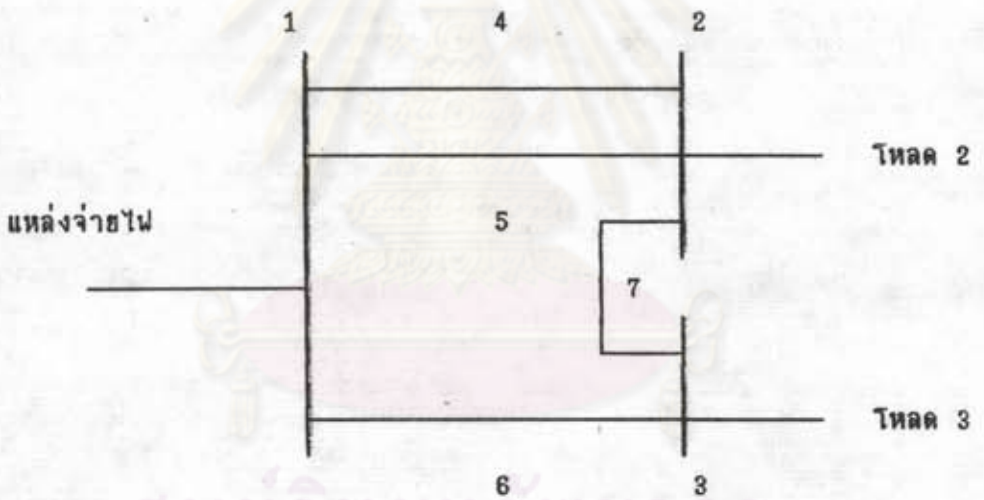
บทที่ 2

การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟ

โดยใช้หลักการของ Failure Modes and Effects Analysis คือการมองระบบจ่ายไฟ แล้วจึงสร้างเงื่อนไขที่จำเป็นในการวิเคราะห์ โดยการหารายชื่ออุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้าที่เมื่อหากเกิดสภาพขัดข้องแล้ว จะทำให้ระบบที่กำลังพิจารณาไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่จุดโหลดได้ จากนั้นจึงคำนวณหาค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างระบบจ่ายไฟที่มี 2 จุดโหลด

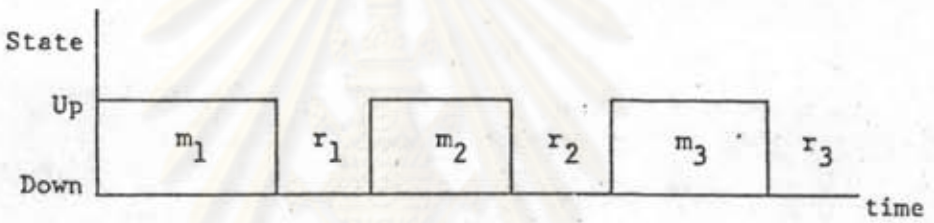
จากการมองระบบจ่ายไฟในรูปที่ 2.1 พิจารณาได้ว่าเหตุการณ์ที่จะทำให้จุดโหลด 2 ไม่สามารถรับพลังงานได้คือ เหตุการณ์ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าหมายเลข 1 2 4+5+6 4+5+3 4+5+7 บกพร่อง ในทำนองเดียวกันเหตุการณ์ที่จะทำให้จุดโหลด 3 ไม่สามารถรับพลังงานได้คือ เหตุการณ์ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าหมายเลข 1 3 6+2 6+7 4+5+6 บกพร่อง

สมการที่ใช้ในการคำนวณในวิธีการของ Failure Modes and Effects Analysis เป็นสมการการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบจ่ายไฟแบบประมาณค่าโดยใช้วิธี

การทางความน่าจะเป็น ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

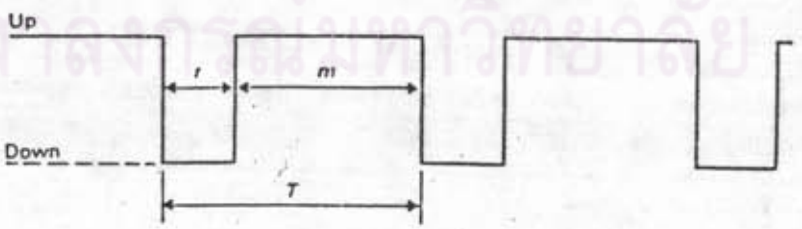
2.1 แบบจำลองระบบจ่ายไฟ (Billinton and Allan, 1984a, 1987b; Gonen and Turan, 1987; Sullivan, 1978)

จากการพิจารณาลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ จะพบว่ามีสถานะการทำงาน 2 สถานะคือ สถานะทำงาน (up state) และ สถานะหยุดทำงาน (down state) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าในแต่ละช่วงเวลาทำงาน (m_i) และช่วงเวลาหยุดทำงาน (r_i) จะมีเวลาไม่เท่ากันตลอด ดังนั้นโดยการบันทึกช่วงเวลาการใช้งานที่นานพอ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของสถานะทั้งสอง จะได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ช่วงเวลาการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ

กำหนดให้

λ = อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (failure rate of the component)

