尚未计及切机、切负荷，不对称故障存在时，有误差。

## 2.8 快关

LS	N2	13.8	8	5.0	100.0	0.0	50.	0.4
LS	N2	13.8	8	25.0	50.0	0.4	60.	1.4
LS	N2	13.8	8	75.0	60.0	1.4	100.	1.9
LS	N2	13.8	8	100.0	100.0	1.9	100.	2.0

说明：以上LS卡表示的快关曲线如下：



## 2.9 发电机失磁计算：

例1	LS	N3	13.8	10	0.0	1	0.05	6.5	
例2	LS	N3	13.8	10	0.0	2	.001	1.0	
例3	LS	N3	13.8	10	0.0	3	.001	.0006	
例4	LS	N3	13.8	10	0.0	4	0.3	6.5	
例5	LS	N3	13.8	10	0.0	2	0.001	1.0	
	LS	N3	13.8	8	150.0	100.	0.0	40	8.0
	LS	N3	13.8	8	550.0	40	0.8	40	30.
	LS	N3	13.8	10	750.0	5		6.5	
例6	LS	N3	13.8	10	0.0	3	.001	.006	
	LS	N3	13.8	4	200.				900000

说明：

例1——发电机N3在零周时发生励磁回路直接短路失磁

例2——发电机N3在零周时发生励磁回路经灭磁电阻短路失磁

例3——发电机N3在零周时发生励磁回路开路失磁

例4——发电机N3在零周时发生部分失磁，失去70%，剩下30%

发电机失磁后一般采取两种措施：(1)由失磁保护发出信息，快速压原动机出力，使失磁机安全地进入稳态异步运行，然后再恢复励磁，实现再同步。

(2)对于不适宜异步运行再同步的失磁机组，采取切机措施。

例5和例6即为这两种措施的实例。

例5——发电机N3 在零周发生励磁回路经灭磁电阻短路失磁；

在150周(3秒)时，接到失磁信息开始压出力经8秒(即在550周时)将出力压至40%，这时调速器退出运行。

发电机按40%出力异步运行；

在750周(15秒)时，发电机恢复励磁，以争取实现再同步。

例6——发电机N3 在零周时发生励磁回路开路失磁；

在220周(4秒)时，采取切机措施。

注意：对于失磁机组用以MF卡表示，并应计及调压系统的励磁卡，否则不能计算。

## 2.10 同一线路不同故障形态的短路电流计算

LS	S11	525	S12	525	9	0.0	1	1	1
LS	S12	525	S11	525	-9	1.0	1	1	1
LS	N12	525	N12	525	9	2.0	2	1	1
LS	S11	525	S12	525	-9	3.0	2	1	1
LS	S11	525	N11	525	9	4.0	3	1	1
LS	S12	525	S12	525	-9	5.0	3	1	1
LS	N12	525	S12	525	9	6.0	4	1	1
LS	S11	525	S12	525	-9	7.0	4	1	1
.....									
FF	1.0	10.							1

说明：1)FF卡中的第70列必须填1，将所有发电机的惯性常数都改为无穷大，使得计算过程中，所有发电机的功角都不变。从而保证每个故障时刻都是处于初始状态。因此，输出的每个故障时刻的电流都是同一潮流方式下的短路电流。

2)只要LS卡不超过100张，同一计算过程还可有不同的故障线路（如下例）。

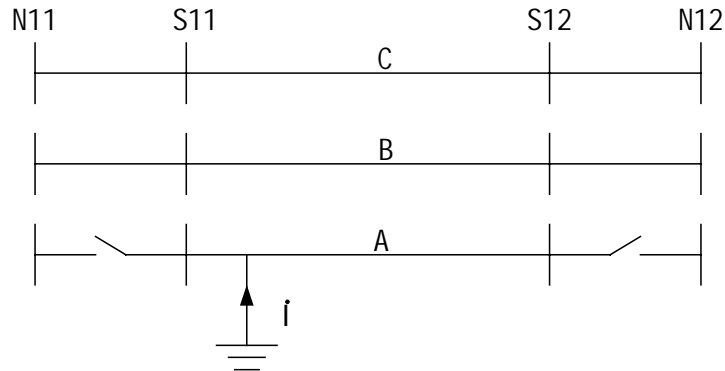
## 2.11 网络不同故障点的三相短路电流的计算

LS	S11	525	S12	525.	1	0.0			
LS	S11	525	S12	525.	-1	1.0			
LS	S12	525	S11	525.	1	2.0			
LS	S12	525	S11	525.	-1	3.0			
LS	S13	525	N12	525.	1	4.0			
LS	S13	525	N12	525.	-1	5.0			
LS	N20	230	N16	230.	1	6.0			
LS	N20	230	N16	230.	-1	7.0			
LS	N16	525	N20	230.	1	8.0			
LS	N16	525	N20	230.	-1	9.0			
LS	N22	525	N9	230.	1	90.			
LS	N22	525	N9	230.	-1	91.			
.....									
FF	1.0	100.							1

