

# PGL—64型多功能故障录波屏

## 可靠性估算分析

阿城继电器厂 晏国华 刘焱铎 姜振山

**摘要** 本文分析以元件计数法为主,结合继电保护运行特点,对PGL—64型多功能故障录波屏的可靠性特征量进行估算,为不断提高该屏的可靠性找出针对目标,同时也为开展产品可靠性设计积累实践经验。

### 一 产品用途及简单工作原理

PGL—64型多功能故障录波器屏(以下简称录波器屏)适用于110~500kV输电线路和大型发电机组自动记录电力系统故障时的电流、电压及功率的波形,以及继电保

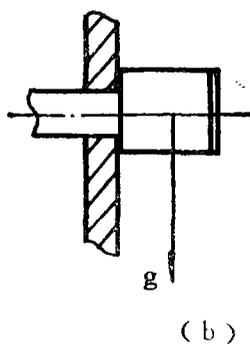
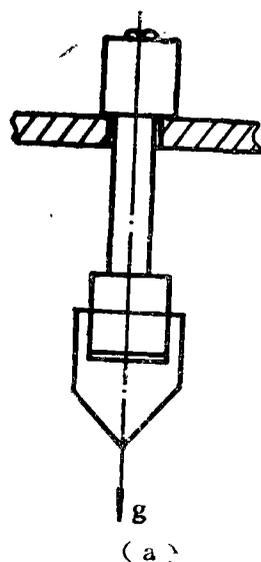
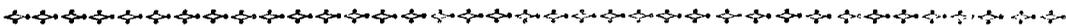


图10

施加压力4~6(档)

焊接质量试验:

1. 沿指示器轴向下拉,当拉力为85N时焊口不开裂见图10(a)所示:

2. 沿指示器轴线垂直施加拉力64N时不开裂见图10b所示。

这个焊接强度是足能满足指示器要求。

采用超声波焊接工艺组装的指示器,装在39台信号继电器上经过校验、检查全合格,说明这项工艺确实可行;目前已投入生产。

### 六 今后推广应用

超声波塑料焊接是一项成功的技术,在我厂应用前景也是很广泛的,如焊嵌件、插头、插座组装,塑料导轨与壳体铆焊……等等,这些工作有待进一步试验研究。

护装置、自动化装置及开关等的动作行为全过程。因为采用了ZSY—1型数字式多功能信号延迟装置，可以记录故障前64ms的波形及开关动作的顺序，从而为分析故障、采取反事故措施提供可靠依据。

故障录波屏主要由交流回路、直流回路、ZSY—1型数字式多功能信号延迟装置、振荡回路及SC—29型光线录波器等单元构成。原理框图见图1所示。

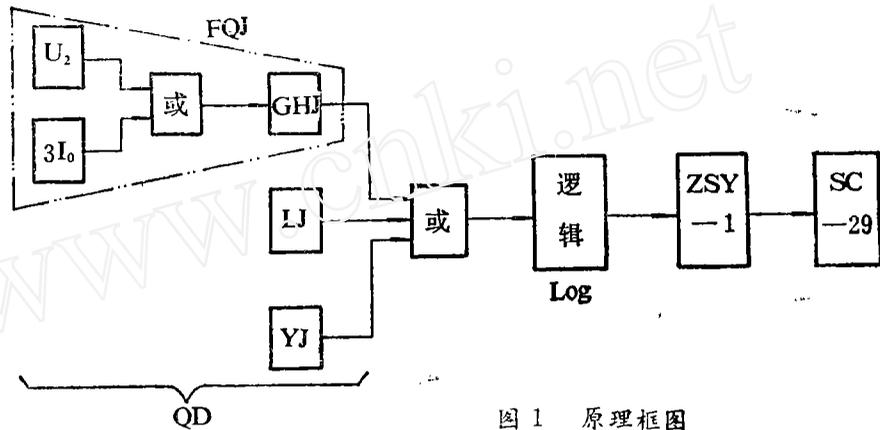


图1 原理框图

## 二 可靠性估算

### 1. 建立可靠性逻辑框图

该录波屏的单元有的是由各种继电器组成的硬接线逻辑，ZSY—1是集成的，还有的是由机械电子有机组成的，仍然适于以估算元件的通用失效率 $\lambda_G$ 为基础，求出各单元的失效率 $\lambda_{xx}$ 进而估算出整个屏的失效率 $\lambda_{PGL}$ 以及其它特征量。当然，为了简化，元件寿命都视为服从指数分布。为使估算结果留有裕度，逻辑框图采用串联方式较为合理，其可靠性逻辑框图如下：

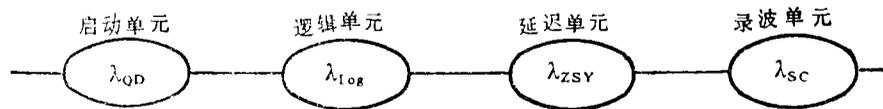


图2 可靠性逻辑框图

### 2. 元器件失效率的前期处理原则

- (1) 所有元器件都使用它的通用失效率 $\lambda_G$ 。
- (2) 环境分类都按“地面良好”，“代号 $G_B$ ”来选定 $\lambda_G$ 值，即环境系数 $\pi_x$ 都按 $G_B$ 考虑。
- (3) 质量系数 $\pi_Q$ 都选用质量等级 $B_1$ 所属的数值。
- (4) 电容器、电阻器、二极管与三极管都按降额系数 $S = 1/2$ 的5次幂法则处理，产品设计中已按此实施，实际上的 $S \leq 1/2$ ，选用 $S_{...}$ 是正确的。

