



# วิทยานิพนธ์

การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความ  
เชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยวิธีการจำลองมอนติ คาร์โล

**OPTIMAL RELOCATION OF SECTIONAL DEVICES FOR  
POWER SYSTEM RELIABILITY ENHANCEMENT  
THROUGH MONTE CARLO SIMULATION**

นายพหล นภารัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550





## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า  
กำลัง โดยวิธีการจำลองมอนติ คาร์โล

Optimal Relocation of Sectional Devices for Power System Reliability Enhancement through  
Monte Carlo Simulation

نامผู้วิจัย นายพหล นภารัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีระยศ แสนโกชณ์, D.Sc. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์นาคยา คล้ายเรือง, วศ.ด. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า  
กำลัง โดยวิธีการจำลองมอนติ คาร์โล

Optimal Relocation of Sectional Devices for Power System Reliability Enhancement through  
Monte Carlo Simulation

โดย

นายพหล นภารัตน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)  
พ.ศ. 2550

พหล นภรัตน์ 2550: การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยวิธีการจำลองมอนติ คาร์โล ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 98 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โล ทั้งที่สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์เมื่อมีอัตราความเสียหายที่คงที่ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล หรือไม่สามารถคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์เมื่อมีอัตราความเสียหายที่ไม่คงที่ เช่นการแจกแจงเป็นแบบไวบูลล์ เป็นต้น และทำการศึกษารูปแบบของการวางอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายที่ส่งผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยนำเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ร่วมกับวิธีการจำลองมอนติคาร์โลเพื่อหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขของการลงทุน

กรณีศึกษาที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้น ได้จากกรณีศึกษาที่มีอยู่เดิมของระบบอย่างง่าย Roy Billinton และระบบที่มีอยู่จริงของการไฟฟ้าโดยเลือกระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี เฟดเดอร์ 5 (SRA05) และเฟดเดอร์ 6 (SRA06) ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น มาทำการหาความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โลเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ เพื่อพิจารณาความถูกต้องก่อนการนำมาประยุกต์ใช้ และนำเจนเนติกอัลกอริทึม มาวิเคราะห์ร่วมกับวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โล ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ในระบบที่ทำให้ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้น

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการนำเสนอวิธีการที่เหมาะสมกับการใช้วางแผน การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่ทำให้สมรรถนะของระบบดีที่สุด และมีความยืดหยุ่นต่อเหตุการณ์ที่น่าจะเกิดขึ้นจริงตามลักษณะของการแจกแจงอัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมแซมที่มีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ซึ่งผลของการศึกษาที่ได้ นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนปรับปรุงระบบจริงให้อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

Pahol Naparat 2007: Optimal Relocation of Sectional Devices for Power System Reliability Enhancement through Monte Carlo Simulation. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpredapong, Ph.D. 98 pages.

This thesis studies and analyzes the computation of power system reliability indices using Monte-Carlo simulation. Generally, the reliability indices can be simply computed by mathematical formulae, when the exponential distribution, which results in a constant failure rate, is assumed. For the other distributions such as the weibull distribution, the mathematical formulae are not applicable due to inconstant failure rate. As a result, the Monte-Carlo simulation is employed to compute the reliability indices. In addition, this thesis develops an algorithm for relocation of sectional devices in order to enhance the system reliability based on collaboration of genetic algorithm and Monte-Carlo simulation. This will result in optimal locations of fuses and disconnecting switches subjected to budget constraints.

To illustrate performance of the proposed algorithm, a simple power distribution system selected from Roy Billinton's book is first used as a case study. Next, two actual distribution systems of the Provincial Electricity Authority (PEA) of Thailand, feeders SRA05 and SRA06 in Saraburi province, are chosen as more complicated case studies. Monte-Carlo simulation is applied to the above case studies, and the results are compared with those obtained from the mathematical formulae to evaluate the accuracy of the Monte-Carlo technique. Subsequently, it is used together with genetic algorithm to determine the optimal locations of fuses and disconnecting switches of the selected feeders to achieve a better reliability level.

The algorithm presented in this thesis is very helpful for planning engineers in locating fuses and disconnecting switches on their distribution feeders with the purpose of the best reliability. This algorithm is also flexible to any types of statistical distributions, including time-varying failure and repair rates. The results of this research show that the proposed algorithm is practical and appealing for power system planning and reliability enhancement.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิตพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ ประธาน  
กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิระยศ แสนโกชณ์ และดร.นิตยา คล้ายเรือง กรรมการ  
ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ในการแก้ไขปัญหาวិทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆในโครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยสนับสนุนมาโดยตลอด รวมทั้งให้คำแนะนำในการเขียนเรียบ  
เรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

และขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามมา  
 ณ ที่นี้ ที่คอยเป็นทั้งกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดมา

พหล นภารัตน์

พฤษภาคม 2550

## สารบัญ

### หน้า

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| สารบัญ                                  | (1) |
| สารบัญตาราง                             | (2) |
| สารบัญภาพ                               | (3) |
| คำนำ                                    | 1   |
| วัตถุประสงค์                            | 2   |
| การตรวจเอกสาร                           | 3   |
| รูปแบบการแจกแจงของอัตราความเสียหาย      | 3   |
| พื้นฐานความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง | 11  |
| หลักการมอนิเตอร์โด                      | 25  |
| เจนเนติกอัลกอริทึม                      | 32  |
| อุปกรณ์และวิธีการ                       | 50  |
| อุปกรณ์                                 | 50  |
| วิธีการ                                 | 50  |
| ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา                  | 51  |
| การวิเคราะห์ข้อมูล                      | 56  |
| ผลและวิจารณ์                            | 65  |
| ผล                                      | 65  |
| วิจารณ์                                 | 92  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                       | 94  |
| สรุป                                    | 94  |
| ข้อเสนอแนะ                              | 95  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                    | 96  |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน              | 98  |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                                                  | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 ตัวแปรของระบบ                                                                                                                                           | 21   |
| 2 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และ โหลดแต่ละจุดต่อโหลด                                                                                                                | 21   |
| 3 ดัชนีความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐาน                                                                                                                | 22   |
| 4 ดัชนีความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐานกรณีเพิ่มฟิวส์                                                                                                  | 23   |
| 5 ดัชนีความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐานกรณีเพิ่มฟิวส์ และตัดตอน                                                                                        | 24   |
| 6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและระยะห่าง                                                                                                                 | 44   |
| 7 ข้อมูลของโครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์5<br>(SRA05)                                                                                  | 52   |
| 8 ข้อมูลของโครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์6<br>(SRA06)                                                                                  | 54   |
| 9 ค่าตัวแปรของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์5<br>(SRA05) และฟีดเดอร์6 (SRA06) ที่มีการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์<br>สายเหนือดินแบบไวบูลล์ | 55   |
| 10 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB01                                                                                                            | 66   |
| 11 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB02                                                                                                            | 69   |
| 12 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB03                                                                                                            | 72   |
| 13 การตรวจผลคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์                                                                                              | 74   |
| 14 เปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการวิเคราะห์และวิธีแบบจำลอง                                                                                            | 92   |
| 15 เปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์วิธีการสุ่มทดลองกับวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม                                                                                 | 93   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                       | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | เส้นโค้งรูปประฆังคว่ำของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ                      | 3    |
| 2      | ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติ                                          | 4    |
| 3      | กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล                                | 6    |
| 4      | กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบเอ็กโพเนนเชียล                            | 7    |
| 5      | กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์                                       | 9    |
| 6      | กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์                                   | 10   |
| 7      | การทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์                                             | 15   |
| 8      | การต่ออนุกรมของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์                                      | 16   |
| 9      | โครงข่ายที่มีการต่ออนุกรม                                             | 17   |
| 10     | ระบบพื้นฐาน (ระบบ Roy Billinton)                                      | 20   |
| 11     | ระบบพื้นฐานโดยเพิ่มฟิวส์                                              | 22   |
| 12     | ระบบพื้นฐานโดยเพิ่มฟิวส์ และสวิตช์ตัดตอน                              | 23   |
| 13     | ความน่าจะเป็นของการโยนเหรียญแล้วออกหัว                                | 26   |
| 14     | ความน่าจะเป็นของการโยนเหรียญ โดยทำการสุ่มใหม่                         | 26   |
| 15     | แบบจำลองลำดับการทำงานของอุปกรณ์                                       | 30   |
| 16     | ลักษณะการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์                             | 30   |
| 17     | ตำแหน่งของยีนจะเป็น node ของต้นไม้                                    | 36   |
| 18     | การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม                              | 37   |
| 19     | โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม                                | 38   |
| 20     | ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Roulette – wheel selection               | 40   |
| 21     | ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Stochastic universal sampling            | 41   |
| 22     | ย่านในแบบ Linear ลักษณะ Full ring และ Half ring                       | 42   |
| 23     | ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full ring และ Half ring              | 43   |
| 24     | ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full star และ Half star              | 43   |
| 25     | การตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมาซึ่งรุ่นลูกแบบ Single-point crossover | 45   |

## สารบัญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                       | หน้า |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 26     | Multi-point crossover แบบใช้จุดตัด 3 จุด                              | 46   |
| 27     | วิธีการตัดต่อที่ไม่กำหนดจำนวนจุดตัด (Uniform crossover)               | 46   |
| 28     | ตัวอย่างการผ่าเหล่าของข้อมูล                                          | 47   |
| 29     | โครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี เฟดเดอร์ 5 (SRA05)          | 52   |
| 30     | โครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีเฟดเดอร์ 6 (SRA06)           | 53   |
| 31     | ขั้นตอนการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้                              | 57   |
| 32     | การสุ่มลำดับเหตุการณ์การทำงานของอุปกรณ์                               | 58   |
| 33     | ส่วนหนึ่งการสุ่มการทำงาน บนของหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB       | 58   |
| 34     | ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้จากการสุ่ม                              | 59   |
| 35     | คำสั่งส่วนหนึ่งของการทำงานร่วมกัน บนหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB | 59   |
| 36     | ลักษณะการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ได้จากการสุ่ม               | 59   |
| 37     | การทำงานร่วมกันของเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โล    | 61   |
| 38     | คำสั่งการสร้างประชากร ในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB             | 62   |
| 39     | ส่วนหนึ่งของคำสั่งหาความสัมพันธ์ของการทำงาน จากตำแหน่งของอุปกรณ์      | 62   |
| 40     | คำสั่งเก็บผลลัพธ์ที่ดีจากประชากรแต่ละตัว                              | 63   |
| 41     | ฟังก์ชันของการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป                               | 63   |
| 42     | คำสั่งการเลือกประชากรที่ให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีที่สุด         | 64   |
| 43     | กรณี RB01 โครงข่ายระบบจำหน่ายทั่วไป                                   | 65   |
| 44     | หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB01)                      | 67   |
| 45     | กรณี RB02 เมื่อมีฟิวส์ที่เมนย่อย                                      | 68   |
| 46     | หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB02)                      | 70   |
| 47     | กรณี RB03 เมื่อมีฟิวส์ที่เมนย่อยและเพิ่มสวิตช์ตัดตอนที่เฟดเดอร์       | 71   |
| 48     | หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB03)                      | 73   |

## สารบัญภาพ(ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                   | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 49     | การหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์โดยการสุ่มทดลอง                                                                | 74   |
| 50     | ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนของ<br>กรณี RB04                                       | 75   |
| 51     | โครงข่ายของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 5 (SRA05)                                                      | 76   |
| 52     | ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของกรณี PEA01 โดยใช้วิธีแบบจำลอง                                                 | 77   |
| 53     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่<br>เหมาะสมของกรณี PEA02                          | 78   |
| 54     | โครงข่ายของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 6 (SRA06)                                                      | 79   |
| 55     | ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของกรณี PEA03 โดยใช้วิธีแบบจำลอง                                                 | 84   |
| 56     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่<br>เหมาะสมของกรณี PEA04                          | 85   |
| 57     | การพิตค่าภายใต้สมมติฐานการแจกแจงการทำงานแบบเอ็กโปเนนเชียลของ<br>ระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 6 (SRA06) | 86   |
| 58     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่<br>มีอยู่เดิม ของกรณี PEA05                  | 87   |
| 59     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่<br>เหมาะสมของกรณี PEA05                          | 88   |
| 60     | การพิตค่าภายใต้สมมติฐานการแจกแจงการทำงานแบบเอ็กโปเนนเชียลของ<br>ระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 6 (SRA06) | 89   |
| 61     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่<br>มีอยู่เดิม ของกรณี PEA06                  | 90   |
| 62     | ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่<br>เหมาะสมของกรณี PEA06                          | 91   |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|           |   |                                                                                                                                     |
|-----------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$  | = | Scale Parameter                                                                                                                     |
| $\beta$   | = | Shape Parameter                                                                                                                     |
| $\lambda$ | = | ค่าเฉลี่ยอัตราความเสียหาย                                                                                                           |
| $\mu$     | = | อัตราการซ่อม                                                                                                                        |
| m         | = | ช่วงเวลาทำงานโดยเฉลี่ย                                                                                                              |
| r         | = | ช่วงเวลาในการซ่อม                                                                                                                   |
| f         | = | ความถี่ในการเกิดความเสียหาย                                                                                                         |
| T         | = | คาบเวลาในการเกิดความเสียหาย                                                                                                         |
| MTTF      | = | ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย (Mean Time To Failure)                                                                                          |
| MTTR      | = | ระยะเวลาซ่อมแซมเฉลี่ย (Mean Time to Repair)                                                                                         |
| PDF       | = | ฟังก์ชันการแจกแจง หรือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจง<br>(Probability Density Function)                                            |
| CDF       | = | ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function)                                                                            |
| SAIFI     | = | ค่าดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย<br>(System Average Interruption Frequency Index)                     |
| SAIDI     | = | ค่าดัชนีแสดงระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย ต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 ราย<br>(System Average Interruption Duration Index)                |
| CAIDI     | = | ค่าดัชนีแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกกระทบ<br>(Customer Average Interruption Duration Index)                    |
| ASAI      | = | ค่าดัชนีแสดงความเป็นไปได้ที่ระบบจะทำงานได้เฉลี่ย สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกกระทบในระยะช่วงเวลานึง (Average Service Availability Index) |
| ENS       | = | ค่าดัชนีแสดงค่าโหลดที่สูญเสีย เมื่อเกิดไฟฟ้าดับที่แต่ละจุดโหลด<br>(Energy not Supply Index)                                         |
| AENS      | = | ค่าดัชนีแสดงค่าโหลดที่สูญเสียเฉลี่ย เมื่อเกิดแต่ละจุดโหลด<br>(Average Energy not Supply Index)                                      |
| TTF       | = | เวลาที่เสียหาย (Time to Failure)                                                                                                    |
| TTR       | = | เวลาที่ซ่อม (Time to Repair)                                                                                                        |

# การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีการจำลองมอนติ คาร์โล

## Optimal Relocation of Sectional Devices for Power System Reliability Enhancement through Monte Carlo Simulation

### คำนำ

ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านับว่าเป็นดัชนีที่สำคัญที่ใช้วัดคุณภาพการบริการของการไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการให้ความสนใจกันมาก โดยมีการศึกษาข้อมูลเพื่อพิจารณาอัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมแซม ซึ่งอัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมแซมนั้นเป็นดัชนีหนึ่งแสดงถึงสมรรถนะเบื้องต้นของระบบ สามารถนำไปทำนายหรือคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ รวมถึงการวางแผนการซ่อมบำรุงอีกด้วย นอกจากนี้อัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมแซมแล้ว ปัจจัยเนื่องจากการวางอุปกรณ์ตัดตอนที่ดียังมีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งในที่นี้ได้นำวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โล และเจนเนติกอัลกอริทึม มาใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่มีสมมติฐานการแจกแจงอัตราความเสียหาย มักใช้วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) ที่ตั้งอยู่บนสมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลซึ่งมีอัตราความเสียหายคงที่ โดยในความเป็นจริงอาจไม่เป็นแบบนั้น จึงอาจทำให้ผลการคำนวณบนสมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลมีความคลาดเคลื่อนไป การหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการจำลอง (Simulation Method) เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่อาจเลือกใช้ในการหาค่าความเชื่อถือได้ ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าถูกต้องไม่ว่ามีสมมติฐานแบบใด

จากการวิเคราะห์ดังกล่าว นอกจากจะนำหลักการที่ได้มาพยากรณ์สมรรถนะของระบบแล้ว เรายังสามารถนำวิธีการที่ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการวางแผนหารูปแบบที่เหมาะสมในการวางอุปกรณ์ในระบบอื่นๆ ได้อีกด้วย ซึ่งในที่นี้ได้ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยเจนเนติกอัลกอริทึม

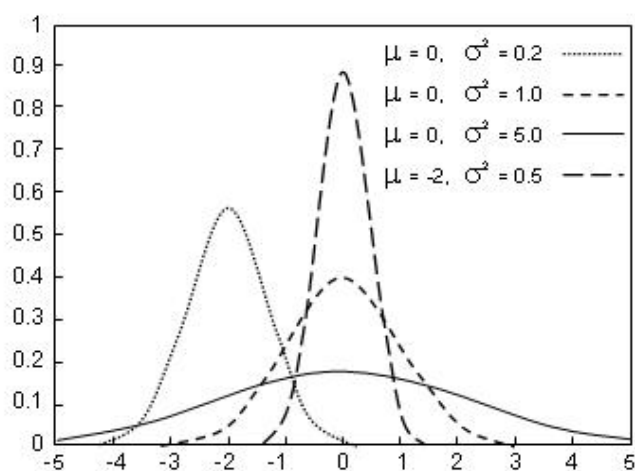
## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ทั้งในส่วนที่สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ และวิธีการจำลองมอนติคาร์โล
2. ศึกษารูปแบบ และวิธีการจัดวางอุปกรณ์ตัดตอนของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความเชื่อถือได้
3. ศึกษาเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เพื่อหาการวางสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ในระบบจำหน่าย ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขของเงินลงทุน โดยใช้วิธีการจำลองมอนติคาร์โล

## การตรวจเอกสาร

### รูปแบบการแจกแจงของอัตราความเสียหาย (อำนาจ, 2550)

#### 1. การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)



ภาพที่ 1 เส้นโค้งประจักษ์ของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ

##### 1.1 ฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ (Probability Density Function, PDF)

การแจกแจงปกติ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการแจกแจงเกาส์ (Gaussian Distribution) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็น เป็นรูปประจักษ์ว่า ของตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่องที่สำคัญที่สุด ที่ส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มเหล่านั้น เป็นการแจกแจงที่ใช้ประโยชน์มากในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกตินี้มีบทบาทสำคัญในส่วนของสถิติอนุมานเพราะในทางปฏิบัติพบว่า มีข้อมูลหลายชนิดที่โดยธรรมชาติ ทางวิทยาศาสตร์ และทางสังคมมีการแจกแจงความน่าจะเป็นใกล้เคียงกับการแจกแจงปกติ

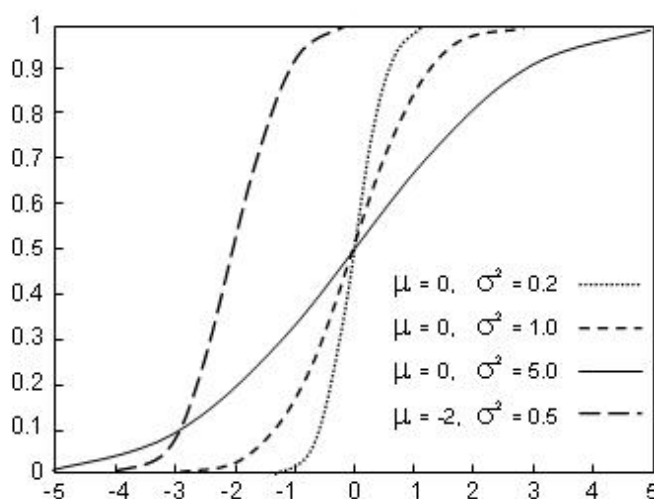


$x$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของ  $x$  คือ

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \text{ เมื่อ } -\infty < x < \infty \quad (1)$$

## 1.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติ (Cumulative Distribution Function, CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ของการกระจายแบบปกติ หาได้จากการอินทิเกรต PDF และกราฟมีลักษณะเป็นรูปตัว S ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติ

ถ้า  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มใดๆ สำหรับการแจกแจงแบบปกติซึ่งมี พารามิเตอร์คือ  $\mu$  และ  $\sigma$  สามารถแปลงเป็นค่ามาตรฐาน  $z$  ได้ดังสมการ (Paul et al., 1995) ซึ่งเรียกการแปลงค่านี้ว่า Normalization

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

ค่ามาตรฐาน  $z$  สำหรับค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1 โดยใช้สัญลักษณ์  $\phi(z)$  และ  $\Phi(z)$  แทน PDF และ CDF ตามลำดับและเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (3)$$

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \phi(z) dz \quad (4)$$

ค่า CDF ของการแจกแจงแบบปกติไม่สามารถหาได้จากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้ของ PDF ได้ ดังนั้นในตารางแสดงค่า CDF โดยทั่วไปจะประกอบด้วยค่ามาตรฐาน (Standard Normal Variable) ซึ่งได้จากการแปลงค่าตัวแปรปกติมาเป็นค่ามาตรฐาน และค่า CDF หรือ  $\Phi(z)$  โดยที่  $\Phi(z) = 1 - \Phi(-z)$  ดังนั้นค่าในตารางจึงมีให้เฉพาะค่า CDF สำหรับค่า  $z$  ที่เป็นบวกเท่านั้น

## 2. การแจกแจงแบบลอการิธึม (Lognormal Distribution)

การแจกแจงแบบลอการิธึม นิยมใช้แทนรูปแบบการกระจายของอายุของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แทนกลไกการเสื่อมสภาพของสารกึ่งตัวนำ เหมาะที่จะใช้แทนรูปแบบแสดงการเสื่อมของวัสดุ และสาเหตุที่นิยมใช้การแจกแจงแบบนี้กันมากเนื่องจากคุณสมบัติของลอการิธึมมีความยืดหยุ่นและใช้งานได้ง่าย

### 2.1 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบลอการิธึม (Paul et al, 1995)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบลอการิธึม CDF หรือ  $F(t)$  หาได้จากอินทิเกรต PDF จาก 0 ถึงเวลา  $t$  สามารถเขียนได้ในรูปของ standard normal CDF คือ

$$F(t) = \Phi \left[ \frac{\ln(t / T_{50})}{\sigma} \right] \quad (4)$$

### 2.2 ค่าเฉลี่ยหรือ MTTF สำหรับการกระจายแบบ Log-Normal หาได้จาก

$$E(t_f) = \text{MTTF} = T_{50} e^{\sigma^2/2} \quad (5)$$

และ Variance เท่ากับ

$$\text{Var}(t_f) = T_{50} e^{\sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad (6)$$

ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาได้จากรากที่สองของ Variance

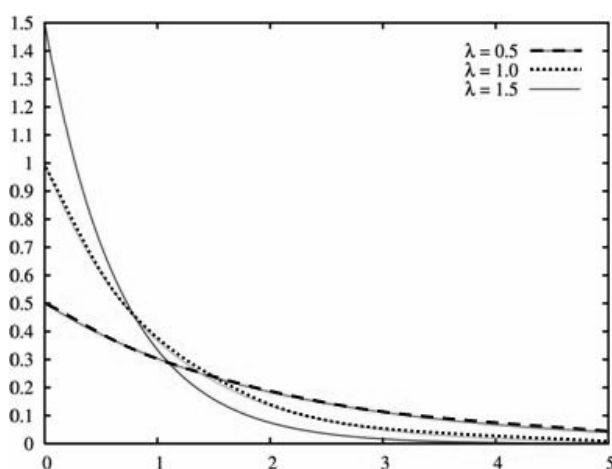
### 3. การแจกแจงเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Distribution)

ในทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติ การแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลจัดอยู่ในการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Probability Distribution) ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวางเพื่อศึกษาระยะห่างหรือช่วงเวลาที่将会เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ บางครั้งเรียกว่าการศึกษาอายุการใช้งานหรือช่วงเวลาในการพบข้อผิดพลาด “Time to Failure”

#### 3.1 ฟังก์ชันการแจกแจง (Probability Density Function, PDF)

$$\begin{aligned} f_x(x; \lambda) &= \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{เมื่อ } x > 0 \\ &= 0 \quad \text{เมื่อ } x \text{ มีค่าอื่นๆ} \end{aligned} \quad (7)$$

ถ้า  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง มีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล โดยมีพารามิเตอร์  $\lambda > 0$  ซึ่งจะเรียก  $\lambda$  นี้ว่า พารามิเตอร์อัตรา (Rate Parameter) และมีค่าสเกลพารามิเตอร์ (Scale Parameter) คือ  $\mu = 1/\lambda$