μ = อัตราการคืนตัวของอุปกรณ์ไฟฟ้า (repair rate of the component)

m = ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของสถานะทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (mean operating time of the component)

r = ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของสถานะหยุดทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (mean repair time of the component)

T = คาบเวลาวงรอบโดยเฉลี่ย (average cycle time)

f = ความถี่วงรอบโดยเฉลี่ย (average cycle frequency)

U = เวลาไม่มีไฟใช้ (unavailability)

พารามิเตอร์ต่างๆมีความสัมพันธ์กันดังนี้

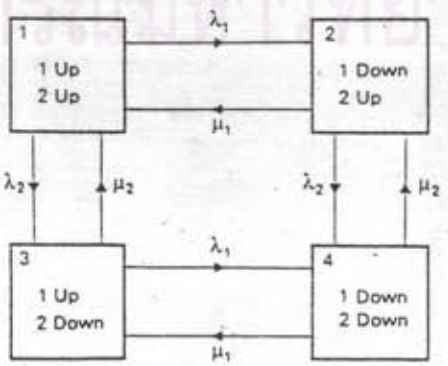
m = Mean time to failure (MTTF) = $1/\lambda$

r = Mean time to repair (MTTR) = $1/\mu$

T = Mean time between failure (MTBF) = m + r = 1/f

U = r/(m+r) = f x r

จากพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดโดยใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีแนวทางในการประเมินค่าดัชนีของระบบ โดยการนำค่า λ r และ U ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มาต่ออนุกรมหรือต่อขนานกันมาหาค่า λ r และ U ค่าใหม่ โดยพิจารณาอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 ชุดที่มาต่อกันเป็นระบบจะมีแบบจำลองของสถานะที่เป็นไปได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 ชุดที่มาต่อกันเป็นระบบ

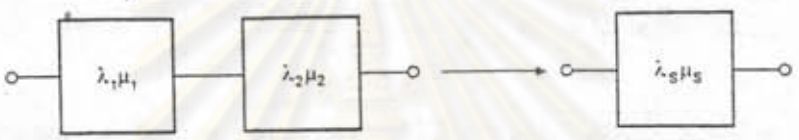
นิจารณากรณีที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อกันแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.4

$P_{uP} = P_s$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะทำงาน

$= \mu_1\mu_2 \;/\; (\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2)$

ในการคำนวณจำเป็นต้องหา λ_s, μ_s ของอุปกรณ์เทียบเท่า ที่สามารถแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ 1 และ 2 ต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์เทียบเท่าในระบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.5 จะได้ ความน่าจะเป็นของอุปกรณ์เทียบเท่าที่อยู่ในสถานะทำงาน

$$P_{uP} = \mu_s \;/\; (\lambda_s+\mu_s)$$

ดังนั้น

$$\mu_1\mu_2 \;/\; (\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2) = \mu_s \;/\; (\lambda_s+\mu_s) \qquad (2.1)$$

เนื่องจาก

อัตราการเปลี่ยนสถานะจากสถานะทำงานไปสู่สถานะอื่นของอุปกรณ์เทียบเท่า

$= \lambda_s$

อัตราการเปลี่ยนสถานะจากสถานะทำงานไปสู่สถานะอื่นของอุปกรณ์ 2 ชุด

$= \lambda_1 + \lambda_2$

ดังนั้น

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \qquad (2.2)$$

จากสมการ (2.1,2.2)

$$r_s = 1/\mu_s = (\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2) / \lambda_s$$

ในระบบไฟฟ้า ค่า $\lambda_i r_i$ มักจะมีค่าน้อยมาก และ $m >> r$ ดังนั้น

$$\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 << \lambda_1 r_1 , \lambda_2 r_2$$

$$r_s = (\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2) / \lambda_s$$

ในทำนองเดียวกันกับ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่ออนุกรมกัน n ชุด จะได้

$$\lambda_s = \Sigma_{i=[1,n]} \lambda_i$$

$$r_s = (\Sigma_{i=[1,n]} \lambda_i r_i) / \lambda_s$$

$$U_s = r_s / (m_s + r_s)$$

$$= \lambda_s r_s = \Sigma_{i=[1,n]} \lambda_i r_i$$

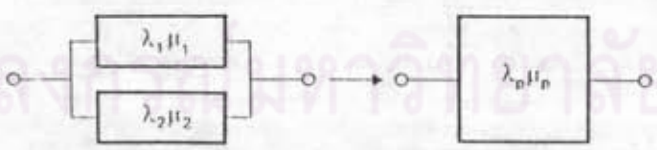
<u>พิจารณากรณีที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่อกันแบบขนาน</u>

จากรูปที่ 2.4

$P_{down} = P_4$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะหยุดทำงาน

$$= \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda_1 + \mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)$$

ในการคำนวณจำเป็นต้องหา λ_p, μ_p ของอุปกรณ์เทียบเท่า ที่สามารถแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ 1 และ 2 ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์เทียบเท่าในระบบขนาน