(5) 所用继电器亦考虑它的降额设计效果, 针对不同的品种, 不同的暂态抑制方式而不同。

### 3. 所用继电器降额设计后的失效率前期处理

根据GJ B299—87, 对于电磁继电器、干簧继电器、电子时间继电器, 其工作失效率模型为:

$$\lambda_P = \lambda_b (\pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_{CYC} \cdot \pi_F) \quad (1)$$

式中各系数为:

$\lambda_b$ —基本失效率曲线, 见图 3~4 所示。

$\pi_E$ —环境系数, 该屏装在中控室、属于地面良好G<sub>B</sub>等级, 故  $\pi_E = 1$ 。

$\pi_Q$ —质量系数, 属于 B<sub>1</sub> 等级,  $\pi_Q = 2$ 。

$\pi_{CYC}$ —动作速率系数  $f < 1$  次/小时, 一般  $f < 2$  次/年 = 0.00023 次/小时。  $f < 1$  次/小时,  $\pi_{CYC} = 0.1$ ; 后者仍取  $\pi_{CYC} = 0.1$ , 裕度可谓甚足。

$\pi_F$ —应用、结构系数, 如表 1 所示。

(1) 计算与选取触点负载降额系数 S  
S—工作负载电流与额定阻性负载电流之比。S 的计算值与选取值列于表 2。

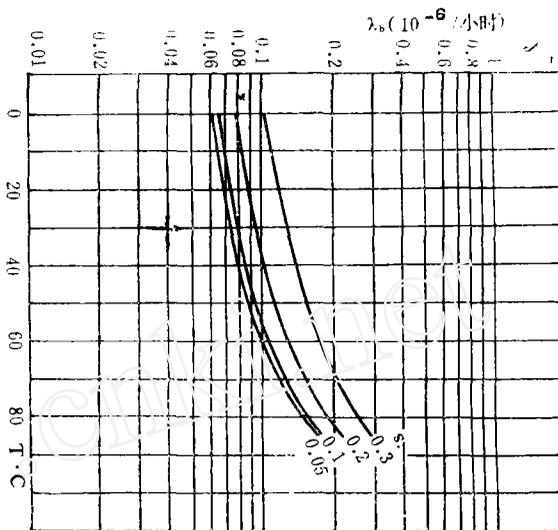


图 3 继电器感性负载基本失效率曲线

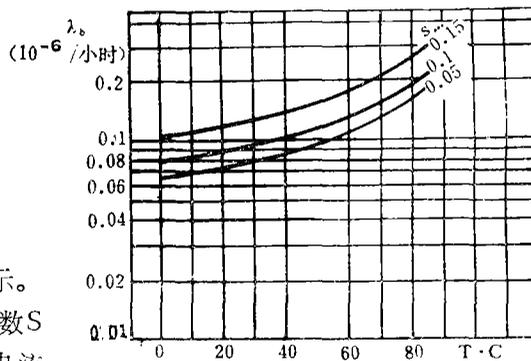


图 4 继电器灯负载基本失效率曲线

表 1 继电器应用结构系数 (摘录)

触点负载额定值	应用类别	结构类型	$\pi_F$
0~2 A	通用	衔铁式(长)	4
		平衡衔铁	6
	极化	衔铁(短)	1
	高速	衔铁(平衡和短) 干簧	13 1

表2 降额系数S的计算与选取

继电器符号、型号	计 算 值 $S_c$	选取S
FQJ→GHJ—SH13/1	35mA/200mA = 0.175	0.20
LJ→DL23C/10	35mA/160mA = 0.219	0.25
YJ→DY28C/160	同 上	0.25
FJJ→HY112	43mA/200mA = 0.215	0.25
1ZJ→DM—1	0.105A/2A = 0.0525	0.10
2ZJ→DZ31B/110V	0.081A/1A = 0.081	0.10
3ZJ→DZS12B/110V		0.30
1~3SJ—DS23C/220V	0.056A/1A = 0.056 0.045A/1A = 0.045	0.10
GXJ1~3 BSJ } DXM2A/220V	$\frac{0.00091A}{0.20000A} = 0.00455$	0.05
DJJ—DM—3	56mA/500mA = 0.112	0.15
KZJ—HG33/A2.5	56mA/200mA = 0.28	0.30

从表2中 $S_c$ 的范围为0.0045~0.28,充分说明该录波屏逻辑控制回路中,对于所有继电器的触头负载电流都考虑实施了降额系数 $S \leq 0.3$ 的可靠性设计原则。

(2) 计算各继电器的失效率  $\lambda_{PXXX}$

表3 失效率  $\lambda_{PXXX}$  计算表 单位:  $10^{-6}/hr$

继电器符号	S	图3~4曲线 $\lambda_b$	$\pi_E$	$\pi_Q$	$\pi_{CYC}$	$\pi_F$	按公式(1) $\lambda_{PXXX}$ ( $\lambda, i$ )
FQJ	0.2	0.25	1	2	0.1	1	0.01
LJ	0.25	0.27	1	2	0.1	13	0.176
YJ	0.25	0.27	1	2	0.1	13	0.176
FJJ	0.25	0.27	1	2	0.1	1	0.014
1ZJ	0.1	0.19	1	2	0.1	4	0.015
2ZJ	0.1	0.19	1	2	0.1	4	0.015
3ZJ	0.3	0.30	1	2	0.1	4	0.072
1~3SJ	0.1	0.19	1	2	0.1	4	0.015
GXJ1~3BSJ	0.05	0.19	1	2	0.1	1	0.002
DJJ	0.15	0.20	1	2	0.1	4	0.024
KZJ	0.30	0.30	1	2	0.1	1	0.018

