

## 1. 判断题 (共 20 分, 每题 2 分, 答错倒扣 1 分)

- (1) (  ) 系统可靠性与维修性决定了系统的可用性和可信性。
- (2) (  ) 为简化故障树, 可将逻辑门之间的中间事件省略。
- (3) (  ) 在系统寿命周期的各阶段中, 可靠性指标是不变的。
- (4) (  ) 如果规定的系统故障率指标是每单位时间 0.16, 考虑分配余量, 可以按每单位时间 0.2 进行可靠性分配。
- (5) (  ) MTBF 和 MFHBF 都是基本可靠性参数。
- (6) (  ) 电子元器件的质量等级愈高, 并不一定表示其可靠性愈高。
- (7) (  ) 事件树的后果事件指由于初因事件及其后续事件的发生或不发生所导致的不良结果。
- (8) (  ) 对于大多数武器装备, 其寿命周期费用中的使用保障费用要比研制和生产费用高。
- (9) (  ) 所有产品的故障率随时间的变化规律, 都要经过浴盆曲线的早期故障阶段、偶然故障阶段和耗损故障阶段。
- (10) (  ) 各种产品的可靠度函数曲线随时间的增加都呈下降趋势。

## 2. 填空题 (共 20 分, 每空 2 分)

- (1) MFHBF 的中文含义为 平均故障间隔飞行小时。
- (2) 平均故障前时间 MTTF 与可靠度  $R(t)$  之间的关系式是  $T_{TF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$ 。
- (3) 与电子、电器设备构成的系统相比, 机械产品可靠性特点一是寿命不服从 指数 分布, 二是零部件 标准化 程度低。
- (4) 在系统所处的特定条件下, 出现的未预期到的通路称为 潜在通路。
- (5) 最坏情况容差分析法中, 当网络函数在工作点附近可微且变化较小、容差分析精度要求不高、设计参数变化范围较小时, 可采用 线性展开法; 当网络函数在工作点可微且变化较大, 或容差分析精度要求较高, 或设计参数变化范围较大时, 可采用 直接代入法。
- (6) 一般地, 二维危害性矩阵图的横坐标为严酷度类别, 纵坐标根据情况可选下列三项之一: 产品危害度、模式危害度 或 故障概率等级。

### 3. 简要描述故障树“三早”简化技术的内容。(10分)

答: 故障树的“三早”简化技术包括早期逻辑简化(1分)、早期模块分解(1分)和早期不变化(1分)。

早期逻辑简化是根据布尔代数的运算规则,对故障树中多余的逻辑事件和逻辑门进行简化。逻辑简化要求从故障树分析开始进行。(1分)

早期模块分解是指从整个故障树中分割出若干模块,把分割出的模块用一个“准底事件”代替,单独进行最小割集分析和概率计算(1分)。故障树的模块是故障树中至少2个底事件的集合(1分),向上可到达同一逻辑门,而且必须通过此门才能到达顶事件,该逻辑门称为模块的输出或顶点(1分)。模块不能有来自其余部分的输入,而且不能有与其余部分重复的事件。(1分)

早期不变化对于重复事件多、无法用模块分解法进行简化的故障树,可有效消除重复事件(1分)。其规则是:与门的输入、输出均不变,而或门的输入则需不变化——除第一个输入保持不变外,其余输入变为新增的与门(1分)。

4. 写出故障率、可靠度及故障密度函数的定义式, 推导出三者的关系式, 并最终推导出可靠度与故障率函数的关系式。(20 分)

$$\text{解: } \lambda(t) = \frac{dr(t)}{N_s(t)dt} \quad (1 \text{ 分})$$

式中:  $\lambda(t)$  —— 故障率;

$dr(t)$  ——  $t$  时刻后,  $dt$  时间内故障的产品数;

$N_s(t)$  —— 残存产品数, 即到  $t$  时刻尚未故障的产品数。(1 分)

$$R(t) = \frac{N_0 - r(t)}{N_0} \quad (1 \text{ 分})$$

式中:  $N_0$  ——  $t=0$  时, 在规定条件下进行工作的产品数;

$r(t)$  —— 在 0 到  $t$  时刻的工作时间内, 产品的累计故障数 (产品故障后不予修复) (1 分)

上式中:  $N_s(t) = N_0 - r(t)$  (1 分)

$$\text{在两态假设的系统中, 不可靠度 } F(t) = 1 - R(t) = \frac{r(t)}{N_0} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{而故障密度函数 } f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{dr(t)}{dt} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\lambda(t) = \frac{dr(t)}{N_s(t)dt} = \frac{dr(t)}{N_0(t)dt} \frac{N_0(t)}{N_s(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{过程 1 分, 结果 1 分})$$

$$\therefore f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

$$\therefore \lambda(t)dt = -\frac{dR(t)}{R(t)}$$

(过程 3 分, 结果 3 分)

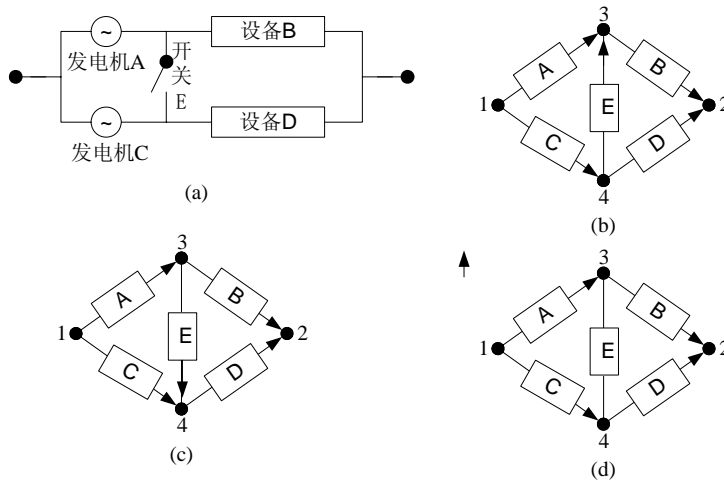
$$\int_0^t \lambda(t)dt = -\ln R(t) \Big|_0^t$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

此即可靠度与故障率函数的关系式。(综合、完整: 5 分)

5. 如题 6 图 (a)所示系统, 表示当开关 E 打开时, 发电机 A 向设备 B 供电, 发电机 C 向设备 D 供电。如果发电机 A 或 C 坏了, 合上开关 E, 由发电机 C 或 A 向设备 B 和 D 供电。请从题 6 图 (b)、(c)、(d)选出正确的可靠性模型 (2 分), 并说明其理由 (8 分)。

(本题共 10 分)



题 6 图 系统原理图和网络图

答: (d) 正确。

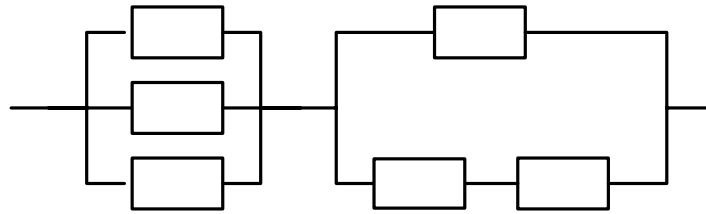
(b): C 坏, A 不通 D; (2 分)

(c): A 坏, C 不通 B; (2 分)

(d): E 双向, A 通 D、C 通 B。(4 分)

6. 计算题 (20 分)

系统可靠性框图如下所示:



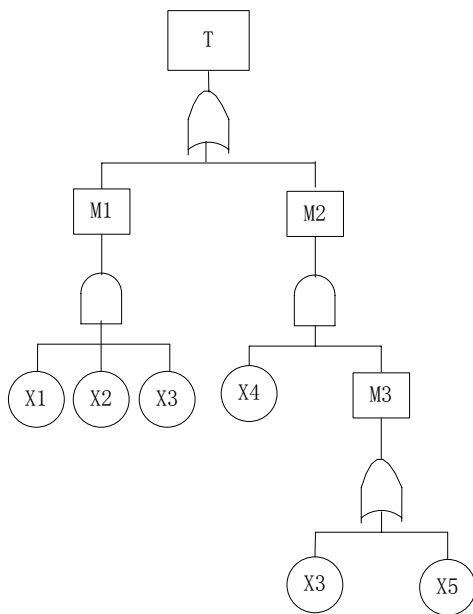
要求:

- 1) 画出相应的故障树 (3 分), 写出其结构函数原型 (1 分) 并化为最小割集表达式 (2 分);
- 2) 计算各底事件的结构重要度 (7 分) 并给出分析结论 (2 分)。

(综合、完整: 5 分)

X1

解:



X2

X3

1)

该故障树图中各底事件均应为原 RBD 中对应单元的逆事件——下同!

$$\Phi(X) = (X1 \cap X2 \cap X3) \cup [X4 \cap (X3 \cup X5)]$$

用下行法求最小割集:

第一层: {M1} {M2}

第二层: {x1, x2, x3} {x4, M3}

第三层: {x1, x2, x3} {x4, x3} {x4, x5}

则最小割集即为 {x1, x2, x3} {x4, x3} {x4, x5}

2) 结构重要度

$$\begin{aligned}
 \phi(0,0,0,0,0) &= 0 & \phi(0,0,0,0,1) &= 0 & \phi(0,0,0,1,0) &= 0 & \phi(0,0,0,1,1) &= 1 \\
 \phi(0,0,1,0,0) &= 0 & \phi(0,0,1,0,1) &= 0 & \phi(0,0,1,1,0) &= 1 & \phi(0,0,1,1,1) &= 1 \\
 \phi(0,1,0,0,0) &= 0 & \phi(0,1,0,0,1) &= 0 & \phi(0,1,0,1,0) &= 0 & \phi(0,1,0,1,1) &= 1 \\
 \phi(0,1,1,0,0) &= 0 & \phi(0,1,1,0,1) &= 0 & \phi(0,1,1,1,0) &= 1 & \phi(0,1,1,1,1) &= 1 \\
 \phi(1,0,0,0,0) &= 0 & \phi(1,0,0,0,1) &= 0 & \phi(1,0,0,1,0) &= 0 & \phi(1,0,0,1,1) &= 1 \\
 \phi(1,0,1,0,0) &= 0 & \phi(1,0,1,0,1) &= 0 & \phi(1,0,1,1,0) &= 1 & \phi(1,0,1,1,1) &= 1 \\
 \phi(1,1,0,0,0) &= 0 & \phi(1,1,0,0,1) &= 0 & \phi(1,1,0,1,0) &= 0 & \phi(1,1,0,1,1) &= 1 \\
 \phi(1,1,1,0,0) &= 1 & \phi(1,1,1,0,1) &= 1 & \phi(1,1,1,1,0) &= 1 & \phi(1,1,1,1,1) &= 1
 \end{aligned}$$

$$\therefore n_1^\phi = \sum_{2^{n-1}} [\phi(1_1, X) - \phi(0_1, X)] = 2 \quad n_2^\phi = \sum_{2^{n-1}} [\phi(1_2, X) - \phi(0_2, X)] = 2$$

$$n_3^\phi = \sum_{2^{n-1}} [\phi(1_3, X) - \phi(0_3, X)] = 6 \quad n_4^\phi = \sum_{2^{n-1}} [\phi(1_4, X) - \phi(0_4, X)] = 10$$

$$n_5^\phi = \sum_{2^{n-1}} [\phi(1_5, X) - \phi(0_5, X)] = 4$$

$$I_1^\phi = \frac{1}{2^{n-1}} n_1^\phi = \frac{1}{8}, \quad I_2^\phi = \frac{1}{8}, \quad I_3^\phi = \frac{3}{8}, \quad I_4^\phi = \frac{5}{8}, \quad I_5^\phi = \frac{1}{4}$$

显然，部件 4 在结构中所占位置比其它部件更重要