จากรูปที่ 2.6 จะได้ความน่าจะเป็นของอุปกรณ์เทียบเท่าที่อยู่ในสถานะหยุดทำงาน

$$P_{down} = \lambda_p / (\lambda_p + \mu_p)$$

ดังนั้น

$$\lambda_p / (\lambda_p+\mu_p) = \lambda_1\lambda_2 / (\lambda_1+\mu_1)(\lambda_2+\mu_2) \qquad (2.3)$$

เนื่องจาก

อัตราการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหยุดทำงานไปสู่สถานะอื่นของอุปกรณ์เทียบเท่า

$= \mu_p$

อัตราการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหยุดทำงานไปสู่สถานะอื่นของอุปกรณ์ 2 ชุด

$= \mu_1 + \mu_2$

ดังนั้น

$$\mu_p = \mu_1 + \mu_2$$

$$1/r_p = 1/r_1 + 1/r_2$$

$$r_p = r_1r_2 / (r_1+r_2) \qquad (2.4)$$

จากสมการ (2.3,2.4)

$$\lambda_p = \lambda_1\lambda_2(r_1+r_2) / (1+\lambda_1r_1+\lambda_2r_2)$$

ในระบบไฟฟ้า ค่า $\lambda_1r_1 << 1$ ดังนั้น

$$\lambda_p = \lambda_1\lambda_2(r_1+r_2) \qquad (2.5)$$

$$U_p = \lambda_pr_p = \lambda_1\lambda_2r_1r_2$$

จากสมการ (2.5) เขียนได้อีกแบบเป็น

$$\lambda_p = \lambda_1(\lambda_2r_1) + \lambda_2(\lambda_1r_2) \qquad (2.6)$$

พารามิเตอร์ของเวลาที่ปรากฏในวงเล็บในสมการ (2.6) เรียกว่า exposure time และจากสมการ อธิบายได้ว่า ระบบจะล้มเหลวเมื่ออุปกรณ์ที่ 1 ล้มเหลวตามด้วยอุปกรณ์ที่ 2 ล้มเหลวในช่วงเวลาหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ 1 หรือ เมื่ออุปกรณ์ที่ 2 ล้มเหลว ตามด้วยอุปกรณ์ที่ 1 ล้มเหลวในช่วงเวลาหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ 2 และโดยหลักการเดียวกันนี้สามารถหาระบบเทียบเท่าที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อขนานกัน n ชุด

ยกตัวอย่างกรณีระบบต่อขนานกัน 3 ชุด ได้แก่ A B และ C ระบบจะล้มเหลวเมื่อ A ล้มเหลว ตามด้วย B ล้มเหลวในช่วงเวลาหยุดทำงานของ A ตามด้วย C ล้ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหลวในช่วงเวลาที่ A และ B หยุดทำงาน หรือ

A ล้มเหลว ตามด้วย C ล้มเหลวในช่วงเวลาหยุดทำงานของ A ตามด้วย B ล้มเหลวในช่วงเวลาที่ A และ C หยุดทำงาน หรือ

... อีก 4 ข้อความที่คล้ายคลึงกัน โดยมีโอกาสความล้มเหลวของอุปกรณ์คือ BAC, BCA, CAB, CBA

ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการการคำนวณได้ดังนี้

$$\lambda_P = \lambda_A(\lambda_B r_A)(\lambda_C r_A r_B/(r_A+r_B)) + \lambda_A(\lambda_C r_A)(\lambda_B r_A r_C/(r_A+r_C))$$
$$+ \lambda_B(\lambda_A r_B)(\lambda_C r_A r_B/(r_A+r_B)) + \lambda_B(\lambda_C r_B)(\lambda_A r_B r_C/(r_B+r_C))$$
$$+ \lambda_C(\lambda_A r_C)(\lambda_B r_A r_C/(r_A+r_C)) + \lambda_C(\lambda_B r_C)(\lambda_A r_B r_C/(r_B+r_C))$$

$$\lambda_P = \lambda_A\lambda_B\lambda_C\ (r_A r_B + r_B r_C + r_C r_A)$$

$$\mu_P = \mu_A + \mu_B + \mu_C$$

$$1/r_P = 1/r_A + 1/r_B + 1/r_C$$

$$r_P = r_A r_B r_C\ /\ (r_A r_B + r_B r_C + r_C r_A)$$

$$U_P = \lambda_P r_P = \lambda_A\lambda_B\lambda_C r_A r_B r_C$$

2.2 สมการ APPROXIMATION

จากแบบจำลองในหัวข้อ 2.1 เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการเพื่อคำนวณหาค่า λ, r และ U โดยคำนึงถึงเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้แก่จุดโหลดได้ อันได้แก่ความขัดข้องโดยเหตุบังคับถาวร(p), ความขัดข้องตามกำหนด(m) และความขัดข้องโดยเหตุบังคับชั่วครู่(t) ทั้งนี้ความขัดข้องตามกำหนดจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อ ในขณะนั้นไม่มีความขัดข้องเนื่องจากเหตุการณ์อื่นในขณะที่จะกระทำการ โดยเหตุการณ์ที่เป็นไปได้นั้นแบ่งเป็นขั้นที่ 1 ถึง 4 หมายถึง จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะทำให้การจ่ายพลังงานไปยังจุดโหลดที่กำลังพิจารณานั้นล้มเหลวมีได้ตั้งแต่ 1 ถึง 4 อุปกรณ์