#### 4. 单元失效率 $\lambda_{xx}$ 的计算

鉴于继电器的失效率已做前期处理，故而该屏所含单元失效率按下式计算：

$$\lambda_{xx} = \sum_{i=1}^m n_i (\lambda_{G_i} \pi_{Q_i}) + \sum_{j=1}^l \alpha_j \lambda_{P_j} \quad (2)$$

式(2)中

$\lambda_{G_i}$ —第*i*种元件的  $\lambda_G$ ；  $\pi_{Q_i}$ —其质量系数；

$n_i$ —含该元件的数量；  $m$ —所含种数。

$\lambda_{P_j}$ —第*j*种继电器的数量；  $l$ —所含种数；

$\alpha_j$ —含该继电器的数量。

#### (1) 启动单元失效率 $\lambda_{QD}$ 的计算

计算过程内容列于表4中。

表4  $\lambda_{QD}$  的计算

( $10^{-6}/hr$ )

元 器 件 名 称	失 效 率 或 $\lambda_{P_j}$ ( $10^{-6}/hh$ )	$\pi_Q$	含 量 $n$ 或 $\alpha$	$n\lambda$ 或 $\alpha\lambda_{P_j}$
输入交流器	0.29	0.5	1	0.145
金属膜电容器	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.08$	0.5	5	0.006
电解电容器	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.32$	0.5	1	0.005
线绕电阻器	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.34$	0.6	3	0.019
金属膜电阻	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.083$	0.6	1	0.002
电位器(线绕)	1.8	0.5	7	6.300
二极管	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.27$	0.4	10	0.034
稳压管	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.50$	0.7	1	0.011
FQJ干簧继电器	0.01		1	0.010
LJ电流继电器	0.176		1	0.176
YJ电压继电器	0.176		1	0.176
焊接点	0.0013	1	59	0.077
螺丝接点	0.02	1	19	0.380
单元失效率 $\lambda_{QD}$				7.341

得出： $\lambda_{QD} = 7.341 \times 10^{-6} / hr$

(2) 逻辑控制单元失效率  $\lambda_{L.O.g}$  的计算  
 计算内容列于表 5 中。

表 5  $\lambda_{L.O.g}$  的计算 (  $10^{-6}/hr$  )

元 器 件 名 称	$\lambda_{Pj}$ 或 $\lambda_G$ ( $10^{-6}/hr$ )	$\pi_Q$	含 量 $\alpha$ 或 $n$	$\alpha \lambda_{Pj}$ 或 $n \lambda_G \pi_Q$
FJJ 极化继电器	0.014		1	0.014
1ZJ 电码继电器	0.015		1	0.015
2ZJ 中间继电器	0.015		1	0.015
3ZJ 中间继电器	0.072		1	0.072
1~3S1 时间元件	0.015		3	0.045
GXJ 1~3 信号元件 BSJ	0.002		4	0.008
DJJ 电码继电器	0.024		1	0.024
KZJ 干簧继电器	0.018		1	0.018
金属膜电容器	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.08$	0.5	10	0.013
线绕电阻器	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.34$	0.6	17	0.108
二 极 管	$(\frac{1}{2})^5 \times 0.27$	0.4	4	0.014
可 控 硅	1.00	0.7	1	0.700
按钮开关	1.48	1	2	2.960
小转换开关	5.18	1	1	5.180
焊 接 点	0.0013	1	86	0.119
螺 丝 接 点	0.02	1	682	13.640
单元失效率 $\lambda_{L.O.g}$				22.904

得出  $\lambda_{L.O.g} = 22.90410^{-6}/hr$ 。

(3) ZSY—1 信号延迟装置失效率  $\lambda_{ZSY}$  的计算

另行计算, 详见附件《ZSY—1 型数字式多功能信号延迟装置可靠性估算分析》, 估算结果为:

$$\lambda_{ZSY} = 63.734 \times 10^{-6} / hr.$$

如果把它与 SC—29 光线录波器等相连接的 235 个螺丝连接点的失效率一并计算, 则

可得:

$$\lambda'_{z,y} = (63.734 + 0.02 \times 235) \times 10^{-6} / \text{hr}$$

$$= 68.434 \times 10^{-6} / \text{hr}.$$

(4) SC—29录波器失效率  $\lambda_{sc}$  的估计

该产品系从上海电表厂购入, 经电讯联系目前尚无M T BF的预计值与现场运行统计值, 但从表7所列PGL—64屏的运行评语(价)反馈信息中, 可以确信SC—29的可靠性特征量同屏中其它单元是完全互相适应的。鉴于此, 本文采取相似单元模糊分析法估算SC—29的特征量。

表6 PGL—64运行反馈信息

运行单位	台数	投入日期	累计运行时间 (小时)	失效原因	失效次数	运行评语
新华发电厂	1	87.04.20	27,168		0	正动11次波形完整
包头二热电厂	1	87.06.10	25,944		0	性能稳定运行可靠
西格木变电所	1	88.06.20	16,950		0	性能稳定波形清晰
乌拉山发电厂	1	89.07.15	7,600	调试中发现轮系发死	1	投运正常一直稳定
合计	4		77,662		1	

①模糊加权均值法

根据SC—29的构成原理同其它单元对比, 按照它们之间的近似程度, 给出已知单元的  $\lambda_{xx}$  以权数(即相似程度的隶属函数值)而后求均值, 做为SC—29的  $\lambda_{sc}$  值。

相似程度分七级, 连同加权如下:

0.9    0.8    0.65    0.5    0.35    0.2    0.1  
 很近    较近    稍近    一般    稍远    较远    很远。

对比加权如表7所列。

表7 对比加权表

SC	QD	Log	ZSY
部分分立元件, 部分电器与传动	部分分立元件, 部分继电器	少数分立元件, 大部为继电器	大部分为集成电路, 另有400多螺丝接点
相似程度	较近	稍近	很远
加权系数 $\mu$	0.80	0.65	0.1
已知单元 $\lambda_{xxx}$ ( $10^{-6}/\text{hr}$ )	7.341	22,904	68,434
$\mu \lambda_{xxx}$ ( $10^{-6}/\text{hr}$ )	5.873	14,888	6.843

$$\lambda'_{sc} = \frac{1}{3} \sum \mu \lambda_{xxx} = \frac{5.873 + 14,888 + 6.843}{3} = 9.201$$

( $10^{-6}/\text{hr}$ )

② M T B F 均值法

从表 6 中累计运行时间合计为 77,662hr, 到 1990 年 5 月 20 日止, 平均每面 PGL-64 屏的 M T B F 为 19,415hr, 说明每个单元的运行值都应近于或大于此值, 单元 M T B F 之间也应基本协调, 意味着  $(M T B F)_{i\bar{z}}$  可用  $(M T B F)_{OD}$ 、 $(M T B F)_{Loz}$  与  $(M T B F)_{zsy}$  的均值估算。

$$(M T B F)_{OD} = 1 / 7.341 \times 10^{-6} = 136221 \text{hr}$$

$$(M T B F)_{Loz} = 1 / 22.904 \times 10^{-6} = 43660 \text{hr}$$

$$(M T B F)_{zsy} = 1 / 68.434 \times 10^{-6} = 14612 \text{hr}$$

$$(M T B F)_{i\bar{z}} = \frac{136221 + 43660 + 14612}{3} = 64831 \text{hr}$$

可求出:

$$\lambda'_{i\bar{z}} = \frac{1}{64831} = 15.425 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

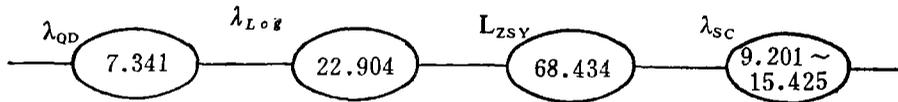
③  $\lambda_{i\bar{z}}$  的模糊范围

从  $\lambda'_{i\bar{z}}$  与  $\lambda''_{i\bar{z}}$ , 可知  $\lambda_{i\bar{z}}$  的模糊范围为:

$$9.201 \times 10^{-6} / \text{hr} \leq \lambda_{i\bar{z}} \leq 15.425 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

5. PGL-64 可靠性特征量的估算

(1) 按照图 2 逻辑框图填上单元  $\lambda_{xxx}$  数值得:



(2) 屏的失效率  $\lambda_{PGL}$ 、 $(M T B F)_{PGL}$

· 很易求出它的范围为:

$$107.88 \times 10^{-6} / \text{hr} \leq \lambda_{PGL} \leq 114.104 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

$$9270 \text{hr} \geq (M T B F)_{PGL} \geq 8764 \text{hr}$$

(3) 屏的有效度  $A_{PGL}$

已知  $M T T R_{m \bar{a} x} = 2 \text{hr}$ ,

因此,  $A_{PGL}$  的范围为:

$$0.99978 \geq A_{PGL} \geq 0.99977$$

若取小数点后第四位数, 则可得:

$$A_{PGL} = 0.9997 \text{ 或 } 99.97\%$$

即屏的无效度仅为 0.03%。

(4) PGL-64 可靠性特征量汇集

$$\lambda_{PGL} = 107.88 \sim 114.104 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

$$(M T B F)_{PGL} = 8764 \sim 9270 \text{hr}$$

$$A_{PGL} = 99.97\%$$

### 三 估算后的分析

1. 估算出来的  $\lambda_{PGL}$ ,  $(MTBF)_{PGL}$  与  $A_{PGL}$  都留有裕度, 故数值是可信的。
2. 关键的单元在于 ZSY—1 信号延迟装置, 它的  $\lambda'_{ZSY}$  占  $\lambda_{PGL}$  的 60%~62%, 具体因素详见附件 1, 不在重述。
3. 在降低单元的  $\lambda_{OD}$  与  $\lambda_{L0}$  措施主要是:
  - (1) 分立元件的降额设计, 按 5 次幂下降。
  - (2) 所有继电器的触头负载电流都实施了降额系数  $S \leq 0.3$  的设计原则, 并采用感性负载通断瞬间过载保护电路。
4. 类似 SC—29 的可靠性特征量的模糊分析相似系统方法, 虽有待验证, 但不失其参考价值。

#### 参考文献

- [1] GJ B299—87 电子设备可靠性预手册。
- [2] 可靠性基础及其应用 机械工业部仪器仪表局 1985.03 出版。
- [3] 电子可靠性工程 国防工业出版社 1987.05 出版。
- [4] 晏国华. 附件 1. ZSY—1 型数字式多功能信号延迟装置可靠性估算分析. 1990.05.

#### 附件

## ZSY—1 型数字式多功能信号延迟

### 装置可靠性估算分析

**摘要:** 本文采用元件计数法为基础以及可靠性设计技术, 对 ZSY—1 型信号延迟装置进行可靠性定量估算, 据以提出该装置的可靠性保证措施, 同时它的可靠性特征量作为 PGL—64 型多功能故障录波器屏可靠性估算中的主要单元数据。当然也是为开展机电产品可靠性设计积累实践经验。

#### 一 产品用途及原理

ZSY—1 型数字式多功能信号延迟装置 (以下简称信号延迟装置), 具有记录电

流、电压波形和开关量（事件记录）并延迟64ms，显示时间量（小时、分、秒），记录时间量（小时、分）等功能。本装置与继电器、SC—29型光线录波器等配合，适用于大、中型变电所，水、火电站，在电力系统故障时，自动记录电压、电流、功率波形和继电保护、自动化装置和开关等故障前、后的动作行为（故障前64ms），作为分析电力系统故障的主要依据。

信号延迟装置由波形信号延迟电路、开关量记录延迟电路和时间记录电路等部分组成，全部采用CMOS器件，按正逻辑设计，其原理框图见图1所示。

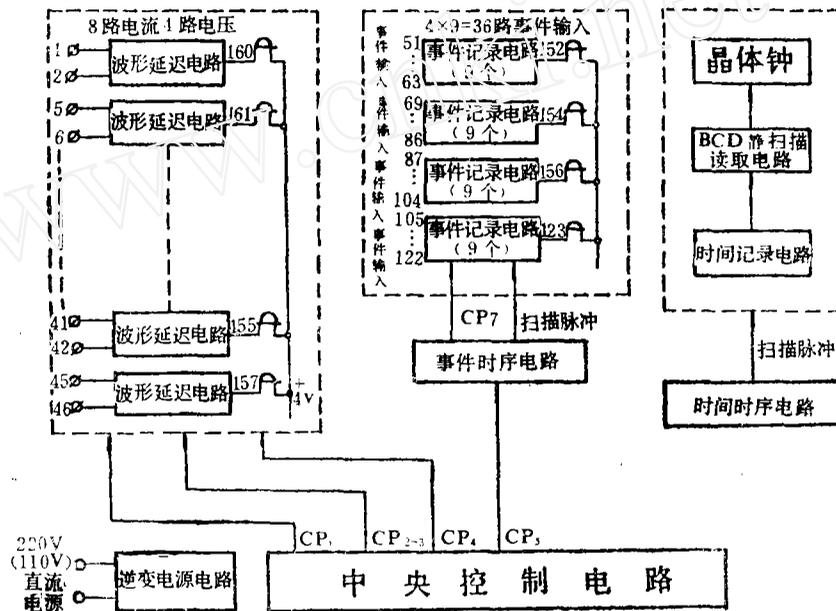


图1 原理框图

## 二 可靠性估算

### 1. 可靠性特征量的初选

鉴于该装置属于微电子型，包括许多中小规模集中电路、电子元器件、焊点与接插件，适于估算元器件的失效率 $\lambda$ ，为简化计，每个元器件的寿命数都可视为服从指数分布，可便于求出别的特征量，即选用 $\lambda$ 为基础特征量。

### 2. 建立可靠性逻辑框图

根据图1原理框图五个单元的功能作用，一旦某一单元发生失效对整个装置产生不可靠的影响状态，可绘出该装置可靠性逻辑框图如图2所示。为避免估算结果裕度不够，采用串联方式较为合适。



图2 可靠性逻辑框图

3. 数清单元中的元器件与连接点的数量  
 这些数量列于表1中。

表1 单位：个

元 器 件 名 称	逆变电源	中央控制	波形延迟	事件时序	时间记录
输入变流器	—	—	1 × 12	—	—
输入变压器	2	—	1 × 4	—	—
集成电路片	2	5	7 × 12	32	24
三 极 管	4	3	1 × 12	1	2
电 位 器	3	2	4 × 12	4	1
电解电容器	4	1	4 × 12	80	9
金属膜电容	8	2	1 × 12	—	—
金属膜电阻	8	11	18 × 12	227	11
压 板	—	—	4 × 12	—	—
电感线圈	2	—	—	—	—
二 极 管	2	7	2 × 12	50	2
稳 压 管	1	—	—	—	—
石英晶体	—	—	—	—	1
30 线 插 头	5	—	—	—	—
钮 子 开 关	2	—	—	—	—
密封中间继电器	1	—	—	—	—
印刷板上焊点	374	96	110 × 12	1039	338
螺丝紧压接点	2	—	11 × 12	75	2
连接焊点	150	—	—	—	—

4. 单元失效率的估算依据

(1) 元器件通用失效率 $\lambda_0$ 的依据

按GJB299—87的规定，通用失效率是指在某一环境类别中，在通用工作环境温度和常用工作应力条件下的失效率。在本文估算时，都采用此通用失效率。

4.2 计(估)算公式的选定

估算公式如下:

$$\lambda_{xx} = \sum_{i=1}^m n_i (\lambda_{G_i} \pi_{Q_i}) \quad (1)$$

式(1)中:  $\lambda_{G_i}$ ——第*i*种元器件的 $\lambda_G$ ;  
 $\pi_{Q_i}$ ——相应的质量系数;  
 $n_i$ ——单元中所含的数量;  
 $m$ ——单元中所含的元器件种数。

### (3) 通用工作环境温度的选择

该装置工作温度范围为  $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ , 取其中间值  $+30^{\circ}\text{C}$ , 它又工作在地面良好的室内, 故它的环境分类代号按 GJB299—87 表 1.5 与表 3—1 须定为  $G_B$ 。据此方能选取  $\lambda_G$  的数值。