ภาพที่ 3 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล

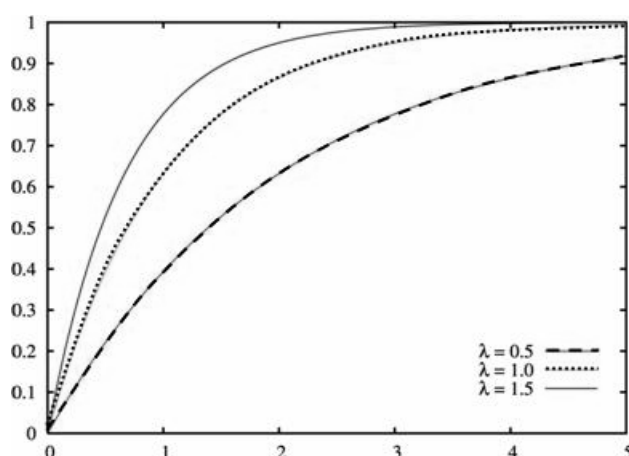
### 3.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบเอ็กโพเนนเชียล สามารถเขียนได้ดังนี้

$$F(x; \lambda) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda x} & \text{เมื่อ } x > 0 \\ 0 & \text{เมื่อ } x \text{ มีค่าอื่นๆ} \end{cases} \quad (8)$$

จากสมการข้างต้นสามารถเขียนฟังก์ชันการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลได้ใหม่คือ

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} e^{-x/\lambda} & \text{เมื่อ } x > 0 \\ 0 & \text{เมื่อ } x \text{ มีค่าอื่นๆ} \end{cases} \quad (9)$$



ภาพที่ 4 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบเอ็กโพเนนเชียล

### 3.3 ค่าเฉลี่ย (Mean)

ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหวังของการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล สามารถหาได้จาก

$$\text{Mean} = E[t] = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

### 3.4 ค่าความแปรปรวน (Variance)

ค่าความแปรปรวนของการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลสามารถหาได้จาก

$$V[t] = \frac{1}{\lambda^2} \quad (11)$$

### 3.5 การไม่คำนึงถึงข้อมูลในอดีต (Memorylessness)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล อาการไม่คำนึงถึงข้อมูลในอดีตซึ่งมีความหมายว่าถ้า  $x$  เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง และการแจกแจงเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียลจะมีเงื่อนไขความน่าจะเป็นดังนี้

$$P(x > s + t \mid x > t) = P(x > s) \quad \text{สำหรับทุก } s, t \quad (12)$$

ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ไม่ว่าเวลาจะเปลี่ยนแปลงมากน้อยแค่ไหน ฟังก์ชันของความน่าจะเป็นจะมีค่าคงเดิม ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $e^{-\lambda t}$

## 4. การแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution)

การแจกแจงแบบไวบูลล์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีความเชื่อถือได้ (Reliability Theory) ประยุกต์กับการแจกแจงระยะเวลาที่สิ่งของนั้นๆ จะมีการใช้งานไปได้อีกนานเท่าไรหลังจากการใช้งานได้คืออยู่จนถึงเวลา  $t$  ที่กำหนดขึ้น การแจกแจงไวบูลล์เป็นการแจกแจงที่ถูกใช้กันมากในทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะทางการทดสอบเกี่ยวกับอายุของชิ้นส่วนที่ประกอบเครื่องจักร เช่น ให้  $T$  เป็นตัวแปรสุ่มแทนอายุของชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักรที่เหลือก่อนที่จะเสีย  $f(t)$

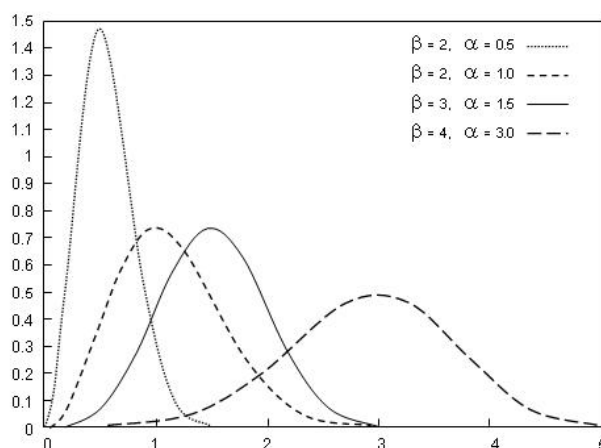
### 4.1 ฟังก์ชันการแจกแจง (Probability Density Function, PDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$f(t; \beta, \alpha) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta} \quad \text{เมื่อ } x > 0, \alpha > 0 \text{ และ } \beta > 0 \quad (13)$$

โดยที่  $\alpha$  = Scale parameter

$\beta$  = Shape parameter



ภาพที่ 5 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์

Scale Parameter ( $\alpha$ ) คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแกนเวลา ถ้าพารามิเตอร์นี้เพิ่มหรือลดจะทำให้การกระจายเปลี่ยนแปลงไปตามแกนเวลา ซึ่งพารามิเตอร์นี้จะถูกใช้ในการวาดกราฟ

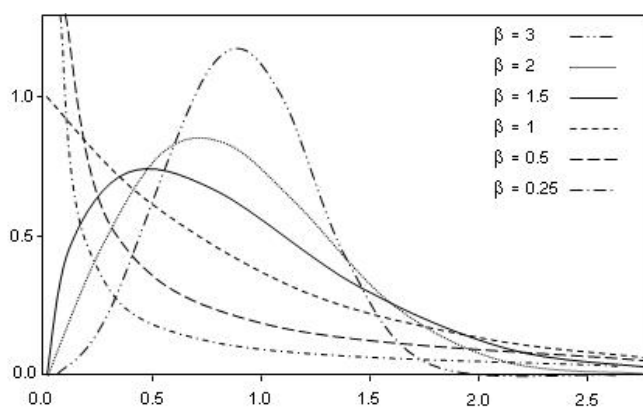
Shape Parameter ( $\beta$ ) คือ พารามิเตอร์ที่บอกลักษณะของเส้นโค้งที่อธิบายลักษณะความเสียหาย และบอกว่าเป็นการกระจายแบบใด ซึ่งค่าของพารามิเตอร์นี้มีช่วงที่น่าสนใจอยู่ 3 ช่วงคือ

1. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ( $0 < \beta < 1$ ) จะเป็นช่วงที่ฟังก์ชันความน่าจะเป็น และอัตราความเสียหายเพิ่มขึ้น ไม่สิ้นสุด แล้วจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
2. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่าเท่ากับ 1 ( $\beta = 1$ ) ซึ่งจะบอกได้ว่าเป็นการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล โดยที่ฟังก์ชันความน่าจะเป็นจะลดลงเพียงอย่างเดียว แต่อัตราความเสียหายจะคงที่
3. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่ามากกว่า 1 ( $\beta > 1$ ) เส้นโค้งจะเปลี่ยนแปลงขึ้นและลง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของอุปกรณ์ที่ผ่านช่วงทดลองไปแล้ว และกำลังใช้งานอยู่ในช่วงนี้อัตราความเสียหายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา

#### 4.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$F(t; \beta, \alpha) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{ เมื่อ } x > 0, \alpha > 0 \text{ และ } \beta > 0 \quad (14)$$



ภาพที่ 6 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์

#### 4.3 ค่าเฉลี่ย (Mean)

ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหวังของการกระจายแบบไวบูลล์ สามารถหาได้จาก

$$\text{Mean} = E[x] = \alpha \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (15)$$

เมื่อ  $\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$  เป็นค่า Gamma Function ของ  $\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$  โดยที่ค่าของ Gamma Function สามารถหาได้จากสมการ

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx \quad (16)$$

#### 4.4 ค่าความแปรปรวน (Variance)

ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหวังของการกระจายแบบไวบูลล์ สามารถหาได้จาก

$$\text{var}(t) = \alpha^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (17)$$

#### พื้นฐานความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

##### 1. ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา (ชานาญ, 2547ก)

การพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ผ่านมามีการออกแบบ ปรับปรุงโดยคำนึงถึงเงินลงทุนเป็นสำคัญ นั่นก็คือการให้ความสำคัญของการออกแบบ ปรับปรุงระบบโดยคำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบ และเงินลงทุน โดยมีหลักเกณฑ์และวิธีการคือการวางแผนเพื่อรองรับกับความเสียหายที่เกิดขึ้นแบบกำหนดค่าแน่นอน ไม่ใช่แบบสุ่ม ซึ่งจุดอ่อนของเกณฑ์ดังกล่าว ไม่สามารถรองรับพฤติกรรมระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงด้วยความน่าจะเป็น หรือแบบสโตแคสติก หรือเปลี่ยนแปลงตามการเสียหายของอุปกรณ์

ลักษณะความน่าจะเป็นมีหลักการดังนี้

- อัตราการเกิดไฟฟ้าดับของระบบผลิต (forced outage rate) ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันของขนาดของระบบผลิตและชนิด เพราะฉะนั้นค่ากำลังสำรองที่จัดไว้ให้เป็นเปอร์เซ็นต์ที่คงที่ไม่สามารถประกันความเสี่ยงได้แน่นอน
- อัตราความเสียหายของสายส่งเหนือดินเป็นฟังก์ชัน ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทาง ความยาว การออกแบบสถานที่ติดตั้ง และสภาพแวดล้อม เพราะฉะนั้นความเสี่ยงของการเกิดไฟฟ้าดับสามารถรองรับได้ด้วยการกำหนดจำนวนวงจรที่จ่ายไฟอย่างเดียว
- การตัดสินใจในการวางแผน และดำเนินการ จะขึ้นอยู่กับเทคนิคของการพยากรณ์ซึ่งการพยากรณ์ก็ไม่สามารถคาดเดาการเกิดของโหลดได้แน่นอน ดังนั้นก็ทำให้เกิดความไม่แน่นอนเนื่องจากการพยากรณ์ด้วย



## 2. เกณฑ์ความเชื่อถือได้ แบบความน่าจะเป็น (ชานาญ, 2547ข)

พฤติกรรมของระบบโดยธรรมชาติเป็นแบบสโตเคสติก ดังนั้นการพิจารณาคือวิเคราะห์ระบบ ก็ควรเป็นไปตามเทคนิคความน่าจะเป็น ความรู้และวิธีการต่างๆ ทางด้านความน่าจะเป็นมีการศึกษา ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ.1930 และได้มีการพัฒนารูปแบบ เทคนิคและการประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการวางแผนและหลักการของการทำงานในอดีตที่ผ่านมา ได้ใช้วิธีการกำหนดค่าแน่นอนซึ่งอาจปรับเปลี่ยนไปใช้วิธีการทางความน่าจะเป็นเพื่อใช้ในกระบวนการตัดสินใจได้

เหตุผลหลักสำหรับการที่ในอดีตไม่ได้นำเทคนิคความน่าจะเป็นมาใช้ คือการไม่มีข้อมูลการจำกัดในอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการคำนวณ การขาดเทคนิคการคำนวณความเชื่อถือได้ ความไม่เข้าใจถึงความสำคัญ และความหมายของหลักการความน่าจะเป็น และค่าดัชนีความเสี่ยง

## 3. เกณฑ์การวัดด้วยความน่าจะเป็นและสถิติ (ชานาญ, 2547ข)

การเกิดความเสียหาย หรือ การไม่ทำงานของอุปกรณ์ และระบบจะเป็นแบบสุ่ม เช่น ความถี่ของการเกิดไฟฟ้าดับ ช่วงเวลาที่ไมทำงานและผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งโดยทั่วไปการไฟฟ้าจะทำการบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและวัดพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น

- สมรรถนะความพร้อมใช้งานของระบบ (System Availability)
- พลังงานที่ไม่สามารถจ่ายให้โหลดได้โดยประมาณ (Estimated Unsupplied Energy)
- จำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
- จำนวนชั่วโมงของการเกิดการขัดข้อง

ซึ่งการจดบันทึกนั้นมีคุณค่ามาก เพราะสามารถทำให้ทราบดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ หรือสามารถสร้างดัชนีเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินความน่าเชื่อถือในอนาคตต่อไป ซึ่งจะรวมถึงการติดตามผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบระบบใหม่

สิ่งสำคัญที่ได้คือ ค่าดัชนีที่ได้ไม่ใช่ค่ากำหนดแน่นอน แต่เป็นค่าเฉลี่ยหรือค่าประมาณการของการกระจายทางด้านความน่าจะเป็น สมมติฐานที่ใช้โดยให้ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นแบบสุ่ม

ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในอดีตและอนาคต การใช้วิธีการแบบกำหนดค่าที่แน่นอนอาจไม่สามารถบอกความเสี่ยงของค่าที่นำไปใช้ได้ ซึ่งต่างจากวิธีการความน่าจะเป็นที่สามารถบอกความเสี่ยงของค่าที่จะนำไปใช้ได้

#### 4. การวัดค่าสมบูรณ์ และค่าสัมพัทธ์ (ชำนาญ, 2547ข)

ดัชนีที่วัดในลักษณะค่าสมบูรณ์ คือค่าของระบบที่คาดหมายว่าต้องเกิด ซึ่งสามารถจัดในรูปของสมรรถนะในอดีตได้ เพราะทราบข้อมูลที่แน่นอน แต่อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องยากถ้าต้องการทำนายดัชนีในอนาคตโดยที่ต้องการความถูกต้องสูงด้วย เพราะรูปแบบระบบจะยังไม่ถูกต้องแน่นอนทั้งหมด

ดัชนีที่วัดในลักษณะค่าสัมพัทธ์ จะง่ายต่อความเข้าใจ เพราะจะมีการคำนวณพฤติกรรมของระบบทั้งก่อน และหลังการออกแบบ และดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งประโยชน์ที่ได้จะได้รับการคำนวณดังกล่าว ที่ความไม่แน่นอนจะถูกหักล้างไประหว่างค่าก่อนมีการปรับปรุง และค่าหลังมีการปรับปรุง

ความเข้าใจพื้นฐานมีความจำเป็นในการเลือกรูปแบบและวิธีการคำนวณ ขั้นตอนพื้นฐานประกอบด้วย

- เข้าใจลำดับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และการทำงานของระบบ
- กำหนดทางที่สามารถเกิดความเสี่ยงได้
- ลดการเกิดความเสี่ยงแบบต่อเนื่องกัน
- หารูปแบบที่นำมาแทนคุณลักษณะของระบบ
- เลือกวิธีการในการคำนวณ

#### 5. วิธีการประเมิน (ชำนาญ, 2547ข)

ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสามารถคำนวณได้หลายวิธี วิธีการที่สำคัญมีสองวิธี คือ วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) และวิธีการจำลอง (Simulation Method) วิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นวิธีการวิเคราะห์ ส่วนวิธีการจำลองใช้กับระบบพิเศษซึ่งมีเป็นส่วนน้อย

- **วิธีการวิเคราะห์** วิธีการนี้จะแทนระบบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้จากโครงสร้างนี้โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบ โดยทั่วไป ค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย และใช้เวลาในการคำนวณน้อย เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะมีการตั้งสมมติฐานเพื่อให้ปัญหาที่เกิดขึ้นง่ายต่อการสร้างโครงสร้างแบบจำลอง เมื่อระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น วิธีการนี้จะมีผลผิดพลาดมากขึ้น หรือบางครั้งอาจหาค่าไม่ได้กรณีเช่นนี้อาจใช้วิธีการแบบจำลองแทน

- **วิธีการจำลอง** วิธีการนี้จะประมาณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยการจำลองกระบวนการจริง และจำลองพฤติกรรมของระบบแบบสุ่ม วิธีการจำลองจะจำลองปัญหาด้วยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเหมือนกันที่เกิดขึ้นจริง ในทางปฏิบัติวิธีการนี้สามารถรวมตัวแปรต่างๆ รวมทั้งเหตุการณ์ที่มีลักษณะสุ่มเข้าไปด้วย เช่น การเกิดไฟฟ้าดับ และการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ โดยทั่วไปจะถูกแทนด้วยการกระจายของความน่าจะเป็น เหตุการณ์ไม่อิสระ และพฤติกรรมของอุปกรณ์

ถ้าจำลองการทำงานของระบบเป็นเวลานานๆ ก็จะสามารถศึกษาพฤติกรรมของระบบ และจะได้ภาพที่ชัดเจนที่แสดงข้อบกพร่องของระบบได้ ข้อมูลต่างๆ ที่ป้อนเข้าไปทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของดัชนีความเชื่อถือได้ ซึ่งมีทั้งการกระจายความถี่จำนวนครั้งที่เกิดที่ต้องคำนวณ

กระบวนการจำลองสามารถทำได้ 2 วิธี

1. จำลองแบบสุ่ม (Random) พิจารณาช่วงเวลาพื้นฐานในคาบการจำลองหลักจากเลือกช่วงเวลาในการสุ่ม
2. จำลองแบบลำดับ (Sequential) พิจารณาแต่ละช่วงเวลาของคาบเวลาในการจำลองตามลำดับ

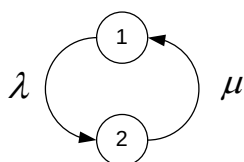
ช่วงเวลาพื้นฐานถูกเลือกให้สอดคล้องกับชนิดของระบบที่จะศึกษา เช่นเดียวกับความยาวของคาบเวลาในการจำลองเพื่อให้ได้ความแน่ใจในการประมาณค่าดัชนี

การเลือกวิธีการจำลองจะขึ้นอยู่กับข้อมูลเดิมของระบบว่ามีผลต่อพฤติกรรมของระบบหรือไม่ กระบวนการจำลองแบบสุ่มจะถูกใช้ก็ต่อเมื่อข้อมูลเดิมไม่มีผล แต่ถ้าเป็นกระบวนการจำลองแบบลำดับนั้นข้อมูลเดิมจะมีผลต่อเนื่องในปัจจุบัน

## 6. รูปแบบระบบ (จำนวน, 2549)

ความไม่พร้อมใช้งานของการจ่ายไฟฟ้า

ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าทางสถิติ คือความน่าจะเป็นของการจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดขัดข้องในบางช่วงเวลา ซึ่งให้คำจำกัดความ ความน่าจะเป็นที่ว่า ความไม่พร้อมใช้งาน (Unavailability) และที่ผ่านมาในระบบไฟฟ้าจะใช้คำว่าอัตราการเกิดไฟฟ้าดับ หรือ Force Outage Rate (FOR) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าของวิธีการของความถี่และระยะเวลา ซึ่งโดยปกติจะอยู่บนสมมติฐานของการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล



ภาพที่ 7 การทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์

$$\begin{aligned} \text{Availability} &= A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{m+r} = \frac{f}{\lambda} \\ &= \frac{\sum[\text{up time}]}{\sum[\text{down time}] + \sum[\text{up time}]} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Unavailability(FOR)} = U &= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m+r} = \frac{f}{\mu} \\ &= \frac{\sum[\text{down time}]}{\sum[\text{down time}] + \sum[\text{up time}]} \end{aligned} \quad (19)$$

|       |           |                                                   |
|-------|-----------|---------------------------------------------------|
| เมื่อ | $\lambda$ | คือ ค่าเฉลี่ยอัตราความเสียหาย                     |
|       | $\mu$     | คือ อัตราการซ่อม                                  |
|       | m         | คือ ช่วงเวลาทำงานโดยเฉลี่ย = MTTF = $1/\lambda$   |
|       | r         | คือ ช่วงเวลาในการซ่อม = MTTR = $1/\mu$            |
|       | m + r     | คือ ช่วงเวลาระหว่างเกิดความเสียหาย = MBTF = $1/f$ |
|       | f         | คือ ความถี่ในการเกิดความเสียหาย = $1/T$           |
|       | T         | คือ คาบเวลาในการเกิดความเสียหาย = $1/f$           |

รูปแบบนี้เป็นการประยุกต์โดยตรงกับระบบจำหน่ายของโหลดพื้นฐานที่ทำงาน และไม่ทำงานแบบไม่มีแผนงาน ในกรณีของการจ่ายไฟฟ้าที่มีคาบเวลาการทำงานที่ยาวนาน ค่าความไม่พร้อมใช้งานคือการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจ่ายไฟฟ้านั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไข ที่จะไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้ได้ในอนาคต

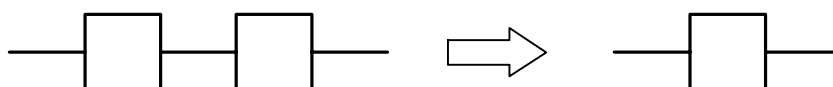
## 7. เทคนิคพื้นฐาน และโครงข่ายเรเดียล (ชำนาญ, 2547ข)

เทคนิค และวิธีการในการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบ และความละเอียดที่ต้องวิเคราะห์ระบบว่าต้องการมากน้อยแค่ไหน ในการศึกษาความน่าเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

## 8. เทคนิคในการคำนวณ (ชำนาญ, 2547ข)

เทคนิคพื้นฐานในการคำนวณการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในระบบ จะมีตัวแปรที่สนใจอยู่ 3 ค่า คือ อัตราการเสียหายโดยเฉลี่ย (Average Failure Rate,  $\lambda$ ) ช่วงเวลาไฟฟ้าดับเฉลี่ย (Average Outage Time,  $r$ ) และช่วงเวลาที่ไฟฟ้าดับเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (Average Annual Outage Time,  $U$ ) ซึ่งการหาค่ารวมของการทำงานร่วมกันโดยปกติจะใช้ตัวแปร ที่อยู่ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล

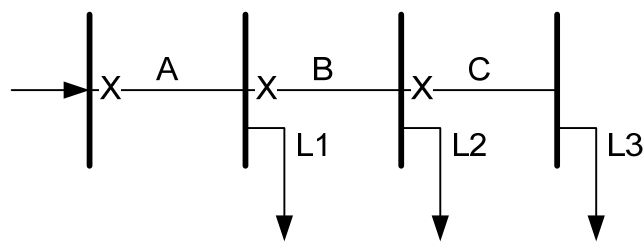
กรณีของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยส่วนมากจะเป็นการต่อในลักษณะของระบบอนุกรม ซึ่งการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แบบอนุกรม จะเป็นไปตามความสัมพันธ์อย่างง่าย คือเมื่อมีอุปกรณ์ใดก็ตามที่ไม่สามารถใช้งานได้ ระบบจะไม่สามารถส่งผ่านไฟฟ้าได้ นั่นคือระบบจะเกิดไฟฟ้าดับ ดังนั้นการทำงานของระบบจะเป็นไปตามเงื่อนไข



ภาพที่ 8 การต่ออนุกรมของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์

$$\begin{aligned}
 \lambda_s &= \lambda_1 + \lambda_2 \\
 U_s &= \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 \\
 r_s &= \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ กับระบบโครงข่ายที่มีการต่ออนุกรม ดังภาพที่ 9 ที่พิจารณา 3 ชุด จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ภาพที่ 9 โครงข่ายที่มีการต่ออนุกรม

$$\begin{aligned}
 \lambda_s &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 & ; & \lambda_s = \sum \lambda_i \\
 U_s &= \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \lambda_3 r_3 & ; & U_s = \sum \lambda_i r_i \\
 r_s &= \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \lambda_3 r_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} & ; & r_s = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\sum \lambda_i}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

## 9. ดัชนีความเชื่อถือได้ (ชำนาญ, 2547ข)

ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของการเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งการเกิดไฟฟ้าดับจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

### 9.1 การเกิดไฟฟ้าดับที่ไม่ต่อเนื่อง

การเกิดไฟฟ้าดับที่ไม่ต่อเนื่อง คือ ไฟฟ้าดับที่เป็นผลมาจากเหตุการณ์บางอย่างซึ่งส่งผลให้เกิดในระยะเวลาสั้นๆ แล้วระบบสามารถกลับไปจ่ายเท่าสภาพเดิมตามมาตรฐานที่เคยทำงานได้ทันทีหลังจาก เกิดเหตุการณ์

การเกิดไฟฟ้าดับที่ไม่ต่อเนื่อง เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากอายุการทำงานความปกติของอุปกรณ์ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นภายใต้การออกแบบที่ครอบคลุม

## 9.2 การเกิดไฟฟ้าดับที่ต่อเนื่อง

การเกิดไฟฟ้าดับที่ต่อเนื่อง คือไฟฟ้าดับที่เป็นผลมาจากเหตุการณ์บางอย่างซึ่งส่งผลให้เกิด โดยที่ระบบจะสามารถทำงานต่อไปได้ ก็ต่อเมื่อเปลี่ยนหรือซ่อมแซมบางส่วนของระบบที่ผิดพลาดนั้น การเกิดไฟฟ้าดับที่ต่อเนื่องนั้นแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ

- แบบสมบูรณ์ คือ การเกิดไฟฟ้าดับที่มีสาเหตุจากการขาดบางส่วนของระบบต้องการ
- แบบเพียงบางส่วน คือ การเกิดไฟฟ้าดับที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดับเพียงบางส่วนของระบบ แต่ไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเกิดไฟฟ้าดับแบบสมบูรณ์

การเกิดไฟฟ้าดับที่ต่อเนื่อง เป็นความผิดพลาดที่เกิดสาเหตุซึ่งมักเกินกว่าจะยอมรับได้ นอกเหนือจากการออกแบบของอุปกรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิ สภาพแวดล้อม หรืออาจเป็นสาเหตุจากอุปกรณ์ข้างเคียง หรือจากผู้ควบคุมระบบ ซึ่งการซ่อมแซมเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ระบบกลับมาทำงานได้เหมือนเดิม