2.2.1 กรณีที่เป็นเหตุการณ์ขั้นที่ 1

$$\lambda = \lambda_p + \lambda_t$$

$\lambda_p = \Sigma\lambda_{pi}$ $\quad U_p = \Sigma\lambda_{pi}r_{pi}$ $\quad r_p = U_p / r_p$

$\lambda_b = \Sigma\lambda_{bi}$ $\quad U_b = \Sigma\lambda_{bi}r_{bi}$ $\quad r_b = U_b / r_b$

2.2.2 กรณีที่เป็นเหตุการณ์ขั้นที่ 2

$\lambda = \lambda_{pp} + \lambda_{pm} + \lambda_{pb} + \lambda_{mb} + \lambda_{bb}$

$\lambda_{pp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}\ (r_{p1}+r_{p2})$

$U_{pp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}r_{p1}r_{p2}$

$r_{pp} = U_{pp} / \lambda_{pp}$

$\lambda_{pm} = \lambda_{m1}(\lambda_{p2}r_{m1}) + \lambda_{m2}(\lambda_{p1}r_{m2})$

$U_{pm} = \lambda_{m1}(\lambda_{p2}r_{m1})r_{m1}r_{p2}/(r_{m1}+r_{p2})$

$\quad + \lambda_{m2}(\lambda_{p1}r_{m2})r_{m2}r_{p1}/(r_{m2}+r_{p1})$

$r_{pm} = U_{pm} / \lambda_{pm}$

$\lambda_{pb} = \lambda_{b1}\lambda_{p2}(r_{b1}+r_{p2}) + \lambda_{p1}\lambda_{b2}(r_{p1}+r_{b2})$

$U_{pb} = \lambda_{b1}\lambda_{p2}r_{b1}r_{p2} + \lambda_{p1}\lambda_{b2}r_{p1}r_{b2}$

$r_{pb} = U_{pb} / \lambda_{pb}$

$\lambda_{mb} = \lambda_{m1}(\lambda_{b2}r_{m1}) + \lambda_{m2}(\lambda_{b1}r_{m2})$

$U_{mb} = \lambda_{m1}(\lambda_{b2}r_{m1})r_{m1}r_{b2}/(r_{m1}+r_{b2})$

$\quad + \lambda_{m1}(\lambda_{b2}r_{m1})r_{m1}r_{b2}/(r_{m1}+r_{b2})$

$r_{mb} = U_{mb} / \lambda_{mb}$

$\lambda_{bb} = \lambda_{b1}\lambda_{b2}(r_{b1}+r_{b2})$

$U_{bb} = \lambda_{b1}\lambda_{b2}r_{b1}r_{b2}$

$r_{bb} = U_{bb} / \lambda_{bb}$

2.2.3 กรณีที่เป็นเหตุการณ์ขั้นที่ 3

$\lambda = \lambda_{ppp} + \lambda_{ppb} + \lambda_{pbb} + \lambda_{ppm} + \lambda_{pmb} + \lambda_{mbb}$

$\lambda_{ppp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\ (r_{p1}r_{p2}+r_{p2}r_{p3}+r_{p3}r_{p1})$

$U_{ppp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}r_{p1}r_{p2}r_{p3}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$r_{ppp} = U_{ppp} \;/\; \lambda_{ppp}$$

$$\lambda_{pp4} = \lambda_{41}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\,(r_{41}r_{p2}+r_{p2}r_{p3}+r_{p3}r_{41})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{42}\lambda_{p3}\,(r_{p1}r_{42}+r_{42}r_{p3}+r_{p3}r_{p1})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{43}\,(r_{p1}r_{p2}+r_{p2}r_{43}+r_{43}r_{p1})$$

$$U_{pp4} = \lambda_{41}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\,(r_{41}r_{p2}r_{p3})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{42}\lambda_{p3}\,(r_{p1}r_{42}r_{p3})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{43}\,(r_{p1}r_{p2}r_{43})$$

$$r_{pp4} = U_{pp4} \;/\; \lambda_{pp4}$$

$$\lambda_{p44} = \lambda_{p1}\lambda_{42}\lambda_{43}\,(r_{p1}r_{42}+r_{42}r_{43}+r_{43}r_{p1})$$
$$+ \lambda_{41}\lambda_{p2}\lambda_{43}\,(r_{41}r_{p2}+r_{p2}r_{43}+r_{43}r_{41})$$
$$+ \lambda_{41}\lambda_{42}\lambda_{p3}\,(r_{41}r_{42}+r_{42}r_{p3}+r_{p3}r_{41})$$

$$U_{p44} = \lambda_{p1}\lambda_{42}\lambda_{43}\,(r_{p1}r_{42}r_{43})$$
$$+ \lambda_{41}\lambda_{p2}\lambda_{43}\,(r_{41}r_{p2}r_{43})$$
$$+ \lambda_{41}\lambda_{42}\lambda_{p3}\,(r_{41}r_{42}r_{p3})$$