## 2.12 潜供电流

LS	S11	525.	S12	525.	9	0.0	1	1	1
LS	N11	525.	S11	525.	9	0.0	7	1	1
LS	N12	525.	S12	525.	9	0.0	7	1	1
.....									
LC	S11	525.	N11	525.	1		1	1	11
LC	S11	525.	S12	525.	1		1	1	11

说明：1) 形式



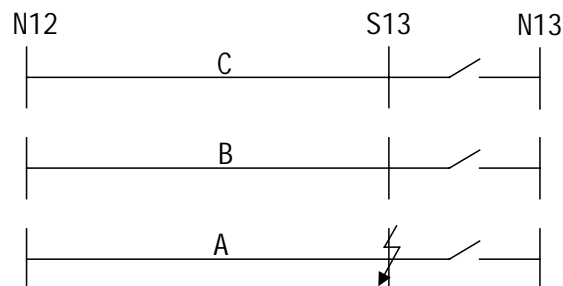
2) 线路S11-S12的A相电流即为潜供电流。事实上，潜供电流应为S11-S12的A相电流与S11-N11的A相电流之和，但S11-N11为小开关支路，已断开，其电流为零，故S11-S12的A相电流就是潜供电流。若短路发生在线路中点，则应把两侧电流相加。

3) 必须输出从S11到S12的电流，从S12到S11的电流为零。

## 2.13 工频过电压 (1)

LS	S13	525.	N12	525.	9	0.0	1	1	1
LS	S13	525.	N13	525.	9	0.0	6	1	1
.....									
B	N13	525.	1			1	1	1	1
B	S13	525.	1			1	1	1	1
B	N12	525.	1			1	1	1	1

说明：1) 形式：

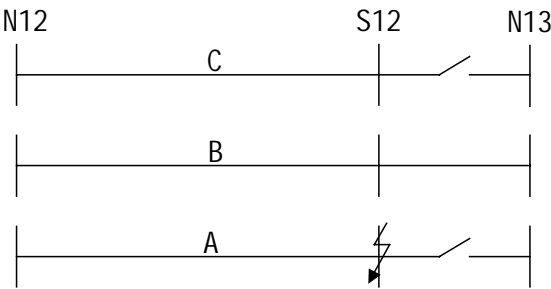


2) 输出的S13节点B、C两相电压即为过电压值

2.14 工频过电压（2）

LS	S13	525.	N12	525.	9	0.0	1	1	1
LS	S13	525.	N13	525.	9	0.0	8	2	1
.....									
B	N13	525.	1			1	1	1	1
B	S13	525.	1			1	1	1	1
B	N12	525.	1			1	1	1	1

说明:1)形式:

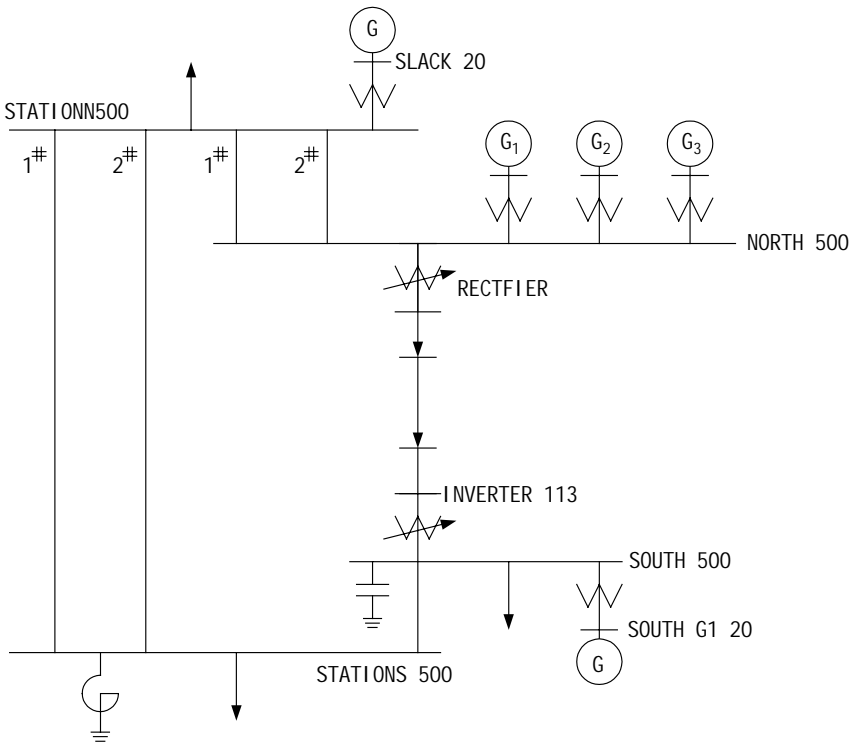


2) 输出的S13节点C相电压，即为过电压值。

3 直流系统

这里给出一个简化的直流系统及其稳定数据文件

3.1 网络结构图：





### 3.2 直流调节系统模型参数（供参考）

$T_c=0.09$  ,  $T_v=0.03$  ,  $T_1=4.6$  ,  $T_3=0.12$  ,  $K=249$  ,  $T_5=0$

定功率控制： $I_{\max}=1.2$  ,  $I_{\text{marg}}=0$ （整流侧）,  $I_{\text{marg}}=0.1$  ,  $\text{stop}=100$

```

CASE PFDC2
LS RECTIFIER113. INVERTER113. 5 5
LS SOUTH 500. STATIONS500. 1 1 0.0
LS SOUTH 500. STATIONS500. 1 -1 5.0
MC NORTH G120.0 4000. .01 2.
MC NORTH G220.0 4000. .01 2.
MC NORTH G320.0 4000. .01 2.
MC SLACK 20.0 4000. .006 2.
M SOUTH G120.0 1511. .9 H .2 .2 .064.08
MF SOUTH G120.0 7238. 1511 0.0.35 .7 0.9 0.7 7.6 0.0 0.18 2.
EJ SOUTH G120.0 0.0 30.0 .04 .0 -6.0 -3.224.03 0.0 .7
GH SOUTH G120.0 2000. .05 .25 .04 5.0 0.5 0.2 0.3 .25
D RECTIFIER113. .09 .03 4.60 .012 249.P 1.2 0.100. 1
D INVERTER113. .09 .03 4.60 .012 249.P 1.2 .10 100. 1
LB SOUTH 500. 0.5 0.5 0.5 0.5 1.8 -2.
LB STATIONN500. 0.5 0.5 0.5 0.5 1.8 -2.
LB STATIONS500. 0.5 0.5 0.5 0.5 1.8 -2.
LN RECTIFIER113.
LN INVERTER113.
FF 2.0 150.
90
MH
BH
B NORTH 500. 1
B SOUTH 500. 1
B STATIONN500. 1
B STATIONS500. 1
GH SLACK 20.0 1
G NORTH G120.0 1 1 1 1 1
G SOUTH G120.0 1 1 1 1 1
G SLACK 20.0 1 1 1 1 1
LH 1 3500. -500.
L NORTH 500. STATIONN500. 1 1
L STATIONN500. STATIONS500. 1 1
L NORTH 500. RECTIFIER113. 1 1
L SOUTH 500. INVERTER113. 1 1
DH
D RECTIFIER113. INVERTER113. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
99

```

### 4 放大步长

```
FF 2.0 150. 5.0 10
```

说明：1) 为了加快计算速度，节省计算时间，一般可在计算过程中改变积分步长，本例为在故障操作结束后，经10个步长后改变步长。

2) 加大积分步长后，一般对积分精度有一定影响，特别是在接近稳定极限的情况下，有可能造成比较大的误差，这时应以小步长计算结果为准。

### 5 重复输出

在做重复输出时，90-99卡应放在文件的前面，并且\*.SOL、\*.OPT两个求解文件应存在，若已删除，则不能进行重复输出。

```

90
MH
... ..
.
      OUTPUT SELECTIONS
.
... ..
99

```

## 附录 B 关于稳定曲线的说明

稳定程序的流程是这样的，计算过程中显示稳定摇摆曲线，缺省显示任意时刻的系统具有最大和最小绝对角度的机组间角度曲线、系统最低电压曲线及系统最低频率曲线，然后根据稳定数据文件输出卡片中用户填写输出内容（何变量，即节点名、发电机名、线路名等，变量的输出选择应为 2 或 3，才能浏览曲线），计算正常结束后，生成供稳定曲线工具（Curve Maker）使用的二进制文件\*.CUR，然后通过稳定曲线作图程序可以编辑、输出打印稳定曲线。

新版本（2.1 及以上）稳定程序在计算输出的过程中，即可浏览稳定曲线，曲线画面出现后按任一**键**继续，此时若中断程序的执行，程序将不能生成二进制作图文件（\*.CUR）。

若 MH 卡 78 列为非零数，则输出时不浏览稳定曲线。

应当注意的是，在输出时，输出部分卡片可能具有限幅作用，如发电机功角缺省限制在  $\pm 200$  度，发电机频差缺省限制在  $\pm 0.8\text{Hz}$ ，这样在一定的条件下，应用稳定曲线作图软件时，作出的曲线不理想，必要时处理的方法目前是在输出卡片中加大上下限。

										1										2										3										4										5										6										7										8																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																														
D	E	B	U	G																																																																																																																			
																																																		T <sub>1</sub>										T <sub>2</sub>										T <sub>3</sub>										T <sub>4</sub>										T <sub>5</sub>										T <sub>6</sub>																			
A5																																																												F5.1										F5.1										F5.1										F5.1										F5.1										F5.1									

中国电力科学研究院系统所

---

36	母线编号和发电机编号的分叉对照表
37	MATMOD中的Y阵 ,DCSUB中的直流数据表 ,CNTRL中的DNX ,DNXRLY
38	自动减负荷
39	负荷饱和数据 , INPUT1中的改变卡数据
40	简化直流线路模型
41	ZNO模型
42	无用
51-80	$T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 为时间窗口,若这些时间不为零,则只在指定的时间段内给出DEBUG信息,如: $T_1$ , $T_2$ 非零,则只在 $T_1 \leq T \leq T_2$ 内给出DEBUG信息,对 $T_3$ , $T_4$ 和 $T_5$ , $T_6$ 也同样处理。