การพิจารณาสมรรถนะของระบบนั้น อาจพิจารณาจากดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติการใช้ข้อมูลในเวลานั้นมาพิจารณา ซึ่งมีเหตุผลอยู่ 3 ประการที่ต้องการพิจารณา คือ

- เพื่อเข้าไปแก้ไขปัญหของพื้นที่ที่มีปัญหาได้อย่างถูกต้อง
- เก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าดัชนีในอนาคต
- นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายไว้ว่าเป็นอย่างไร

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าดัชนีทางด้านความน่าเชื่อถือได้ (ชำนานู, 2549) ดังนี้

SAIFI: System Average Interruption Frequency Index

SAIFI คือ ค่าดัชนีแสดงความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ยซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ย จำนวนครั้งที่ผู้ใช้ไฟแต่ละรายเกิดไฟฟ้าดับ ในระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปคือ 1 ปี

$$SAIFI = \frac{\text{total number of customer interruption}}{\text{total number to customer}}$$

SAIDI: System Average Interruption Duration Index

SAIDI คือ ค่าดัชนีแสดงระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย ต่อผู้ใช้ไฟฟ้า 1 ราย ในระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปในรอบ 1 ปี

$$SAIDI = \frac{\text{total of customer interruption durations}}{\text{total number of customer}}$$

CAIDI: Customer Average Interruption Duration Index

CAIDI คือ ค่าดัชนีแสดงระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดความเสียหายสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ถูกกระทบในระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปคือ 1 ปี

$$CAIDI = \frac{\text{total of customer interruption durations}}{\text{total number of customer interruption}}$$

ENS: Energy not Supply Index

ENS คือ ค่าดัชนีแสดงค่าโหลดที่สูญเสีย เมื่อเกิดไฟฟ้าดับที่แต่ละจุดโหลด

$$ENS = \text{total energy not supplied by system}$$



เมื่อสามารถพิจารณาดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าได้ก็สามารถที่จะทำการพยากรณ์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลย้อนหลัง เพื่อดูความสามารถในการทำงานของระบบ ซึ่งโดยปกติแล้วการพยากรณ์ค่าความเชื่อถือได้ สามารถคำนวณได้โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ตัวแปรมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล (Roy et al., 1992) ซึ่งมีสูตรทางคณิตศาสตร์ ที่แน่นอน

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (22)$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (23)$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ} \quad (24)$$

$$ENS = \sum L_i U_i \quad \text{MWh / ปี} \quad (25)$$

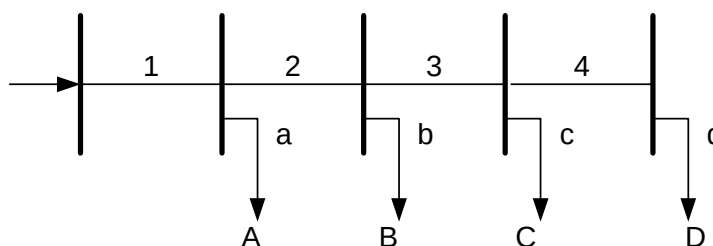
เมื่อ  $N$  คือ จำนวนผู้ใช้งานในแต่ละจุดโหลด

$U$  คือ เวลาที่เกิดไฟฟ้าดับประจำปีในแต่ละจุดโหลด

$L$  คือ ค่าโหลดเฉลี่ยในแต่ละจุดโหลด

ตัวอย่างการพยากรณ์ระบบ (ชำนาญ, 2549)

กรณีระบบพื้นฐาน



ภาพที่ 10 ระบบพื้นฐาน (ระบบ Roy Billinton)

ตารางที่ 1 ตัวแปรของระบบ

| Main | ความยาว | $\lambda$ | r | Sub | ความยาว | $\lambda$ | r |
|------|---------|-----------|---|-----|---------|-----------|---|
| 1    | 2       | 0.2       | 4 | a   | 2       | 0.2       | 2 |
| 2    | 1       | 0.1       | 4 | b   | 6       | 0.6       | 2 |
| 3    | 4       | 0.4       | 4 | c   | 4       | 0.4       | 2 |
| 4    | 2       | 0.2       | 4 | d   | 2       | 0.2       | 2 |

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า และ โหลดแต่ละจุดต่อโหลด

| Load P. | Cust. | Load  |
|---------|-------|-------|
| A       | 1000  | 5000  |
| B       | 800   | 4000  |
| C       | 700   | 3000  |
| D       | 500   | 2000  |
| Total   | 3000  | 14000 |

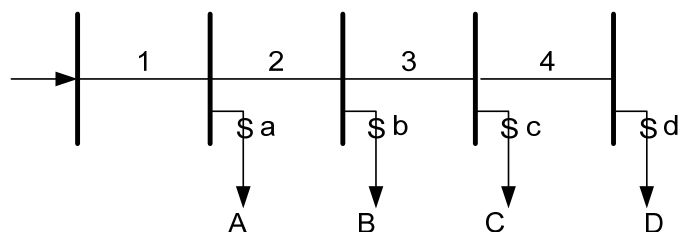
สำหรับระบบข้างต้นไม่ว่าจะเกิดความผิดปกติที่ใดจะส่งผลให้ไฟฟ้าดับทั้งวงจรจะได้

|       |   |      |                            |
|-------|---|------|----------------------------|
| SAIFI | = | 2.2  | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | = | 6.0  | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | = | 2.73 | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | = | 84.0 | MWh / ปี                   |

ตารางที่ 3 ดัชนีความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐาน

| การเสีย        | จุดโหลด A |      |     | จุดโหลด B |      |     | จุดโหลด C |      |     | จุดโหลด D |      |     |
|----------------|-----------|------|-----|-----------|------|-----|-----------|------|-----|-----------|------|-----|
|                | $\lambda$ | r    | U   | $\lambda$ | r    | U   | $\lambda$ | r    | U   | $\lambda$ | r    | U   |
| <u>เมนหลัก</u> |           |      |     |           |      |     |           |      |     |           |      |     |
| 1              | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 |
| 2              | 0.1       | 4    | 0.4 | 0.1       | 4    | 0.4 | 0.1       | 4    | 0.4 | 0.1       | 4    | 0.4 |
| 3              | 0.3       | 4    | 1.2 | 0.3       | 4    | 1.2 | 0.3       | 4    | 1.2 | 0.3       | 4    | 1.2 |
| 4              | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4    | 0.8 |
| <u>เมนย่อย</u> |           |      |     |           |      |     |           |      |     |           |      |     |
| a              | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 |
| b              | 0.6       | 2    | 1.2 | 0.6       | 2    | 1.2 | 0.6       | 2    | 1.2 | 0.6       | 2    | 1.2 |
| c              | 0.4       | 2    | 0.8 | 0.4       | 2    | 0.8 | 0.4       | 2    | 0.8 | 0.4       | 2    | 0.8 |
| d              | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 | 0.2       | 2    | 0.4 |
| รวม            | 2.2       | 2.73 | 6   | 2.2       | 2.73 | 6   | 2.2       | 2.73 | 6   | 2.2       | 2.73 | 6   |

กรณีเพิ่มฟิวส์ที่เมนย่อย ดังภาพที่ 11 และใช้ข้อมูลเดิมในตารางที่ 1 และตารางที่ 2



ภาพที่ 11 ระบบพื้นฐานโดยเพิ่มฟิวส์

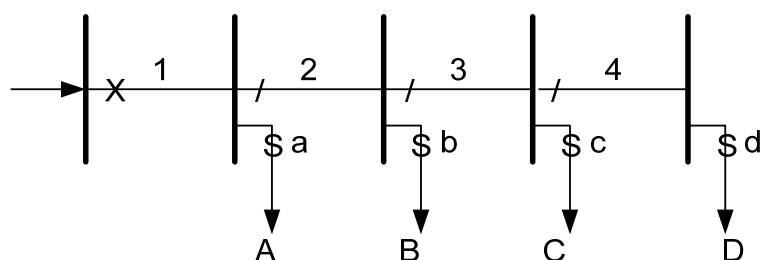
เมื่อเกิดความเสียหายที่เมนย่อย หรือจุดโหลดจะมีฟิวส์ช่วยตัดวงจรที่เกิดความผิดปกติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อจุดโหลดอื่นๆ

|       |   |      |                            |
|-------|---|------|----------------------------|
| SAIFI | = | 1.15 | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | = | 2.58 | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | = | 2.23 | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | = | 35.2 | MWh / ปี                   |

ตารางที่ 4 ดัชนีความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐานกรณีเพิ่มฟิวส์

| การเสีย        | จุดโหลด A |     |      | จุดโหลด B |      |      | จุดโหลด C |      |     | จุดโหลด D |     |     |
|----------------|-----------|-----|------|-----------|------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
|                | $\lambda$ | r   | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U   | $\lambda$ | r   | U   |
| <u>เมนหลัก</u> |           |     |      |           |      |      |           |      |     |           |     |     |
| 1              | 0.2       | 4   | 0.8  | 0.2       | 4    | 0.8  | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4   | 0.8 |
| 2              | 0.1       | 4   | 0.05 | 0.1       | 4    | 0.4  | 0.1       | 4    | 0.4 | 0.1       | 4   | 0.4 |
| 3              | 0.3       | 4   | 0.15 | 0.3       | 4    | 0.15 | 0.3       | 4    | 1.2 | 0.3       | 4   | 1.2 |
| 4              | 0.2       | 4   | 0.1  | 0.2       | 4    | 0.1  | 0.2       | 4    | 0.1 | 0.2       | 4   | 0.8 |
| <u>เมนย่อย</u> |           |     |      |           |      |      |           |      |     |           |     |     |
| a              | 0.2       | 2   | 0.4  | 0         | 0    | 0    | 0         | 0    | 0   | 0         | 0   | 0   |
| b              | 0         | 0   | 0    | 0.6       | 2    | 1.2  | 0         | 0    | 0   | 0         | 0   | 0   |
| c              | 0         | 0   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0.4       | 2    | 0.8 | 0         | 0   | 0   |
| d              | 0         | 0   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0         | 0    | 0   | 0.2       | 2   | 0.4 |
| รวม            | 1         | 1.5 | 1.5  | 1.4       | 1.89 | 2.65 | 1.2       | 2.75 | 3.3 | 1         | 3.6 | 3.6 |

กรณีเพิ่มสวิตช์ตัดตอนที่ฟีดเดอร์ ดังภาพที่ 12 ใช้ข้อมูลเดิมในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยกำหนดเวลาการแยกและสับสวิตช์ทั้งหมดคือ 0.5 ชั่วโมง



ภาพที่ 12 ระบบพื้นฐานโดยเพิ่มฟิวส์ และสวิตช์ตัดตอน

เมื่อเกิดความเสียหายที่สายย่อย หรือจุดโหลดจะมีฟิวส์ช่วยตัดวงจรที่เกิดความผิดปกติ ส่วนความผิดปกติที่ฟีดเดอร์จะมี CB ด้านทางต้นวงจรก่อนปลด DS ออก จากนั้น CB จะปิดกลับเข้ามาอีกครั้ง

|       |   |      |                            |
|-------|---|------|----------------------------|
| SAIFI | = | 1.15 | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | = | 2.58 | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | = | 2.23 | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | = | 35.2 | MWh / ปี                   |

ตารางที่ 5 คำนวณความไม่พร้อมใช้งานสำหรับระบบพื้นฐานกรณีเพิ่มฟิวส์ และตัดตอน

| การเสีย        | จุดโหลด A |     |      | จุดโหลด B |      |      | จุดโหลด C |      |     | จุดโหลด D |     |     |
|----------------|-----------|-----|------|-----------|------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
|                | $\lambda$ | r   | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U   | $\lambda$ | r   | U   |
| <u>เมนหลัก</u> |           |     |      |           |      |      |           |      |     |           |     |     |
| 1              | 0.2       | 4   | 0.8  | 0.2       | 4    | 0.8  | 0.2       | 4    | 0.8 | 0.2       | 4   | 0.8 |
| 2              | 0.1       | 0.5 | 0.05 | 0.1       | 4    | 0.4  | 0.1       | 4    | 0.4 | 0.1       | 4   | 0.4 |
| 3              | 0.3       | 0.5 | 0.15 | 0.3       | 0.5  | 0.15 | 0.3       | 4    | 1.2 | 0.3       | 4   | 1.2 |
| 4              | 0.2       | 0.5 | 0.1  | 0.2       | 0.5  | 0.1  | 0.2       | 0.5  | 0.1 | 0.2       | 4   | 0.8 |
| <u>เมนย่อย</u> |           |     |      |           |      |      |           |      |     |           |     |     |
| a              | 0.2       | 2   | 0.4  | 0         | 0    | 0    | 0         | 0    | 0   | 0         | 0   | 0   |
| b              | 0         | 0   | 0    | 0.6       | 2    | 1.2  | 0         | 0    | 0   | 0         | 0   | 0   |
| c              | 0         | 0   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0.4       | 2    | 0.8 | 0         | 0   | 0   |
| d              | 0         | 0   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0         | 0    | 0   | 0.2       | 2   | 0.4 |
| รวม            | 1         | 1.5 | 1.5  | 1.4       | 1.89 | 2.65 | 1.2       | 2.75 | 3.3 | 1         | 3.6 | 3.6 |

จะเห็นว่าเวลาในการเกิดความเสียหายจะต้องมีลักษณะการกระจายเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล เนื่องจากหลักการของการทำงานหรืออายุการใช้งาน แต่ถ้าไม่เป็นไปตามสมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล ซึ่งสามารถเป็นไปได้ในทางความเป็นจริง ดังนั้นจึงไม่อาจใช้สมการการคำนวณที่มีสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ จึงต้องใช้การหาคำตอบโดยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo)

## หลักการมอนติคาร์โล (ชานาญ, 2547ข)

### 1. หลักการจำลองเหตุการณ์ (Concepts of Simulation)

หลักการจำลองเหตุการณ์ คือหลักการทำงานของระบบที่เหมือนกัน  $N$  ระบบ จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันรวมทั้ง จำนวนครั้งความเสียหาย ระยะเวลาระหว่างการเกิดความเสียหาย ระยะเวลาซ่อมอุปกรณ์ ซึ่งเป็นผลจากการสุ่มของกระบวนการ ดังนั้นคุณสมบัติเฉพาะของระบบอาจมีรูปแบบเป็นไปตามรูปแบบที่ได้เหล่านี้ ดังนั้นกระบวนการจำลองจึงสามารถหา หรือทำนายรูปแบบของระบบจริงตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้นในกระบวนการ เพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของตัวแปรด้านความน่าเชื่อถือได้ต่างๆ ของการแจกแจงแบบต่างๆ ได้

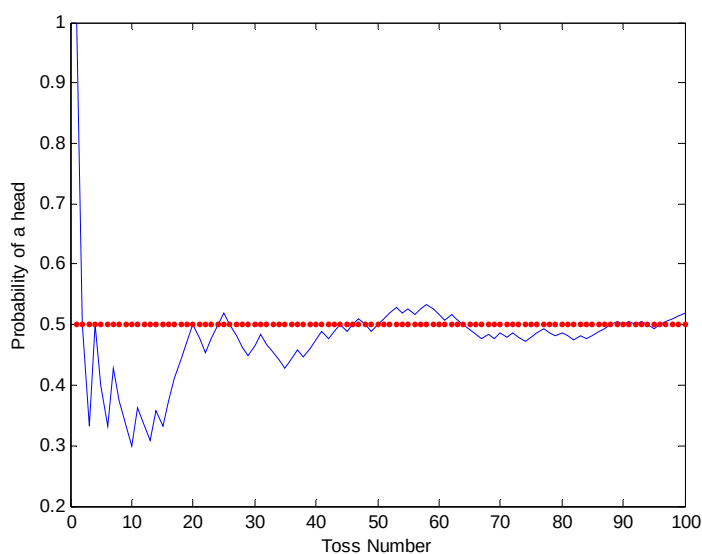
ในหลักการพื้นฐานที่สามารถช่วยทำให้เข้าใจถึงหลักการของการจำลองมอนติคาร์โล อาจพิจารณาจากการทอยเหรียญ หากค่าความน่าจะเป็นที่เหรียญจะออกหน้าใดหน้าหนึ่งในการทอยแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นที่รู้ว่ค่าความน่าจะเป็นคือ 0.5 แต่เมื่อหลักการจำลองของมอนติคาร์โลจะใช้ความสัมพันธ์ทางความถี่ของความน่าจะเป็นจากสมการ

$$P(\text{of a head occuring}) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{H}{N} \right) \quad (26)$$

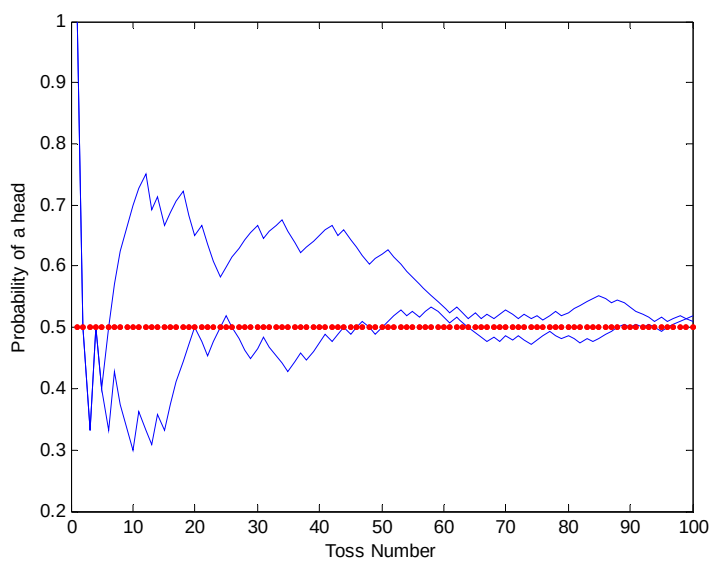
$H$  คือ จำนวนของการทอยที่ออกหัว

$N$  คือ จำนวนของการโยนทั้งหมด

ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อมีการโยนเหรียญ 100 ครั้ง แสดงผลได้ดังนี้



ภาพที่ 13 ความน่าจะเป็นของการโยนเหรียญแล้วออกหัว



ภาพที่ 14 ความน่าจะเป็นของการโยนเหรียญ โดยทำการสุ่มใหม่

จากภาพที่ 13 และภาพที่ 14 จะแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- จะสังเกตได้ว่าการโยนเหรียญน้อยครั้ง ทำให้ได้การประมาณความน่าจะเป็นไม่มีความแม่นยำ ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนครั้งของการทอยให้มากขึ้น

- ในการทำงานแต่ละครั้งจะได้กราฟที่ต่างกันดังภาพที่ 14 แต่ค่าเฉลี่ยสุดท้ายจะเข้าหาค่า 0.5 เหมือนกัน

จากกรณีจำลองการโยนเหรียญ ซึ่งสามารถนำมาจำลองเหตุการณ์จริงในระบบได้ แต่ว่าจำเป็นต้องใช้เวลาจำลองเหตุการณ์จำนวนครั้งมากกว่าจะได้ค่าประมาณที่ใกล้เคียงความจริง

## 2. ตัวแปรสุ่ม (Random number)

เมื่อพิจารณาระบบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นจะเป็นไปตามพฤติกรรมของอุปกรณ์และตัวแปรในระบบ เมื่อจะจำลองระบบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับแบบจำลอง และการกระจายความน่าจะเป็นที่ใช้แทนอุปกรณ์ และตัวแปรในระบบวิธีการนี้ทำได้โดยใช้ตัวแปรสุ่ม และแปลงค่าเหล่านี้กลับเป็นฟังก์ชันความหนาแน่น (Density Function) เพื่อแทนพฤติกรรมและตัวแปรของอุปกรณ์ที่พิจารณา (Balijepalli et al., 1950)

กำหนดตัวแปรสุ่มคือ  $U$  (มีค่าอยู่ในช่วง 0-1) ซึ่งสุ่มจากคอมพิวเตอร์ และแปลงไปเป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอได้โดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น เมื่อต้องการให้อุปกรณ์มีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล ซึ่งมีค่าอัตราความเสียหายคือ  $\lambda$  และช่วงเวลาเป็นการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล  $T$  สามารถแสดงได้ด้วยการสุ่มของการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Matvin et al., 1995) คือ

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (27)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม คือ

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (28)$$

จากหลักการการเปลี่ยนรูปกลับกำหนดให้

$$U = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (29)$$

นั่นคือ



$$T = F^{-1}(U) = -\frac{1}{\lambda} \ln(1-U) \quad (30)$$

เมื่อ  $U$  เป็นค่าที่ได้จากการสุ่ม ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  ดังนั้น  $(1-U)$  ก็เป็นค่าของการสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  ดังนั้นเขียนได้เป็น

$$T = -\frac{1}{\lambda} \ln(U) \quad (31)$$

ค่า  $T$  ที่ได้จะเป็นการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอซึ่งจะไปตามการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล หรือเมื่อต้องการให้อุปกรณ์มีการการแจกแจงแบบไวบูลล์ (James, 2003) และต้องการแปลงไปเป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ มีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น คือ

$$f(t) = \frac{\beta}{\lambda^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta} \quad \text{เมื่อ } 0 \leq t \leq \infty, \alpha > 0 \text{ และ } \beta > 0 \quad (32)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม คือ

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (33)$$

จากหลักการการเปลี่ยนรูปกลับ

$$U = F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (34)$$

และ

$$T = \alpha(-\ln(1-U))^{\frac{1}{\beta}} \quad (35)$$

เมื่อ  $U$  เป็นค่าที่ได้จากการสุ่ม ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  ดังนั้น  $(1-U)$  ก็เป็นค่าของการสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1]$  ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$T = \alpha(-\ln(U))^{\frac{1}{\beta}} \quad (36)$$

เมื่อ  $U$  เป็นค่าที่ได้จากการสุ่ม และ  $t$  มีการกระจายแบบไวบูลล์

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าค่า  $T$  ที่ได้จะเป็นการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอซึ่งเป็นไปตามการแจกแจงแบบต่างๆ ซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนรูปกลับ จากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบต่างๆ ดังนั้นถ้าข้อมูลของอุปกรณ์มีการแจกแจงในรูปแบบที่ต่างออกไป ก็สามารถที่จะนำมาหาค่าเวลาที่มีการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอซึ่งอยู่ภายใต้รูปแบบการแจกแจงนั้นๆ ได้

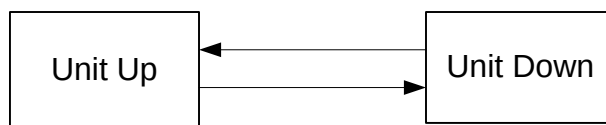
### 3. ผลของการจำลอง (Simulation Output)

ในแต่ละการจำลองจะให้ค่าประมาณของแต่ละตัวแปรที่ต้องการประเมิน ค่าประมาณเหล่านี้จะสะท้อนถึงค่าตัวแปรสุ่มที่เลือกมาสำหรับการจำลองที่เหมาะสมกระบวนการนี้ วิธีการหาค่าประมาณจะหาจากการพล็อตค่าประมาณ ซึ่งถือเป็นข้อดีอย่างหนึ่งของวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล ซึ่งทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ซึ่งส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของระบบ

### 4. แนวคิดรูปแบบจำลอง

พื้นฐานดัชนีเพื่อหาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย ได้แก่ อัตราความเสียหาย ( $\lambda$ ) ช่วงเวลาการซ่อมอุปกรณ์ ( $\mu$ ) ในกรณีที่ตัวแปรของอุปกรณ์และระบบ มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล หรืออัตราความเสียหาย ( $\alpha_f, \beta_f$ ) ช่วงเวลาการซ่อมอุปกรณ์ ( $\alpha_r, \beta_r$ ) ในกรณีที่ตัวแปรของอุปกรณ์และระบบมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ หรือตัวแปรอื่นๆ ในกรณีที่ระบบมีการกระจายแบบอื่นๆ

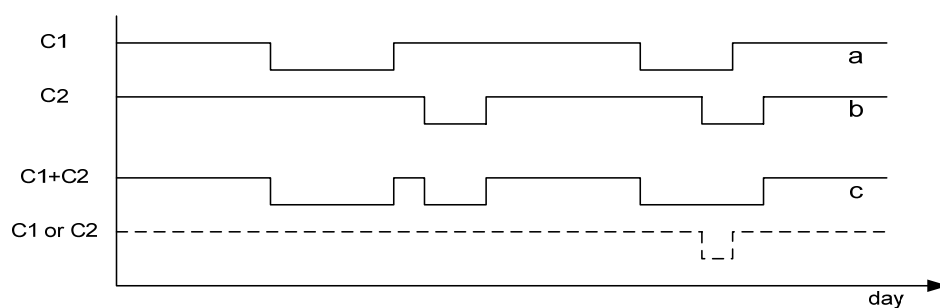
การจำลองเหตุการณ์การทำงานของอุปกรณ์ในการจำลองแบบมอนติคาร์โล เป็นความสัมพันธ์ง่ายๆ 2 ขั้นตอน โดยสุ่มช่วงเวลาการทำงาน และเวลาที่ไมทำงานของอุปกรณ์ โดยการจำลองเหตุการณ์ที่เรียงตามเวลา ดังภาพที่ 15 ซึ่งจะให้เห็นภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ



ภาพที่ 15 แบบจำลองลำดับการทำงานของอุปกรณ์

### 5. ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ (Roy et al., 1994)

จากการกำหนดให้ช่วงเวลาการทำงานเป็นลักษณะอย่างง่าย ดังภาพที่ 15 จะได้ลักษณะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์แบบสุ่ม ซึ่งสามารถเปรียบเทียบ หลักการนี้แสดงให้เห็ндังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ลักษณะการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์

โดย a คือการทำงานของอุปกรณ์ตัวที่ 1

b คือการทำงานของอุปกรณ์ตัวที่ 2

c คือการทำงานร่วมกันของสองอุปกรณ์ ทั้งแบบอนุกรม (-) และแบบขนาน (- -)

## 6. ขั้นตอนการจำลอง

### ระบบเรเดียล (Radial System)

1. สร้างตัวแปรสุ่ม
2. เปลี่ยนตัวเลขที่สุ่มได้เป็นค่าของเวลาที่อุปกรณ์ทำงาน โดยการเปลี่ยนใช้การกระจายของเวลาทำงานของอุปกรณ์มาเป็นตัวกำหนด
3. สร้างตัวแปรสุ่มใหม่
4. เปลี่ยนตัวเลขที่สุ่มได้เป็นค่าของเวลาที่อุปกรณ์ทำงาน โดยการเปลี่ยนใช้การกระจายของเวลาการซ่อมของอุปกรณ์มาเป็นตัวกำหนด
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 ในช่วงเวลาที่ทำการจำลอง เพื่อที่จะได้ค่าการกระจายสำหรับช่วงเวลานั้น
6. ทำซ้ำข้อที่ 1-5 สำหรับแต่ละอุปกรณ์ในระบบ
7. ทำซ้ำข้อ 1-6 ตามจำนวนครั้งการทดลอง

เมื่อได้ขั้นตอนเหตุการณ์การทำงานของแต่ละอุปกรณ์ จะสามารถนำไปสู่การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของแต่ละจุดโหนด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาช่วงเวลาการทดลองครั้งแรก โดยกำหนดระยะเวลาสิ้นสุด (ปี)
2. พิจารณาอุปกรณ์ตัวแรก (อาจเป็น "ไลน์เมนบางช่วง หรือ ไลน์ย่อยบางช่วง)
3. พิจารณาว่าจุดโหนดใดบ้างที่ได้รับผลกระทบจากความเสียหายของอุปกรณ์นี้
4. นับจำนวนครั้งการเกิดความเสียหายของอุปกรณ์ระหว่างช่วงเวลาที่พิจารณา โดยให้จำนวนครั้งของอัตราการเสียหายเท่ากับ จำนวนครั้งของการเสียหายด้วยช่วงเวลาการทดลอง

5. คำนวนช่วงเวลาไฟฟ้าดับทั้งหมดของจุดโหลด คำนีจะเท่ากับช่วงเวลาการซ่อมของอุปกรณ์ ในกรณีที่กำหนดให้อุปกรณ์ไม่สามารถนำออกจากระบบได้ ถ้าอุปกรณ์สามารถนำออกจากระบบได้ช่วงเวลาการเกิดไฟฟ้าดับให้เท่ากับช่วงเวลาที่ใช้ในการสับสวิตซ์จุดโหลดเข้าสู่ระบบ
6. ค่าสมรรถภาพความไม่พร้อมใช้งานทั้งปี สามารถคำนวณได้จาก อัตราความเสียหายคูณด้วยอัตราการซ่อม
7. ขั้นตอนที่ 1-6 จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็นหนึ่งเหตุการณ์ต่อหนึ่งจุดโหลด
8. ทำขั้นตอนที่ 2-7 สำหรับแต่ละอุปกรณ์ในระบบเพื่อให้ได้เหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นที่สมบูรณ์
9. จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะสามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในแต่ละจุดโหลด สำหรับการจำลองหนึ่งช่วงเวลาของระบบจะใช้สมการ การคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ซึ่งดัชนีชุดนี้จะให้ค่าการกระจายความน่าจะเป็นของแต่ละจุด
10. ทำขั้นตอนที่ 1-9 ซ้ำ สำหรับแต่ละช่วงเวลาการจำลอง ขั้นตอนนี้จะได้กราฟ frequency histogram หรือการกระจายความน่าจะเป็น
11. คำนวนค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ หรือค่าตัวแปรต่างๆ ทางสถิติ

### เจนเนติกอัลกอริทึม

#### 1. ทฤษฎีพื้นฐาน (ปรีศนา, 2549)

เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม (Stochastic search) ที่มีความคิดในการคำนวณที่เลียนแบบมาจากการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยจะใช้หลักของการอยู่รอดของผู้ที่มีความแข็งแกร่งที่สุด ซึ่งผู้ที่แข็งแกร่งที่สุดจะได้รับการคัดเลือกเพื่อสืบพันธุ์ให้กำเนิดลูกที่มีความแข็งแกร่งต่อไป

กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เพื่อสืบทอดคุณลักษณะและพัฒนาให้เผ่าพันธุ์มีความแข็งแกร่งหรือมีความสามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมนั้นมากยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันหากเมื่อนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization Problem) โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากรในกลุ่มขึ้น จากนั้นก็คำนวณค่าความแข็งแรง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเปรียบเสมือนกับดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อม จากนั้นทำการเลือกสรรประชากรที่มีความแข็งแรงเพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป การให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ในกลุ่มจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการคัดสรรมาแล้ว โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่า เมื่อนำข้อมูลจากรุ่นพ่อแม่ที่มีความแข็งแรงมาผสมกันแล้วย่อมมีโอกาสที่จะได้รุ่นลูกที่มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งคล้ายกับการแลกเปลี่ยนรหัสทางพันธุกรรมของยีน (Gene) ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ จากนั้นนำประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นไปแทนที่ประชากรเดิมบางตัวหรือทุกตัวในกลุ่ม ทำขั้นตอนเหล่านี้ซ้ำไปเรื่อยจนกระทั่งได้ผลตอบที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด

จากการคิดค้นของ John Holland ทำให้สามารถค้นหาและแก้ปัญหาให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุดทั้งอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (Minimum point) หรือจุดสูงสุด (Maximum point) สำหรับหลักการของวิธีการค้นหาแบบเจเนติกอัลกอริทึม คือสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี ในการกำหนดว่าสิ่งมีชีวิตไหนมีลักษณะที่ดีหรือไม่ดีนั้นจะถูกกำหนดจาก Optimization Theory ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดียิ่งขึ้น ในส่วนที่มีลักษณะที่ไม่ดีจะไม่ถูกสนับสนุนหรือไม่นำส่วนนี้มาพิจารณา ดังนั้นในหลักการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมจึงถูกเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม นั้นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะใช้ Fitness Function (ค่าความเหมาะสม) ที่มีความสอดคล้องกับ Objective Function (วัตถุประสงค์) กำหนดให้แต่ละโครโมโซม และโครโมโซมเหล่านั้นจะถูกนำมาพิจารณาว่าโครโมโซมใดควรนำมาสืบสายพันธุ์ต่อไป หรือโครโมโซมใด ไม่ควรนำมาสืบสายพันธุ์ และจากการหาคำตอบโดยใช้โครโมโซม ในแต่ละรุ่นจะมีการสุ่ม (Generations) คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา จึงทำให้เจเนติกอัลกอริทึมสามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้เหมาะสมที่สุด (พัฒนา, 2545)

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เนื่องจากคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมี

การใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือ selection, crossover และ mutation เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบ ในบริเวณของปัญหาซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลาย (diversity) ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา

## 2. องค์ประกอบ (ปริศนา, 2549)

เจนเนติกอัลกอริทึมมีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. Chromosome Encoding หรือรูปแบบโครโมโซมที่ใช้ในการนำเสนอทางเลือกที่สามารถจะเป็นได้ของแต่ละปัญหา
2. Initial Population คือ ประชากรต้นกำเนิดที่จะนำไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม
3. Fitness Function ฟังก์ชันสำหรับประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือกของคำตอบ
4. Genetic Operator ซึ่งใช้ในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลตลอดกระบวนการ ได้แก่ selection, crossover และ mutation
5. Parameter ที่สำคัญสำหรับเจนเนติกอัลกอริทึม เช่น ขนาดของประชากร (population size) ความน่าจะเป็นของการ crossover (probability crossover) ความน่าจะเป็นของการ mutation (probability mutation) และจำนวนรุ่น เป็นต้น

### 2.1 รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหา และในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ เช่น

### 2.1.1 Binary Encoding

เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที่นำมาใช้แก้ปัญหของเจนเนติกอัลกอริทึม จึงทำให้รูปแบบ โครโมโซมแบบนี้เป็นเรื่องธรรมดาที่สุด ลักษณะของ Binary Encoding คือ ทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าเป็น bit 0 หรือ 1 ตัวอย่างเช่น

โครโมโซม A : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

โครโมโซม B : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

### 2.1.2 Value Encoding

หรือเรียกว่า Direct Encoding ทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าบางค่าซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่นๆ รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อนของค่า ตัวอย่างเช่น

โครโมโซม A :

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.23 | 4.51 | 6.21 | 0.21 | 2.81 | 3.56 | 1.88 | 4.33 | 0.19 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

โครโมโซม B :

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | e | i | y | k | l | m | n | o |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

โครโมโซม C :

|      |       |      |      |      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| back | right | left | back | left | right | back | back | left |
|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|

สำหรับ Value Encoding เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับปัญหาพิเศษบางอย่าง รูปแบบโครโมโซมแบบนี้ยังทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาการ crossover และ mutation อีกด้วย

### 2.1.3 Permutation Encoding

รูปแบบโครโมโซมแบบนี้ใช้ในการลำดับของปัญหา ทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะเป็นค่าของจำนวนนับที่แทนตำแหน่งในลำดับ เช่น ปัญหาของ Traveling Salesman



โครโมโซม A : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

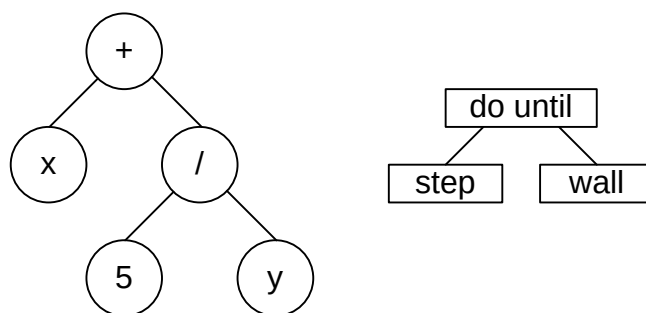
โครโมโซม B : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 5 | 2 | 1 | 4 | 6 | 7 | 8 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Permutation Encoding ถูกใช้อย่างมากในการลำดับปัญหา สำหรับบางชนิด ความถูกต้องของการ crossover และ mutation ต้องสร้างให้ตรงกับปัญหา

#### 2.1.4 Tree Encoding

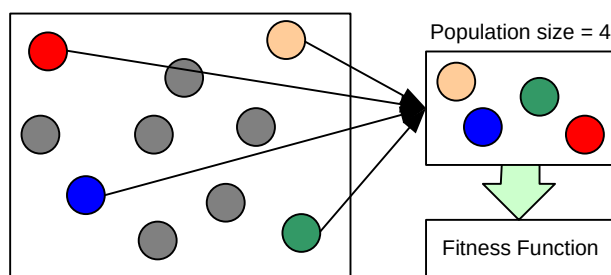
ถูกใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับการพัฒนาโปรแกรม หรือถ้อยคำสำหรับ Genetic Programming เช่น ภาษา LISP รูปแบบโครโมโซมคือ ทุกตำแหน่งของยีนจะเป็น node ของต้นไม้ ดังภาพ



ภาพที่ 17 ตำแหน่งของยีนจะเป็น node ของต้นไม้

## 2.2 Initial Population (ประชากรต้นกำเนิด)

การให้ประชากรต้นกำเนิดเกิดจากการสุ่ม (Random) ดังภาพที่ 18 เป็นการกระทำอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อนำประชากรเข้าไปใช้ในกระบวนการ ซึ่งการสุ่ม จะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้ โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสม ของแต่ละโครโมโซม



ภาพที่ 18 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม

### 2.3 Fitness Function (ค่าความเหมาะสม)

โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่สมควร ดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความเหมาะสมไปพิจารณา โดยใช้สมการหาค่าความเหมาะสมที่สอดคล้องกับปัญหา สรุปได้ว่าค่าความเหมาะสม คือตัวที่ใช้ประเมินว่าแต่ละเส้นทางเลือก (solution) นั้น มีความเหมาะสมหรือสามารถใช้แก้ปัญหาได้ดีเพียงใด

ตัวอย่างของฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม เช่น

ค่าความเหมาะสม = จำนวนของ bit 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

โครโมโซม A : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

\* โครโมโซม A มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 4

โครโมโซม B : 

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

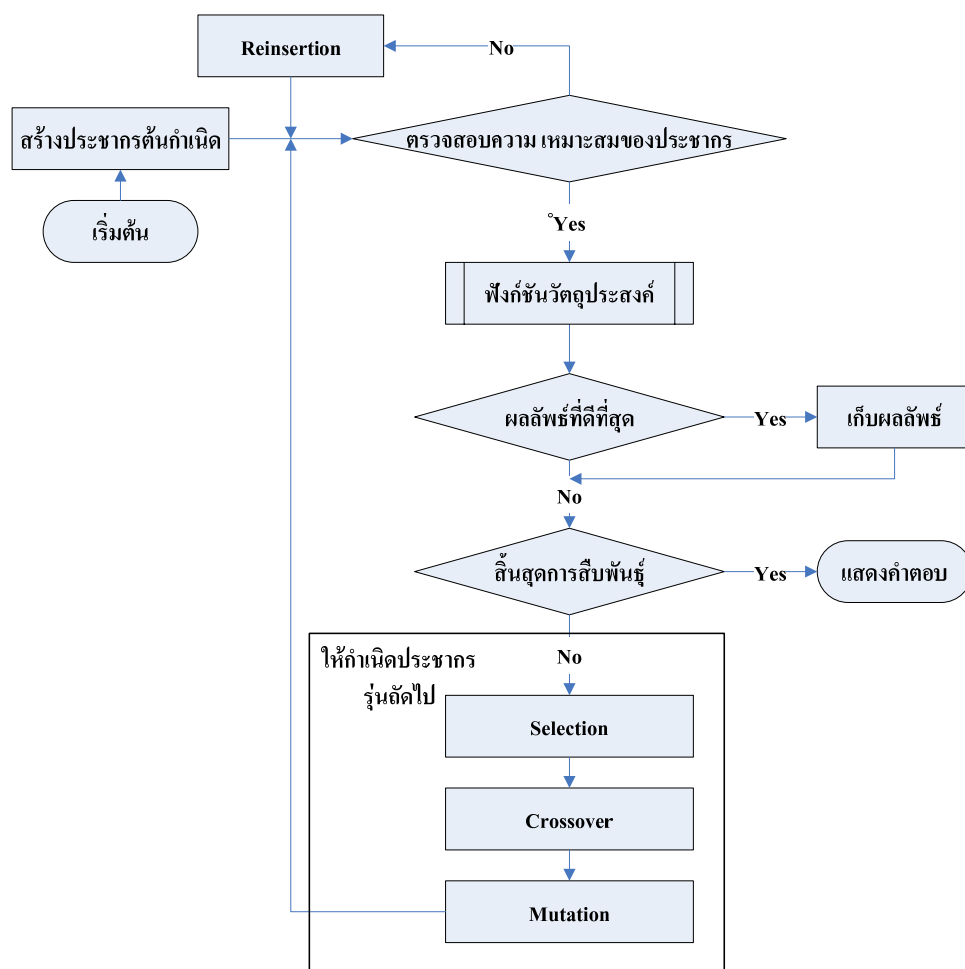
\* โครโมโซม B มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 6

## 2.4 การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของเจนเนติกอัลกอริทึม (พัฒนา, 2545) มีกระบวนการพื้นฐาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

- การเลือกสรร (Selection)
- การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination / Crossover)
- การกลายพันธุ์ หรือการผ่าเหล่า (Mutation)
- การแทนที่ (Reinsertion)

ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงได้ดังภาพ



ภาพที่ 19 โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

จากภาพที่ 19 จุดเริ่มต้นของการคำนวณ ค่าตัวเลขในแต่ละประชากรในกลุ่มจะถูกสุ่มขึ้นทั้งหมดและจะใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ในการหาค่าความแข็งแรงในแต่ละประชากร หากยังไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแล้วก็จะทำการคำนวณรอบใหม่ โดยเริ่มจากการคัดเลือกผู้ที่มีความแข็งแรงเพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะต้องผ่านขั้นตอนการผ่าเหล่า โดยมีโอกาสที่จะเกิดการผ่าเหล่าต่ำ จากนั้นประชากรรุ่นใหม่จะถูกนำไปแทนที่ในประชากรรุ่นก่อน แล้วก็จะตรวจสอบกับเงื่อนไขในการหาค่าเหมาะสมที่สุด ถ้ายังไม่สอดคล้องก็จะดำเนินการใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนการคัดสรร ผสมพันธุ์ กลายพันธุ์ และการแทนที่ เพื่อสร้างกลุ่มประชากรรุ่นถัดไป จนกระทั่งสอดคล้องกับเงื่อนไขในการหาค่าเหมาะสมที่สุด

เมื่อพิจารณากระบวนการคิดของเจนเนติกอัลกอริทึม พบว่ามีความแตกต่างจากวิธีการคำนวณ หาค่าเหมาะสมที่สุดในแบบดั้งเดิม ดังนี้

1. เจนเนติกอัลกอริทึมจะคำนวณข้อมูลหลายๆ จุดพร้อมกัน ในขณะที่วิธีดั้งเดิมจะคำนวณทีละจุด
2. เจนเนติกอัลกอริทึมไม่ต้องการทราบข้อมูลของค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันจุดประสงค์ สมการเงื่อนไข และอสมการเงื่อนไข
3. เจนเนติกอัลกอริทึมใช้หลักการของความน่าจะเป็นเข้าช่วยในการแก้ปัญหา

ขั้นตอนต่างๆ ในการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 2.4.1 การเลือกสรร (Selection)

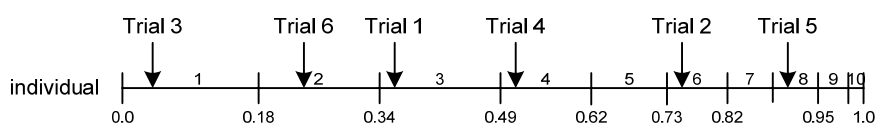
เป็นขั้นตอนสำหรับเลือกประชากรเพื่อใช้ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป โดยในขั้นแรกจะต้องหาค่าความแข็งแรง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวในกลุ่มจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นจึงเลือกประชากรเพื่อนำมาใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป โดยการเลือกสรรแต่ละวิธีจะอยู่ในหลักการที่ว่าประชากรที่มีความแข็งแรงมากกว่า ย่อมมีโอกาสได้รับการคัดเลือกเพื่อนำไปให้กำเนิดรุ่นถัดไปมากกว่า วิธีการเลือกสรรมีหลายวิธี ดังนี้

### 2.4.1.1 Roulette – wheel selection

Roulette – wheel selection เป็นกระบวนการเลือกสรรแบบ Stochastic sampling ซึ่งมีกระบวนการดังนี้

1. นำประชากรแต่ละตัวมาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงความยาวตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยให้ช่วงความยาวของเส้นตรงของแต่ละประชากรขึ้นกับค่าความแข็งแรง คือหากมีความแข็งแรงมาก ก็จะมีช่วงความยาวบนเส้นตรงที่สร้างขึ้นแทนค่าของประชากรตัวนั้นยาว
2. สุ่มตัวเลขขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวชี้ไปยังตำแหน่งบนเส้นตรง
3. หากตัวชี้ชี้ไปยังประชากรตัวใดแล้วก็ถือว่าประชากรตัวนั้นเป็นผู้ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป
4. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 จนกระทั่งได้ประชากรครบจำนวนที่จะใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป

การเลือกสรรประชากรวิธี Roulette – wheel selection จากการสุ่ม 6 ครั้ง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Roulette – wheel selection

### 2.4.1.2 Stochastic universal sampling

Stochastic universal sampling เป็นการเลือกสรรโดยจะดำเนินการคล้ายๆ กับวิธี Roulette – wheel selection แตกต่างกันเพียงในขั้นตอนสร้างตัวชี้ ซึ่งในวิธีนี้จะให้ระยะห่างระหว่างตัวชี้คงที่ ซึ่งสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. นำประชากรแต่ละตัวมาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงความยาวตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยให้ช่วงความยาวของเส้นตรงของแต่ละประชากรขึ้นกับค่าความแข็งแรง

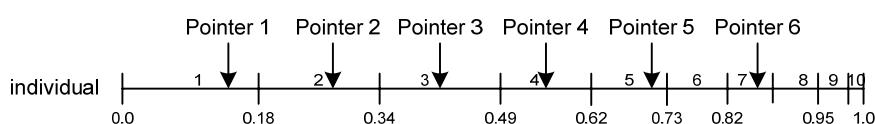
2. สร้างตัวชี้ โดยจำนวนตัวชี้จะเท่ากับจำนวนประชากรที่ต้องการใช้ในการกำหนดรุ่นถัดไป และตัวชี้แต่ละตัวจะชี้ไปยังตำแหน่ง  $\frac{1}{N_{\text{point}}} * \text{order}$

เมื่อ  $N_{\text{point}}$  คือ จำนวนตัวชี้ ซึ่งจะเท่ากับจำนวนรุ่นพ่อแม่ที่จะใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป

$\text{order}$  คือ ลำดับตัวชี้ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง  $N_{\text{point}}$

3. หากตัวชี้ชี้ไปยังประชากรตัวใดแล้วก็ถือว่าประชากรตัวนั้นเป็นผู้ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป

การเลือกสรรประชากรวิธี Stochastic universal sampling จากจำนวนตัวชี้ 6 ตัว สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Stochastic universal sampling

#### 2.4.1.3 Local selection

Local selection เป็นวิธีการเลือกสรรที่จะสนใจเฉพาะประชากรที่อยู่ในย่าน (Neighborhood) ที่กำหนด ซึ่งแตกต่างจาก 2 วิธีแรก (2 วิธีแรก ย่านที่กำหนดจะเป็นทุกประชากรในกลุ่ม) โดยย่านที่กำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของประชากรแต่ละตัวที่เรียงต่อกันอยู่ และระยะห่าง (Distance) ที่กำหนดหรืออาจกล่าวได้ว่า ย่าน คือ กลุ่มย่อยของประชากรที่เราสนใจเลือก ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ปัญหาที่ต้องใช้จำนวนประชากรมาก และสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. เลือกประชากรที่อยู่ในกลุ่ม อาจใช้วิธีสุ่มโดยตรงหรือใช้การเลือกแบบ Roulette-wheel selection หรือ Stochastic universal sampling ก็ได้

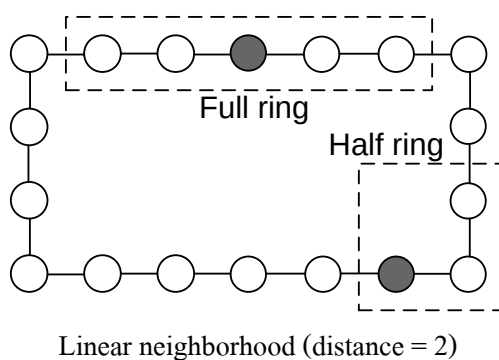
2. กำหนดย่านของประชากรที่ถูกเลือกนี้ พร้อมทั้งกำหนดระยะห่างที่พิจารณา

3. ในย่านที่กำหนด เลือกประชากรตัวที่มีความแข็งแกร่งที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป

4. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 จนกระทั่งได้ประชากรครบจำนวนที่จะใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป

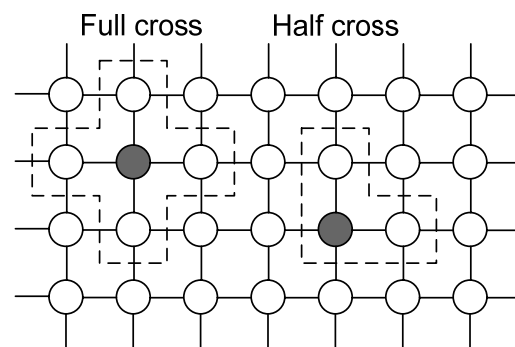
รูปแบบของย่านที่กำหนดจะมีรูปแบบดังนี้

1. Linear จะแบ่งออกเป็น Full ring และ Half ring ดังภาพที่ 22



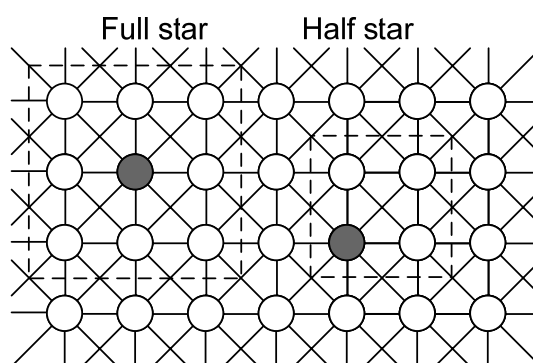
ภาพที่ 22 ย่านในแบบ Linear ลักษณะ Full ring และ Half ring

2. Two-dimensional จะแบ่งออกเป็น Full cross, Half cross, Full star และ Half star ดังภาพที่ 23 และภาพที่ 24



Two-dimensional neighborhood (distance = 1)

ภาพที่ 23 ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full ring และ Half ring



Two-dimensional neighborhood (distance = 1)

ภาพที่ 24 ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full star และ Half star

3. Three-dimensional และวิธีอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนกว่า 2 แบบ

ข้างต้น

ระยะห่าง (Distance) จะเป็นค่าที่กำหนดจำนวนประชากรในย่าน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6



ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและระยะห่าง

| Structure  | Distance |       |
|------------|----------|-------|
|            | 1        | 2     |
| Full ring  | 2        | 4     |
| Half ring  | 1        | 2     |
| Full cross | 4        | 8(12) |
| Half cross | 2        | 4(5)  |
| Full star  | 8        | 24    |
| Half star  | 3        | 8     |

#### 2.4.1.4 Truncation selection

Truncation selection เป็นวิธีที่คัดเลือกประชากรที่จะใช้ในการให้กำเนิดรุ่นลูก โดยการตัดประชากรที่มีความแข็งแกร่งน้อยๆ ออกไปก่อน ซึ่งประชากรที่มีความแข็งแกร่งเกินกว่าค่าขีดจำกัดที่กำหนด (Threshold) เท่านั้นจึงจะมีสิทธิในการได้รับเลือกให้กำเนิดรุ่นลูกต่อไป

#### 2.4.1.5 Tournament selection

Tournament selection จะเป็นการคัดสรรโดยจัดกลุ่มย่อยแบบสุ่มให้กับประชากร และประชากรที่มีความแข็งแกร่งที่สุดในกลุ่มย่อยก็จะได้เป็นผู้ที่ถูกเลือกให้กำเนิดรุ่นลูกต่อไป

### 2.4.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination /Crossover)

การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination/Crossover) เป็นขั้นตอนที่ใช้สร้างประชากรรุ่นใหม่โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ให้กำเนิด (Parents) ซึ่งขั้นตอนการแลกเปลี่ยนข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

### 2.4.2.1 Real valued recombination

รายละเอียดของวิธีในกลุ่มนี้ จะไม่กล่าวในที่นี้ แต่สามารถหา  
รายละเอียดได้จาก Genetic and Evolutionary Algorithms: Principles Methods and Algorithms,  
[http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA\\_Toolbox/alginde.html](http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA_Toolbox/alginde.html) (Hartmut, n.d.)