$$r_{p44} = U_{p44} \;/\; \lambda_{p44}$$

$$\lambda_{ppm} = \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}r_{m1}^{2}\,(r_{p2}/(r_{m1}+r_{p2}) + r_{p3}/(r_{m1}+r_{p3}))$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{m2}\lambda_{p3}r_{m2}^{2}\,(r_{p1}/(r_{p1}+r_{m2}) + r_{p3}/(r_{m2}+r_{p3}))$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{m3}r_{m3}^{2}\,(r_{p1}/(r_{p1}+r_{m3}) + r_{p2}/(r_{p2}+r_{m3}))$$

$$U_{ppm} = \text{term1} \times r_{m1}r_{p2}r_{p3} \;/\; (r_{m1}r_{p2}+r_{p2}r_{p3}+r_{p3}r_{m1})$$
$$+ \text{term2} \times r_{p1}r_{m2}r_{p3} \;/\; (r_{p1}r_{m2}+r_{m2}r_{p3}+r_{p3}r_{p1})$$
$$+ \text{term3} \times r_{p1}r_{p2}r_{m3} \;/\; (r_{p1}r_{p2}+r_{p2}r_{m3}+r_{m3}r_{p1})$$

$$r_{ppm} = U_{ppm} \;/\; \lambda_{ppm}$$

$$\lambda_{pm4} = \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{43}r_{m1}^{2}\,(r_{p2}/(r_{m1}+r_{p2}) + r_{43}/(r_{m1}+r_{43}))$$
$$+ \lambda_{m1}\lambda_{42}\lambda_{p3}r_{m1}^{2}\,(r_{42}/(r_{m1}+r_{42}) + r_{p3}/(r_{m1}+r_{p3}))$$
$$+ \lambda_{m2}\lambda_{p1}\lambda_{43}r_{m2}^{2}\,(r_{p1}/(r_{m2}+r_{p1}) + r_{43}/(r_{m2}+r_{43}))$$
$$+ \lambda_{m2}\lambda_{41}\lambda_{p3}r_{m2}^{2}\,(r_{41}/(r_{m2}+r_{41}) + r_{p3}/(r_{m2}+r_{p3}))$$
$$+ \lambda_{m3}\lambda_{p1}\lambda_{42}r_{m3}^{2}\,(r_{p1}/(r_{m3}+r_{p1}) + r_{42}/(r_{m3}+r_{42}))$$

018493

$$+ \lambda_{m3}\lambda_{t1}\lambda_{p2}r_{m3}^{2}\,(r_{t1}/(r_{m3}+r_{t1}) + r_{p2}/(r_{m3}+r_{p2}))$$

$$U_{pmt} = \text{term1} \times r_{m1}r_{p2}r_{t3} / (r_{m1}r_{p2}+r_{p2}r_{t3}+r_{t3}r_{m1})$$
$$+ \text{term2} \times r_{m1}r_{t2}r_{p3} / (r_{m1}r_{t2}+r_{t2}r_{p3}+r_{p3}r_{m1})$$
$$+ \text{term3} \times r_{p1}r_{m2}r_{t3} / (r_{p1}r_{m2}+r_{m2}r_{t3}+r_{t3}r_{p1})$$
$$+ \text{term4} \times r_{t1}r_{m2}r_{p3} / (r_{t1}r_{m2}+r_{m2}r_{p3}+r_{p3}r_{t1})$$
$$+ \text{term5} \times r_{p1}r_{t2}r_{m3} / (r_{p1}r_{t2}+r_{t2}r_{m3}+r_{m3}r_{p1})$$
$$+ \text{term6} \times r_{t1}r_{p2}r_{m3} / (r_{t1}r_{p2}+r_{p2}r_{m3}+r_{m3}r_{t1})$$

$$r_{pmt} = U_{pmt} / \lambda_{pmt}$$

$$\lambda_{mtt} = \lambda_{m1}\lambda_{t2}\lambda_{t3}r_{m1}^{2}\,(r_{t2}/(r_{m1}+r_{t2}) + r_{t3}/(r_{m1}+r_{t3}))$$
$$+ \lambda_{t1}\lambda_{m2}\lambda_{t3}r_{m2}^{2}\,(r_{t1}/(r_{t1}+r_{m2}) + r_{t3}/(r_{m2}+r_{t3}))$$
$$+ \lambda_{t1}\lambda_{t2}\lambda_{m3}r_{m3}^{2}\,(r_{t1}/(r_{t1}+r_{m3}) + r_{t2}/(r_{t2}+r_{m3}))$$

$$U_{mtt} = \text{term1} \times r_{m1}r_{t2}r_{t3} / (r_{m1}r_{t2}+r_{t2}r_{t3}+r_{t3}r_{m1})$$
$$+ \text{term2} \times r_{t1}r_{m2}r_{t3} / (r_{t1}r_{m2}+r_{m2}r_{t3}+r_{t3}r_{t1})$$
$$+ \text{term3} \times r_{t1}r_{t2}r_{m3} / (r_{t1}r_{t2}+r_{t2}r_{m3}+r_{m3}r_{t1})$$