### (4) 质量系数 $\pi_Q$ 的选择

大部分元器件都是经过具有针对性筛选的 B<sub>2</sub> 质量等级的产品, 根据 GJB299—87 中 1.4 条款规定与表 3—10、11、12 中所列, 元器件的质量系数  $\pi_Q$  都按 B<sub>1</sub> 等级选择。

### (5) 降额设计因素的考虑

该装置充分对于元器件实施了降额设计, 以求降低失效率, 其设计原则都符合文献 [1] 表 8—5 室内设备元器件的降额要求:

电容器——工作电压  $\leq \frac{1}{2}$  标称电压;

电阻器——工作损耗  $\leq \frac{1}{2}$  标称功率;

二、三板管——电压  $\leq 0.6$  标称电压;  
电流  $\leq 0.75$  标称电流;  
功耗  $\leq \frac{1}{2}$  标称功率。

上述元器件的降额系数  $S$  都可定为  $\frac{1}{2}$ , 按 5 次幂法则, 即  $S^5 = (\frac{1}{2})^5 = \frac{1}{32}$  乘以  $\lambda_G$ , 给以前期数据处理之。

## 5. 单元失效率 $\lambda_{xx}$ 的估算

(1) 逆变电源的  $\lambda_{PS}$ 、中央控制的  $\lambda_{CC}$ 、事件时序的  $\lambda_{ES}$  与时间记录的  $\lambda_{TR}$  的估算按照上节的估算依据, 估算结果列于表 2 中。

估算结果为:

$$\begin{aligned} \lambda_{PS} &= 10.548 \times 10^{-6} / \text{hr}, \\ \lambda_{CC} &= 2.090 \times 10^{-6} / \text{hr}, \\ \lambda_{ES} &= 10.274 \times 10^{-6} / \text{hr}, \\ \lambda_{TR} &= 5.216 \times 10^{-6} / \text{hr}. \end{aligned}$$

### (2) 波形延迟单元失效率 $\lambda_{WD}$ 的估算

该单元属于多态可修复系统, 依照图 1, 允许它在无破坏性失效的情况下具有性能

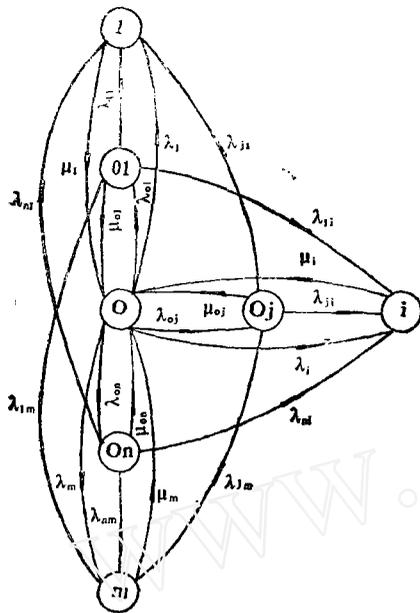
表 2

注：个数为

元 器 件	通用失效率 $\lambda_G$ ( $10^{-6}/hr$ )	B <sub>1</sub> 等级的 质量系 数 $\pi_Q$	逆变单元	中 控 单 元	事件单元	时间单元
			$\frac{n}{n} \lambda_G \pi_Q$	$\frac{n}{n} \lambda_G \pi_Q$	$\frac{n}{n} \lambda_G \pi_Q$	$\frac{n}{n} \lambda_G \pi_Q$
输入变压器	0.29	0.5	$\frac{2}{0.29}$			
集成电路片 (11—20门)	0.25	0.5	$\frac{2}{0.25}$	$\frac{5}{0.625}$	$\frac{32}{4.0}$	$\frac{24}{3.0}$
三 极 管	$\frac{1}{2} \times 1.1$	0.4	$\frac{4}{0.055}$	$\frac{3}{0.04125}$	$\frac{1}{0.01375}$	$\frac{2}{0.0275}$
电位器(实芯)	1.25	0.5	$\frac{3}{1.075}$	$\frac{2}{1.25}$	$\frac{4}{2.50}$	$\frac{1}{0.625}$
电解电容	$\frac{1}{2} \times 0.32$	0.5	$\frac{4}{0.02}$	$\frac{1}{0.005}$	$\frac{80}{0.4}$	$\frac{9}{0.045}$
金膜电容	$\frac{1}{2} \times 0.08$	0.5	$\frac{8}{0.01}$	$\frac{2}{0.0025}$		
金膜电阻	$\frac{1}{2} \times 0.083$	0.6	$\frac{8}{0.0125}$	$\frac{11}{0.0172}$	$\frac{227}{0.3541}$	$\frac{11}{0.0172}$
电感线圈	0.019	0.7	$\frac{2}{0.0266}$			
二 极 管	$\frac{1}{2} \times 0.27$	0.4	$\frac{2}{0.0068}$	$\frac{7}{0.0237}$	$\frac{50}{0.169}$	$\frac{2}{0.0068}$
稳 压 管	$\frac{1}{2} \times 0.50$	0.7	$\frac{1}{0.0109}$			
石英晶体	1.45	$\frac{\pi_B}{1}$				$\frac{1}{1.45}$
30线插头	0.31	0.8	$\frac{5}{1.24}$			
钮子开关	1.48	1	$\frac{2}{2.96}$			
密封中间	1.67	2	$\frac{1}{3.34}$			
印刷板上焊点	0.0013	$\frac{\Pi_B}{1}$	$\frac{374}{0.4862}$	$\frac{96}{0.1248}$	$\frac{1039}{1.3507}$	$\frac{388}{0.5044}$
螺丝连接点	0.02	1	$\frac{2}{0.04}$		$\frac{75}{1.5}$	$\frac{2}{0.04}$
连接焊点	0.0013	1	$\frac{150}{0.195}$			
单元失效率 $\lambda_{XX}$	( $10^{-6}/hr$ )		$\frac{10,548}{\lambda_{PS}}$	$\frac{2,090}{\lambda_{CC}}$	$\frac{10,274}{\lambda_{ES}}$	$\frac{5,216}{\lambda_{TR}}$

降低工作状态，若再出现失效，那就必须进行修复。参考文献 [2]，可将该系统画出图 3 所示的马尔科夫图。得到：

$$\text{系统等效的失效率 } \lambda_{WD} = \sum_{i=1}^m \lambda_i + \left( \sum_{j=1}^n \lambda_{o_j} \left( \sum_{i=1}^m \lambda_{i,i} \right) / \left( \mu_{o_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_{i,i} \right) \right) \quad (2)$$



○——完好工作状态，

第 $i$  ( $=1, 2, \dots, m$ ) 种可修复失效状态 $i$ ，

第 $j$  ( $=1, 2, \dots, n$ ) 种性能降级工作状态 $0j$ ，

状态间的转移率都为常数。

图3 多态单元系统的马氏图

①确定公式(2)中的结构参数

——性能降级工作状态 $j=1, 2, 3$ ，  
即 $n=3$ 。该单元具有12条电路，参数构成相同。它分为3组，两组接入电流( $I_1, I_2, I_3, I_0$ )一组接入电压( $V_1, V_2, V_3, V_0$ )或还是接入电流同前。允许每一组中有一条电路失效转移为降级工作状态，故 $n=3$ 。

——可修复失效状态 $i$ 的种数决定于电路的条数12减去允许降级工作的状态数(即 $n=3$ )之差，即 $m=12-3=9$ ，换言之，  
 $i=1, 2, \dots, 9$ 。

②估算每条(1条)电路的失效率 $\lambda_L$

根据表1与公式(1)估算如下：

表3

元器件名称	通用失效率 $\lambda_G$ ( $10^{-6}/hr$ )	B1等级的质系 $\pi_Q$	元件个数 $n$	$n \lambda_G \pi_Q$
输入变流(压)器	0.29	0.5	1	0.145
集成电路片	0.25	0.5	7	0.875
三级管	$\frac{1}{2}^5 \times 1.1$	0.4	1	0.0138
电位器	1.25	0.5	4	2.500
电解电容	$\frac{1}{2}^5 \times 0.32$	0.5	4	0.020
金膜电容	$\frac{1}{2}^5 \times 0.08$	0.5	1	0.0013
金膜电阻	$\frac{1}{2}^5 \times 0.083$	0.6	18	0.028
压(接)板	0.001	0.8	4	0.0032
二极管	$\frac{1}{2}^5 \times 0.27$	0.4	2	0.0068
印刷板上焊点	0.0013	$\frac{\pi_B}{1}$	110	0.143
螺丝紧压接点	0.02	1	11	0.220
1条电路失效率 $\lambda_L$	$10^{-6}/hr$			3.9564

估算结果, 每条电路的失效率 $\lambda_L$ 为:

$$\lambda_L = 3.9561 \times 10^{-6} / \text{hr}.$$

③确定公式(2)中的各种转移失效率

——性能降低工作状态 $oj$ 时, 状态 $0$ 与 $oj$ 间的转移率 $\lambda_{0j}$ 与 $\mu_{0j}$ 分别为:

(a) 只有一组发生降低工作的转移率

$$\lambda_{01} = \lambda_L = 3.9561 \times 10^{-6} / \text{hr},$$

(b) 同时两组发生降低工作的转移率

$$\lambda_{02} = \frac{1}{2} \lambda_L = 1.978 \times 10^{-6} / \text{hr},$$

(c) 同时三组发生降低工作的转移率

$$\lambda_{03} = \frac{1}{3} \lambda_L = 1.3187 \times 10^{-6} / \text{hr}.$$

(d) 选取最大的平均修理时间

$$\text{MTTR}_{max} = 2 \text{hr}, \text{ 则维修率 } \mu_{0j}$$

$$\mu_{0j} = 1 / \text{MTTR}_{max} = 500000 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

——可(需)修复失效状态 $i$ 时, 状态 $0$ 与 $i$ 间的转移率 $\lambda_i$ 与 $\mu_i$ 分别为:

(a)  $\lambda_i = \lambda_L = 3.9561 \times 10^{-6} / \text{hr},$

(b)  $\mu_i = \mu_{0i} = 0.5 / \text{hr}.$

——状态 $oj$ 到 $i$ 的转移率 $\lambda_{ji}$ 亦为:

$$\lambda_{ji} = \lambda_L = 3.9561 \times 10^{-6} / \text{hr}.$$

④估算波形延迟单元的等效失效率 $\lambda_{WD}$

(a) 和式计算:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i = \sum_{i=1}^9 \lambda_i = 9 \times \lambda_L = 35.6049 \times 10^{-6} / \text{hr}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_{0j} &= \sum_{j=1}^3 \lambda_{0j} = \lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} \\ &= (3.9561 + 1.9780 + 1.3187) \times 10^{-6} / \text{hr}. \\ &= 7.2309 \times 10^{-6} / \text{hr}. \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{ji} = 9 \times 3.9561 \times 10^{-6} / \text{hr} = 35.6049 \times 10^{-6} / \text{hr}.$$

(b) 失效率 $\lambda_{WD}$ 的估算

将和式计算结果代入公式(2)得:

$$\begin{aligned} \lambda_{WD} &= \left[ 35.605 + \frac{7.231 \times 35.605}{500000 + 35.605} \right] \times 10^{-6} / \text{hr}. \\ &= (0.0005 + 35.605) \times 10^{-6} / \text{hr}. \\ &= 35.606 \times 10^{-6} / \text{hr} \end{aligned}$$

## 6. 可靠性特征量的估算

### (1) 装置总平均失效率 $\lambda_{ZSY}$ 的估算

根据图 2, 串联结构的逻辑框, 很易求出:

$$\begin{aligned}\lambda_{ZSY} &= \lambda_{PS} + \lambda_{CC} + \lambda_{WD} + \lambda_{ES} + \lambda_{TR} \\ &= (10.548 + 2.09 + 35.606 + 10.274 + 5.216) \cdot 10^{-6} / \text{hr} \\ &= 63.734 \times 10^{-6} / \text{hr}\end{aligned}$$

### (2) 装置平均无故障工作时间 MTBF

$$\begin{aligned}\text{MTBF}_{ZSY} &= \frac{1}{\lambda_{ZSY}} = \frac{1}{63.734 \times 10^{-6}} \\ &= 15690 \text{hr}\end{aligned}$$

### (3) 装置的有效度 A

$$\begin{aligned}A_{ZSY} &= \frac{\text{MTBF}_{ZSY}}{\text{MTBF}_{ZSY} + \text{MTTR}_{max}} \\ &= \frac{15690}{15690 + 2} = 0.99987\end{aligned}$$

### (4) 特征量汇集如下, 以便查用

$$\lambda_{ZSY} = 63.734 \times 10^{-6} / \text{hr},$$

$$\text{MTBF}_{ZSY} = 15690 \text{hr},$$

$$A_{ZSY} = 0.99987.$$

## 三 估算后的分析

### 1. 装置的用途与可靠性特征量的关系

该装置用以记录电力系统故障前、后的电流、电压、功率波形变化以及自动保护装置、开关动作行为, 它属于检测记录系统, 测量三相四线电量时, 允许短期处于性能降低工作状态 (见二之 5 (2)), 而不像继电保护系统那样, 一旦某一电路发生失效, 就须立即维修, 恢复正常, 以免扩大电力系统的故障范围。因此, 该装置具有这种“允许工作状态”, 无疑起到了部分冗余作用, 这称之为“多态可修复系统”。

### 2. 可靠性设计方面

#### (1) 决定装置失效率的关键元器件如下:

##### ① 实芯电位器, 它的失效率 ( $n \lambda_C \pi_0$ 值)

(a) 在  $\lambda_{PS}$  中, 占 17.78 %;

(b) 在  $\lambda_{CC}$  中, 占 59.81 %;

(c) 在  $\lambda_{WD}$  中, 占 63.19 %;

(d) 在  $\lambda_{ES}$  中, 占 24.33 %;

(e) 在  $\lambda_{TR}$  中, 占 11.98 %。

(下转 20 页)

- [4] Dommel, H. W., Michels, J. M. . High Speed Relaying  
Using Travelling Wave Transient Analysis. *ibid.* A78—214—9
- [5] Johns, A. T. : New Ultra High Speed Directional Comparison  
Techniques for the Protection of E.H.V. Transmission Lines.  
*IEE Proc.*, Vol 127, Pt. c. No. 4, July 1980.
- [6] Vitins, M. : A Fundamental Concept of High Speed Relaying.  
*IEEE Trans.* Vol. PAS—100, No. 1, 1981.
- [7] Crossley, P. A. : Distance Protection Based on Travelling  
Waves. *ibid.*, Vol. PAS—102, No. 9, 1983.

(上接封三)

(f) 在整个装置的  $\lambda_{ZSY}$  中, 占56.88%。

说明在设计上采用通用失效率最小的实芯电位器是合理的, 否则会使  $\lambda_{ZSY}$  增长到该装置可靠性太低不能应用的程度。如有办法减少电位器的含量, 或用失效率小的元器件代用, 则装置可靠性特征量会更加改进。

② 钮子开关与密封小型中间继电器, 二者失效率之和

(a) 在  $\lambda_{PS}$  中, 占59.73%。

(b) 在  $\lambda_{ZSY}$  中, 占9.88%。

(2) 降额设计在二极管、三极管、电容器与电阻器上的实施, 起到了十分有效的提高可靠性的作用, 现以金属膜电阻器为例, 如果降额系数S由1/2减小为1/1.5时, 将使  $\lambda_{ES}$  由  $10.274 \times 10^{-6} / \text{hr}$  上升到  $11.409 \times 10^{-6} / \text{hr}$ , 即失效率增长11.04%。

(3) 中控电路中采用“Y”字工况显示, 每0.82秒通断一个循环, 对工况给以监视是符合可靠性设计原则的。

### 3. 可靠性制造方面

(1) 集成电路片坚持在国内一个公司购用MC系列有利于保证产品可靠性。

(2) 元器件坚持严格老化筛选, 因该装置没有冗余电路, 显得更为必要。

(3) 该装置出厂前进行高温处理方式的可靠性增长试验, 剔除元器件早期失效同样是不可忽略的。

4. 该估算结果符合实际运行情况, 其特征量数值可以参考使用。

## 后 记

本估算分析, 是在阿城电站自动化所刘景锋设计师协助下完成的, 对此表示衷心谢意, 特此声明。

### 参考文献

GJB299—87电子设备可靠性预计手册。

[1] 可靠性基础及其应用。机械工业部仪器仪表局出版 1985.03.

[2] 电子可靠性工程。国防工业出版社出版。1987.05