### 2.4.2.2 Binary valued recombination (Crossover)

#### 1. Single-point crossover

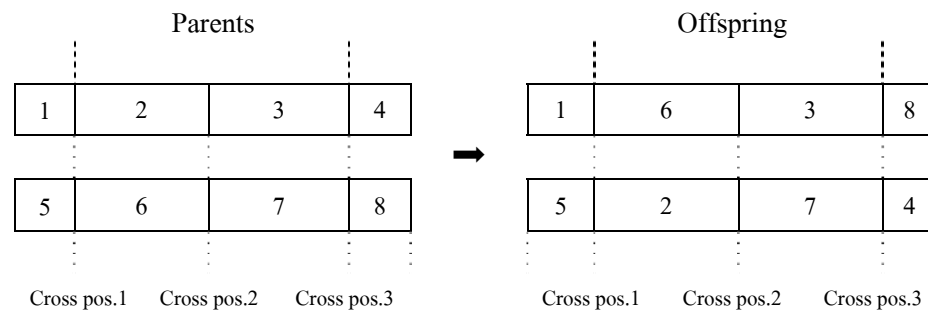
Single-point crossover เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากการสุ่มตัวเลข  
ที่ใช้แทนตำแหน่งในการตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมาซึ่งรุ่นลูก ซึ่งจุดตัดต่อจะเลือกมาเพียงจุดเดียว  
เท่านั้น การตัดต่อสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 25

| Parents |   | Offspring |   |
|---------|---|-----------|---|
| 1       | 2 | 1         | 4 |
| 3       | 4 | 3         | 2 |

ภาพที่ 25 การตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมาซึ่งรุ่นลูกแบบ Single-point crossover

#### 2. Multi-point crossover

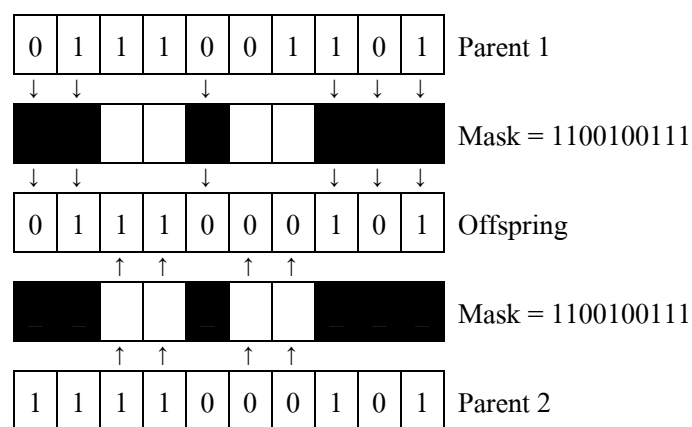
Multi-point crossover เป็นกระบวนการที่คล้ายกับวิธี Single-point  
crossover แตกต่างกันในวิธีการนี้จะสุ่มตัวเลขเพื่อใช้ในการตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมาซึ่งรุ่นลูก  
หลายจุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 Multi-point crossover แบบใช้จุดตัด 3 จุด

### 3. Uniform crossover

Uniform crossover เป็นวิธีการ crossover ที่ไม่กำหนดจำนวนจุดตัดที่ใช้ตัดต่อผู้ให้กำเนิด การตัดต่อจะกระทำโดยการสุ่มหน้าต่าง (Mask) จากนั้นอาศัยหน้าต่างที่สุ่มขึ้นในการเลือกแต่ละบิต สำหรับรุ่นลูก ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 วิธีการตัดต่อที่ไม่กำหนดจำนวนจุดตัด (Uniform crossover)

### 4. Shuffle crossover

Shuffle crossover เป็นวิธีที่คล้ายกับการ Crossover ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แตกต่างกันที่ก่อนนำข้อมูลของผู้ให้กำเนิดมาแลกเปลี่ยนกันเพื่อให้กำเนิดรุ่นลูก จะต้องสลับตำแหน่งบิตก่อนการแลกเปลี่ยนข้อมูล เพื่อลดผลของความสำคัญของลำดับข้อมูล เมื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเสร็จแล้วก็จะจัดลำดับบิตตามเดิม

### 2.4.3 การกลายพันธุ์หรือการผ่าเหล่า (Mutation)

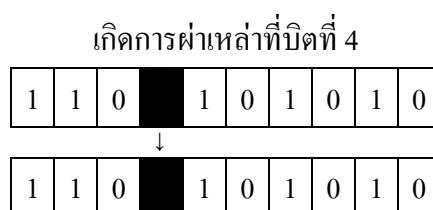
ขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบการผ่าเหล่าของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้กับประชากรที่เกิดขึ้นใหม่เท่านั้น ถ้าหากเปรียบเทียบกับ การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะทำให้มีโอกาสที่ผลตอบจะเข้าสู่จุดคำตอบในช่วงอื่นๆ ที่มีค่าดีกว่าเพราะปัญหาในบางครั้งอาจจะมีจุดคำตอบหลายจุดก็ได้ (Sub-optimum) กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่มดังนี้

#### 2.4.3.1 Real valued mutation

รายละเอียดของวิธีในกลุ่มนี้จะไม่ขอกล่าวในที่นี้ แต่สามารถค้นคว้าได้จากหนังสือ Genetic and Evolutionary Algorithm: Principles Methods and Algorithm.

#### 2.4.3.2 Binary mutation

การผ่าเหล่า สำหรับข้อมูลแบบไบนารี จะหมายถึงการเปลี่ยนค่าบิตจาก 0 ไป 1 หรือ 1 ไป 0 ด้วยโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ผ่าเหล่าน้อยๆ การผ่าเหล่าของข้อมูลสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ตัวอย่างการผ่าเหล่าของข้อมูล

### 2.4.4 การแทนที่ (Reinsertion)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการแทนที่ประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นในประชากรเดิม ซึ่งแบ่งวิธีการแทนที่สามารถแสดงได้ดังนี้

2.4.4.1 Pure reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมทั้งหมดด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้น

2.4.4.2 Uniform reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการนี้ในบางครั้งทำให้ประชากรรุ่นเดิมที่มีความแข็งแกร่งถูกแทนที่ด้วยประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งเป็นผลให้ข้อมูลบางส่วนหายไป

2.4.4.3 Elitist reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้น โดยการแทนที่จะเริ่มจากการเรียงประชากรรุ่นเดิมตามค่าความแข็งแกร่งแล้วจึงแทนประชากรรุ่นใหม่ลงไปในตำแหน่งที่มีความแข็งแกร่งน้อยที่สุด แทนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งประชากรรุ่นใหม่ที่สร้างขึ้นถูกแทนที่ลงไปจนหมด

2.4.4.4 Fitness-based reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่มีความแข็งแกร่ง นั่นคือประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นมีเฉพาะส่วนที่มีความแข็งแกร่งเท่านั้นจึงจะมีสิทธิเข้าแทนที่ประชากรในกลุ่มเดิม ขั้นตอนการแทนที่จะเริ่มจากการคัดเฉพาะประชากรรุ่นใหม่ที่มีความแข็งแกร่ง จากนั้นจึงนำไปแทนที่ประชากรเดิม

## 2.5 ตัวแปร (Parameter)

Parameter ที่สำคัญหรือเป็นพื้นฐานของเจนเนติกอัลกอริทึม มี 3 ตัว คือ

2.5.1 Crossover Probability คือ ความน่าจะเป็นของการ crossover จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 – 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พบว่าความน่าจะเป็นของการ crossover ส่วนใหญ่อยู่ที่ 60%-95% ถ้าหากไม่มีการ crossover (0%) ผลที่ได้คือการทำสำเนาที่ถูกต้องจาก parent แต่ถ้ามีการ crossover เกิดขึ้นบ่อยจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่หลากหลาย บางปัญหาอาจจะแก้ปัญหาได้ดีในความน่าจะเป็นอยู่ที่ 85%-95%

2.5.2 Mutation Probability คือ ความน่าจะเป็นของการ mutation จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 – 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พบว่าความน่าจะเป็นของการ mutation ส่วนใหญ่อยู่ที่ 0% - 1% ต่อ 1 ตำแหน่งของโครโมโซมถ้าไม่มีการ mutation นั้นหมายความว่าผลที่ได้เกิดจากการ crossover เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าหากมีการ mutation 100% จะทำให้โครโมโซมมีการ

เปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งการเกิด mutation จะไม่เกิดบ่อยมากนักเพราะจะทำให้วิธีการแบบเจนเนติกอัลกอริทึมเปลี่ยนไปเป็น random search

2.5.3 จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น หรือ Population size ถ้ามีจำนวนมากจะทำให้เจนเนติกอัลกอริทึมประมวลผลได้ช้าลง การวิจัยจะแสดงให้เห็นว่ามีข้อจำกัดบางอย่างซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ การถอดรหัส

เงื่อนไขในการหยุดกระบวนการหาคำตอบ

ในการหยุดกระบวนการหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึม นั้นสามารถกำหนดเงื่อนไขได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

- ครบจำนวนรอบที่ได้กำหนดไว้
- พบเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการ
- พบคำตอบมีใกล้เคียงกับที่ต้องการ เช่น โครโมโซมมีค่า ณ ตำแหน่งของยีนเดียวกัน

เหมือนกันถึงร้อยละ 95

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม Microsoft Office 2003 (Words, Excel และ Power Point)
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรม MATLAB version 7
5. เครื่อง Printer และอื่นๆ

### วิธีการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เริ่มต้นจากการศึกษาหลักการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ แล้วจึงทำการประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมเพื่อหาดำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ซึ่งมีวิธีการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาหลักการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ในกรณีการวางตำแหน่งสวิตช์ตัดตอน และฟิวส์แบบต่างๆ ในระบบตัวอย่างของ Roy Billinton
2. ศึกษาหลักการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้แบบจำลองมอนติคาร์โล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์
3. ศึกษาหลักการเงินเนติกอัลกอริทึม เพื่อเพิ่มความสามารถของแบบจำลอง ในการวางตำแหน่งของการวางสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีที่สุด

4. ประยุกต์ใช้หลักการเจนเนติกอัลกอริทึม และหลักการแบบจำลองมอนติคาร์โล เมื่อการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดิน เป็นแบบไวบูลล์

## 1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

### 1.1 กรณีสึกษาบบของ Roy Billinton

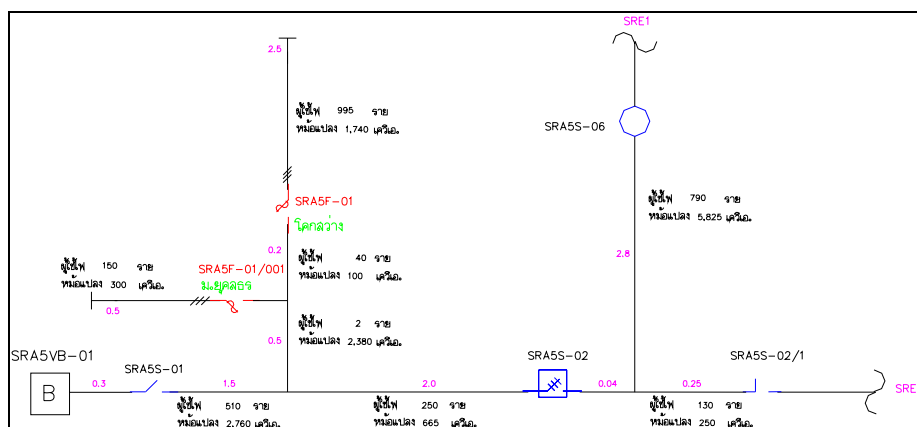
ทำการศึกษาคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ Roy Billinton โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าของการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยไม่ใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ โดยใช้แบบจำลองของมอนติคาร์โล ในลักษณะของกรณีสึกษาของระบบที่มีการวางสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ ตามตัวอย่างการคำนวณของระบบ Roy Billinton (ดังภาพที่ 10-12) และใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 (Roy et al., 1994)

หลังจากทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการวิเคราะห์ และวิธีการแบบ จำลองแล้ว จึงศึกษาการวางตำแหน่งที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ โดยนำเจนเนติกอัลกอริทึม มาเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่ทำให้ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้น

### 1.2 กรณีสึกษาบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ทำการประยุกต์ใช้หลักการกับระบบที่มีอยู่จริงโดยเลือกทำการศึกษากับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05) (ภาพที่ 29) และฟีดเดอร์ 6 (SRA06) (ภาพที่ 30) และทำการเปรียบเทียบหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้กับระบบจริงระหว่างวิธีการวิเคราะห์และวิธีแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูล (รัชนิกร, 2550) ดังนี้

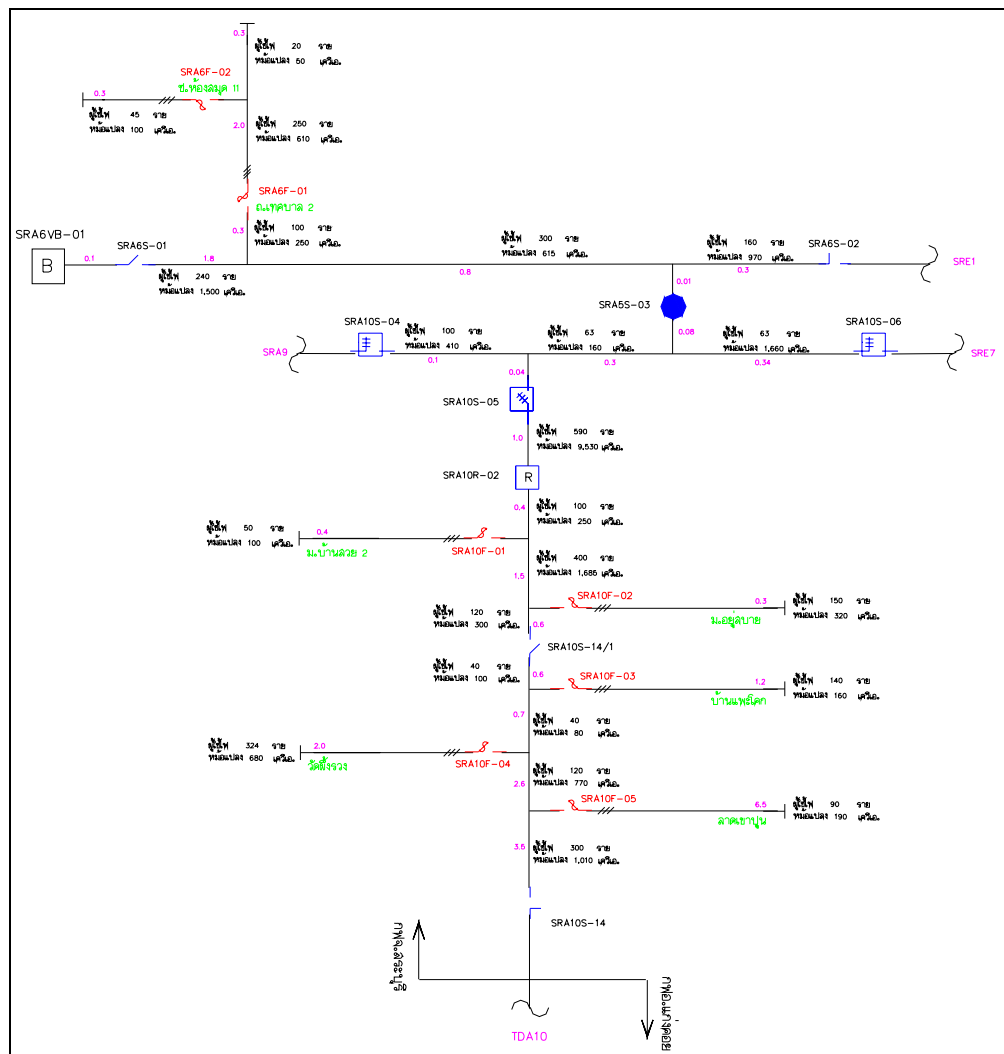




ภาพที่ 29 โครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 5 (SRA05)

ตารางที่ 7 ข้อมูลของโครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05)

|      | $\lambda$ | $r$   | Load P. | Cust. | Load  |
|------|-----------|-------|---------|-------|-------|
| LN1  | 0.052     | 2.000 | 1       | 510   | 2760  |
| LN2  | 0.261     | 2.000 | 2       | 250   | 665   |
| LN3  | 0.087     | 2.000 | 3       | 130   | 250   |
| LN4  | 0.348     | 2.000 | 4       | 690   | 5825  |
| LN5  | 0.007     | 2.000 | 5       | 2     | 2380  |
| LN6  | 0.348     | 2.000 | 6       | 150   | 300   |
| LN7  | 0.043     | 2.000 | 7       | 40    | 100   |
| LN8  | 0.087     | 2.000 | 8       | 595   | 1740  |
| LN9  | 0.035     | 2.000 | Total   | 2367  | 14020 |
| LN10 | 0.435     | 2.000 | Switch  | =     | 0.5   |



ภาพที่ 30 โครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีเฟดเดอร์ 6 (SRA06)

ตารางที่ 8 ข้อมูลของโครงข่ายระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีเฟดเคอร์ 6 (SRA06)

|      | $\lambda$ | $I$ | Load P. | Cust. | Load  |
|------|-----------|-----|---------|-------|-------|
| LN1  | 0.017390  | 2   | 1       | 240   | 1500  |
| LN2  | 0.278240  | 2   | 2       | 100   | 250   |
| LN3  | 0.139120  | 2   | 3       | 250   | 610   |
| LN4  | 0.052170  | 2   | 4       | 45    | 100   |
| LN5  | 0.015651  | 2   | 5       | 20    | 50    |
| LN6  | 0.059126  | 2   | 6       | 300   | 615   |
| LN7  | 0.052170  | 2   | 7       | 160   | 970   |
| LN8  | 0.017390  | 2   | 8       | 63    | 1660  |
| LN9  | 0.180860  | 2   | 9       | 63    | 160   |
| LN10 | 0.069560  | 2   | 10      | 100   | 410   |
| LN11 | 0.069560  | 2   | 11      | 590   | 9530  |
| LN12 | 0.260850  | 2   | 12      | 100   | 250   |
| LN13 | 0.052170  | 2   | 13      | 50    | 100   |
| LN14 | 0.104340  | 2   | 14      | 400   | 1685  |
| LN15 | 0.139120  | 2   | 15      | 120   | 320   |
| LN16 | 0.208680  | 2   | 16      | 120   | 300   |
| LN17 | 0.121730  | 2   | 17      | 40    | 100   |
| LN18 | 0.347800  | 2   | 18      | 70    | 70    |
| LN19 | 0.452140  | 2   | 19      | 40    | 80    |
| LN20 | 0.086950  | 2   | 20      | 320   | 680   |
| LN21 | 0.608650  | 2   | 21      | 120   | 770   |
| LN22 | 0.052170  | 2   | 22      | 90    | 1010  |
| LN23 | 0.347800  | 2   | 23      | 300   | 90    |
| LN24 | 0.052170  | 2   | Total   | 3701  | 21310 |
| LN25 | 0.052170  | 2   | Switch  | =     | 0.5   |

หลังจากทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการวิเคราะห์ และวิธีการแบบจำลองแล้ว จึงศึกษาการวางตำแหน่งที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ โดยนำเงื่อนไขอัลกอริทึมมาเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ เพื่อพัฒนาให้แบบจำลองมีความสามารถมากขึ้น และให้ครอบคลุมเงื่อนไขที่ต้องการเนื่องจากการลงทุนได้ โดยที่ผู้ศึกษาไม่จำเป็นต้องทำการศึกษาที่ละเอียดถี่ถ้วนของการวางตำแหน่งอุปกรณ์ตัดตอน เมื่อทำการทดลองกับระบบของไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05) แล้วจึงนำหลักการมาใช้ศึกษากับระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 6 (SRA06) มาทำการศึกษา และเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นจึงพัฒนาให้แบบจำลองมีความสามารถในการครอบคลุมสมมติฐานของการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินที่มีการแจกแจงที่แตกต่างออกไป เช่น การแจกแจงแบบไวบูลล์ โดยได้นำข้อมูลจากการศึกษา “การวิเคราะห์การแจกแจงอัตราความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” (อำนาจ, 2549) ในส่วนของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05) และฟีดเดอร์ 6 (SRA06) ที่ทำการวิเคราะห์ว่าอุปกรณ์สายจำหน่ายเหนือดินมีการแจกแจงเป็นแบบไวบูลล์ ดังนั้นจึงนำผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์มาใช้ในการศึกษา

#### ตารางที่ 9 ค่าตัวแปรของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05)

และฟีดเดอร์ 6 (SRA06) ที่มีการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินแบบไวบูลล์

|       | Scale Parameter | Shape Parameter |
|-------|-----------------|-----------------|
| SRA05 | 0.7343          | 0.094505        |
| SRA06 | 0.5565          | 0.056121        |

จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาในการซ่อมไม่ใช้การกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลเสมอไป ดังนั้นช่วงเวลาไฟฟ้าดับที่จุดต่อโหลดจึงไม่สามารถแทนด้วยการกระจายแบบใดๆ ดังนั้นจึงต้องตั้งสมมติฐานให้ระบบมีช่วงเวลาการซ่อมแซมการกระจายแบบแบบเอ็กโพเนนเชียลโดยให้ช่วงเวลาในการซ่อมเฉลี่ย คือ 2 ชั่วโมง

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.1 การคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ (ชำนาญ, 2547ข)

วิธีการนี้จะแทนระบบด้วยแบบสมการทางคณิตศาสตร์ และคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบ โดยทั่วไปค่าที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นค่าเฉลี่ยและอยู่ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล ซึ่งการพยากรณ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (37)$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (38)$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ} \quad (39)$$

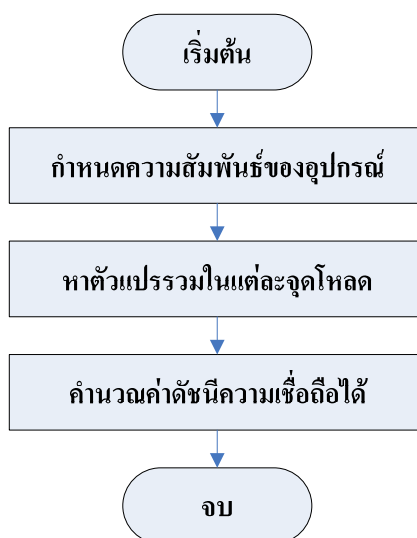
$$ENS = \sum L_i U_i \quad \text{MWh / ปี} \quad (40)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนผู้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลด

$U$  คือ เวลาที่เกิดไฟฟ้าดับประจำปีในแต่ละจุดโหลด

$L$  คือ ค่าโหลดเฉลี่ยในแต่ละจุดโหลด

โดยวิธีการวิเคราะห์ สามารถเขียนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ดังภาพที่ 31



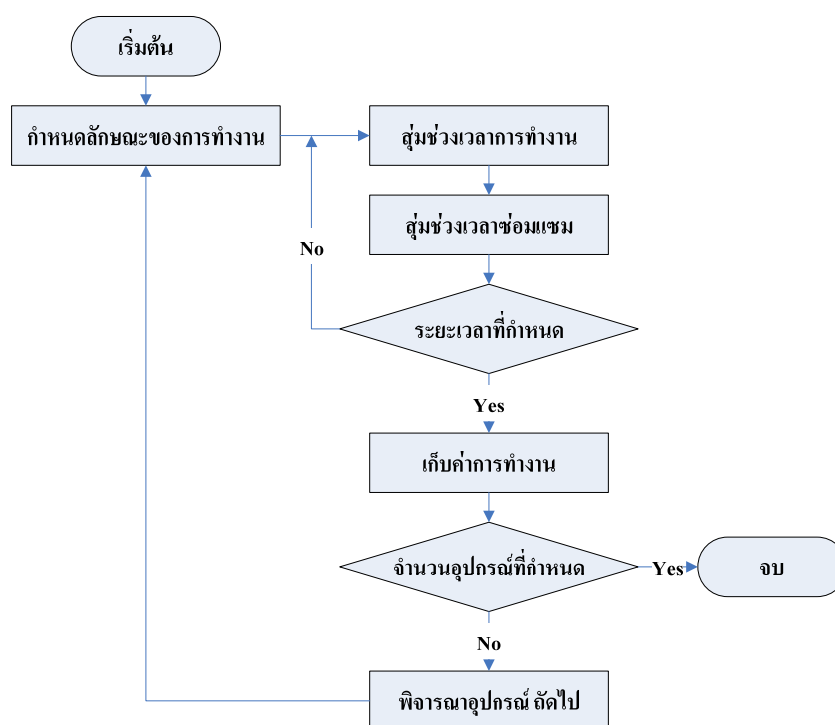
ภาพที่ 31 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้

จะเห็นได้ว่าตัวแปรทุกตัวจะต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานแบบเอ็กโพเนนเชียลเท่านั้นจึงจะสามารถคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ได้

## 2.2 การคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้วิธีแบบจำลอง

วิธีการนี้จะประมาณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ด้วยการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงจากการจำลองพฤติกรรมของระบบแบบสุ่มตามขั้นตอนการจำลองที่กล่าวไปแล้ว โดยให้วิธีจำลองนี้จำลองปัญหาด้วยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันจนถึงเวลาที่สนใจเหมือนที่เกิดขึ้นจริง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เทคนิคการพิจารณาระบบจำหน่าย เมื่อไม่คิดแหล่งกำเนิดใช้พื้นฐานเดิมคือ Failure Modes and Effects Analysis โดยการจำลองเหตุการณ์การทำงานของอุปกรณ์ด้วยหลักการแบบจำลองแบบมอนติคาร์โลดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การสุ่มลำดับเหตุการณ์การทำงานของอุปกรณ์

จากภาพที่ 32 เป็นลักษณะการจำลองเหตุการณ์ที่เรียงตามเวลาอย่างง่าย ๆ 2 ขั้นตอน โดยจะสุ่มช่วงเวลาที่อุปกรณ์ทำงาน และไม่ทำงานจนถึงช่วงเวลาที่สนใจดังกล่าวการทำงานภาพที่ 33 และภาพที่ 34

```

23
24 - Time=0;
25 - UpTime1=0;
26 - DownTime1=0;
27
28 - n=1;
29 - while (Time<=8760000)
30
31 - CM1Up(n)=expnd(1/(17/8760));
32 - UpTime1=UpTime1+CM1Up(n);
33
34 - CM1Down(n)=expnd(1/(17/8760));
35 - DownTime1=DownTime1+CM1Down(n);
36 - Time=UpTime1+DownTime1;
37 - n=n+1;
38 - end
39
40
  
```

Random Uptime

Random Downtime

ภาพที่ 33 ส่วนหนึ่งการสุ่มการทำงาน บนของหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB





ดังนั้นการพยากรณ์ค่าความเชื่อถือได้ สามารถคำนวณได้โดยการหาจากจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดในระบบที่ได้จากการสุ่ม (ชำนานู, 2547ข) ดังนี้

$$SAIFI = \frac{\sum N_c}{\sum N} \quad \text{ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (41)$$

$$SAIDI = \frac{\sum N_c d}{\sum N} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี} \quad (42)$$

$$CAIDI = \frac{\sum N_c d}{\sum N_c} \quad \text{ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ} \quad (43)$$

$$ENS = \sum L_c d \quad \text{MWh / ปี} \quad (44)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละจุดโหลด

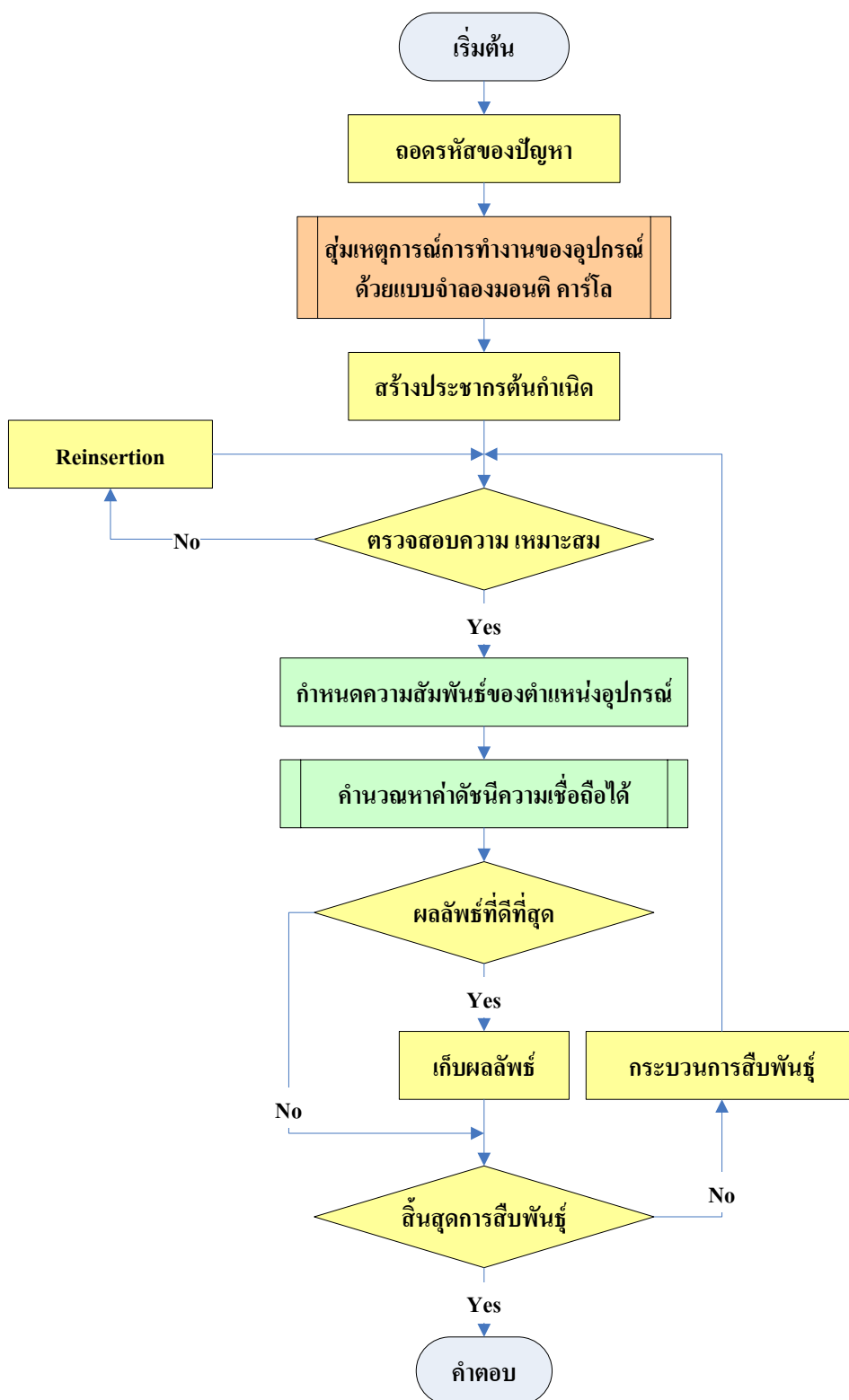
$N_c$  คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟดับทั้งหมดทุกกรณี

$L_c$  คือ ค่าโหลดที่สูญเสียไปเนื่องจากไฟดับ

$d$  คือ ช่วงระยะเวลาของการเกิดไฟดับ

### 2.3 การวิเคราะห์ตำแหน่งโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม

ในวิทยานิพนธ์ได้นำรูปแบบขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึมมาสร้างกลไกการตัดสินใจในการวางตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ โดยเริ่มจากการสร้างประชากรในลักษณะของเลขฐานสองเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาที่นำมาศึกษา ซึ่งข้อมูลของประชากรแต่ละชุดอยู่ภายใต้เงื่อนไขความเหมาะสมของราคา สามารถอธิบายกระบวนการการทำงานร่วมกันของเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธีการมอนติคาร์โล ดังภาพที่ 37 และมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 38 ถึงภาพที่ 42



ภาพที่ 37 การทำงานร่วมกันของเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธีการแบบจำลองมอนติคาร์โล

```

58 % Encode fitness (cost) function if necessary
59
60
61 % Display warning if odd number in initial population 30 for default
62 if rem(size_pop,2)==1,
63     disp('Warning: pop_size should be even. Adding 1 to population.')
64     size_pop = size_pop +1;
65 end
66
67 %***** FIST GENERATION ***** 30 for default
68 % Form random initial population if not enough supplied by user
69 if isempty(gene0)
70     fgen = round(rand(size_pop,bits));
71 else
72     fgen= [gene0; round(rand(size_pop-size(x0,1),bits))];
73 end
74

```

ภาพที่ 38 คำสั่งการสร้างประชากร ในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB

```

659
660 if ((gene(2)--1) | (gene(3)--1) | (gene(4)--1) & ...
661     ((gene(10)==0) & (gene(11)==0) & (gene(12)==0))
662     i=1;
663
664     ความสัมพันธ์ของตำแหน่งอุปกรณ์
665
666     for i=1:size(UpTimeF,2)-1
667         DownS(i)=UpS(i-1)+DownTimeF(i);
668         UpS(i)=DownS(i)+UpTimeF(i);
669     end
670
671     for i=1:size(UpTimeF,2)-1
672         for j=1:size(CH4Up,2)-1
673             if ((DownS(i)>=Down4SM(j)) & (DownS(i)<Up4SM(j))) | ...
674                 ((UpS(i)>Down4SM(j)) & (UpS(i)<=Up4SM(j))) | ...
675                 ((Down4SM(j)>=DownS(i)) & (Down4SM(j)<UpS(i))) | ...
676                 ((Up4SM(j)>DownS(i)) & (Up4SM(j)<=UpS(i)))

```

ภาพที่ 39 ส่วนหนึ่งของคำสั่งหาความสัมพันธ์ของการทำงาน จากตำแหน่งของอุปกรณ์

```

2506 %***** Reliability *****
2507
2508 ReliaIndex(a,1)=SAIFI;
2509 ReliaIndex(a,2)=SAIDI;
2510 ReliaIndex(a,3)=CAIDI;
2511 ReliaIndex(a,4)=ENS;
2512
2513 fitness(a) = ReliaIndex(a,1)+(ReliaIndex(a,2)/(mean(Repair)))+...
2514 (ReliaIndex(a,4)/(SumCust*(mean(Repair)))); %***** EVALUATION *****

```

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้

กำหนดให้ดัชนีมีความสำคัญเท่ากัน

ภาพที่ 40 คำนวณเก็บผลลัพธ์ที่ดีจากประชากรแต่ละตัว

```

2551
2552 if STOP_FLAG | OPT_STOP,
2553     fprintf('\n')
2554     if STOP_FLAG,
2555         disp('Genetic algorithm converged.')
2556     else
2557         disp('Genetic algorithms terminated by user.')
2558     end
2559     return
2560 end
2561 %*****
2562
2563 % Reproduce
2564 new_gen = reproduc(old_gen,fitness);
2565 Repr=new_gen;
2566 % Mate
2567 new_gen = mate(new_gen);
2568 MatE=new_gen;
2569 % Crossover
2570 new_gen = xover(new_gen,Pc);
2571 Cross=new_gen;
2572 % Mutate
2573 new_gen = mutate(new_gen,Pm);
2574 Mutat=new_gen;
2575 %*%
2576 fprintf('\nGA search generation %2g \n',generation);
2577 fprintf('\nGA BEST solution %2g \n',resort);
2578 box best;

```

กระบวนการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป

ภาพที่ 41 ฟังก์ชันของการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป

```

2513 fitness(a) = ReliaIndex(a,1)+(ReliaIndex(a,2)/(mean(Repair)))+(Relia
2514 % fitness(a) = ReliaIndex(2);
2515 % fitness(a) = ReliaIndex(3);
2516 % fitness(a) = ReliaIndex(4);
2517 end
2518 %~~~~~ หาค่าตำแหน่งที่ให้ค่าดัชนีต่ำที่สุด ~~~~~
2519 %~~~~~ or MIN ~~~~~
2520 %~~~~~
2521 %~~~~~
2522 [min_fit, INDEX] = min(fitness); % Depend on min or max problem
2523 %~~~~~
2524 Stats = [Stats; min_fit max(fitness) mean(fitness) std(fitness)]; % S
2525 %~~~~~
2526 %~~~~~
2527 if min_fit < bestf,
2528 % if max_fit(generation) > bestf,
2529 bestf = min_fit;
2530 resort = ReliaIndex(INDEX,:);
2531 xopt = x_pop(INDEX,:);
2532 box_result = [box_result; resort];
2533 box_best = [box_best; xopt];
2534 box_gen = [box_gen; xopt];
2535 box_bestf = [box_bestf bestf];
2536 else
2537 box_gen = [box_gen; xopt];
2538 % Remark: may want to regenerate to guarantee cost decrease
2539 % Remark: be careful not to get stuck in infinite loop
2540 end

```

ภาพที่ 42 คำสั่งการเลือกประชากรที่ให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีที่สุด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้การเลือกสรรแบบสุ่มโดยใช้ตัวชี้คงที่ และการแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นการตัดข้อมูลแบบจุดเดียว เมื่อได้ประชากรรุ่นใหม่แล้วจะทำการสุ่มการผ่าเหล่าของข้อมูลของสมาชิกที่เกิดขึ้นใหม่ โดยโอกาสที่จะเกิดการผ่าเหล่า 2% และให้เกิดการแทนที่เมื่อมีเกิดมีประชากรที่ออกนอกเงื่อนไขของกลไกการคัดเลือก

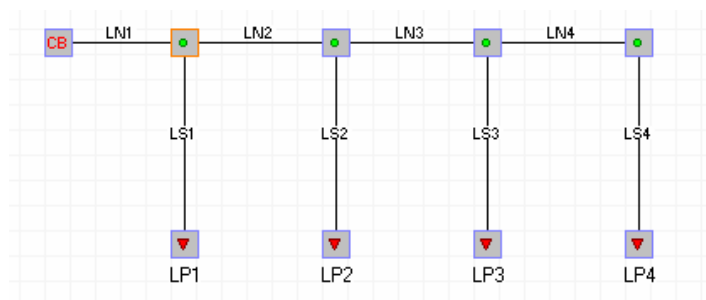
## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลการคำนวณกรณีศึกษาของ Roy Billinton

ผลจากการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์และวิธีการแบบจำลองในกรณีศึกษาของระบบ Roy Billinton โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2

กรณี RB01 โครงข่ายระบบจำหน่ายทั่วไป



ภาพที่ 43 กรณี RB01 โครงข่ายระบบจำหน่ายทั่วไป

ในกรณีโครงข่ายทั่วไปดังภาพที่ 43 ผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นคือ เมื่อจุดใดจุดหนึ่งเกิดความผิดพลาดขึ้น จะทำให้ทั้งระบบเกิดไฟฟ้าดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแยกเป็นแต่ละจุดโหลด จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

จุดโหลด LP1

$$P(LP1) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS1) \cap P(LS2) \cap P(LS3) \cap P(LS4)$$

จุดโหลด LP2

$$P(LP2) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS1) \cap P(LS2) \cap P(LS3) \cap P(LS4)$$

จุดโหลด LP3

$$P(LP3) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS1) \cap P(LS2) \cap P(LS3) \cap P(LS4)$$

จุดโหลด LP4

$$P(LP4) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS1) \cap P(LS2) \cap P(LS3) \cap P(LS4)$$

เมื่อ  $P(LP1)$  คือ โอกาสที่จุด A ไม่เกิดไฟฟ้าดับ

$P(LP2)$  คือ โอกาสที่จุด B ไม่เกิดไฟฟ้าดับ

$P(LP3)$  คือ โอกาสที่จุด C ไม่เกิดไฟฟ้าดับ

$P(LP4)$  คือ โอกาสที่จุด D ไม่เกิดไฟฟ้าดับ

ผลคำนวณวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB01

|         | LP1       |       |       | LP2       |       |       | LP3       |       |       | LP4       |       |       |
|---------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| Failure | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     |
| LN1     | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LN2     | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 |
| LN3     | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 |
| LN4     | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LS1     | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 |
| LS2     | 0.600     | 2.000 | 1.200 | 0.600     | 2.000 | 1.200 | 0.600     | 2.000 | 1.200 | 0.600     | 2.000 | 1.200 |
| LS3     | 0.400     | 2.000 | 0.800 | 0.400     | 2.000 | 0.800 | 0.400     | 2.000 | 0.800 | 0.400     | 2.000 | 0.800 |
| LS4     | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.200     | 2.000 | 0.400 |
| Total   | 2.200     | 2.727 | 6.000 | 2.200     | 2.727 | 6.000 | 2.200     | 2.727 | 6.000 | 2.200     | 2.727 | 6.000 |

$$SAIFI = \frac{(2.2*1000)+(2.2*800)+(2.2*700)+(2.2*500)}{3000}$$

$$= 2.2 \text{ interruptions / customer} \times \text{year}$$

$$SAIDI = \frac{(6.0*1000)+(6.0*800)+(6.0*700)+(6.0*500)}{3000}$$

$$= 6.0 \text{ hour / customer} \times \text{year}$$

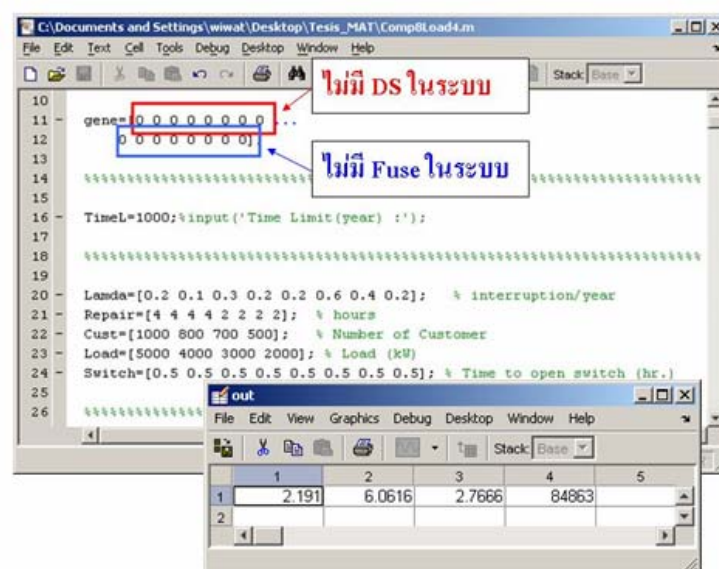
$$CAIDI = \frac{(6.0*1000)+(6.0*800)+(6.0*700)+(6.0*500)}{(2.2*1000)+(2.2*800)+(2.2*700)+(2.2*500)}$$

$$= 2.727 \text{ hour / customer interruption}$$

$$ENS = (6.0*5000)+(6.0*4000)+(6.0*3000)+(6.0*2000)$$

$$= 84000 \text{ kWh/year}$$

ผลการคำนวณวิธีการแบบจำลอง



$$SAIFI = 2.1910 \text{ ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี}$$

$$SAIDI = 6.0616 \text{ ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี}$$

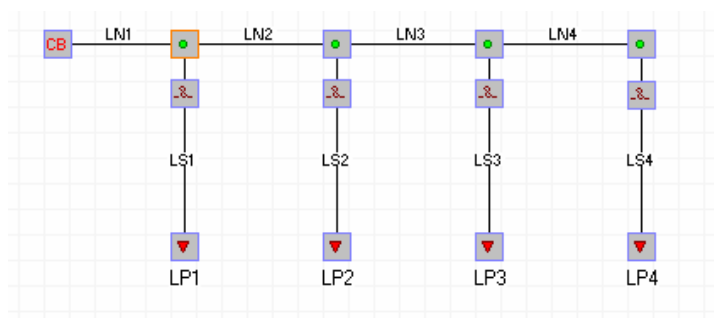
$$CAIDI = 2.7666 \text{ ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ}$$

$$ENS = 84863 \text{ kWh/ ปี}$$

ภาพที่ 44 หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB01)



กรณี RB02 เมื่อมีฟิวส์ที่เมนย่อยโดยใช้ข้อมูลของกรณีที่ 1



ภาพที่ 45 กรณี RB02 เมื่อมีฟิวส์ที่เมนย่อย

ในกรณีโครงข่ายทั่วไปเมื่อมีฟิวส์ในเมนย่อย ดังภาพที่ 45 ผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นคือเมื่อเกิดการขัดข้องขึ้นที่เมนหลักจะทำให้ระบบทั้งหมดเกิดไฟฟ้าดับ แต่เมื่อเกิดการขัดข้องขึ้นที่เมนย่อยใดๆ จะไม่ส่งผลกระทบต่อจุดโหลดหรือส่วนอื่นๆ ที่ไม่ได้อยู่บนเมนย่อยที่เกิดการขัดข้องนั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาแยกเป็นแต่ละจุดโหลด จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

จุดโหลด LP1

$$P(LP1) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS1)$$

จุดโหลด LP2

$$P(LP2) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS2)$$

จุดโหลด LP3

$$P(LP3) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS3)$$

จุดโหลด LP4

$$P(LP4) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS4)$$

## ผลคำนวณวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB02

| Failure | LP1       |       |       | LP2       |       |       | LP3       |       |       | LP4       |       |       |
|---------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|         | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     |
| LN1     | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LN2     | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 |
| LN3     | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 |
| LN4     | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LS1     | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS2     | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.600     | 2.000 | 1.200 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS3     | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.400     | 2.000 | 0.800 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS4     | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.200     | 2.000 | 0.400 |
| Total   | 1.000     | 3.600 | 3.600 | 1.400     | 3.143 | 4.400 | 1.200     | 3.333 | 4.000 | 1.000     | 3.600 | 3.600 |

$$\text{SAIFI} = \frac{(1.0 \times 1000) + (1.4 \times 800) + (1.2 \times 700) + (1.0 \times 500)}{3000}$$

$$= 1.153 \text{ interruptions / customer} \times \text{year}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{(3.6 \times 1000) + (4.4 \times 800) + (4.0 \times 700) + (3.6 \times 500)}{3000}$$

$$= 3.907 \text{ hour / customer} \times \text{year}$$

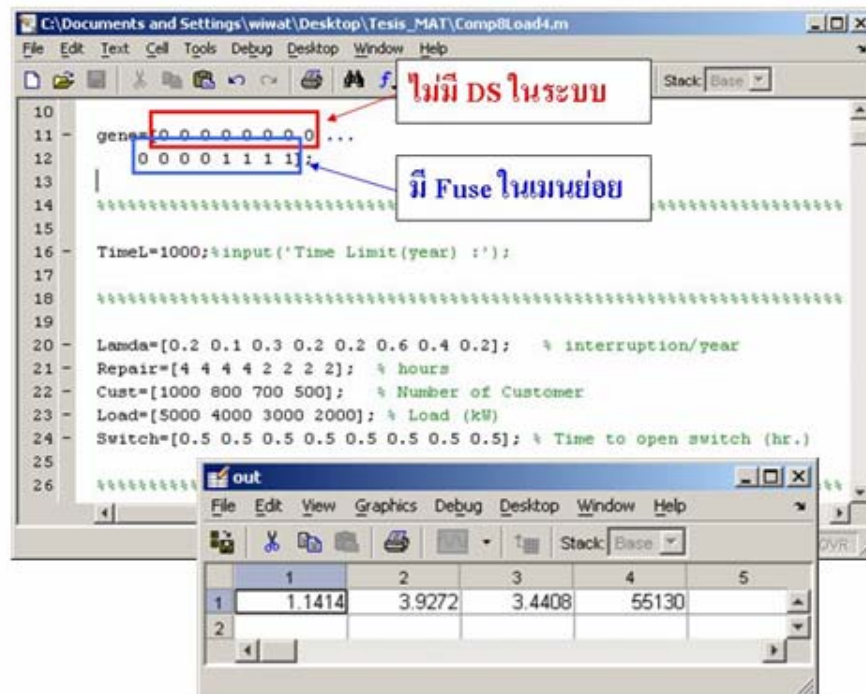
$$\text{CAIDI} = \frac{(3.6 \times 1000) + (4.4 \times 800) + (4.0 \times 700) + (3.6 \times 500)}{(1.0 \times 1000) + (1.4 \times 800) + (1.2 \times 700) + (1.0 \times 500)}$$

$$= 3.387 \text{ hour / customer interruption}$$

$$\text{ENS} = (3.6 \times 5000) + (4.4 \times 4000) + (4.0 \times 3000) + (3.6 \times 2000)$$

$$= 54800 \text{ kWh / year}$$

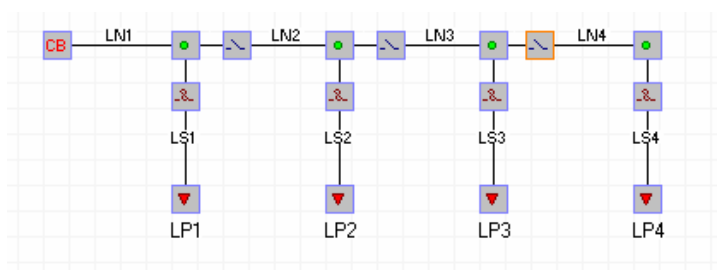
ผลการคำนวณวิธีการแบบจำลอง



SAIFI = 1.1414    ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 3.9272    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 3.4408    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 55130    kWhr/ปี