$$r_{mtt} = U_{mtt} / \lambda_{mtt}$$

2.2.4 กรณีที่เป็นเหตุการณ์ชั้นที่ 4

$$\lambda = \lambda_{pppp} + \lambda_{ppp t} + \lambda_{pptt} + \lambda_{pppm} + \lambda_{ppmt} + \lambda_{pmtt}$$

$$\lambda_{pppp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,(r_{p1}r_{p2}r_{p3} + r_{p2}r_{p3}r_{p4} + r_{p3}r_{p4}r_{p1}$$
$$+ r_{p4}r_{p1}r_{p2})$$

$$U_{pppp} = \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,(r_{p1}r_{p2}r_{p3}r_{p4})$$

$$r_{pppp} = U_{pppp} / \lambda_{pppp}$$

$$\lambda_{ppp t} = \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,(r_{t1}r_{p2}r_{p3} + r_{t1}r_{p2}r_{p4} + r_{t1}r_{p3}r_{p4}$$
$$+ r_{p2}r_{p3}r_{p4})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,(r_{p1}r_{t2}r_{p3} + r_{p1}r_{t2}r_{p4} + r_{p1}r_{p3}r_{p4}$$
$$+ r_{t2}r_{p3}r_{p4})$$
$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\,(r_{p1}r_{p2}r_{t3} + r_{p1}r_{p2}r_{p4} + r_{p1}r_{t3}r_{p4}$$

$$+ r_{p2}r_{t3}r_{p4m})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ (r_{p1}r_{p2}r_{p3} + r_{p1}r_{p2}r_{t4} + r_{p1}r_{p3}r_{t4}$$

$$+ r_{p2}r_{p3}r_{t4})$$

$$U_{ppp4} = \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\ (r_{t1}r_{p2}r_{p3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\ (r_{p1}r_{t2}r_{p3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\ (r_{p1}r_{p2}r_{t3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ (r_{p1}r_{p2}r_{p3}r_{t4})$$

$$r_{ppp4} = U_{ppp4} \ / \ \lambda_{ppp4}$$

$$\lambda_{pp44} = \lambda_{t1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\ [r_{t1}r_{t2}(r_{p3}+r_{p4}) + r_{p3}r_{p4}(r_{t1}+r_{t2})]$$

$$+ \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\ [r_{t1}r_{p2}(r_{t3}+r_{p4}) + r_{t3}r_{p4}(r_{t1}+r_{p2})]$$

$$+ \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ [r_{t1}r_{p2}(r_{p3}+r_{t4}) + r_{p3}r_{t4}(r_{t1}+r_{p2})]$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{t3}\lambda_{p3}\ [r_{p1}r_{t2}(r_{t3}+r_{p4}) + r_{t3}r_{p4}(r_{p1}+r_{t2})]$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ [r_{p1}r_{t2}(r_{p3}+r_{t4}) + r_{p3}r_{t4}(r_{p1}+r_{t2})]$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{t4}\ [r_{p1}r_{p2}(r_{t3}+r_{t4}) + r_{t3}r_{t4}(r_{p1}+r_{p2})]$$

$$U_{pp44} = \lambda_{t1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\ (r_{t1}r_{t2}r_{p3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\ (r_{t1}r_{p2}r_{t3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ (r_{t1}r_{p2}r_{p3}r_{t4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\ (r_{p1}r_{t2}r_{t3}r_{p4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\ (r_{p1}r_{t2}r_{p3}r_{t4})$$

$$+ \lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{t4}\ (r_{p1}r_{p2}r_{t3}r_{t4})$$

$$r_{pp44} = U_{pp44} \ / \ \lambda_{pp44}$$

สร้าง function

four(a,b,c,d) = abcd / (abc+bcd+cda+dab)

group(a,b,c) = a [ab/(a+b) + ac/(a+c)] [abc/(ab+bc+ca)]

$= a^3$ [b/(a+b) + c/(a+c)] [bc/(ab+bc+ca)]

$$\lambda_{pppm} = \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p3},r_{p4})\,] + \lambda_{m2}\lambda_{p1}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p3},r_{p4})\,] + \lambda_{m3}\lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m3},r_{p1},r_{p2}) + \mathrm{group}(r_{m3},r_{p1},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m3},r_{p2},r_{p4})\,] + \lambda_{m4}\lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\,[\,\mathrm{group}(r_{m4},r_{p1},r_{p2}) + \mathrm{group}(r_{m4},r_{p1},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m4},r_{p2},r_{p3})\,]$$

$$U_{pppm} = \mathrm{term1} \times \mathrm{four}(r_{m1},r_{p2},r_{p3},r_{p4}) + \mathrm{term2} \times \mathrm{four}(r_{m2},r_{p1},r_{p3},r_{p4}) + \mathrm{term3} \times \mathrm{four}(r_{m3},r_{p1},r_{p2},r_{p4}) + \mathrm{term4} \times \mathrm{four}(r_{m4},r_{p1},r_{p2},r_{p3})$$

