System Reliability Analysis

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบ

ดร.ชลกานต์ เอี่ยมสำอางค์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบ

แผนภาพ Reliability Block Diagram

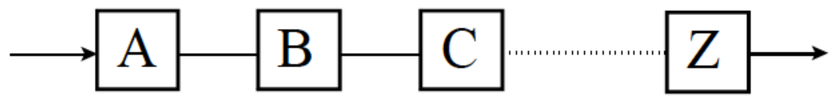
1. Series และ Parallel Block Diagram
2. ระบบที่มี Standby และ Share Load
3. ระบบที่ซับซ้อน (Complex System)

แผนภาพ Logic-Based Diagram

1. Fault Trees
2. Success Trees
3. Event Trees
4. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Series Reliability Block Diagram

ในกรณีที่ทุกส่วนประกอบต้องทำงานได้เพื่อให้ระบบทำงานได้



$$R_s(t) = \Pr(A \cap B \cap C \cap \cdots \cap Z)$$

$$R_s(t) = \Pr(A) \cdot \Pr(B) \cdot \Pr(C) \cdots \Pr(Z)$$

$$R_s(t) = R_A(t) \cdot R_B(t) \cdot R_C(t) \cdots R_Z(t)$$

A, B, C... = events that the corresponding blocks work.

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t)$$

MTTF ของระบบแบบ Series

MTTF of the System:

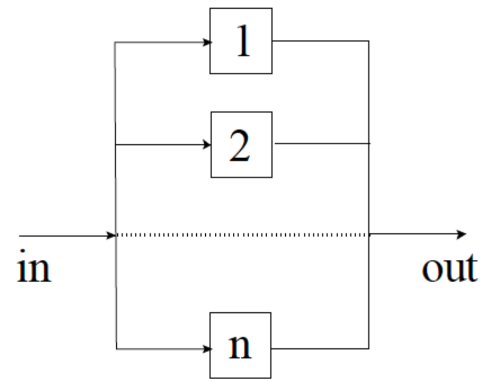
$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t), \quad \text{for } R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$$

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^{n} \lambda_i t}$$

$$\boxed{\lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i}$$

$$\boxed{MTTF_S = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}}$$

Parallel Reliability Block Diagram



ในกรณีที่ระบบจะทำงานไม่ได้เมื่อทุกส่วนประกอบทำงานไม่ได้

$$F_S = \Pr\left(\overline{A} \cap \overline{B} \cap \overline{C} \cdots\right)$$

$$F_S = F_A(t) \cdot F_B(t) \cdot F_C(t) \cdot \cdots \qquad F_i(t) = \text{Unreliability of one companent}$$

$$1 - R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} F_i(t) = \prod_{i=1}^{n} \left[1 - R_i(t)\right]$$

$$\boxed{R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left[1 - R_i(t)\right]} \quad \text{for } R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$$

$$\lambda_S = \frac{1}{\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdots\right) - \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3} + \cdots\right) + \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} + \cdots\right) + \cdots}$$

$$MTTF_S = \frac{1}{\lambda_S}$$

ระบบ k-out-of-n

ถ้าระบบมีส่วนประกอบที่เหมือนกันทั้งหมด N ชิ้น แล้วระบบจะทำงานได้ถ้าส่วนประกอบ k ชิ้นทำงานได้

$$\boxed{R_S(t) = \sum_{r=k}^{N} \binom{N}{r} [R(t)]^r \, [1 - R(t)]^{N-r}}$$

Example:

$$R_s(\text{For } 2\text{-out-of-}3 \text{ case}) = \frac{3!}{2! \times 1!}(R)^2(1 - R) + \frac{3!}{3! \times 0!}(R)^3(1 - R)^0$$

$$= 3(R)^2(1 - R) + R^3$$

$$= 3R^2 - 2R^3$$

ระบบแบบ Standby Redundant

การทำงานของระบบ Standby Redundant จะเป็นลักษณะดังต่อไปนี้

1. ส่วนประกอบ 1 ทำงานจนกระทั่งเสียหาย
2. เมื่อตรวจจับได้ว่าส่วนประกอบ 1 เสียหาย ก็จะเปลี่ยนไปให้ส่วนประกอบ 2
3. ส่วนประกอบ 2 จะต้องยังคงใช้ได้ขณะที่อยู่ในช่วง standby
4. ส่วนประกอบ 2 เริ่มทำงาน
5. ส่วนประกอบ 2 ทำงานจนกระทั่งเสียหาย

หลังจากข้อ 1-5 ระบบถึงจะทำงานไม่ได้

ระบบแบบ Standby Redundant

$$R_S(t) = 1 - \int_0^t \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} x^{n-1} e^{-\lambda x}\, dx \qquad \text{[gamma distribution]}$$

$$R_S(t) = e^{-\lambda t}\left[1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \cdots\right] \quad \text{when } \lambda t \ll 1$$

$$MTTF_S = \frac{n}{\lambda}$$

ถ้ามีสองส่วนประกอบที่ไม่เหมือนกัน

$$R_S(t) = R_1(t) + \int_0^t \left\{ \underbrace{f_1(t_1)\, dt_1}_{A} \cdot \underbrace{R_{SS}(t_1)}_{B} \cdot \underbrace{R_2'(t_1)}_{C} \cdot \underbrace{R_2(t - t_1)}_{D} \right\}$$

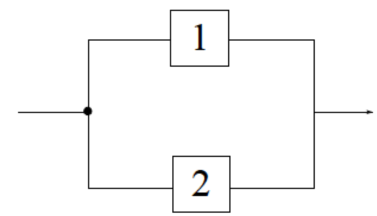
$$R' \rightarrow \text{in standby} \rightarrow \lambda'$$

$$R \rightarrow \text{in operation} \rightarrow \lambda$$

ระบบแบบ Shared Load

การทำงานของระบบแบบ Shared Load จะอยู่ในลักษณะที่ตอนแรกส่วนประกอบทั้งสองส่วนแบ่งงานกันทำ จนกระทั่งส่วนประกอบนึงเสีย อีกส่วนนึงจึงต้องทำงานหนักขึ้น ทำให้มีโอกาสเสียมากขึ้น

$$R_S(t) = \underbrace{\left[R_h(t)\right]^2}_{A} + 2\int_0^t \left\{ \underbrace{f_h(t_1)\,dt_1}_{B} \cdot \underbrace{R_h(t_1)}_{C} \cdot \underbrace{R_f(t - t_1)}_{D} \right\}$$



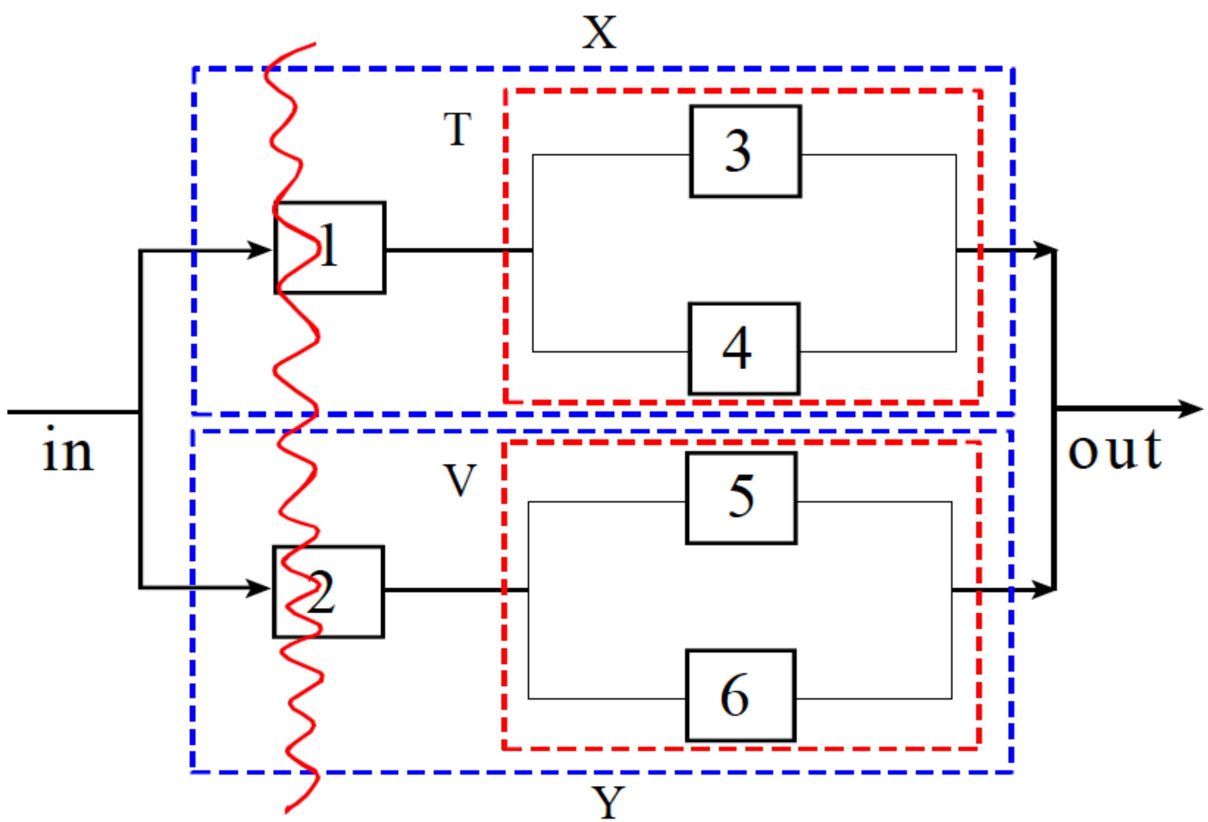
A -> ทั้งสองส่วนประกอบแบ่งงานกันคนละครึ่ง (half load)

B -> ส่วนที่ 1 เสียที่เวลา t_1 โดยที่ $t_1 < t_m$

C -> ส่วนที่ 2 ใช้ได้ที่ half load จนกระทั่ง t_1 โดยที่ $t_1 < t_m$

D -> ส่วนที่ 2 ทำงานที่ full load จนกระทั่ง t_m

ตัวอย่างระบบที่มีทั้ง Parallel และ Series



$$R_i(t) = e^{-\lambda_1 t}$$

ตัวอย่างระบบที่มีทั้ง Parallel และ Series

Series, parallel reduction

$$R_S = X \| Y = 1 - (1 - R_X)(1 - R_Y) = \underline{R_X + R_Y - R_X R_Y}$$

$$R_X = R_1(R_3 + R_4 - R_3R_4) = R_1R_T$$

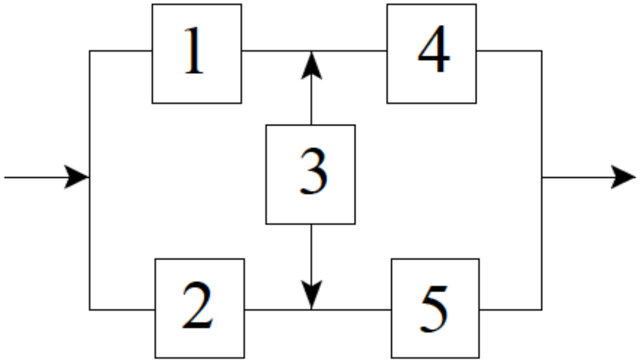
$$R_Y = R_2(R_5 + R_6 - R_5R_6) = R_2R_V$$

$$R_S(t) = e^{-\lambda_1 t}\left(e^{-\lambda_3 t} + e^{-\lambda_4 t} - e^{-(\lambda_3+\lambda_4)t}\right) + e^{-\lambda_2 t}\left(e^{-\lambda_5 t} + e^{-\lambda_6 t} - e^{-(\lambda_5+\lambda_6)t}\right)$$
$$- e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t}\left[e^{-\lambda_3 t} + e^{-\lambda_4 t} - e^{-(\lambda_3+\lambda_4)t}\right]\left[e^{-\lambda_5 t} + e^{-\lambda_6 t} - e^{-(\lambda_5+\lambda_6)t}\right]$$

$$\mathrm{MTTFs} = \int_0^\infty R_S(t)\,dt$$

ตัวอย่างระบบแบบซับซ้อน (Complex System)

Path Sets	Cut Sets
$p_1 = 1, 4$	$c_1 = 1, 2$
$p_2 = 2, 5$	$c_2 = 4, 5$
$p_3 = 1, 3, 5$	$c_3 = 1, 3, 5$
$p_4 = 2, 3, 4$	$c_4 = 2, 3, 4$



วิธีการคำนวณแบบ path set

ระบบจะ fail เมื่อ path sets ทั้งหมด fail

จาก complex system จะได้ว่า path sets คือ

$$p_1 = (1, 4), \quad p_2 = (2, 5), \quad p_3 = (1, 3, 5), \quad p_4 = (2, 3, 4)$$

ดังนั้น

$$R_S = Pr_{success}\left(p_1 \cup p_2 \cup p_3 \cup p_4\right)$$

$$R_S = 1 - Pr_{fail}\left(\bar{p}_1 \cap \bar{p}_2 \cap \bar{p}_3 \cap \bar{p}_4\right)$$

$$R_S = 1 - Pr_f(\bar{p}_1)\,Pr_f(\bar{p}_2)\,Pr_f(\bar{p}_3)\,Pr_f(\bar{p}_4)$$

$$R_S = 1 - \left[1 - Pr_s(p_1)\right]\left[1 - Pr_s(p_2)\right]\left[1 - Pr_s(p_3)\right]\left[1 - Pr_s(p_4)\right]$$

วิธีการคำนวณแบบ path set

$Pr_f(\underline{P}_i)$ = Probability that path i (P_i) not successful (not available)
$Pr_s(P_i)$ = Probability that path i (P_i) is successful (available)

$$Pr_S(P_1) = Pr_S(1) \cdot Pr_S(4) = R_1(t) \cdot R_4(t)$$

$$R_S(t) = 1 - [1 - R_1(t)R_4(t)][1 - R_2(t)R_5(t)] \\ [1 - R_1(t)R_3(t)R_5(t)][1 - R_2(t)R_3(t)R_4(t)]$$

วิธีการคำนวณแบบ cut-set

ระบบจะ fail เมื่อ cut-set อันใดอันหนึ่ง fail

จาก complex system จะได้ว่า cut-sets คือ

$$c_1 = \{1, 2\}, \quad c_2 = \{4, 5\}, \quad c_3 = \{2, 3, 4\} \quad c_4 = \{1, 3, 5\}$$

ดังนั้น

$$\Pr_f(c_1) = F_1 \cdot F_2$$

$$\Pr_f(c_1) = (1 - R_1)(1 - R_2)$$

$$\Pr(c_1 \cup c_2 \cup c_3 \cup c_4) = 1 - [1 - \underbrace{\Pr_f(c_1)}_{(1-R_1)(1-R_2)}][1 - \underbrace{\Pr_f(c_2)}_{(1-R_4)(1-R_5)}][1 - \underbrace{\Pr_f(c_3)}_{(1-R_2)(1-R_3)(1-R_4)}][1 - \underbrace{\Pr_f(c_4)}_{(1-R_1)(1-R_3)(1-R_5)}]$$

วิธีการคำนวณแบบ cut-set

จาก

$$\Pr(A \cup B) = 1 - [1 - \Pr(A)][1 - \Pr(B)] = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A) \cdot \Pr(B)$$

$$\Pr(A \cup B) = \Pr(A) + \Pr(B) - \underbrace{\Pr(A)\Pr(B)}_{\text{if very small eliminate}}$$

$$\Pr(A \cup B) \le \Pr(A) + \Pr(B) - \underset{\text{eliminates this term}}{[\text{rare event approximation}]}$$

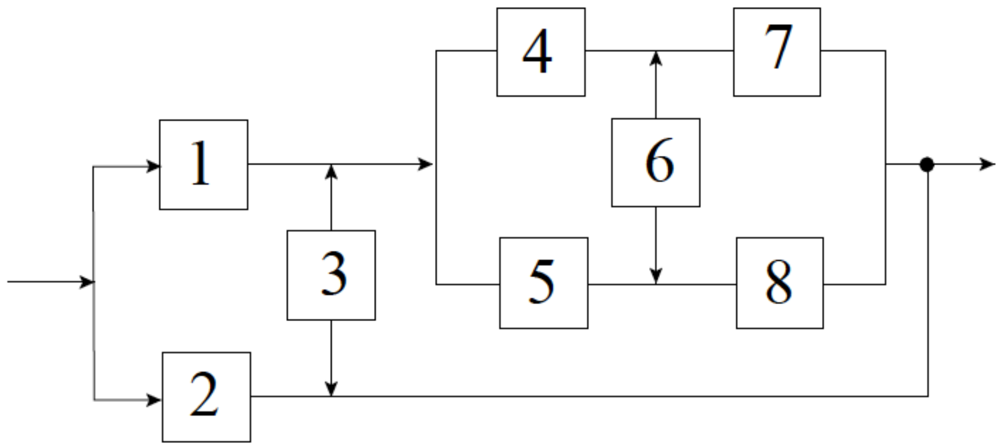
$$F_s(t) = \Pr(c_1 \cup c_2 \cup c_3 \cup c_4)$$

$$R_S^C(t) \cong 1 - [\Pr(c_1) + \Pr(c_2) + \Pr(c_3) + \Pr(c_4)]$$

$$R_S^C(t) \cong 1 - [\underbrace{(1 - R_1)(1 - R_2)}_{x_1} + \underbrace{(1 - R_4)(1 - R_5)}_{x_2} +$$

$$[\underbrace{(1 - R_1)(1 - R_3)(1 - R_5)}_{x_3} + \underbrace{(1 - R_2)(1 - R_3)(1 - R_4)}_{x_4}]$$

ตัวอย่างการคำนวณ Complex System

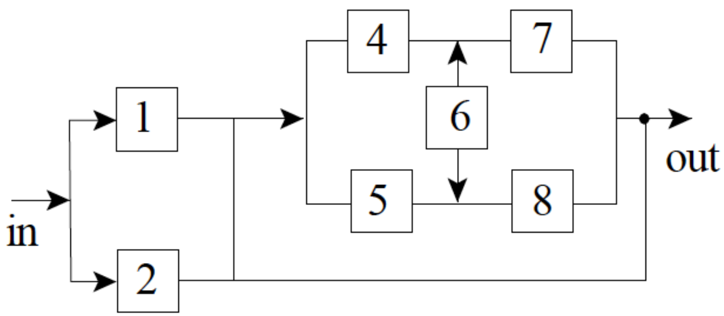


การคำนวณทำได้โดยการแปลงระบบให้อยู่ในรูปแบบ series และ parallel ทั่วไป โดยใช้ Baye’s Theorem

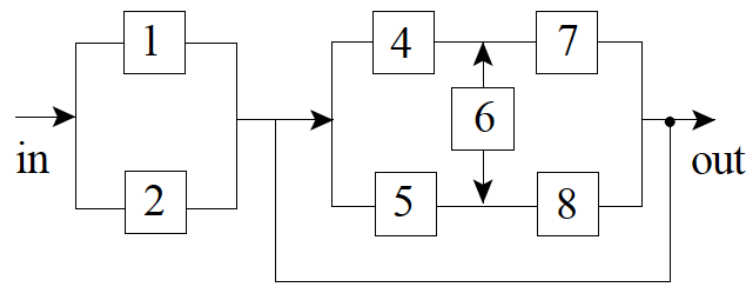
$$R_S(t) = \underbrace{R_S(t \mid \text{unit 3 good})}_{A} \cdot R_3(t) + \underbrace{R_S(t \mid \text{unit 3 bad})}_{B} \cdot [1 - R_3(t)]$$

ตัวอย่างการคำนวณ Complex System

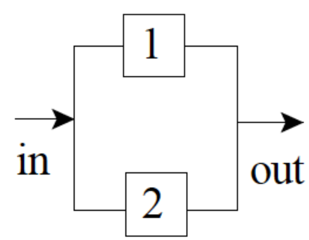
A represents:



≡



≡

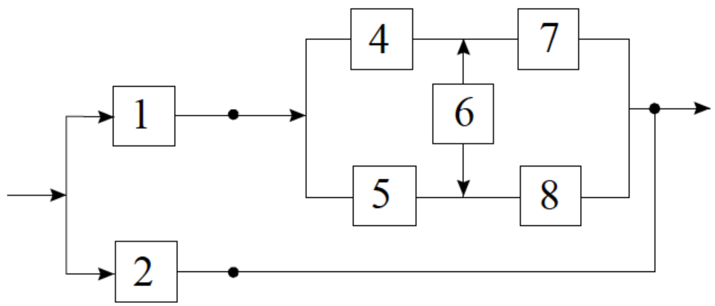


(Parallel system)

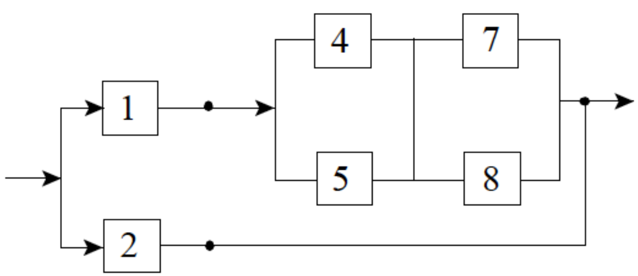
$$R_S\left(t \middle| \text{unit 3 good}\right) = R_1 + R_2 - R_1R_2$$

ตัวอย่างการคำนวณ Complex System

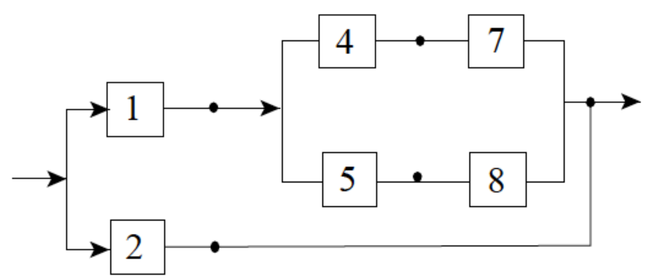
B represents:



$$R_S(t|\text{unit 3 bad}) = R_S(t|\text{unit 3 bad} \cap \text{unit 6 good}) \times R_6(t) + R_S(t|\text{unit 3 bad} \cap \text{unit 6 bad}) \times [1 - R_6(t)]$$

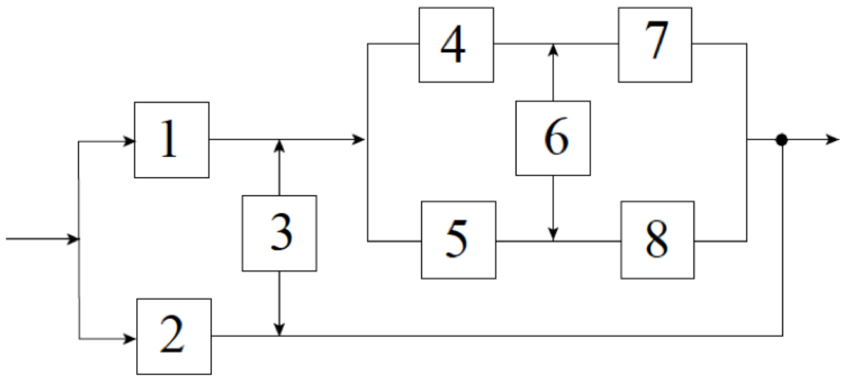


unit 6 works



unit 6 fails

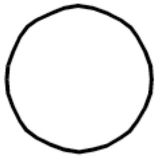
ตัวอย่างการคำนวณ Complex System

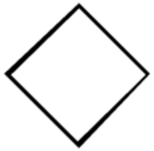


$$R_S\left(t \mid \text{unit 3 bad} \cap \text{unit 6 good}\right) = R_2 + R_1\left(R_4 + R_5 - R_4R_5\right)\left(R_7 + R_8 - R_7R_8\right) - R_1R_2\left(R_4 + R_5 - R_4R_5\right)\left(R_7 + R_8 - R_7R_8\right)$$

$$R_S\left(t \mid \text{unit 3 bad} \cap \text{unit 6 bad}\right) = R_2 + R_1\left(R_4R_7 + R_5R_8 - R_4R_7R_5R_8\right) - R_1R_2\left(R_4R_7 + R_5R_8 - R_4R_7R_5R_8\right)$$

สัญลักษณ์ของ Logic Tree


เหตุการณ์ (basic event)

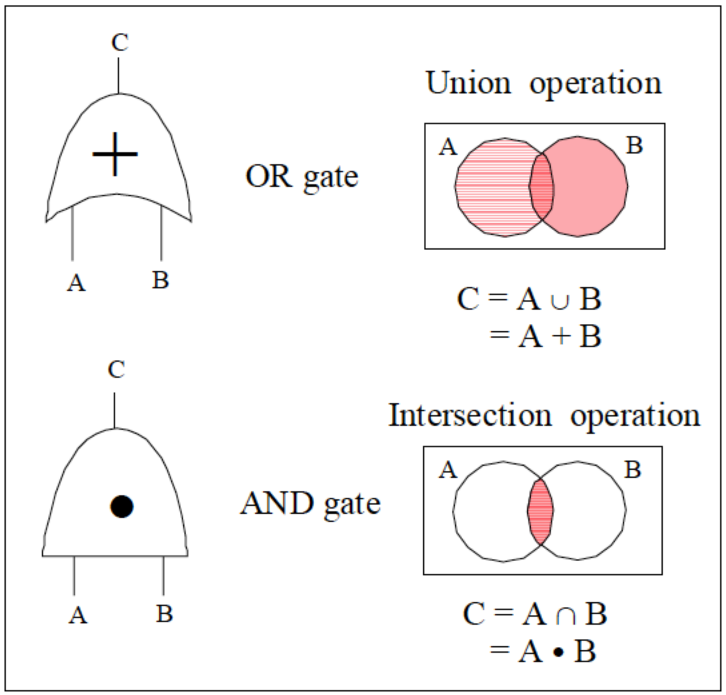

เหตุการณ์ที่ยังมีข้อมูลไม่ครบถ้วน (undeveloped event)

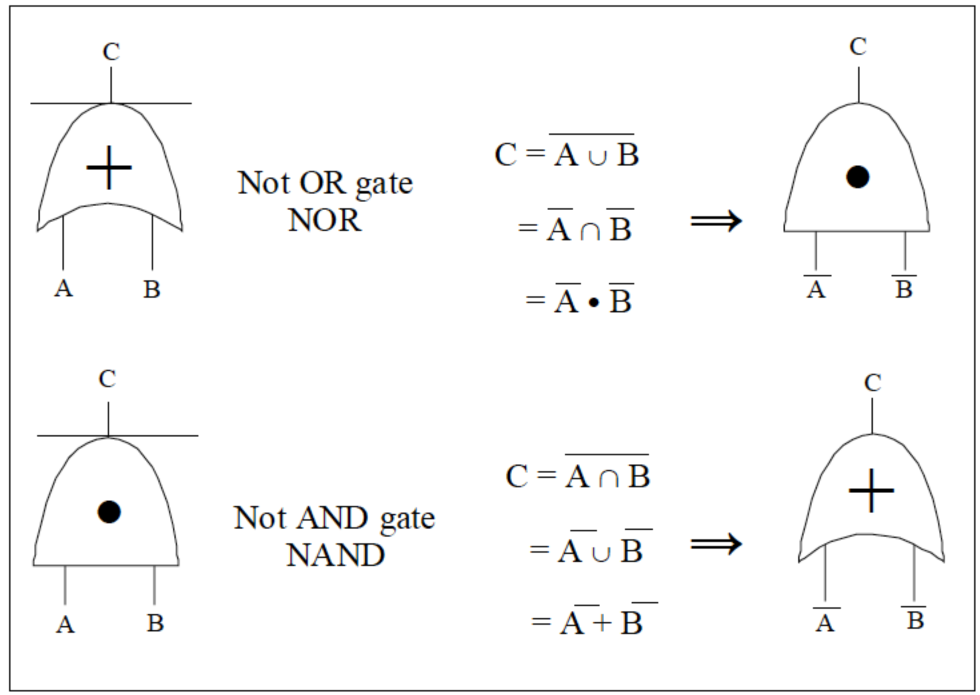

เหตุการณ์ภายนอก (external event)


เหตุการณ์ที่ใช้อธิบายสถานะ (intermediate event)

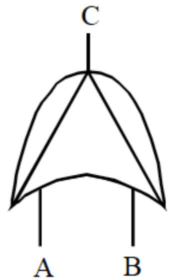
การวิเคราะห์ Logic Tree

การใช้ Boolean logic เพื่อเป็น gates ใน logic tree

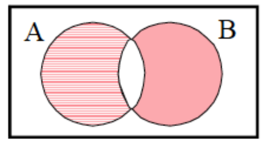




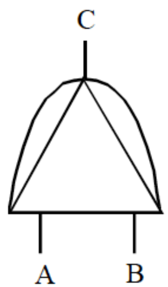
การวิเคราะห์ Logic Tree



Exclusive OR

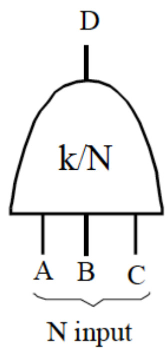


$$C = [A \cap \overline{B}] \cup [B \cap \overline{A}]$$
$$= [A \cdot \overline{B}] + [B \cdot \overline{A}]$$



Priority AND

C = A first, and then B



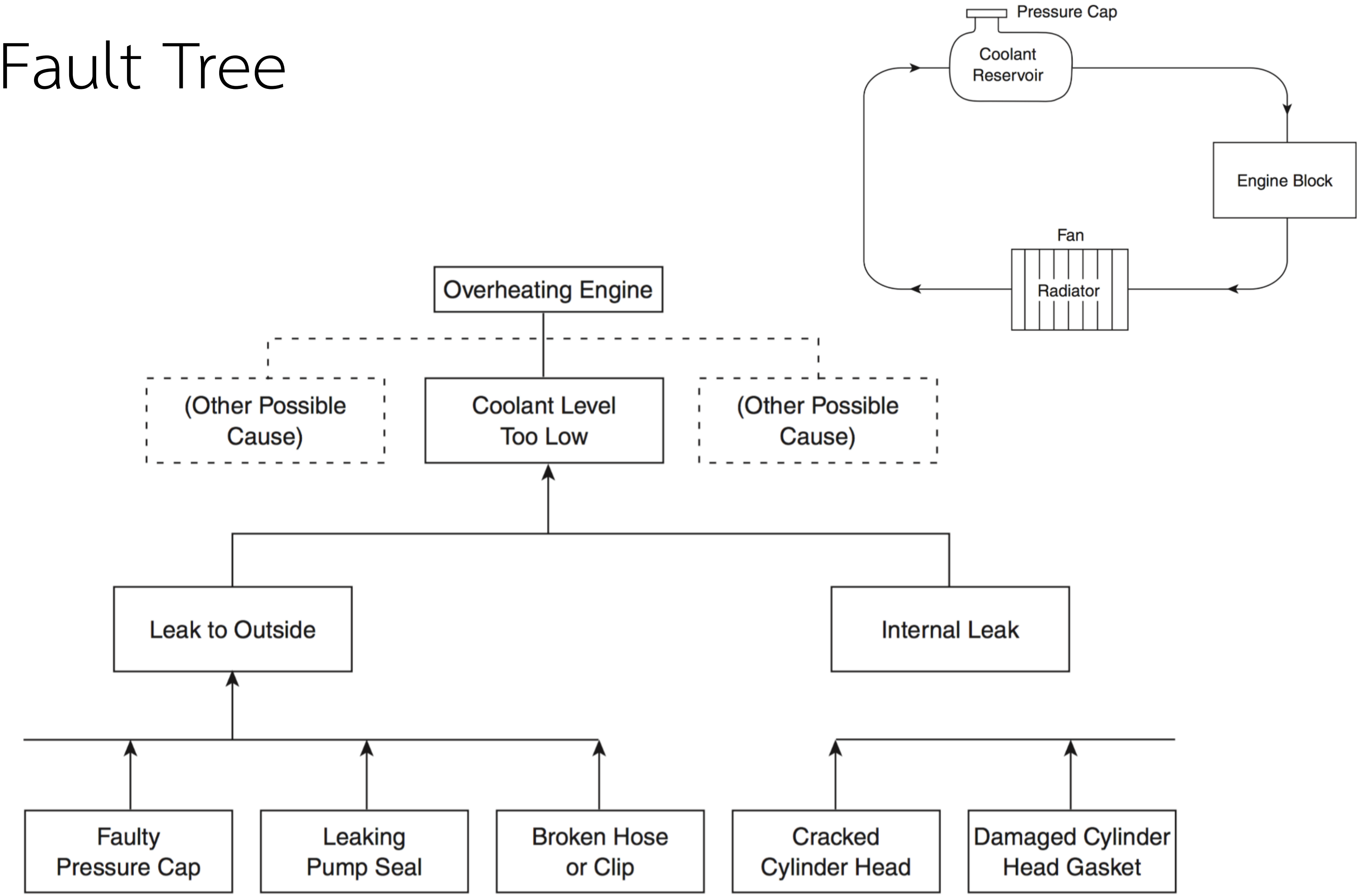
k out of N

If any k combination of the input occur then the output will occur

$$D = [A \cap B] \cup [A \cap C] \cup [B \cap C]$$
$$= [A \cdot B] + [A \cdot C] + [B \cdot C]$$

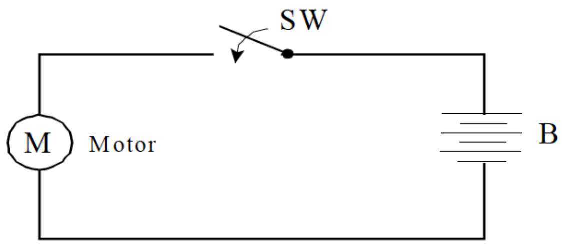
$k = 2, N = 3$ 2-out-of-3 gate

Fault Tree

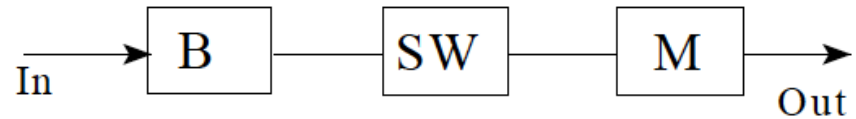

Pressure Cap
Coolant Reservoir
Engine Block
Fan
Radiator
Overheating Engine
(Other Possible Cause)
Coolant Level Too Low
(Other Possible Cause)
Leak to Outside
Internal Leak
Faulty Pressure Cap
Leaking Pump Seal
Broken Hose or Clip
Cracked Cylinder Head
Damaged Cylinder Head Gasket

ตัวอย่างการวิเคราะห์ Fault Tree

Example:

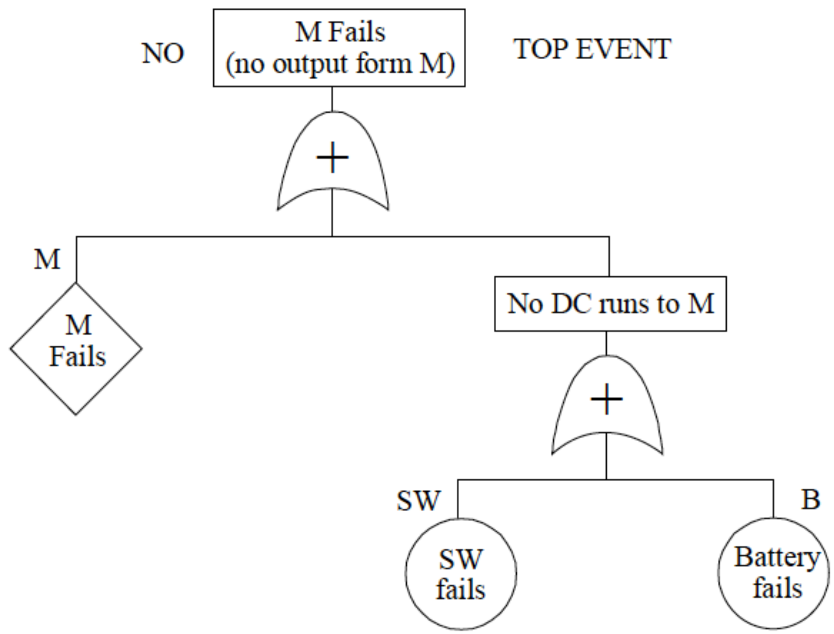


ถ้าเป็นรูปแบบ Block Diagram จะได้



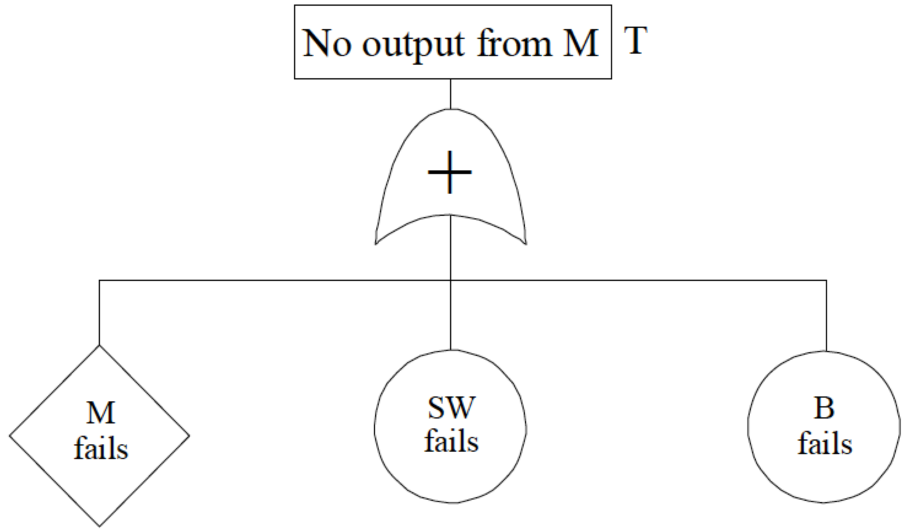
แต่ถ้าเป็นในรูปแบบ

Fault tree จะได้



ตัวอย่างการวิเคราะห์ Fault Tree

ซึ่งสามารถย่อให้ง่ายขึ้นเป็น



ดังนั้น

$$T = B \cup M \cup SW$$

$$\Pr(T) = \Pr(B \cup M \cup SW)$$

$$\boxed{\Pr(T) = 1 - [1 - \Pr(B)][1 - \Pr(SW)][1 - \Pr(M)]}$$

ตัวอย่างการวิเคราะห์ Fault Tree

Example:

where

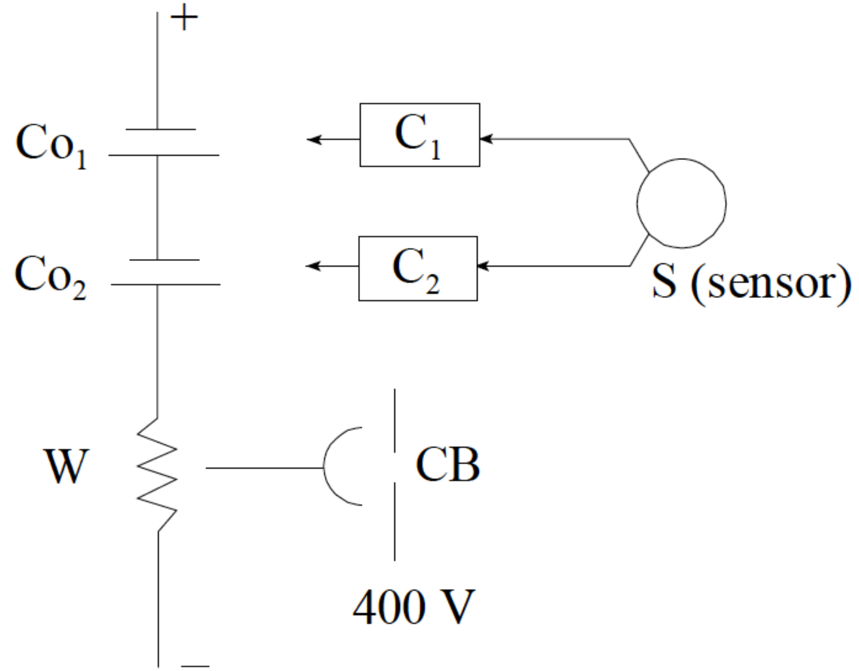
C_1 and C_2 = Controller

S = Sensor

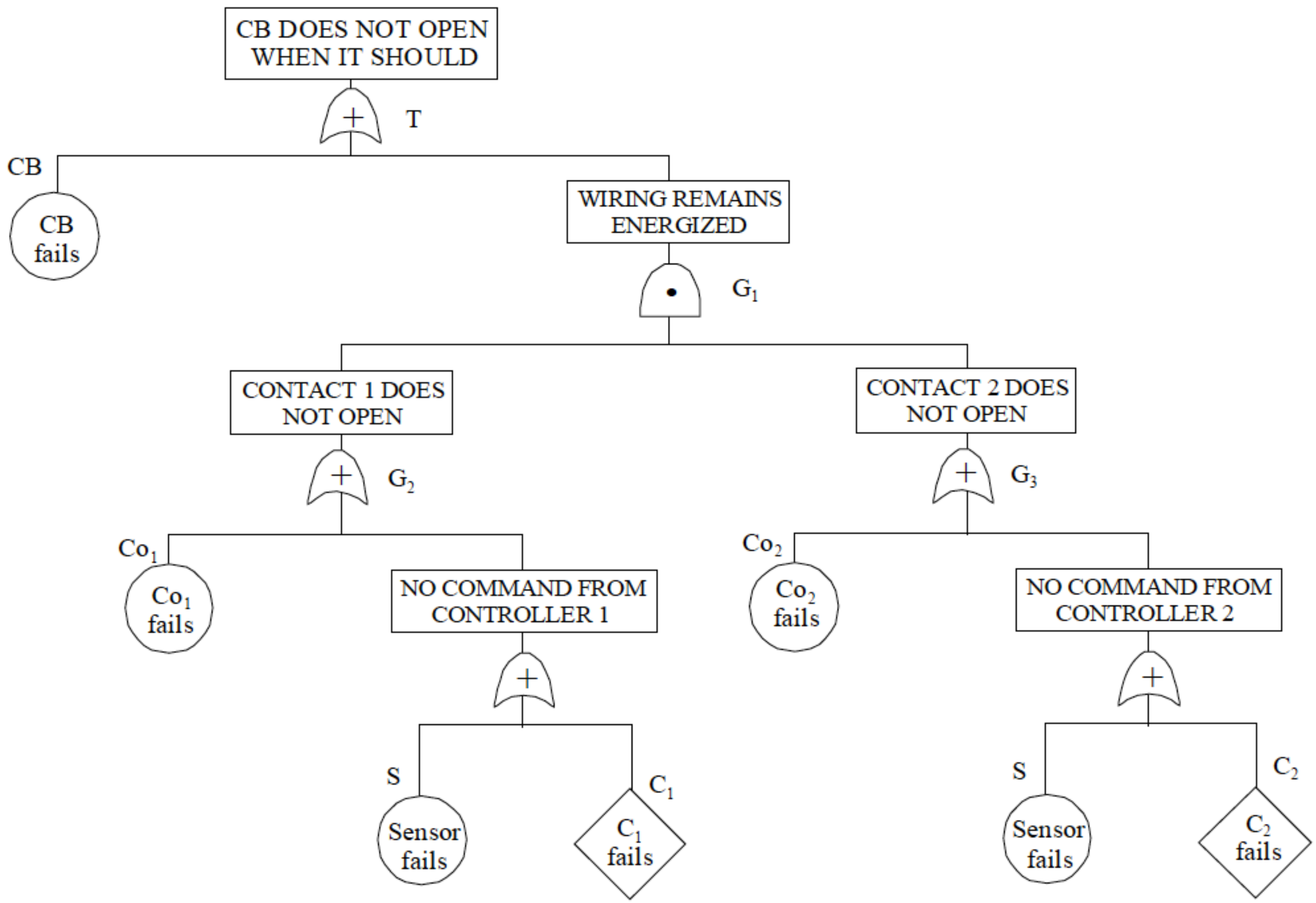
Co_1 and Co_2 = Contacts

W = Coil

CB = Circuit Breaker



ตัวอย่างการวิเคราะห์ Fault Tree



ตัวอย่างการวิเคราะห์ Fault Tree

การทำ Boolean Reduction

$$T = CB \cup G_1 = CB + G_1$$

$$G_1 = G_2 \cdot G_3$$

$$G_2 = S + Co_1 + C_1$$

$$G_3 = S + Co_2 + C_2$$

$$G_1 = (S + Co_1 + C_1) \cdot (S + Co_2 + C_2)$$

$$G_1 = \underbrace{S \cdot S}_{S} + S \cdot Co_2 + S \cdot C_2 + Co_1 \cdot S + Co_1 \cdot Co_2 + Co_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot S + C_1 \cdot Co_2 + C_1 \cdot C_2$$

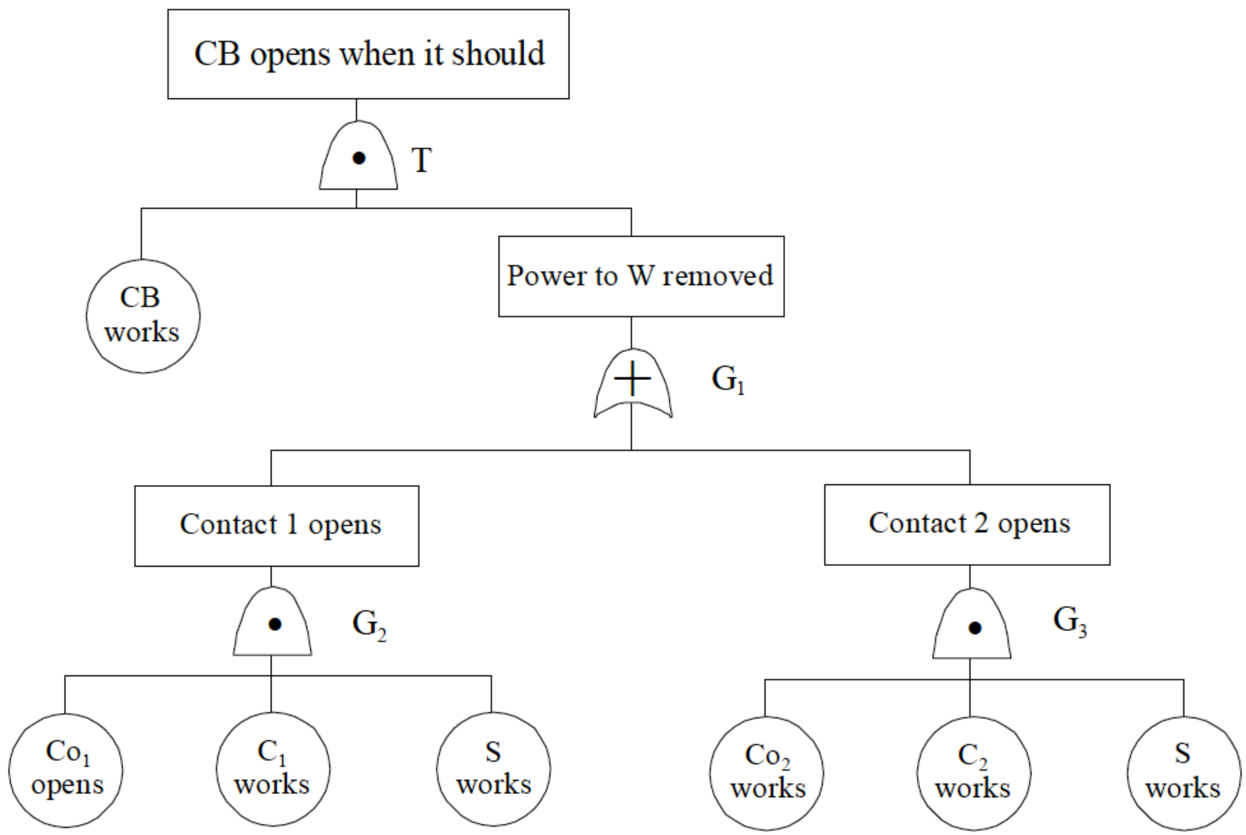
Minimal cut-set

$$\boxed{\begin{aligned} T &= CB + G_1 \\ &= CB + S + Co_1 \cdot Co_2 + Co_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot Co_2 + C_1 \cdot C_2 \end{aligned}}$$

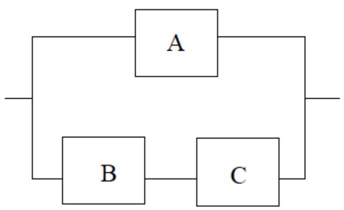
$$\begin{aligned} Pr(T) = F(t) \approx\ & Pr(CB) + Pr(S) + Pr(Co_1) \cdot Pr(Co_2) + \\ & Pr(Co_1) \cdot Pr(C_2) + Pr(C_1) \cdot Pr(Co_2) + Pr(C_1) \cdot Pr(C_2) \end{aligned}$$

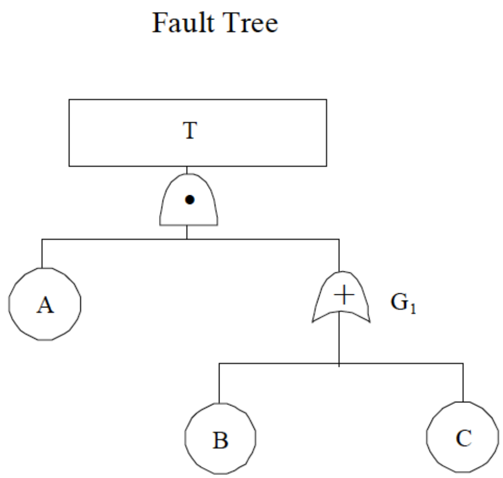
ตัวอย่าง Success Tree

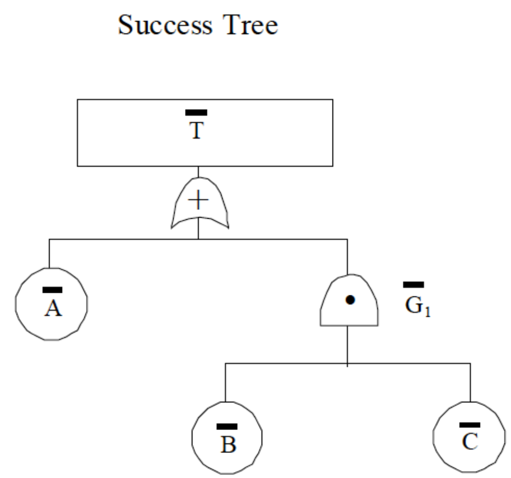
จากตัวอย่างเดียวกัน ถ้าเปลี่ยนจาก Fault Tree เป็น Success Tree จะได้ว่า



เปรียบเทียบระหว่า Fault Tree กับ Success Tree







Cut sets สำหรับ Fault Tree

$$G_1 = B + C, \qquad T = A \cdot G_1$$

$$T = A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

Path sets สำหรับ Success Tree

$$\overline{G}_1 = \overline{B} \cdot \overline{C}, \qquad \overline{T} = \overline{A} + \overline{G}_1 \qquad \overline{T} = \overline{A} + \overline{B} \cdot \overline{C}$$

เปรียบเทียบระหว่าง Fault Tree กับ Success Tree

สามารถหา path sets ของ success tree ได้จาก cut sets ของ fault tree

$$\overline{T} = \left(\overline{A \cdot B + A \cdot C}\right) = \left(\overline{A \cdot B}\right) \cdot \left(\overline{A \cdot C}\right)$$

$$= \left(\overline{A} + \overline{B}\right) \cdot \left(\overline{A} + \overline{C}\right) = \underbrace{\overline{A} \cdot \overline{A}}_{\overline{A}} + \overline{A} \cdot \overline{C} + \overline{B} \cdot \overline{A} + \overline{B} \cdot \overline{C}$$

$$\overline{T} = \overline{A} + \overline{B} \cdot \overline{C}$$

ดังนั้น success tree เป็น complement ของ fault tree

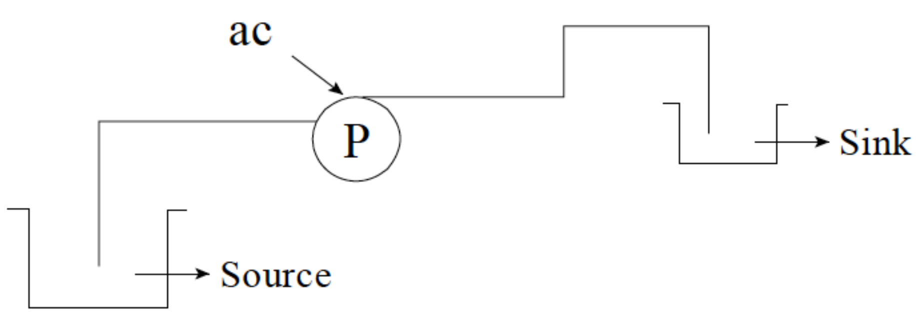
fault tree	→	success tree
OR gate	→	AND gate
AND gate	→	OR gate

$$\overline{A} \cdot B + \overline{B} \cdot A \rightarrow A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}$$

(exclusive or)

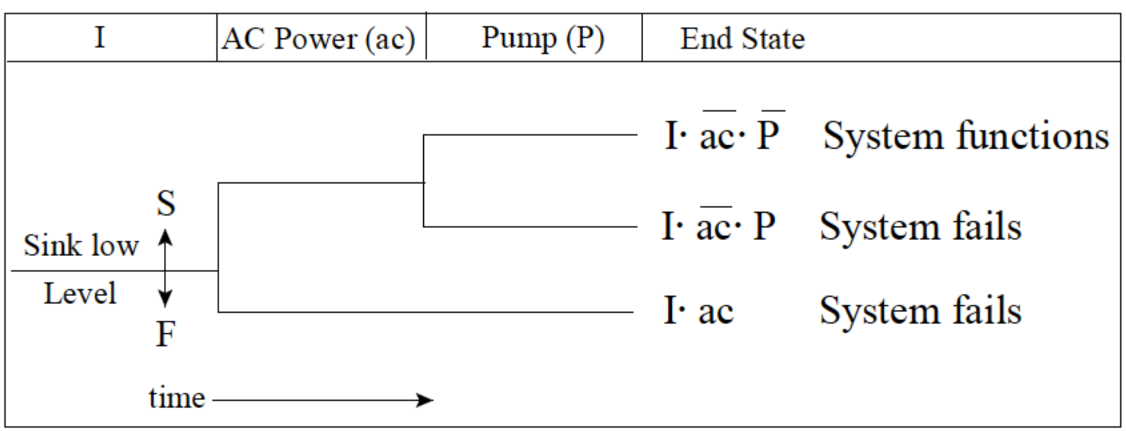
Event Tree

Event tree ใช้สำหรับระบบที่ขึ้นอยู่กับการทำงานของส่วนประกอบตามลำดับขั้น



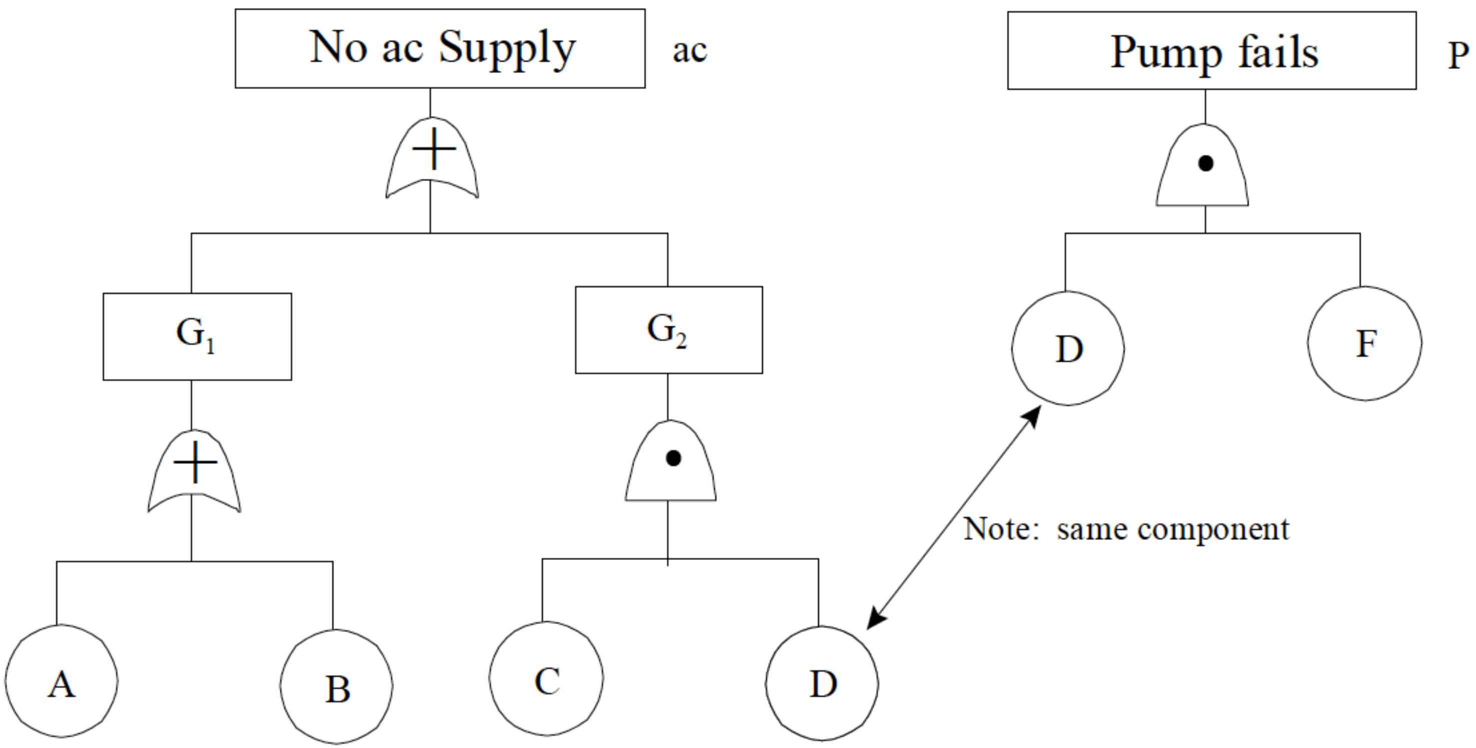
ac = failure of power

P = failure of the pump



Event Tree

โดยที่แต่ละขั้นใน event tree สามารถโมเดลได้ด้วย fault tree



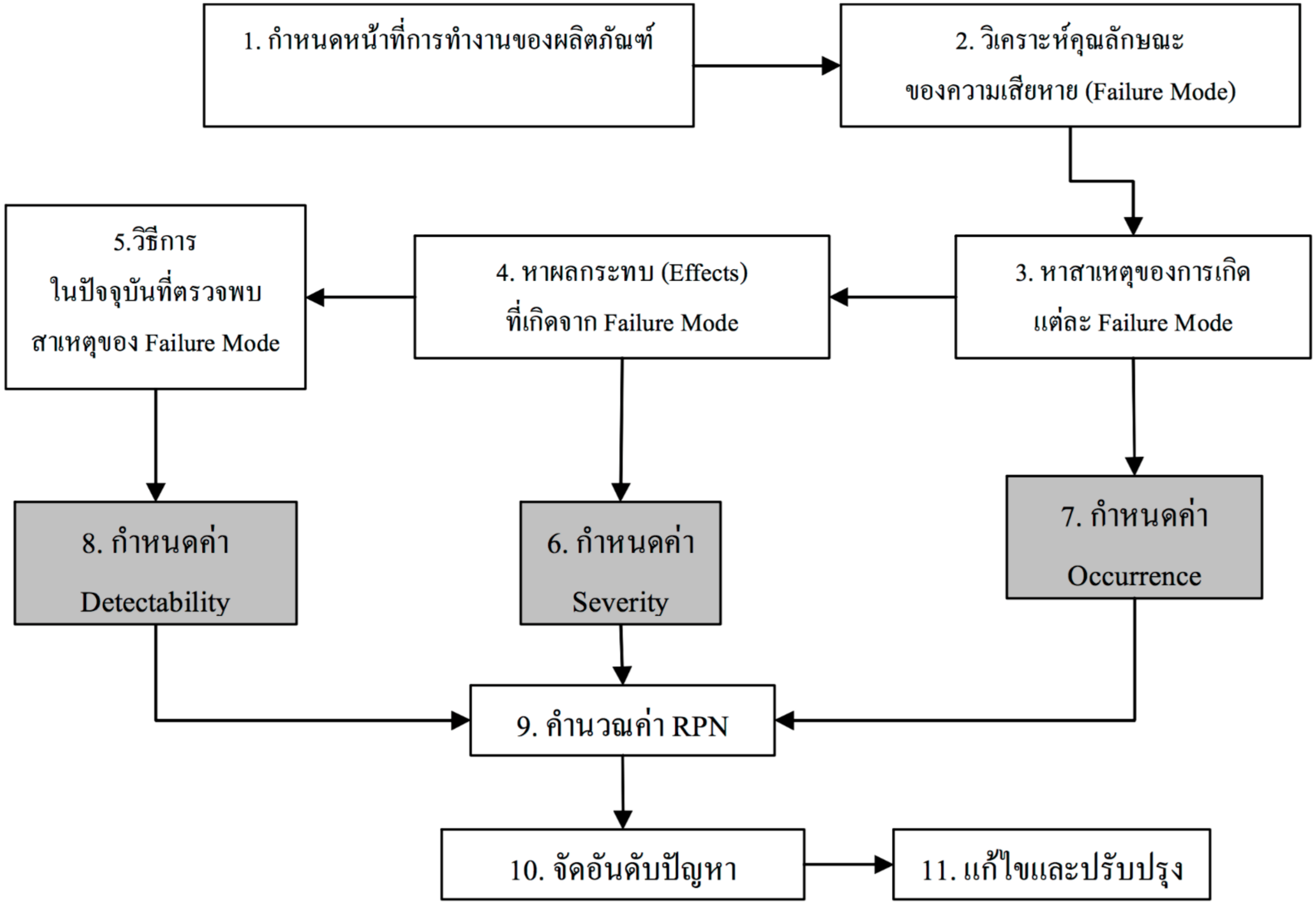
Event Tree

ดังนั้น

$$
\begin{aligned}
\mathrm{ac} &= \mathrm{G}_1 + \mathrm{G}_2 \\
G_1 &= \mathrm{A} + \mathrm{B}, \quad G_2 = \mathrm{C}\cdot\mathrm{D} \\
\mathrm{ac} &= \mathrm{A}+\mathrm{B}+\mathrm{C}\cdot\mathrm{D} \\
\overline{\mathrm{ac}} &= \overline{\mathrm{A}+\mathrm{B}+\mathrm{C}\cdot\mathrm{D}} = \left(\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\right)\cdot\left(\overline{\mathrm{C}\cdot\mathrm{D}}\right) \\
&= \overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\left(\overline{\mathrm{C}}+\overline{\mathrm{D}}\right) = \overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{C}}+\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{D}} \\
\mathrm{P} &= \mathrm{D}\cdot\mathrm{F}, \quad \overline{\mathrm{P}} = \overline{\mathrm{D}} + \overline{\mathrm{F}} \\
\mathrm{I}\cdot\overline{\mathrm{ac}}\cdot\mathrm{P} &= \mathrm{I}\cdot\left(\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{C}}+\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{D}}\right)\cdot\mathrm{P} \\
&= \mathrm{I}\cdot\left(\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{C}}+\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{D}}\right)\cdot\mathrm{D}\cdot\mathrm{F} \\
&= \mathrm{I}\cdot\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{C}}\cdot\mathrm{D}\cdot\mathrm{F} + \underbrace{\mathrm{I}\cdot\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{D}}\cdot\mathrm{D}\cdot\mathrm{F}}_{\varphi}
\end{aligned}
$$

$$
\boxed{\mathrm{I}\cdot\overline{\mathrm{ac}}\cdot\mathrm{P} = \mathrm{I}\cdot\overline{\mathrm{A}}\cdot\overline{\mathrm{B}}\cdot\overline{\mathrm{C}}\cdot\mathrm{D}\cdot\mathrm{F}}
$$

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)



FMECA (Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis)

FMEA คือวิธีการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของ failure mode และ failure mechanism ของ component สำคัญในระบบ

- ปกติแล้วจะแบ่งความน่าจะเป็นและความรุนแรงออกเป็น 4-5 ระดับ
- เลขลำดับความสำคัญ

Risk Priority Number (RPN) = Occurrence x Severity x Detection

FMECA เพิ่มการคำนวณเลขค่าวิกฤต

Criticality Number = Probability of Function Loss x Failure Mode Ratio x Part Failure Rate x Operating Time

รูปแบบของ Worksheet

MIL-STD 1629, Task 101 (FMEA)

System:
Indenture Level:
Reference Drawing:
Mission:

Data:
Sheet Number:
Compiled by:
Approved by:

ID	Item/ Functional Identification	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase Operational Mode	Failure Probability and Data Source	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity Class	Remarks
						Local	Next Higher	End				

MIL-STD 1629, Task 102 (FMECA)

System:
Indenture Level:
Reference Drawing:
Mission:

Data:
Sheet Number:
Compiled by:
Approved by:

ID	Item/ Functional Identification	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase Operational Mode	Severity Class	Failure Probability and Data Source	Failure Effect Prop. β	Failure Mode Ratio α	Failure Rate, 1/hour λ	Mission Duration hour T	Failure Mode Criticality $C_m = \beta\alpha\lambda T$	Item Criticality $C = \sum C_m$	Remarks

Probability of Occurrence

Probability of Occurrence คือการประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์

Level	Criteria
A - Frequent	A single failure mode probability of occurrence is greater than 20% of the overall component probability of failure
B - Reasonably Probable	A single failure mode probability of occurrence is greater than 10% but less than 20% of the overall component probability of failure
C - Occasional	A single failure mode probability of occurrence is greater than 1% but less than 10% of the overall component probability of failure
D - Remote	A single failure mode probability of occurrence is greater than 0.1% but less than 1% of the overall component probability of failure
E - Extremely Unlikely	A single failure mode probability of occurrence is less than 0.1% of the overall component probability of failure

หมายเหตุ: ควรใช้เฉพาะเวลาที่ไม่สามารถหาข้อมูลจริงได้

Severity Classification

Severity Classification คือการประเมินความรุนแรงของผลร้ายแรงที่สุดที่อาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์นั้น

Effect	Severity Rating	Criteria
Catastrophic	1	A failure mode that may cause death, complete system loss or complete mission loss.
Critical	2	A failure mode that may cause severe injury or major system degradation, damage, or reduction in mission performance.
Marginal	3	A failure that may cause minor injury or degradation, in system or mission performance.
Minor	4	A failure that does not cause injury or system degradation but may result in system failure and unscheduled maintenance or repair.
None	5	– – –

หมายเหตุ: ถ้าไม่สามารถใช้ตาม scale นี้ สามารถสร้าง scale ที่เหมาะสมได้

Failure Mode Criticality Number

เลขค่าวิกฤต (Criticality Number) คือเลขที่ใช้จัดลำดับ failure mode ที่อาจเกิดขึ้นตามความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นและผลกระทบต่อระบบ

$$C_m = \beta\alpha\lambda t$$

Failure Effect	β
Actual loss	1.0
Probable loss	0.1 - 1.0
Possible loss	0.0 - 0.1
No loss	0.0

β คือ ความน่าจะเป็นของผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก failure mode

α คือ สัดส่วนของ failure mode นี้ที่มีผลต่ออัตราความเสียหายของส่วนประกอบ

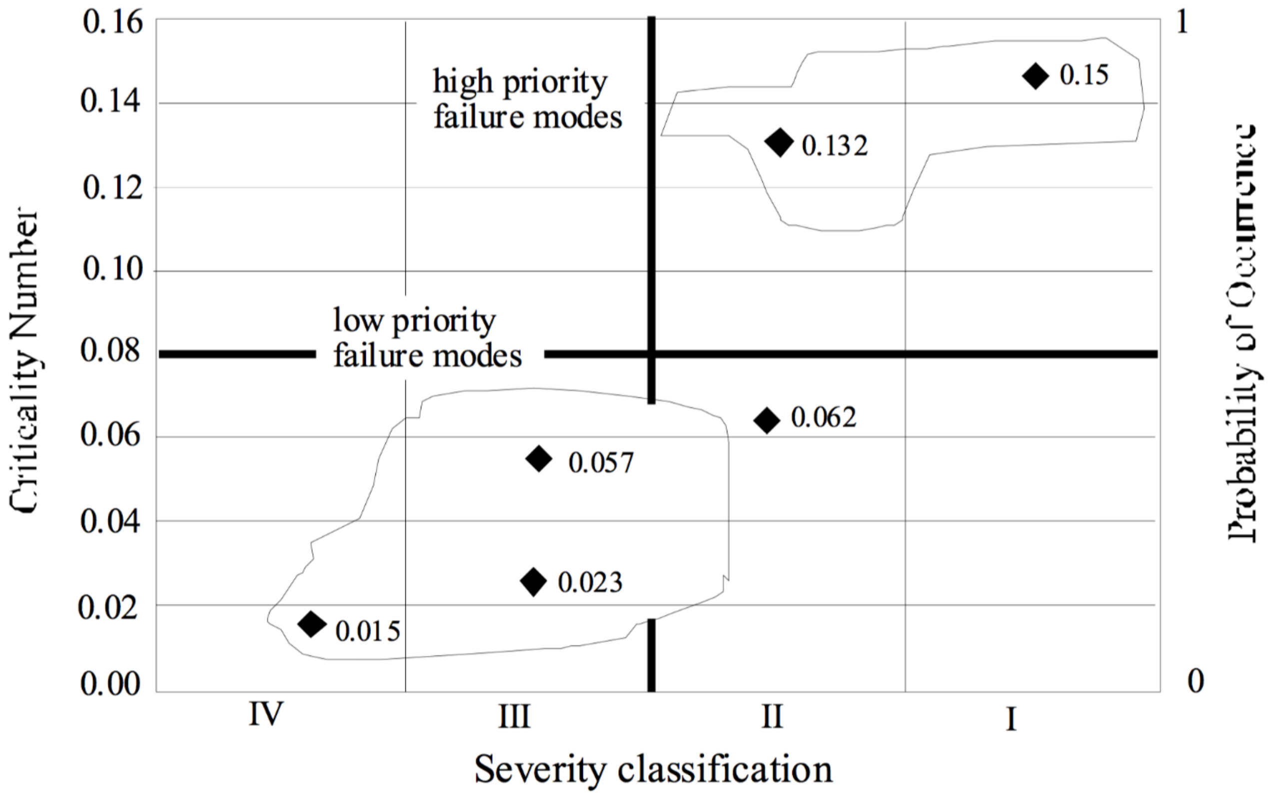
λ คือ อัตราความเสียหายของส่วนประกอบ (failure rate)

t คือ เวลาการใช้งานของส่วนประกอบ (mission time)

criticality number ของส่วนประกอบคือผลรวมของ criticality number ของทุก failure mode

Criticality Matrix

Criticality Matrix คือ กราฟแสดงการเปรียบเทียบเพื่อจัดลำดับความสำคัญของ failure mode



References

- IAEA, SAFETY SERIES SSG-3: Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants. 2010.
- IAEA, TECDOC-1511: Determining PSA Quality for Applications in NPPs. 2006.
- Modarres, Mohammad, Mark P. Kaminskiy, and Vasiliy Krivtsov. “Reliability engineering and risk analysis: a practical guide”. CRC press, 2016.
- Christian Kirchsteiger, On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12 (1999) 399–419.
- NRG, Training Course on “Requirements and safety evaluation of NPP PSA”, INSC Project MC3.01/13, Training and Tutoring for experts of the NRAs and their TSOs for developing or strengthening their regulatory and technical capabilities.
- F.C. Brayon, M. Mazlehab, P. Prak Tomb, A.H.S Mohd Sarifc, Z. Ramlia, F. Zakariab, F. Mohamedc, Abid Aslamd, A. Lyubarskiye, I.Kuzminae, P.Hughese , A.Ulsese, Building Competence for Safety Assessment of Nuclear Installations: Applying IAEA's Safety Guide for the Development of a Level 1 Probabilistic Safety Assessment for the TRIGA Research Reactor in Malaysia
- K. Simola, Reliability methods in nuclear power plant ageing management, VTT Publications 379, Technical Research Centre of Finland ESPOO 1999.
- JRC Scientific and Technical Reports, Guidelines for Analysis of Data Related to Ageing of Nuclear Power Plant Components and Systems, EUR 23954 EN - 2009