ภาพที่ 46 หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB02)

กรณี RB03 นำการศึกษาจากกรณี RB02 เพิ่มสวิตช์ตัดตอนที่ฟีดเดอร์ดังภาพที่ 47 โดยใช้ข้อมูลจากกรณี RB01 ซึ่งเวลาในการแยก และการสวิตช์ทั้งหมด คือ 0.5 ชั่วโมง



ภาพที่ 47 กรณี RB03 เมื่อมีฟิวส์ที่เมนย่อยและเพิ่มสวิตช์ตัดตอนที่ฟีดเดอร์

ในกรณีโครงข่ายทั่วปดังภาพที่ 47 เมื่อมีฟิวส์ในเมนย่อยและมีสวิตช์ในเมนหลัก ผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นคือ เมื่อเกิดการขัดข้องขึ้นที่เมนหลักใดๆ จะทำให้ระบบที่อยู่หลังสวิตช์ตัดตอน ในจุดที่เกิดการขัดข้องนั้นเกิดไฟฟ้าดับเท่านั้น ส่วนระบบที่อยู่หน้าสวิตช์นั้นจะเกิดไฟฟ้าเพียงช่วงเวลาของการสับสวิตช์กลับเท่านั้น และเมื่อเกิดการขัดข้องที่เมนย่อยใดๆ จะพิจารณาเหมือนกรณี RB02 คือ จะไม่ส่งผลกระทบต่อจุดโหลดอื่นที่ไม่อยู่บนเมนย่อยที่เกิดความขัดข้องนั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาแยกเป็นแต่ละจุดโหลดจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

จุดโหลด LP1

$$P(LP1) = P(LN1) \cap P(SW(LN2)) \cap P(SW(LN3)) \cap P(SW(LN4)) \cap P(LS1)$$

จุดโหลด LP2

$$P(LP2) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(SW(LN3)) \cap P(SW(LN4)) \cap P(LS2)$$

จุดโหลด LP3

$$P(LP3) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(SW(LN4)) \cap P(LS3)$$

จุดโหลด LP4

$$P(LP4) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LS4)$$

## ผลคำนวณวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ของกรณี RB03

| Failure | LP1       |       |       | LP2       |       |       | LP3       |       |       | LP4       |       |       |
|---------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|         | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     | $\lambda$ | r     | U     |
| LN1     | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LN2     | 0.100     | 0.500 | 0.050 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 | 0.100     | 4.000 | 0.400 |
| LN3     | 0.300     | 0.500 | 0.150 | 0.300     | 0.500 | 0.150 | 0.300     | 4.000 | 1.200 | 0.300     | 4.000 | 1.200 |
| LN4     | 0.200     | 0.500 | 0.100 | 0.200     | 0.500 | 0.100 | 0.200     | 0.500 | 0.100 | 0.200     | 4.000 | 0.800 |
| LS1     | 0.200     | 2.000 | 0.400 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS2     | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.600     | 2.000 | 1.200 | 0.000     | 2.000 | 0.000 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS3     | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.400     | 2.000 | 0.800 | 0.000     | 2.000 | 0.000 |
| LS4     | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.000     | 0.500 | 0.000 | 0.200     | 2.000 | 0.400 |
| Total   | 1.000     | 1.500 | 1.500 | 1.400     | 1.893 | 2.650 | 1.200     | 2.750 | 3.300 | 1.000     | 3.600 | 3.600 |

$$\text{SAIFI} = \frac{(1.0 \times 1000) + (1.4 \times 800) + (1.2 \times 700) + (1.0 \times 500)}{3000}$$

$$= 1.153 \text{ interruption / customer} \times \text{year}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{(1.5 \times 1000) + (2.65 \times 800) + (3.3 \times 700) + (3.6 \times 500)}{3000}$$

$$= 2.577 \text{ hour / customer} \times \text{year}$$

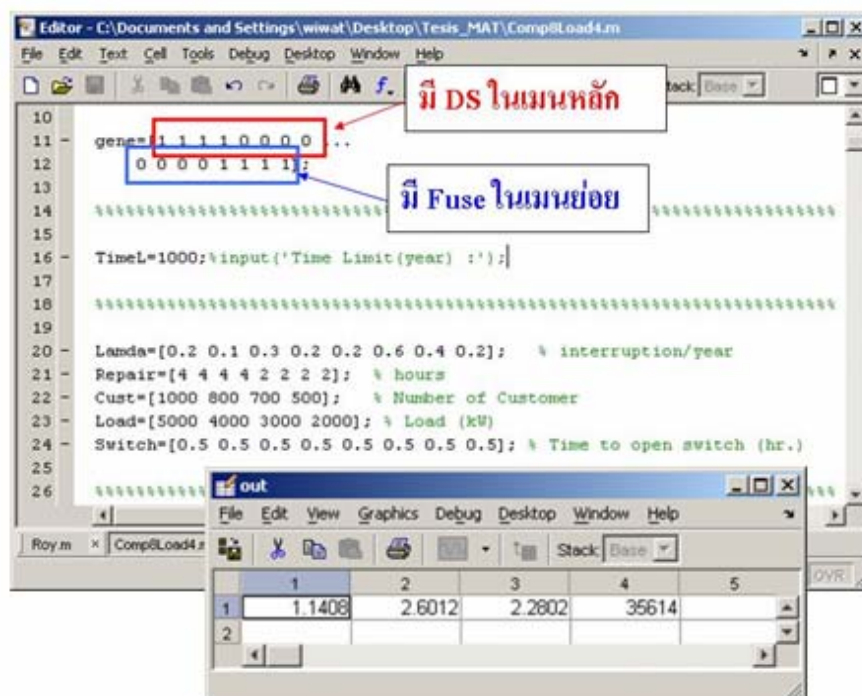
$$\text{CAIDI} = \frac{(1.5 \times 1000) + (2.65 \times 800) + (3.3 \times 700) + (3.6 \times 500)}{(1.0 \times 1000) + (1.4 \times 800) + (1.2 \times 700) + (1.0 \times 500)}$$

$$= 2.234 \text{ hour / customer interruption}$$

$$\text{ENS} = (1.5 \times 5000) + (2.65 \times 4000) + (3.3 \times 3000) + (3.6 \times 2000)$$

$$= 35200 \text{ kWh / year}$$

### ผลการคำนวณวิธีการแบบจำลอง



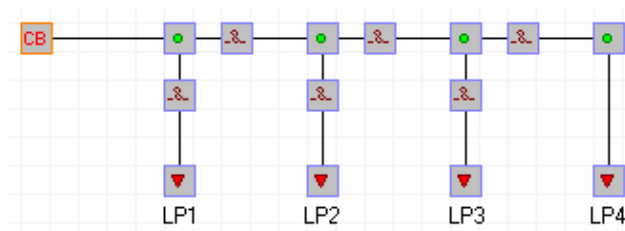
SAIFI = 1.1408    ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 2.6012    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 2.2802    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 35614    kWhr/ปี

ภาพที่ 48 หน้าต่างคำสั่งและผลของโปรแกรม MATLAB (กรณี RB03)

จากการศึกษาพบว่าผลของการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะมีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ใกล้เคียงกัน นั่นแสดงว่าเราสามารถนำหลักของวิธีการจำลองมาประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆ เพื่อพยากรณ์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้เช่นเดียวกัน

กรณี RB04 ทำการเพิ่มความสามารถของแบบจำลองในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ให้กับระบบ Roy Billinton ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินแบบเอ็กโพเนนเชียล โดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม

ในกรณีที่ไม่วางเซนเซอร์อัลกอริทึมช่วยในการหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์  
อาจจะต้องทำการทดลองโดยการสุ่มทดลองหาตำแหน่งจำนวน  $2^{16}$  กรณีนี้จะได้ตำแหน่งของ  
สวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่ทำให้ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 การหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์โดยการสุ่มทดลอง

ตารางที่ 13 การตรวจผลคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์

| Switch | Fuse | Failure | LP1       |      |      | LP2       |      |      | LP3       |      |      | LP4       |      |      |
|--------|------|---------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
|        |      |         | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    |
| 0      | 0    | LN1     | 0.20      | 4.00 | 0.80 | 0.20      | 4.00 | 0.80 | 0.20      | 4.00 | 0.80 | 0.20      | 4.00 | 0.80 |
| 0      | 1    | LN2     | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.10      | 4.00 | 0.40 | 0.10      | 4.00 | 0.40 | 0.10      | 4.00 | 0.40 |
| 0      | 1    | LN3     | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.30      | 4.00 | 1.20 | 0.30      | 4.00 | 1.20 |
| 0      | 1    | LN4     | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.00      | 4.00 | 0.00 | 0.20      | 4.00 | 0.80 |
| 0      | 1    | LS1     | 0.20      | 2.00 | 0.40 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 |
| 0      | 1    | LS2     | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.60      | 2.00 | 1.20 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 |
| 0      | 1    | LS3     | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.40      | 2.00 | 0.80 | 0.00      | 2.00 | 0.00 |
| 0      | 0    | LS4     | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.00      | 2.00 | 0.00 | 0.20      | 2.00 | 0.40 |
| Total  |      |         | 0.40      | 3.00 | 1.20 | 0.90      | 2.67 | 2.40 | 1.00      | 3.20 | 3.20 | 1.00      | 3.60 | 3.60 |

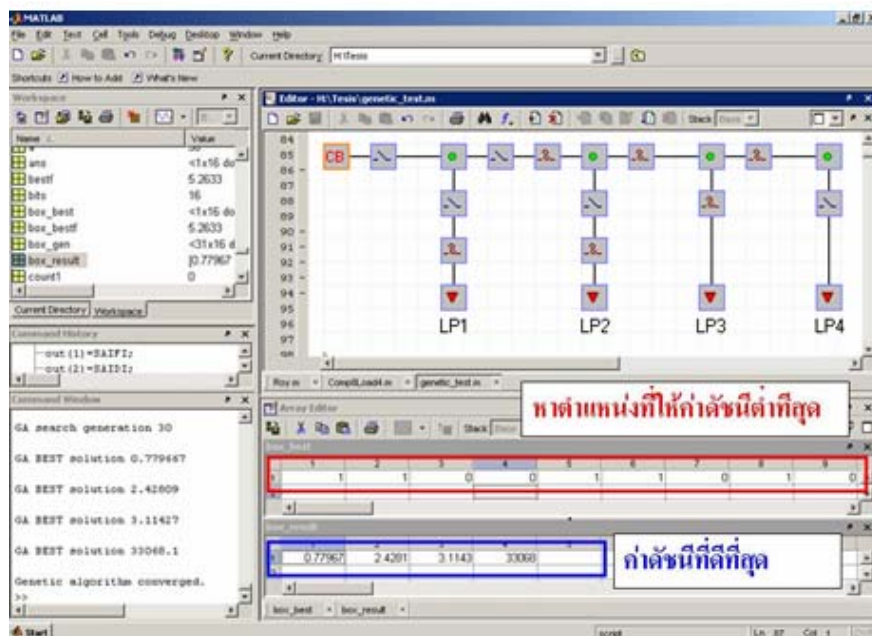
$$SAIFI = 0.77333 \quad \text{ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี}$$

$$SAIDI = 2.38667 \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี}$$

$$CAIDI = 3.08621 \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ}$$

$$ENS = 32400 \quad \text{kWhr/ปี}$$

ผลการคำนวณวิธีการแบบจำลอง



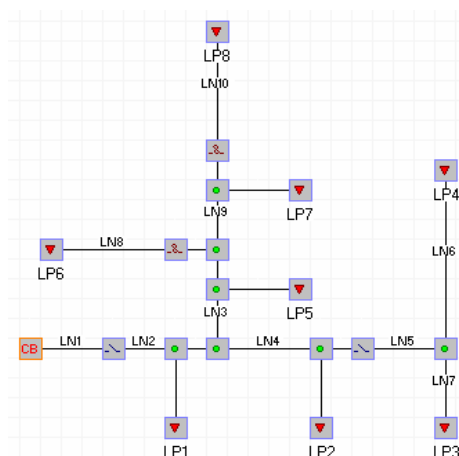
SAIFI = 0.7797      ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 2.4281      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 3.1143      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 33068      kWhr/ปี

ภาพที่ 50 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนของกรณี RB04

## 2. ผลการคำนวณกรณีศึกษาระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

กรณี PEA01 ทำการประยุกต์วิธีแบบจำลองกับระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 5 (SRA05) ภายใต้สมมติฐานการทำงานของของอุปกรณ์สายเหนือดินที่มีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล





ภาพที่ 51 โครงข่ายของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 5 (SRA05)

จากภาพที่ 51 สามารถพิจารณาแยกแต่ละจุดโหลด เพื่อให้เห็นการทำงานร่วมกันได้ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

จุดโหลด Lp1

$$P(LP1) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp2

$$P(LP2) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp3

$$P(LP3) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp4

$$P(LP4) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp5

$$P(LP5) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp6

$$P(LP6) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN8) \cap P(LN9)$$

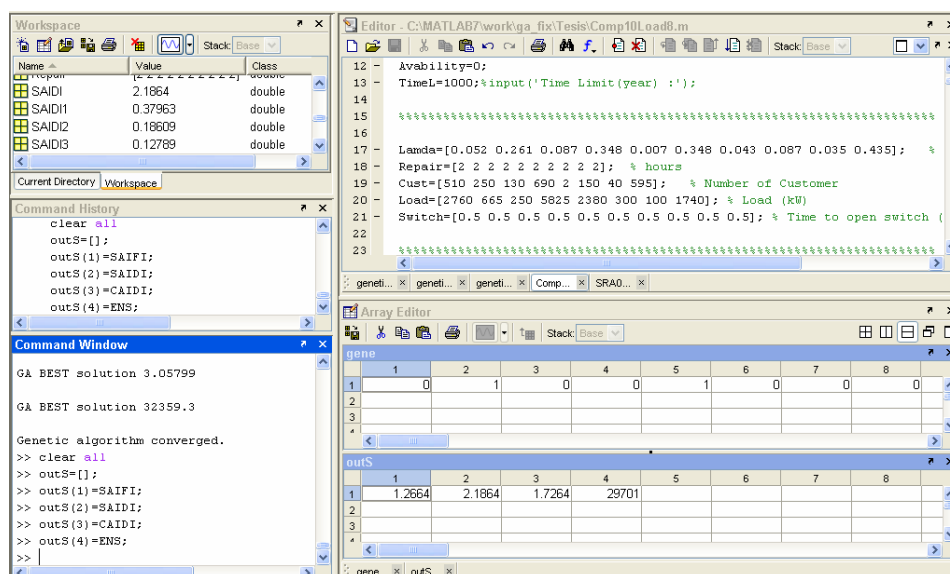
จุดโหลด Lp7

$$P(LP7) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN9)$$

จุดโหลด Lp8

$$P(LP8) = P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(SW(LN5)) \\ \cap P(SW(LN6)) \cap P(SW(LN7)) \cap P(LN9) \cap P(LN10)$$

ผลการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง

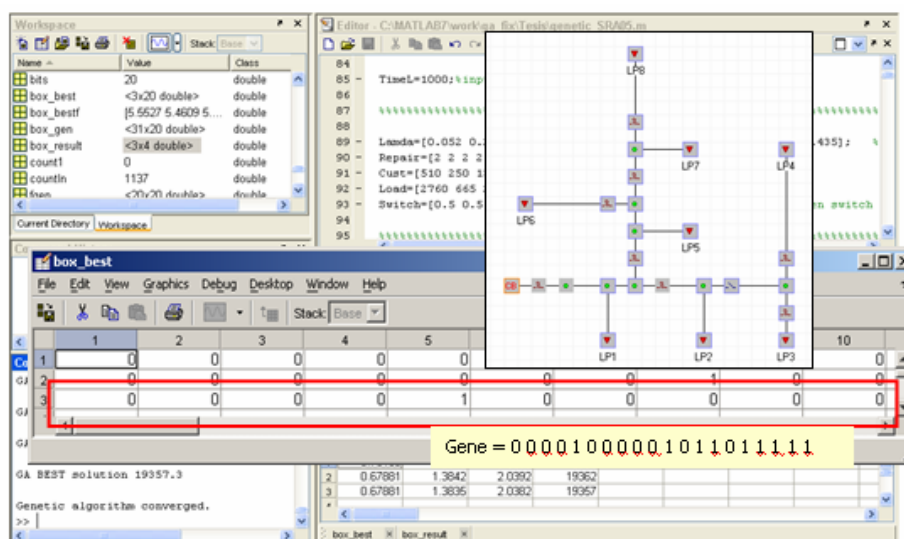


SAIFI = 1.2664    ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 2.1864    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 1.7264    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 29701    kWh/ปี

ภาพที่ 52 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของกรณีPEA01 โดยใช้วิธีแบบจำลอง

กรณี PEA02 ทำการเพิ่มความสามารถในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอนของแบบจำลองระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีเฟดเคอร์5 (SRA05) ภายใต้เงื่อนไขของการลงทุนและสมมติฐานการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินแบบเอ็กโพเนนเชียล

ผลการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง

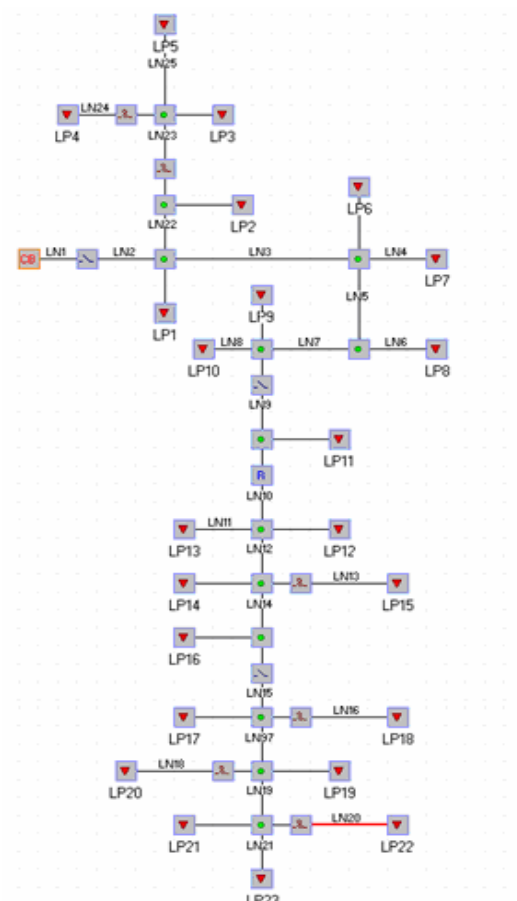


SAIFI = 0.6788      ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 1.3835      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 2.0382      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 19357      kWhr/ ปี

ภาพที่ 53 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่เหมาะสมของกรณี PEA02

จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการหาตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ตัดตอนโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม เพื่อลดความยุ่งยากของกระบวนการคิดกรณีการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ทั้งหมด

กรณี PEA03 ทำการประยุกต์วิธีแบบจำลองกับระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีเฟดเดอร์ 6 (SRA06) ภายใต้สมมติฐานการทำงานของของอุปกรณ์สายเหนือดินที่มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล



ภาพที่ 54 โครงข่ายของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี เฟดเดอร์ 6 (SRA06)

จากภาพข้างต้นสามารถพิจารณาแยกแต่ละจุดโหลด เพื่อให้เห็นการทำงานร่วมกันได้ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

จุดโหลด Lp1

$$\begin{aligned}
 P(LP1) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\
 & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\
 & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\
 & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22)
 \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp2

$$\begin{aligned} P(LP2) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp3

$$\begin{aligned} P(LP3) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \cap P(SW(LN10)) \\ & \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \cap P(SW(LN17)) \\ & \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \cap P(LN23) \cap P(LN25) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp4

$$\begin{aligned} P(LP4) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \\ & \cap P(LN23) \cap P(LN24) \cap P(LN25) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp5

$$\begin{aligned} P(LP5) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \cap P(SW(LN10)) \\ & \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \cap P(SW(LN17)) \\ & \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \cap P(LN23) \cap P(LN25) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp6

$$\begin{aligned} P(LP6) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp7

$$\begin{aligned} P(LP7) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp8

$$\begin{aligned} P(LP8) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp9

$$\begin{aligned} P(LP9) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp10

$$\begin{aligned} P(LP10) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(SW(LN9)) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp11

$$\begin{aligned} P(LP11) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \\ & \cap P(SW(LN10)) \cap P(SW(LN12)) \cap P(SW(LN14)) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp12

$$\begin{aligned} P(LP12) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(SW(LN15)) \cap P(SW(LN17)) \\ & \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp13

$$\begin{aligned} P(LP13) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN11) \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(SW(LN15))) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp14

$$\begin{aligned} P(LP14) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(SW(LN15)) \cap P(SW(LN17)) \\ & \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp15

$$\begin{aligned} P(LP15) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN13) \cap P(LN14) \cap P(SW(LN15)) \\ & \cap P(SW(LN17)) \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp16

$$\begin{aligned} P(LP16) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(SW(LN15)) \cap P(SW(LN17)) \\ & \cap P(SW(LN19)) \cap P(SW(LN21)) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp17

$$\begin{aligned} P(LP17) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN19) \\ & \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp18

$$\begin{aligned} P(LP18) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN16) \cap P(LN17) \\ & \cap P(LN19) \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp19

$$\begin{aligned} P(LP19) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN19) \\ & \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp20

$$\begin{aligned} P(LP20) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN18) \\ & \cap P(LN19) \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp21

$$\begin{aligned} P(LP21) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN19) \\ & \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp22

$$\begin{aligned} P(LP22) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN19) \\ & \cap P(LN20) \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$

จุดโหลด Lp23

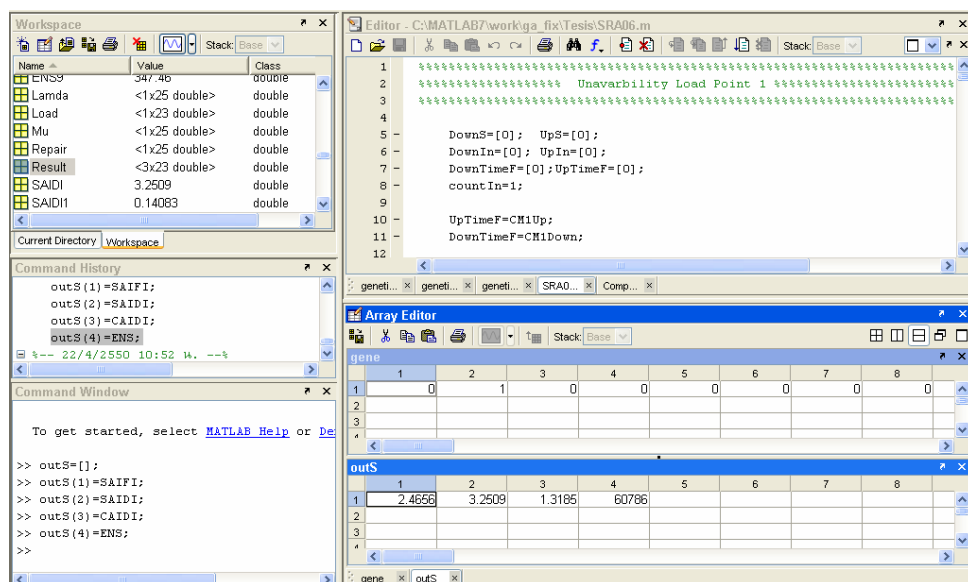
$$\begin{aligned} P(LP21) = & P(LN1) \cap P(LN2) \cap P(LN3) \cap P(LN4) \cap P(LN5) \\ & \cap P(LN6) \cap P(LN7) \cap P(LN8) \cap P(LN9) \cap P(LN10) \\ & \cap P(LN12) \cap P(LN14) \cap P(LN15) \cap P(LN17) \cap P(LN19) \\ & \cap P(LN21) \cap P(LN22) \end{aligned}$$



### ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์

|       |            |                          |
|-------|------------|--------------------------|
| SAIFI | = 2.6941   | ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | = 3.4922   | ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | = 1.2962   | ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | = 65319.54 | kWhr/ ปี                 |

### ผลการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง

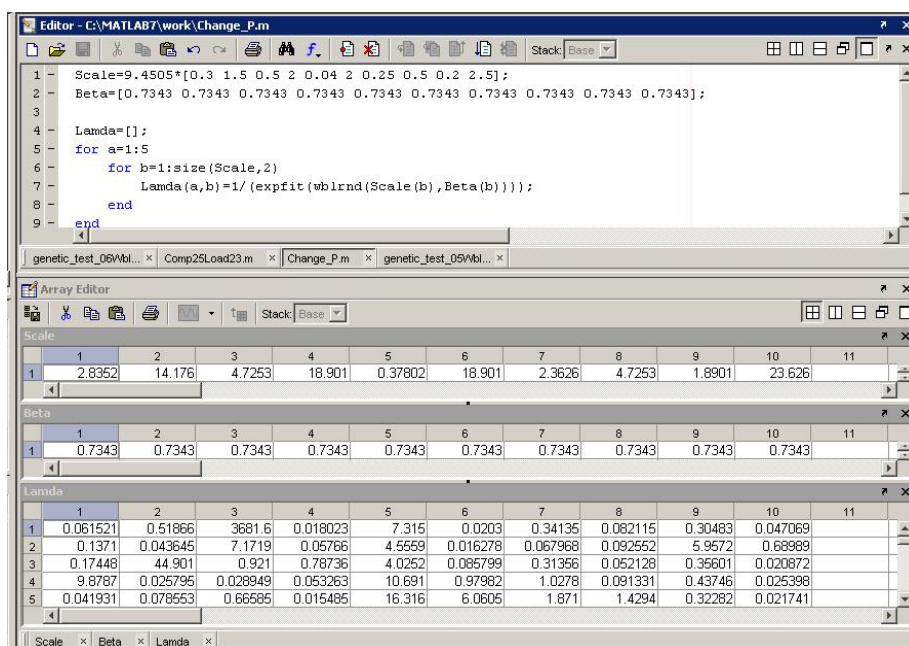


|       |          |                          |
|-------|----------|--------------------------|
| SAIFI | = 2.4656 | ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | = 3.2509 | ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | = 1.3185 | ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | = 60786  | kWhr/ ปี                 |

ภาพที่ 55 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของกรณี PEA03 โดยใช้วิธีแบบจำลอง



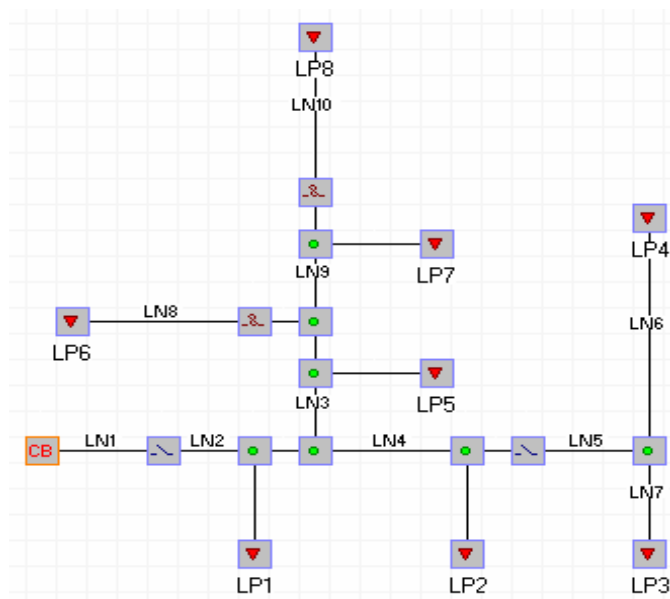
กรณี PEA05 ทำการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เหมาะสมให้กับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 5 (SRA05) ภายใต้เงื่อนไขของการลงทุน และให้การทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ เพื่อให้ระบบที่นำมาศึกษามีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น



ภาพที่ 57 การพิตค่าภายใต้สมมติฐานการแจกแจงการทำงานแบบเอ็กโพเนนเชียลของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 6 (SRA06)

กรณีถ้าต้องการการศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์จำเป็นต้องให้ระบบอยู่ภายใต้สมมติฐานของการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล ดังภาพที่ 57 จะเห็นว่าเมื่อระบบมีการแจกแจงเป็นแบบอื่นแล้วกำหนดให้ระบบมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล จะทำให้ผลออกมาไม่ค่าเกินความเป็นจริง จึงไม่ควรกับการนำไปพยากรณ์ดัชนีความเชื่อถือได้ เพราะผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง

ผลการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง



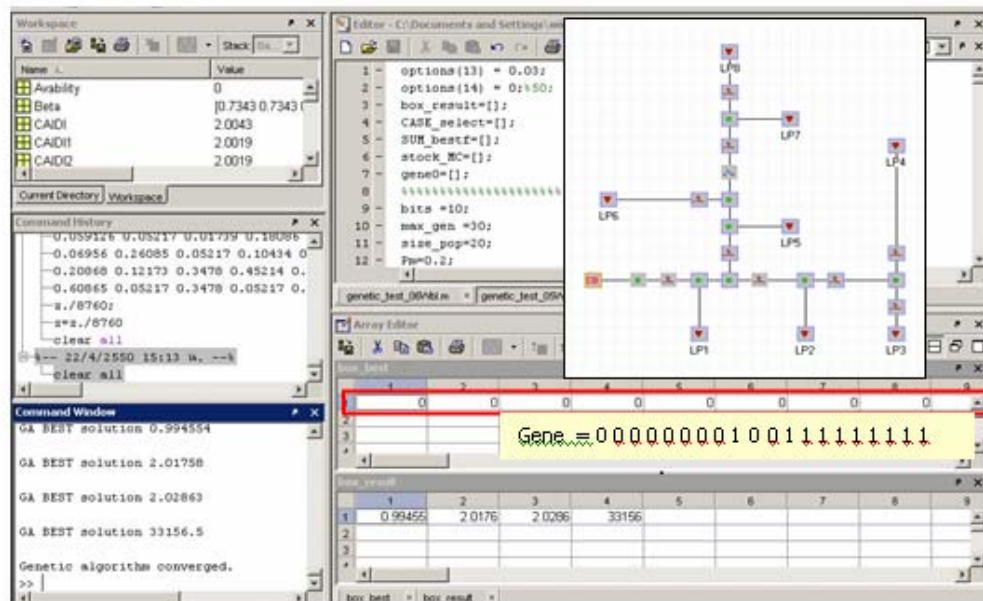
SAIFI = 2.3733 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี

SAIDI = 3.5389 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี

CAIDI = 1.4911 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ

ENS = 54761 kWhr/ปี

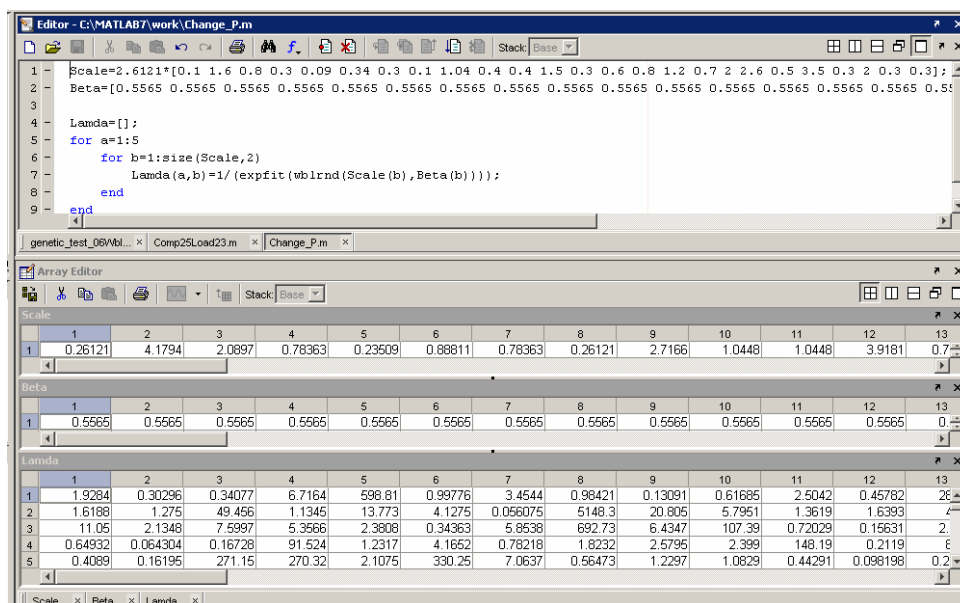
ภาพที่ 58 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่มีอยู่เดิม  
ของกรณี PEAO5



SAIFI = 0.9946    ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 2.0286    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 2.0176    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 33156    kWhr/ปี

ภาพที่ 59 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่เหมาะสม  
 ของกรณี PEA05

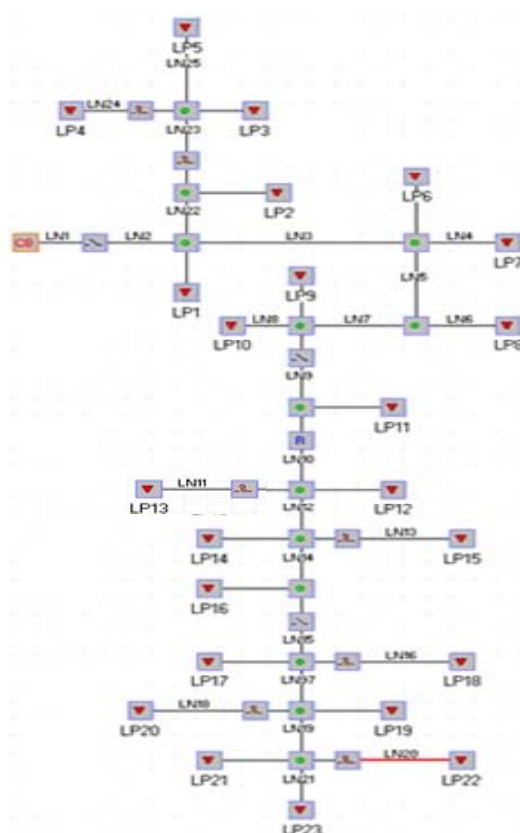
กรณี PEA06 ทำการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เหมาะสมให้กับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรีฟีดเดอร์ 6 (SRA06) ภายใต้เงื่อนไขของการลงทุน และให้การทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ เพื่อให้ระบบที่นำมาศึกษามีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น



ภาพที่ 60 การพิตค่าภายใต้สมมติฐานการแจกแจงการทำงานแบบเอ็กโปเนนเชียลของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสระบุรี ฟีดเดอร์ 6 (SRA06)

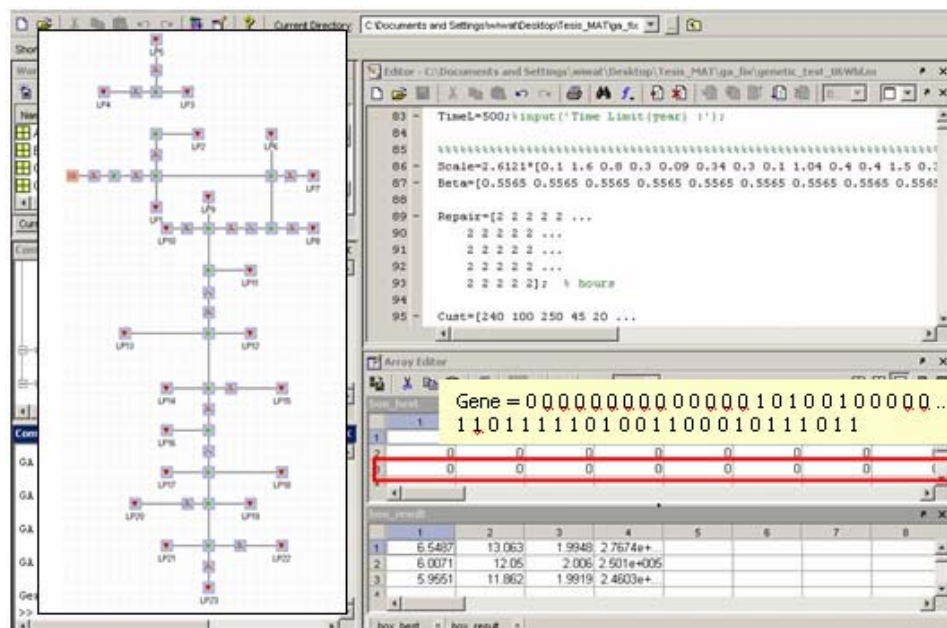
กรณีถ้าต้องการการศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์จำเป็นต้องให้ระบบอยู่ภายใต้สมมติฐานของการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล ดังภาพที่ 60 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีการแจกแจงเป็นแบบอื่นแล้วกำหนดให้ระบบมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล จะทำให้ผลออกมามีค่าเกินความเป็นจริงเช่นเดียวกับกรณี PEA05

ผลการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง



SAIFI = 12.737    ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 23.640    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 1.856    ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 494230    kWhr/ปี

ภาพที่ 61 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่มีอยู่เดิม  
 ของกรณี PEA06



SAIFI = 5.9551      ครั้ง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 SAIDI = 11.862      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟต่อปี  
 CAIDI = 1.9919      ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่กระทบ  
 ENS = 246030      kWhr/ปี

ภาพที่ 62 ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอนที่เหมาะสม  
 ของกรณี PEA06

การศึกษาเมื่อเปลี่ยนชนิดของการแจกแจงของการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดินนั้นเพื่อแสดงให้เห็นความสามารถในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของวิธีแบบจำลอง เมื่อไม่สามารถใช้สูตรทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบได้



## วิจารณ์

เพื่อพิสูจน์ว่าการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลองที่ทดลอง สามารถทำการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง จึงทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ และวิธีแบบจำลอง ในกรณีที่อุปกรณ์สายเหนือดินภายใต้สมมติฐานเดียวกัน คือมีลักษณะการแจกแจงการทำงานแบบเอ็กโพเนนเชียล จะให้ผลลัพธ์ที่ได้ดังตารางที่ 14

**ตารางที่ 14** เปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการวิเคราะห์และวิธีแบบจำลอง

| RB01  |                  |              |                            |
|-------|------------------|--------------|----------------------------|
|       | วิธีการวิเคราะห์ | วิธีแบบจำลอง | หน่วย                      |
| SAIFI | 2.2000           | 2.1910       | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | 6.0000           | 6.0616       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | 2.7273           | 2.7666       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | 84000            | 84863        | kWhr. / ปี                 |
| RB02  |                  |              |                            |
| SAIFI | 1.1533           | 1.1414       | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | 3.9067           | 3.9272       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | 3.3873           | 3.4408       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | 54800            | 55130        | kWhr. / ปี                 |
| RB03  |                  |              |                            |
| SAIFI | 1.1533           | 1.1414       | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | 2.5767           | 2.6012       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | 2.2341           | 2.2802       | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | 35200            | 35614        | kWhr. / ปี                 |

จากการสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการคำนวณทั้งสองวิธีนี้ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากแนวคิดของการคำนวณที่แตกต่างกัน และเป็นความผิดพลาดของการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง เนื่องมาจากลักษณะของการสุ่มที่กำหนดช่วงเวลาในการทดลองที่มีข้อจำกัด ซึ่งการคำนวณด้วยแบบจำลองจะใช้ระยะเวลาในการสร้างความสัมพันธ์กันในแต่ละจุดของเหตุการณ์ที่ได้

จากการสุ่ม และมีจำนวนเหตุการณ์แปรผันตามระยะเวลาที่กำหนด โดยวิธีแบบจำลองจะคำนึงถึงทุกเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในทางความเป็นจริง

ดังนั้นเมื่อนำหลักการแบบจำลองมาใช้ร่วมกับเงินเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นวิธีการที่อาศัยการสุ่มเช่นกัน จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ต้องการ ในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างวิธีการหาผลลัพธ์ของระบบด้วยวิธีการดั้งเดิมคือการหาทีละกรณี (ภาพที่ 49) และการนำเอาเงินเนติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วย (ภาพที่ 50) ได้ดังนี้

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์วิธีการสุ่มทดลองกับวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม

|       | การสุ่มทดลอง | การใช้ GA | หน่วย                      |
|-------|--------------|-----------|----------------------------|
| SAIFI | 0.7733       | 0.7797    | ครั้ง / ผู้ใช้ไฟต่อปี      |
| SAIDI | 3.0862       | 3.1143    | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟต่อปี    |
| CAIDI | 2.3867       | 2.4281    | ชั่วโมง / ผู้ใช้ไฟที่กระทบ |
| ENS   | 32400        | 33068     | kWhr. / ปี                 |

จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของความแตกต่างได้ดังนี้คือ

1. ความผิดพลาดของการคำนวณด้วยวิธีแบบจำลองอันเนื่องมาจากการกำหนดช่วงเวลา
2. การกำหนดลักษณะของเงื่อนไขโครงสร้างและ จำนวนกระบวนการที่นำมาใช้ในเงินเนติกอัลกอริทึม

เมื่อทำการกำหนดเงื่อนไขให้กับเงินเนติกอัลกอริทึมและวิธีแบบจำลอง ให้ใกล้เคียงกับระบบจริงมากขึ้น ดังกรณีศึกษา PEA01 ถึง PEA06 จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้น อาจไม่สามารถคำนวณได้ด้วยการคำนวณแบบเดิม ซึ่งจากหลักการข้างต้นสามารถแสดงได้ถึงความสามารถของหลักการที่นำมาประยุกต์ ใช้เพื่อการศึกษา พิจารณาการวางแผนของการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบจริงที่จะให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ดี

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

#### 1. การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้

การคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการพยากรณ์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่มีลักษณะการแจกแจงการทำงานภายใต้สมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลเท่านั้น เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว แต่การคำนวณด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องรู้ถึงความสัมพันธ์กันของอุปกรณ์ในระบบเสียก่อน จึงจะสามารถสร้างสูตรทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณที่แน่นอนได้ ดังจะเห็นได้จากกรณี RB01 – RB03 ของระบบ Roy Billinton การคำนวณค่าดัชนีแต่ละค่าถึงแม้จะใช้สมการในการคำนวณเดิม แต่ตารางที่ใช้ในการหาตัวแปรในสมการจะเปลี่ยนแปลงเสมอเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่ง เพิ่ม หรือลดสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ในระบบ

การคำนวณด้วยวิธีแบบจำลอง การคำนวณด้วยวิธีนี้จะทำการสร้างความสัมพันธ์กันในระบบตามเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นแบบสุ่ม ซึ่งจะแบ่งลักษณะการทำงานของระบบออกเป็นช่วงเวลาที่ระบบสามารถทำงานได้ และช่วงเวลาที่ระบบเกิดขัดข้อง ดังนั้นในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ จึงคิดจากจำนวนครั้งของการเกิดไฟขัดข้อง และช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง เหมือนกับการเก็บค่าเพื่อนำมาพยากรณ์ในระบบจริง ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นว่าเมื่อนำค่าที่ได้จากวิธีการแบบจำลอง มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานเกี่ยวกับจะมีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถใช้คำนวณได้กับการทำงานที่มีการแจกแจงแบบต่างๆ

#### 2. การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดตอน

ถ้าพิจารณารูปแบบของการวางอุปกรณ์ตัดตอน จะเห็นว่าจำเป็นต้องสร้างกรณีศึกษาจำนวนมากตามขนาดและจำนวนชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาศึกษา อาจไม่ใช่เรื่องยากในการสร้างกรณีศึกษาในระบบขนาดเล็ก แต่ในระบบขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้เวลามาก และต้องมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของลำดับการทำงานของอุปกรณ์ที่ลึกซึ้ง

จากการศึกษาโดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึม ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอน และฟิวส์ที่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ จะเห็นว่าเงินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีหนึ่งซึ่งสามารถประหยัดเวลาในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมได้ดีกว่า การสุ่มทดลองหาตำแหน่งการวางสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์ที่เหมาะสมเอง

### 3. ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์สายเหนือดิน

จากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต การพยากรณ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะยึดหลักเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีการแก้ปัญหาจะใช้เวลานาน และได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าที่แน่นอน แต่จำเป็นต้องตั้งสมมติฐานจนอาจไม่เหมือนกับระบบจริง ซึ่งในการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของการคำนวณด้วยวิธีการแบบจำลอง ในกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ได้โดยให้อุปกรณ์สายเหนือดินมีลักษณะการแจกแจงการทำงานแบบไวบูลล์ซึ่งมีอัตราการเสียของอุปกรณ์ไม่คงที่ ตามกรณีศึกษาของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PEA05 และ PEA06 จะเห็นได้ว่าวิธีแบบจำลองสามารถคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้แม้อุปกรณ์ไม่ได้กระจายตัวแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาจะเห็นว่าตัวแปรที่ใช้ได้จากการประมาณ หรือสมมติขึ้น เมื่อต้องการไปใช้กับระบบจริงจึงจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ได้ค่าตัวแปร และชนิดของลักษณะการแจกแจงการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อนำมาใช้กับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าที่ทำนายพยากรณ์ มีค่าที่เข้าใกล้กับความเป็นจริงมากขึ้น

2. การศึกษา และการพัฒนาโปรแกรมได้ทำในลักษณะของตัวอย่างกรณีศึกษา ดังนั้นถ้าต้องการนำไปใช้กับระบบจริง จำเป็นต้องนำไปพัฒนาต่อในอนาคต ซึ่งสามารถใช้หลักการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้

3. การศึกษาพิจารณาเฉพาะสวิตช์ตัดตอนและฟิวส์เท่านั้น ซึ่งในระบบจริงจะมีอุปกรณ์บนสายเหนือดินจำนวนมาก เช่น Recloser, AVR (Auto Voltage Regulator) เป็นต้น ดังนั้นถ้าต้องการผลลัพธ์ที่ถูกต้องสำหรับการคำนวณจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. 2547 ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า.  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. 2547 โครงการความร่วมมือทางวิชาการ ระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. 2549 ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า.  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปริศนา แซ่มสุขจี. 2006 เอกสารสัมมนาคอมพิวเตอร์ Genetic Algorithm (GA). มหาวิทยาลัยบูรพา
- พัฒนะ พงศ์จริยา. 2545 การประยุกต์ใช้เงื่อนไขการตัดการไหลในการจำลองตลาดซื้อขายไฟฟ้า.  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รัชนิกร บุญเรือง. 2549 การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้ปัจจัย  
เฉพาะของจำหน่ายเหนือดินของ กฟภ. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อำนาจ ขวัญไสวธรรม. 2550 การวิเคราะห์การแจกแจงอัตราความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบ  
จำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Fanging Li. 2003 A fast approach of Monte Carlo simulation based on linear contribution factors  
to distribution reliability indices. **Transmission and Distribution Conference and  
Exposition, 2003 IEEE PES Volume 3** (7-12 Sep. 2003): 973 - 977

Hartmut Pohlheim. n.d. **Genetic and Evolutionary Algorithm: Principles Methods and Algorithm.** Available Source: [http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA\\_Toolbox/algorithm.html](http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA_Toolbox/algorithm.html)

James Brucker. 2003 **The Weibull Distribution and Reliability Life Testing Lecture Notes.** Available Source: <http://cc.cpe.ku.ac.th/~jim/>, Oct 21, 2003.

Matvin Rausand, Arnlkot Hoyland. 1995 **System Reliability Theory Model, Statistical Method, and Applications.** Second Edition, Hoboken, New Jersey.

N. Balijepalli, S.S. Venkata and R.D. Christie. 1950. Modeling and analysis of distribution reliability indices. **Power delivery, IEEE Transactions** 2004 (19):

Paul A. Tobias, Davis Trindade. 1995. **Applied Reliability.** Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.

Roy Billinton, Ronald N. Allan. 1992. **Reliability Evaluation of Engineering Systems Concepts and Techniques.** Second Edition, Plenum Press, New York.

Roy Billinton, Wenyan L. 1994. **Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods.** Plenum Press, New York.

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                                |                                                                                                   |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                  | นายพหล นภารัตน์                                                                                   |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด           | วันที่ 24 มิถุนายน 2526                                                                           |
| สถานที่เกิด                    | กรุงเทพมหานคร                                                                                     |
| ประวัติการศึกษา                | ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>วิชาเอกวิศวกรรมไฟฟ้า<br>มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน   | -                                                                                                 |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน           | -                                                                                                 |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | -                                                                                                 |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ           | -                                                                                                 |