$$r_{pppm} = U_{pppm} \,/\, \lambda_{pppm}$$

$$\lambda_{ppmt} = \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{t4}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p3},r_{t4})\,] + \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{t3}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p2},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{t3},r_{p4})\,] + \lambda_{m1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m1},r_{t2},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{t2},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m1},r_{p3},r_{p4})\,] + \lambda_{m2}\lambda_{p1}\lambda_{p3}\lambda_{t4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{t4}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p3},r_{t4})\,] + \lambda_{m2}\lambda_{p1}\lambda_{t3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{t3}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p1},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{t3},r_{p4})\,] + \lambda_{m2}\lambda_{t1}\lambda_{p3}\lambda_{p4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m2},r_{t1},r_{p3}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{t1},r_{p4}) + \mathrm{group}(r_{m2},r_{p3},r_{p4})\,] + \lambda_{m3}\lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t4}\,[\,\mathrm{group}(r_{m3},r_{p1},r_{p2}) + \mathrm{group}(r_{m3},r_{p1},r_{t4}) + \mathrm{group}(r_{m3},r_{p2},r_{t4})\,]$$

$$+ \lambda_{m3}\lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p4} [\ group(r_{m3}, r_{p1}, r_{t2})$$

$$+ group(r_{m3}, r_{p1}, r_{p4}) + group(r_{m3}, r_{t2}, r_{p4})\ ]$$

$$+ \lambda_{m3}\lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p4} [\ group(r_{m3}, r_{t1}, r_{p2})$$

$$+ group(r_{m3}, r_{t1}, r_{p4}) + group(r_{m3}, r_{p2}, r_{p4})\ ]$$

$$+ \lambda_{m4}\lambda_{p1}\lambda_{p2}\lambda_{t3} [\ group(r_{m4}, r_{p1}, r_{p2})$$

$$+ group(r_{m4}, r_{p1}, r_{t3}) + group(r_{m4}, r_{p2}, r_{t3})\ ]$$

$$+ \lambda_{m4}\lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{p3} [\ group(r_{m4}, r_{p1}, r_{t2})$$

$$+ group(r_{m4}, r_{p1}, r_{p3}) + group(r_{m4}, r_{t2}, r_{p3})\ ]$$

$$+ \lambda_{m4}\lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{p3} [\ group(r_{m4}, r_{t1}, r_{p2})$$

$$+ group(r_{m4}, r_{t1}, r_{p3}) + group(r_{m4}, r_{p2}, r_{p3})\ ]$$

$$U_{ppmt} = term1 \times four(r_{m1}, r_{p2}, r_{p3}, r_{t4})$$

$$+ term2 \times four(r_{m1}, r_{p2}, r_{t3}, r_{p4})$$

$$+ term3 \times four(r_{m1}, r_{t2}, r_{p3}, r_{p4})$$

$$+ term4 \times four(r_{m2}, r_{p1}, r_{p3}, r_{t4})$$

$$+ term5 \times four(r_{m2}, r_{p1}, r_{t3}, r_{p4})$$

$$+ term6 \times four(r_{m2}, r_{t1}, r_{p3}, r_{p4})$$

$$+ term7 \times four(r_{m3}, r_{p1}, r_{p2}, r_{t4})$$

$$+ term8 \times four(r_{m3}, r_{p1}, r_{t2}, r_{p4})$$

$$+ term9 \times four(r_{m3}, r_{t1}, r_{p2}, r_{p4})$$

$$+ term10 \times four(r_{m4}, r_{p1}, r_{p2}, r_{t3})$$

$$+ term11 \times four(r_{m4}, r_{p1}, r_{t2}, r_{p3})$$

$$+ term12 \times four(r_{m4}, r_{t1}, r_{p2}, r_{p3})$$

$$r_{ppmt} = U_{ppmt} \ / \ \lambda_{ppmt}$$

$$\lambda_{pmtt} = \lambda_{m1}\lambda_{p2}\lambda_{t3}\lambda_{t4} [\ group(r_{m1}, r_{p2}, r_{t3})$$

$$+ group(r_{m1}, r_{p2}, r_{t4}) + group(r_{m1}, r_{t3}, r_{t4})\ ]$$

$$+ \lambda_{m1}\lambda_{t2}\lambda_{p3}\lambda_{t4} [\ group(r_{m1}, r_{t2}, r_{p3})$$

$$+ group(r_{m1}, r_{t2}, r_{t4}) + group(r_{m1}, r_{p3}, r_{t4})\ ]$$

$$+ \lambda_{m1}\lambda_{t2}\lambda_{t3}\lambda_{p4} \left[group(r_{m1}, r_{t2}, r_{t3}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m1}, r_{t2}, r_{p4}) + group(r_{m1}, r_{t3}, r_{p4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m2}\lambda_{p1}\lambda_{t3}\lambda_{t4} \left[group(r_{m2}, r_{p1}, r_{t3}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m2}, r_{p1}, r_{t4}) + group(r_{m2}, r_{t3}, r_{t4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m2}\lambda_{t1}\lambda_{p3}\lambda_{t4} \left[group(r_{m2}, r_{t1}, r_{p3}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m2}, r_{t1}, r_{t4}) + group(r_{m2}, r_{p3}, r_{t4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m2}\lambda_{t1}\lambda_{t3}\lambda_{p4} \left[group(r_{m2}, r_{t1}, r_{t3}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m2}, r_{t1}, r_{p4}) + group(r_{m2}, r_{t3}, r_{p4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m3}\lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{t4} \left[group(r_{m3}, r_{p1}, r_{t2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m3}, r_{p1}, r_{t4}) + group(r_{m3}, r_{t2}, r_{t4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m3}\lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{t4} \left[group(r_{m3}, r_{t1}, r_{p2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m3}, r_{t1}, r_{t4}) + group(r_{m3}, r_{p2}, r_{t4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m3}\lambda_{t1}\lambda_{t2}\lambda_{p4} \left[group(r_{m3}, r_{t1}, r_{t2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m3}, r_{t1}, r_{p4}) + group(r_{m3}, r_{t2}, r_{p4}) \right]$$
$$+ \lambda_{m4}\lambda_{p1}\lambda_{t2}\lambda_{t3} \left[group(r_{m4}, r_{p1}, r_{t2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m4}, r_{p1}, r_{t3}) + group(r_{m4}, r_{t2}, r_{t3}) \right]$$
$$+ \lambda_{m4}\lambda_{t1}\lambda_{p2}\lambda_{t3} \left[group(r_{m4}, r_{t1}, r_{p2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m4}, r_{t1}, r_{t3}) + group(r_{m4}, r_{p2}, r_{t3}) \right]$$
$$+ \lambda_{m4}\lambda_{t1}\lambda_{t2}\lambda_{p3} \left[group(r_{m4}, r_{t1}, r_{t2}) \right.$$
$$\left. + group(r_{m4}, r_{t1}, r_{p3}) + group(r_{m4}, r_{t2}, r_{p3}) \right]$$

$$U_{pmtt} = term1 \times four(r_{m1}, r_{p2}, r_{t3}, r_{t4})$$
$$+ term2 \times four(r_{m1}, r_{t2}, r_{p3}, r_{t4})$$
$$+ term3 \times four(r_{m1}, r_{t2}, r_{t3}, r_{p4})$$
$$+ term4 \times four(r_{m2}, r_{p1}, r_{t3}, r_{t4})$$
$$+ term5 \times four(r_{m2}, r_{t1}, r_{p3}, r_{t4})$$
$$+ term6 \times four(r_{m2}, r_{t1}, r_{t3}, r_{p4})$$
$$+ term7 \times four(r_{m3}, r_{p1}, r_{t2}, r_{t4})$$

$$+ \text{term8} \times \text{four}(r_{m3}, r_{t1}, r_{p2}, r_{t4})$$

$$+ \text{term9} \times \text{four}(r_{m3}, r_{t1}, r_{t2}, r_{p4})$$

$$+ \text{term10} \times \text{four}(r_{m4}, r_{p1}, r_{t2}, r_{t3})$$

$$+ \text{term11} \times \text{four}(r_{m4}, r_{t1}, r_{p2}, r_{t3})$$

$$+ \text{term12} \times \text{four}(r_{m4}, r_{t1}, r_{t2}, r_{p3})$$

$$r_{pmtt} = U_{pmtt} / \lambda_{pmtt}$$

2.3 ดัชนีที่ใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟ (Billinton and Allan, 1984)

SAIFI = System average interruption frequency index

= จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทุกครั้งรวมกัน / จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

$= \Sigma \lambda_i N_i / \Sigma N_i$

CAIFI = Customer average interruption frequency index

= จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทุกครั้งรวมกัน / จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ

$= \Sigma \lambda_i N_i / \Sigma N_{ai}$

SAIDI = System average interruption duration index

= (ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ x ระยะเวลาในการได้รับผลกระทบในแต่ละครั้ง) / จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

$= \Sigma U_i N_i / \Sigma N_i$

CAIDI = Customer average interruption duration index

= (ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ x ระยะเวลาในการได้รับผลกระทบในแต่ละครั้ง) / จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทุกครั้งรวมกัน

$= \Sigma U_i N_i / \Sigma \lambda_i N_i$

ASUI = Average service unavailability index

= (ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ x ระยะเวลาในการได้รับผล

พุทธมณฑล สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระทบในแต่ละครั้ง) / (จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด x ระยะเวลาในการประเมินทั้งหมด)

$= \Sigma U_i N_i / (\Sigma N_i \times T)$

ASAI = Average service availability index

= 1 - ASUI

ENS = Total energy not supplied by the system

= พลังงานทั้งหมดที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ระบบเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น

$= \Sigma L_{ai} U_i$

AENS = Average energy not supplied

= พลังงานทั้งหมดที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ระบบเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น / จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

$= \Sigma L_{ai} U_i / \Sigma N_i$

ACCI = Average customer curtailment index

= พลังงานทั้งหมดที่ไม่ได้จ่ายให้แก่ระบบเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น / จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ

$= \Sigma L_{ai} U_i / \Sigma N_{ai}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย