

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบและวิเคราะห์ผลของการวางแผนกำลังรีแอกทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทน โดยจะทำการทดสอบกับระบบของประเทศไทย 2 ระบบคือ ระบบที่ดัดแปลงจากระบบพัฒนานิคมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และระบบที่ดัดแปลงจากระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในการทดสอบ จะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยในการคำนวณ

5.1 ค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ

ค่าคงที่และตัวแปรต่างๆเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ผลของการวางแผนกำลังรีแอกทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทน ซึ่งการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้พารามิเตอร์ต่างๆให้สอดคล้องกับความเป็นจริงในปัจจุบันมากที่สุด พารามิเตอร์ของสายส่งและพารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุถูกกำหนดให้มีค่าดังต่อไปนี้ [11], [16]

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ของสายส่ง

|                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| อายุการใช้งาน                      | 30 ปี                       |
| อัตราผลตอบแทนจากการชะลอการก่อสร้าง | 10%                         |
| ราคาสายส่ง (46 MVA)                | 3,421,590 Baht/cct-km       |
| ราคาสายส่ง                         | 7,890.43 Baht/cct-MVA-km-yr |

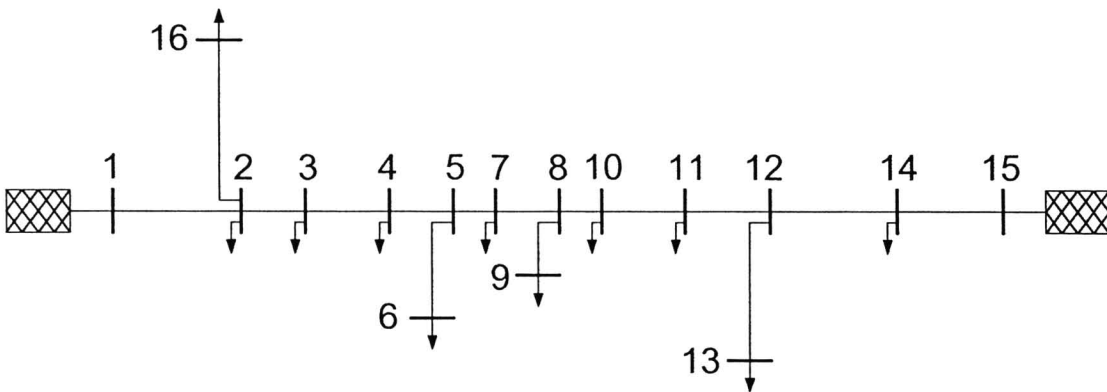
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุ

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| อายุการใช้งาน    | 10 ปี               |
| อัตราดอกเบี้ย    | 10%                 |
| ราคาตัวเก็บประจุ | 500 Baht/kVAr       |
| ราคาตัวเก็บประจุ | 81.37 Baht/ kVAr-yr |

นอกจากนี้ยังมีค่าที่เราต้องกำหนด ได้แก่ อัตรามูลค่าความสูญเสียของโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (IEAR) และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ( $K_e$ ) เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงจะใช้ข้อมูลตาม [26] เพื่อกำหนดค่า IEAR นั่นคือ  $IEAR = 70 \text{ Baht/kWh}$  และจะใช้ข้อมูลตาม [19] เพื่อกำหนดค่า  $K_e$  นั่นคือ  $K_e = 2.3 \text{ Baht/kWh}$

5.2 ระบบทดสอบพัฒนานิคม

ระบบพัฒนานิคมเป็นระบบที่ดัดแปลงจากระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยระบบพัฒนานิคมประกอบด้วยบัสจำนวน 16 บัส สายส่ง 15 สาย สถานีไฟฟ้าย่อย 2 สถานี และโหลดสูงสุดเท่ากับ 168.56 MW ส่วนรายละเอียดของระบบได้อธิบายไว้ที่ภาคผนวก ก และการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละช่วงเวลาได้อธิบายไว้ที่ภาคผนวก ค โดยระบบพัฒนานิคมมีแผนภาพเส้นเดียว (Single line diagram) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ระบบพัฒนานิคมก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุ

การทดสอบระบบพัฒนานิคมนั้นจะทำการทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอ และพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดไว้ แล้วแสดงค่าต่างๆที่คำนวณได้ ได้แก่ ผลตอบและเงินลงทุนในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุนต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ และความสัมพันธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง

5.3 ผลการทดสอบระบบทดสอบพัฒนานิคม

ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบพัฒนานิคมนั้น พบว่าระบบดังกล่าวมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย 5,347.47 MWh/ปี และโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (EENS) 1,008.28 MWh/yr เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีการที่นำเสนอ ด้วยการติดตั้งตัวเก็บประจุทั้งหมดขนาด 17 MVar ซึ่งเป็นขนาดที่ทำให้ได้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะลดลงไปอยู่ที่ 5,022.95 MWh/ปี และโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (EENS) จะลดลงไปอยู่ที่ 881.26 MWh/yr โดยมีผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลตอบแทนและเงินลงทุนในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนาคมน

| Cost    | $B_{delay}$<br>(Baht/yr) | $B_{loss}$<br>(Baht/yr) | $B_{EIC}$<br>(Baht/yr) | $C(Q)$<br>(Baht/yr) | Total<br>(Baht/yr) |
|---------|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| Before  | -                        | 12,299,179              | 70,573,552             | -                   | -                  |
| After   | 282,635                  | 11,552,779              | 61,658,588             | 1,383,336           | -                  |
| Benefit | 282,635                  | 746,399                 | 891,496                | -1,383,336          | 537,194            |

เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีการที่น่าเสนอ ดัชนีความเชื่อถือได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบพัฒนาคมน ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบพัฒนาคมน ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ

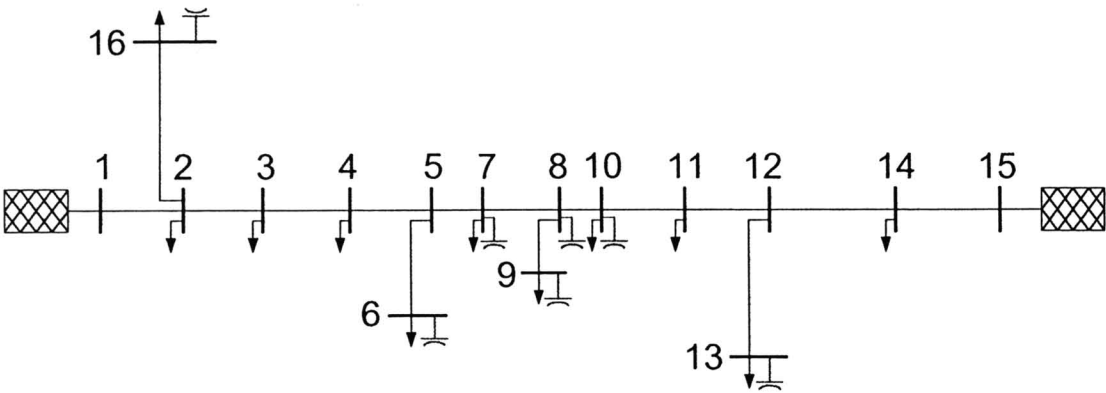
| Reliability<br>Indices | LOLP   | LOLF<br>(f/yr) | LOLD<br>(hr/f) | EPNS<br>(MW) | SAIFI<br>(f/num/yr) | SAIDI<br>(hr/num/yr) |
|------------------------|--------|----------------|----------------|--------------|---------------------|----------------------|
| Before                 | 0.0134 | 6.3399         | 1.7968         | 0.1151       | 2.5577              | 1.9291               |
| After                  | 0.0012 | 3.2884         | 1.5936         | 0.1006       | 2.4130              | 1.8984               |

โดยมีขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ ณ บัสต่างๆ ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนาคมน

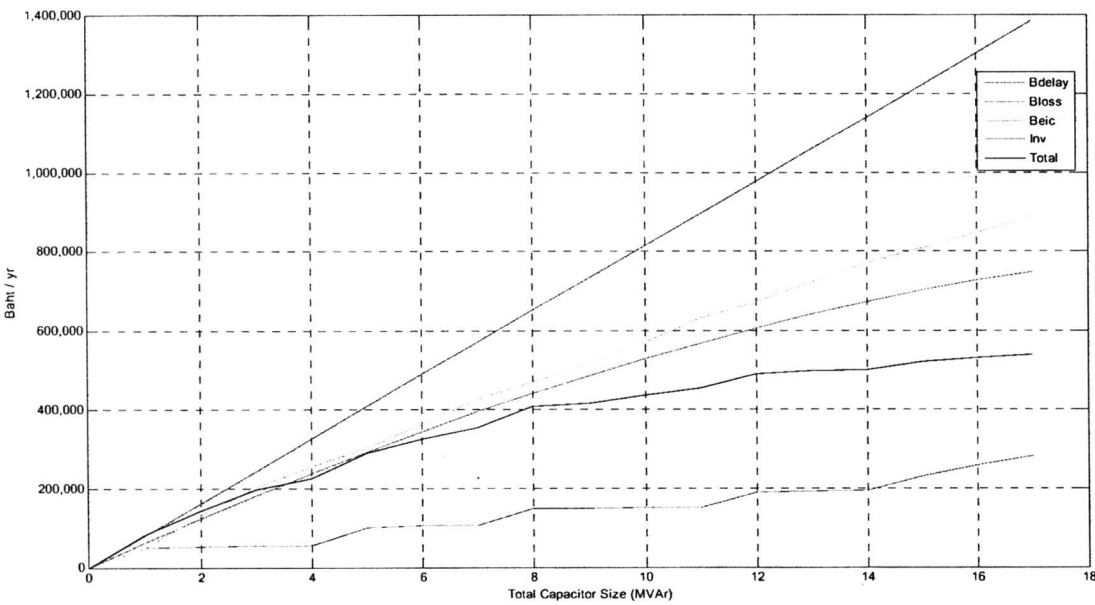
| Bus   | MVAr |
|-------|------|
| 6     | 1    |
| 7     | 2    |
| 8     | 1    |
| 9     | 1    |
| 10    | 3    |
| 13    | 2    |
| 16    | 7    |
| Total | 17   |

ซึ่งสามารถแสดงตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ ณ บัสต่างๆ ดังรูปที่ 5.2



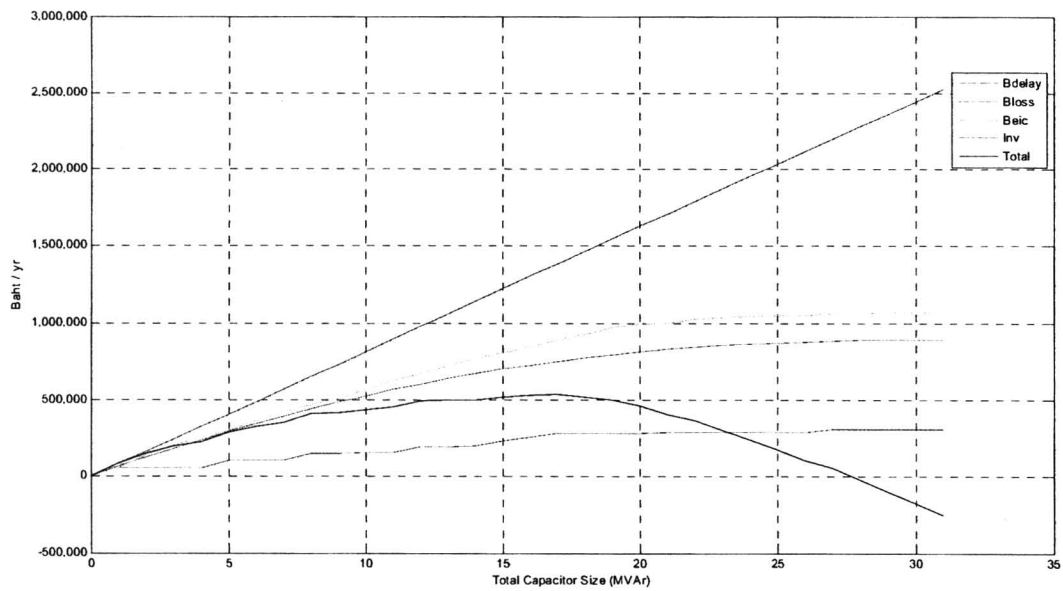
รูปที่ 5.2 ระบบพัฒนานิคมหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ได้ดังรูปที่ 5.3



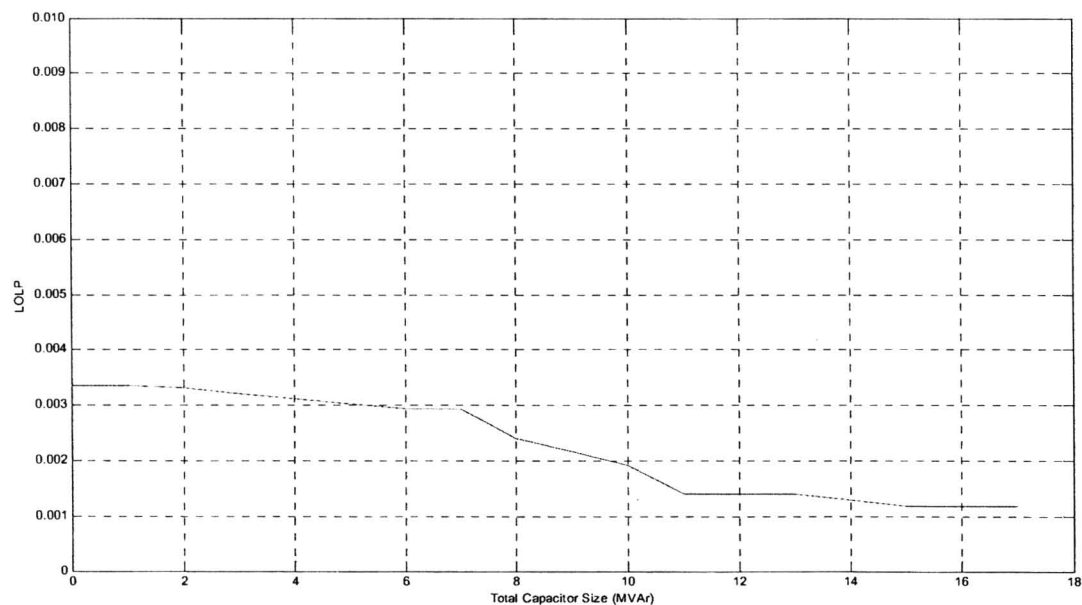
รูปที่ 5.3 ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบพัฒนานิคม

จากรูปที่ 5.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุทั้งหมดขนาด 17 MVar เป็นค่าที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าสูงสุด และเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าค่าที่ได้นี้เป็นค่าสูงสุด เราได้ทำการให้ติดตั้งตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าในระบบ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุ ได้ดังรูปที่ 5.4

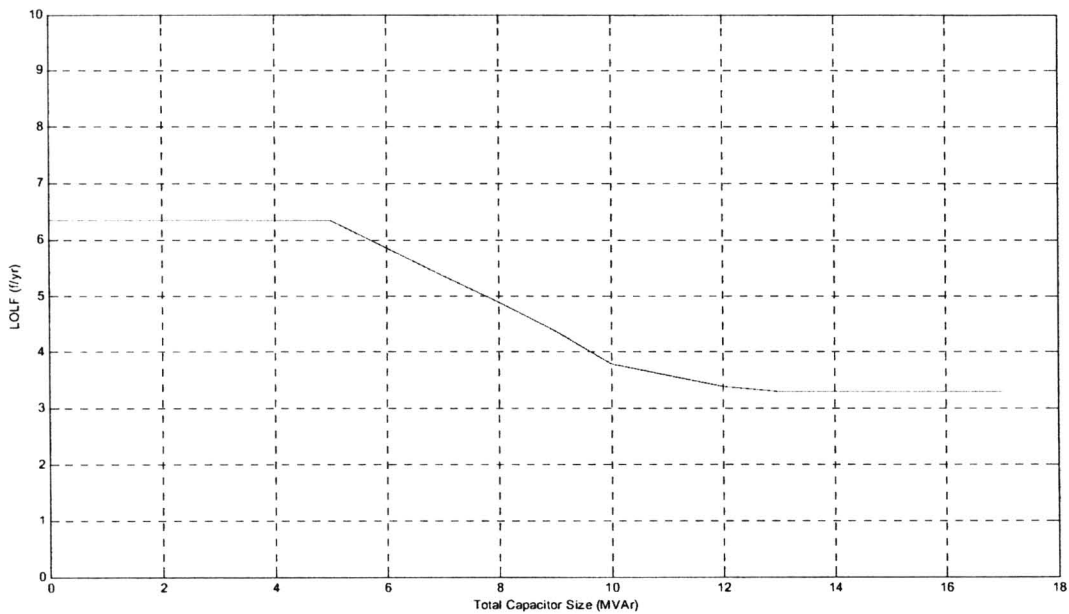


รูปที่ 5.4 การพิสูจน์ ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบพัฒนาคอม

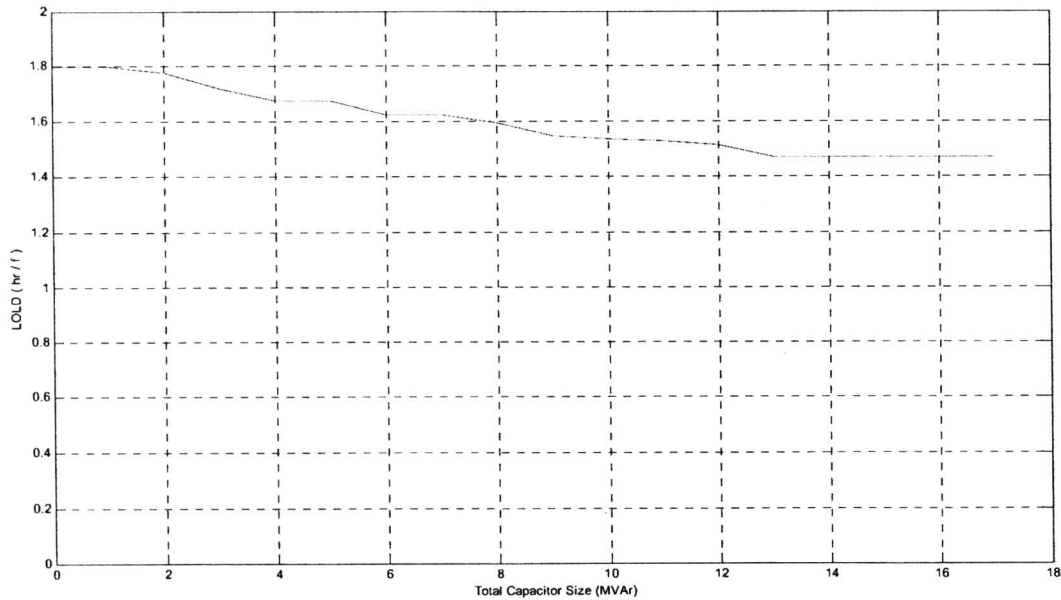
และความสัมพันธ์นี้ความเชื่อถือได้ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้ ได้แก่ LOLP, LOLE, LOL, EPNS, SAIFI และ SAIDI สามารถแสดงได้ต่อไป



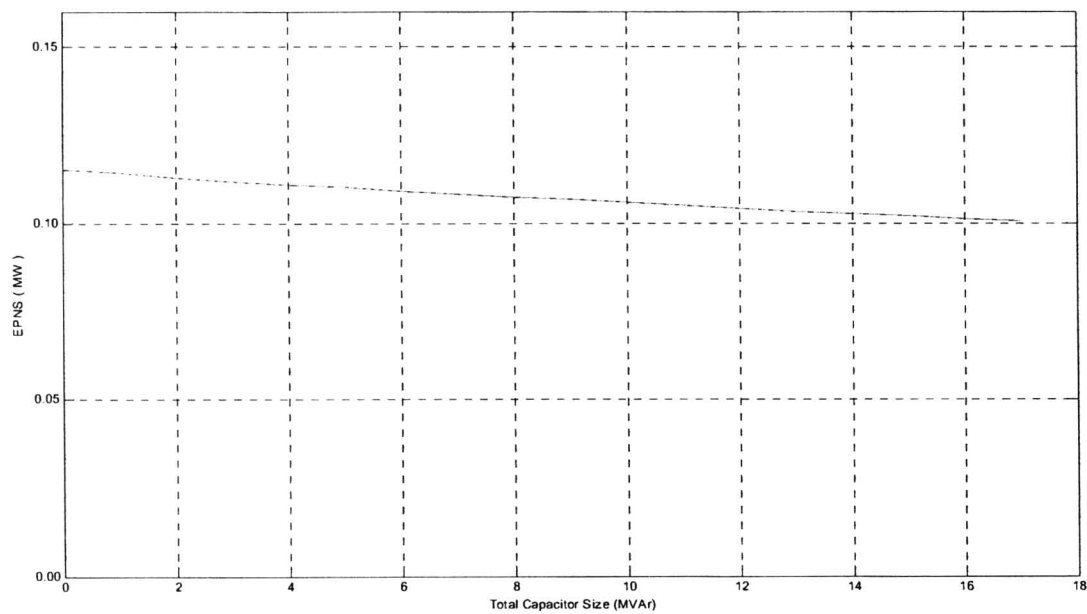
รูปที่ 5.5 ดัชนี LOLP ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนาคอม



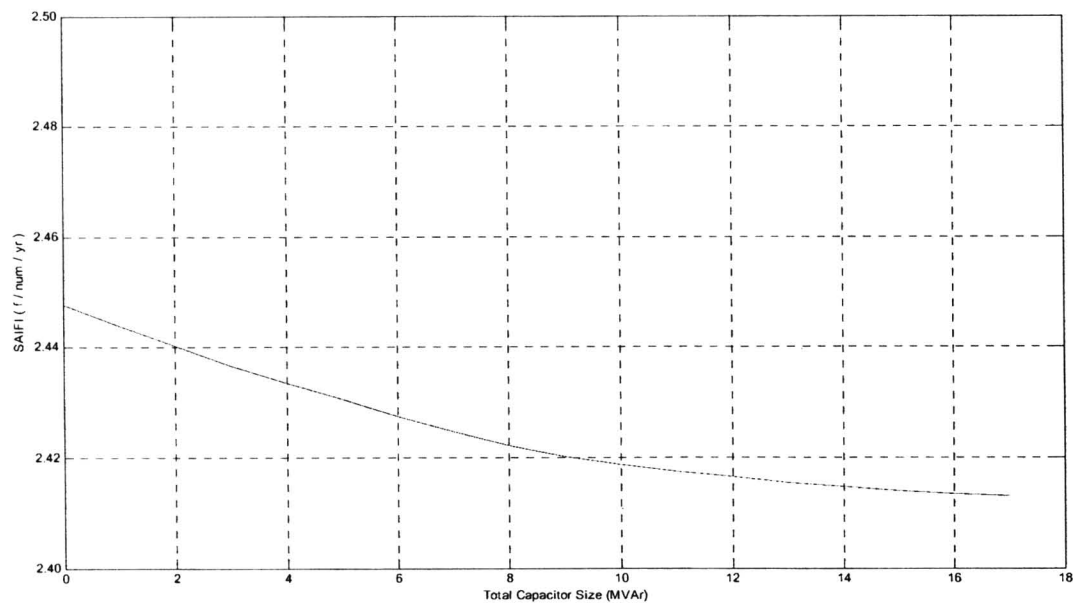
รูปที่ 5.6 ดัชนี LOLF ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม



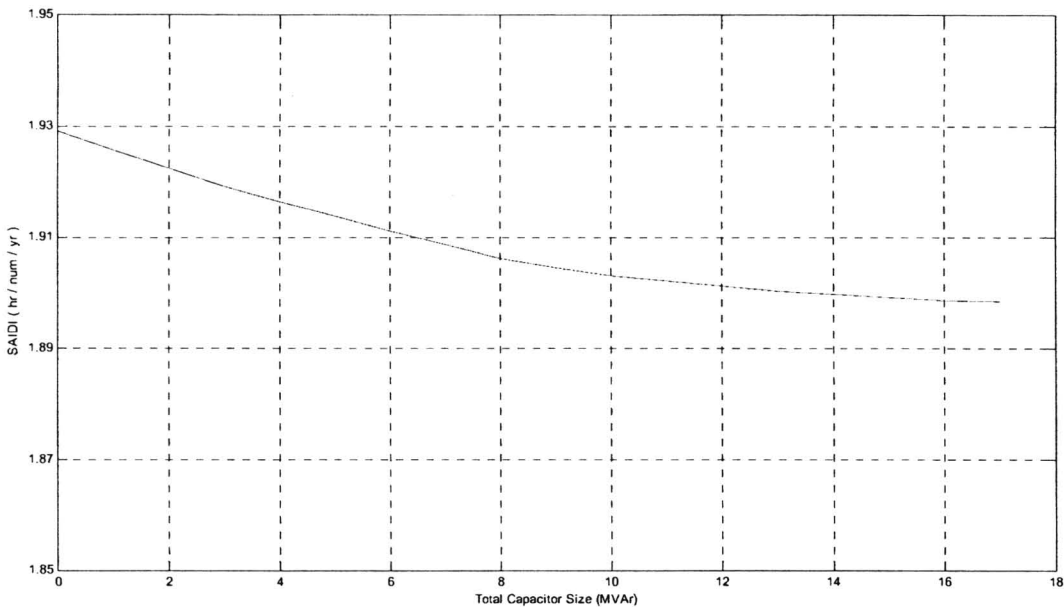
รูปที่ 5.7 ดัชนี LOLD ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม



รูปที่ 5.8 ดัชนี EPNS ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม



รูปที่ 5.9 ดัชนี SAIFI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม



รูปที่ 5.10 ดัชนี SAIDI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนาคมน

รูปที่ 5.5-5.10 แสดงความสัมพันธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง โดยดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้ ได้แก่ LOLP, LOLE, LOLD, EPNS, SAIFI และ SAIDI ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการติดตั้งตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าลดลง โดยที่อัตราการลดลงของดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้มีแนวโน้มลดลงด้วย แต่เมื่อติดตั้งตัวเก็บประจุถึงระดับหนึ่ง การติดตั้งตัวเก็บประจุนั้นจะไม่ส่งผลให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าดีขึ้นได้อีก

5.4 ระบบทดสอบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

ระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือเป็นระบบที่ดัดแปลงจากระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการลดขนาดของระบบลงโดยพิจารณาเฉพาะบริเวณเขตภาคเหนือประกอบด้วยบัสจำนวน 51 บัส สายส่ง 72 สาย หม้อแปลงไฟฟ้า 25 เครื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 33 เครื่อง และโหลดสูงสุดเท่ากับ 2,655 MW ส่วนรายละเอียดของระบบได้อธิบายไว้ที่ภาคผนวก ข และการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละช่วงเวลาอธิบายไว้ที่ภาคผนวก ค โดยระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือมีแผนภาพเส้นเดียว (Single line diagram) ดังรูปที่ 5.11

การทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือนี้จะทำการทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอและพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดไว้ แล้วแสดงค่าต่างๆที่คำนวณได้ ได้แก่ ผลตอบและเงินลงทุนในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุนต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง และการลู่อวของดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆ



5.5 ผลการทดสอบระบบทดสอบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ นั้นพบว่าระบบดังกล่าวมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย 158,834.83 MWh/ปี และโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (EENS) 1,817.71 MWh/yr เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีการที่นำเสนอ ด้วยการติดตั้งตัวเก็บประจุทั้งหมดขนาด 22 MVar ซึ่งเป็นขนาดที่ทำให้ได้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะลดลงไปอยู่ที่ 157,173.69 MWh/ปี และโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (EENS) จะลดลงไปอยู่ที่ 1,427.24 MWh/yr โดยมีผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลตอบแทนและเงินลงทุนในการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

| Cost    | $B_{delay}$<br>(Baht/yr) | $B_{loss}$<br>(Baht/yr) | $B_{EIC}$<br>(Baht/yr) | $C(Q)$<br>(Baht/yr) | Total<br>(Baht/yr) |
|---------|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| Before  | -                        | 365,320,111             | 127,239,391            | -                   | -                  |
| After   | 979,596                  | 361,499,493             | 99,906,664             | 1,790,199           | -                  |
| Benefit | 979,596                  | 3,820,618               | 2,733,273              | -1,790,199          | 5,743,288          |

เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีการที่นำเสนอ ดัชนีความเชื่อถือได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุแสดงไว้ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ

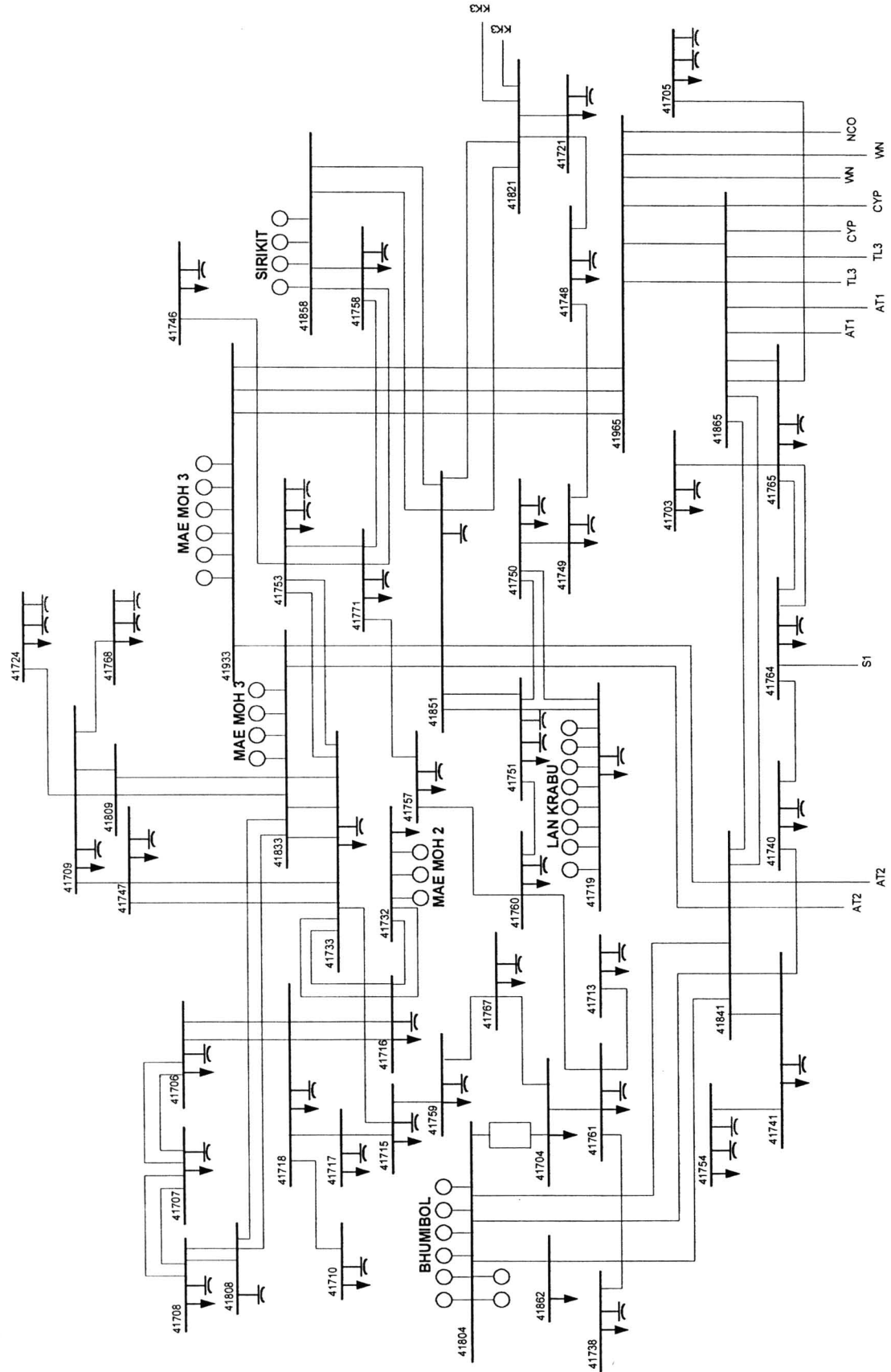
| Reliability Indices | LOLP   | LOLF<br>(f/yr) | LOLD<br>(hr/f) | EPNS<br>(MW) | SAIFI<br>(f/num/yr) | SAIDI<br>(hr/num/yr) |
|---------------------|--------|----------------|----------------|--------------|---------------------|----------------------|
| Before              | 0.0094 | 5.1512         | 2.9553         | 0.2075       | 0.1329              | 0.7008               |
| After               | 0.0094 | 5.1512         | 2.9553         | 0.1629       | 0.0572              | 0.2981               |

โดยมีขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ ณ บัสต่างๆ ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

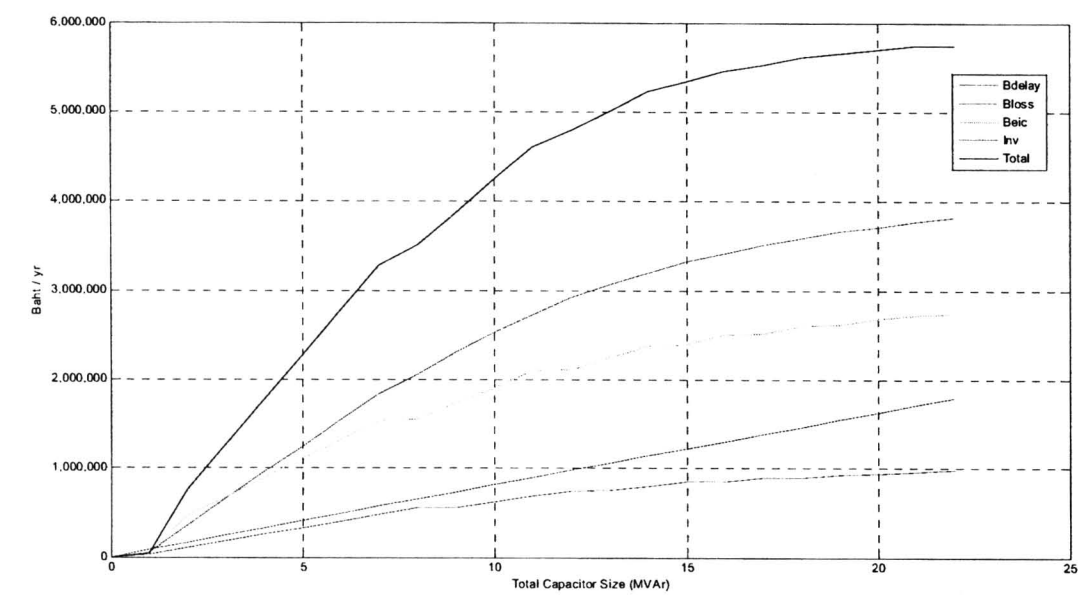
| Bus   | MVAr |
|-------|------|
| 41705 | 2    |
| 41724 | 13   |
| 41751 | 2    |
| 41753 | 1    |
| 41754 | 1    |
| 41768 | 3    |
| Total | 22   |

ซึ่งสามารถแสดงตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ ณ บัสต่างๆ ดังรูปที่ 5.12



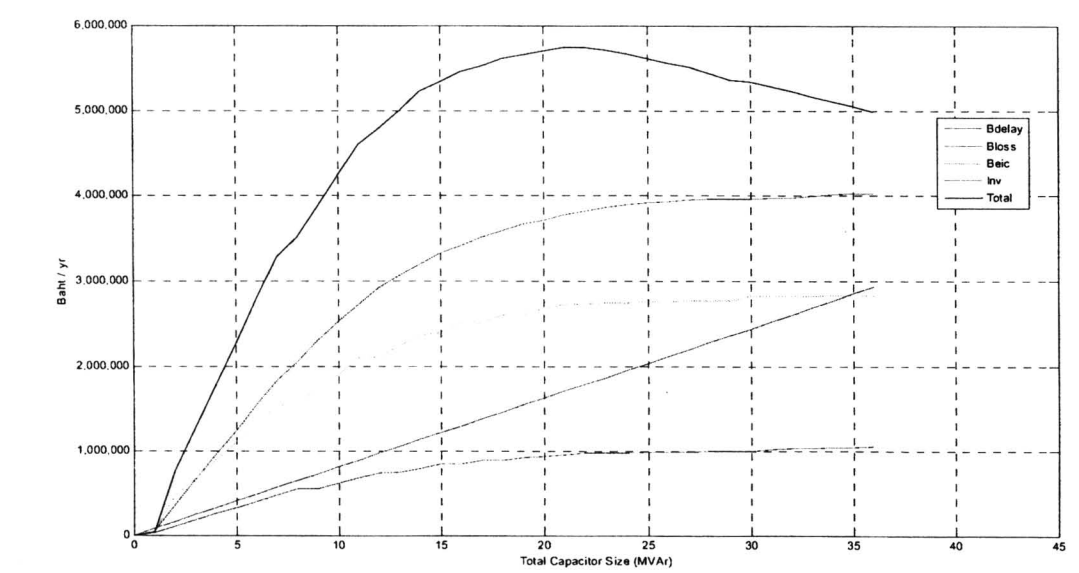
รูปที่ 5.12 ระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ได้ดังรูปที่ 5.13



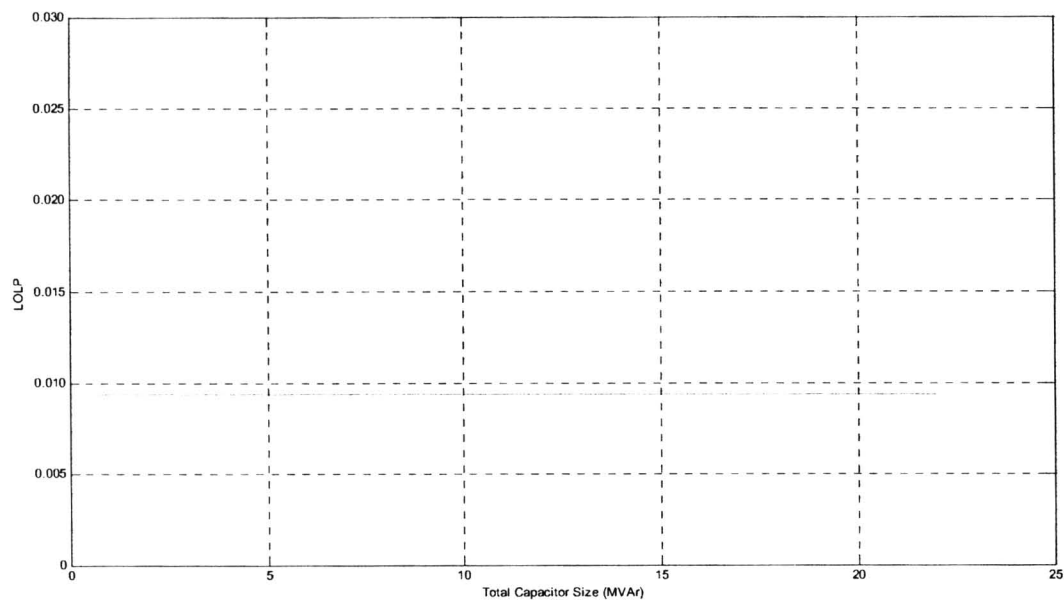
รูปที่ 5.13 ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

จากรูปที่ 5.13 การติดตั้งตัวเก็บประจุทั้งหมดขนาด 22 MVar เป็นค่าที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าสูงสุด และเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าค่าที่ได้นี้เป็นค่าสูงสุด เราได้ทำการให้ติดตั้งตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและมูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุ ได้ดังรูปที่ 5.14

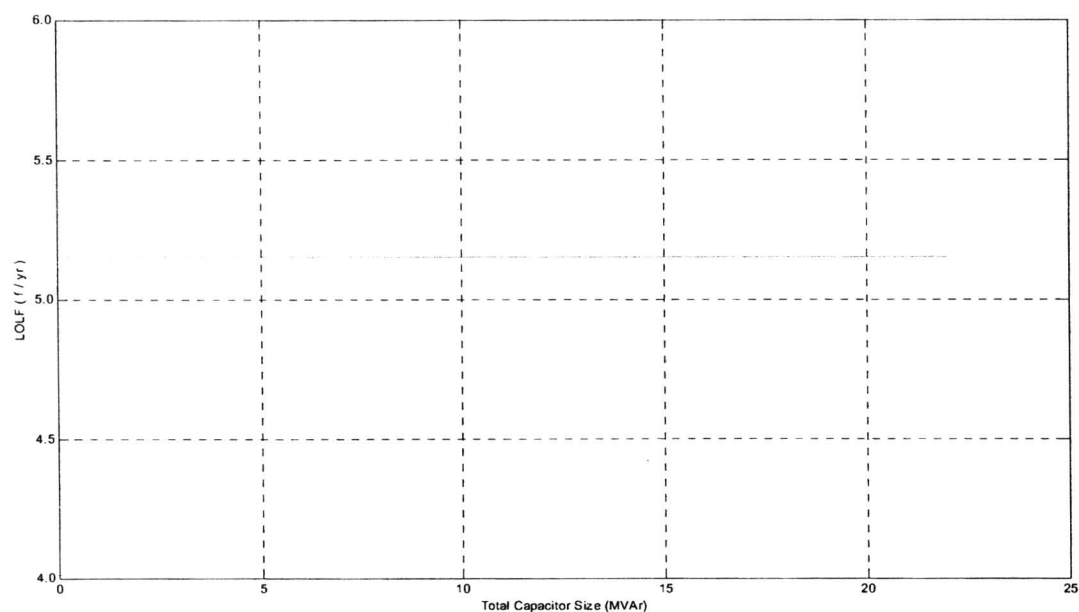


รูปที่ 5.14 การพิสูจน์ ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

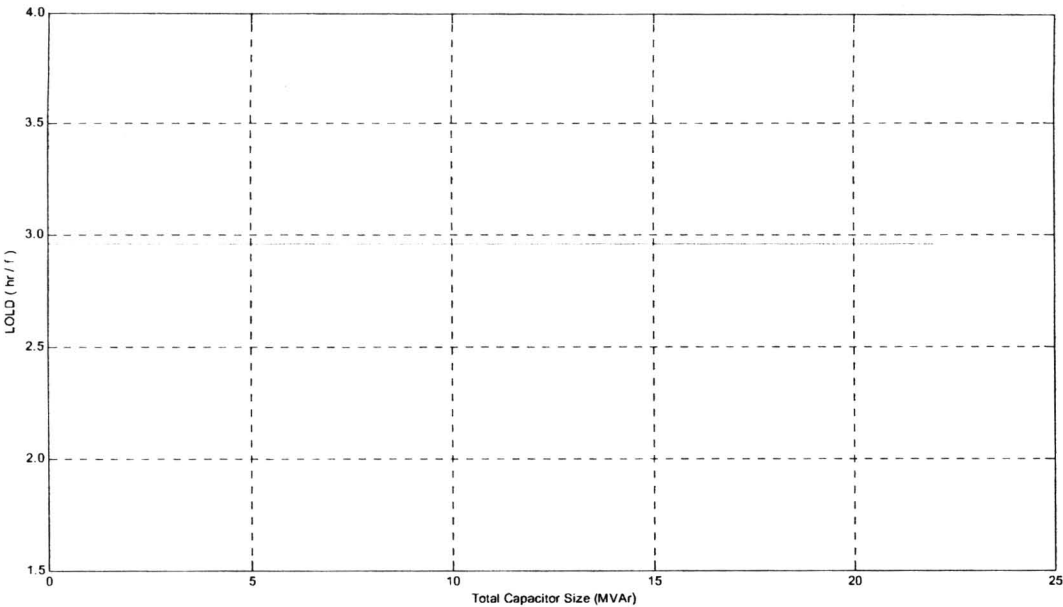
และความสัมพันธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้ ได้แก่ LOLP, LOLE, LOLD, EPNS, SAIFI และ SAIDI สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



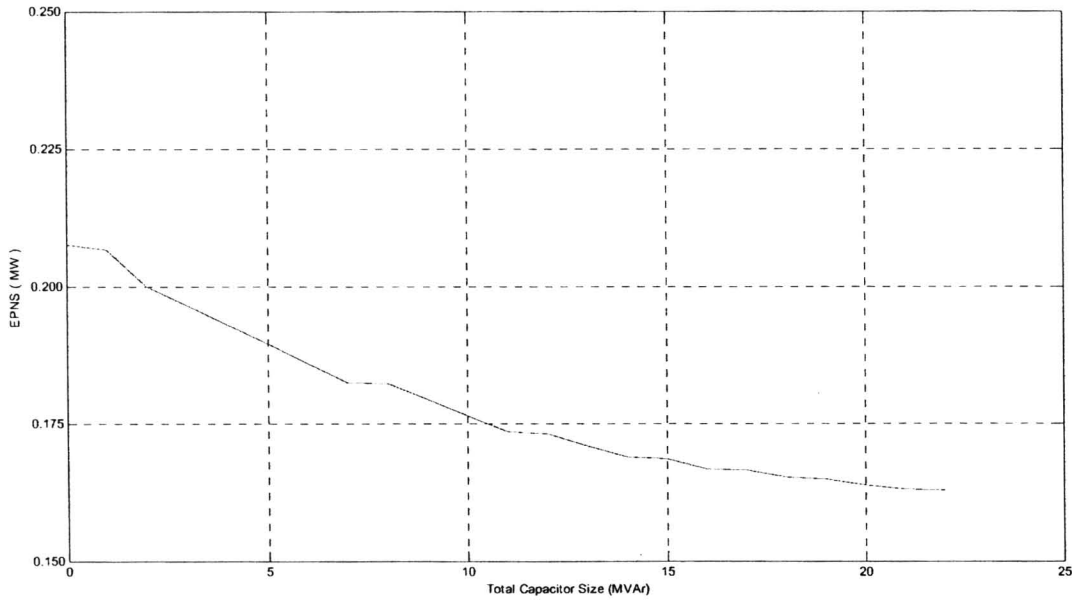
รูปที่ 5.15 ดัชนี LOLP ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ



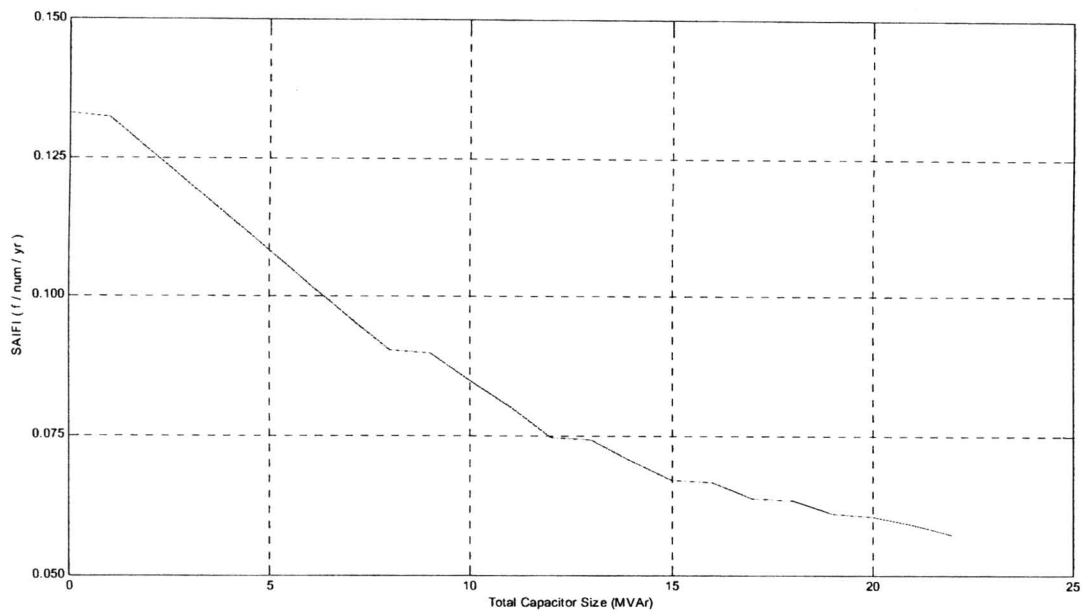
รูปที่ 5.16 ดัชนี LOLE ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ



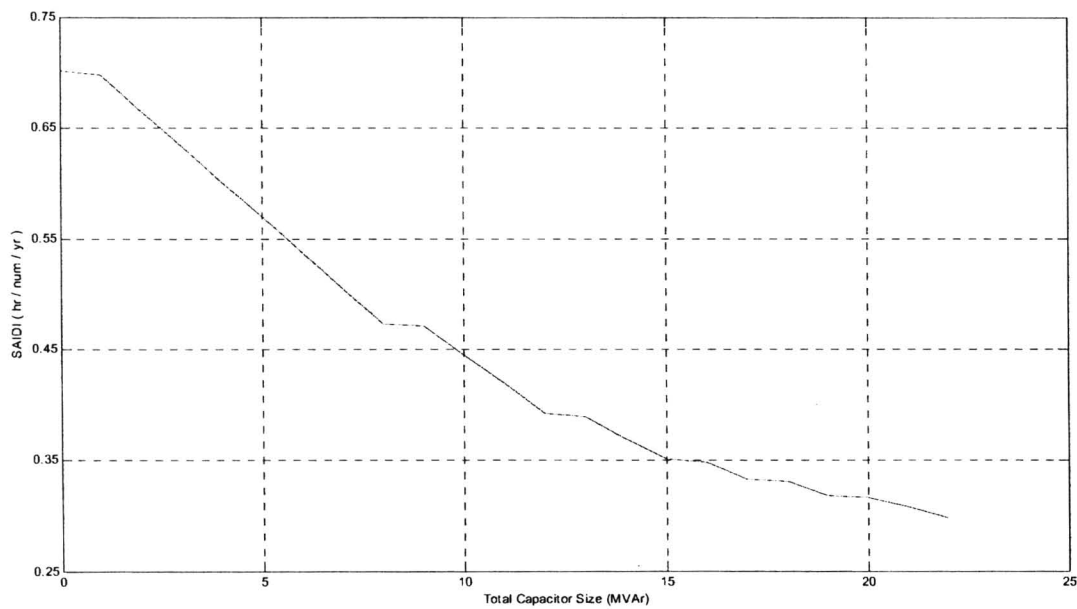
รูปที่ 5.17 ดัชนี LOLD ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ



รูปที่ 5.18 ดัชนี EPNS ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ



รูปที่ 5.19 ดัชนี SAIFI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ



รูปที่ 5.20 ดัชนี SAIDI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง  
ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ

รูปที่ 5.15-5.20 แสดงความสัมพันธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้ง โดยดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้ ได้แก่ LOLP, LOLF, LOD, EPNS, SAIFI และ SAIDI ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการติดตั้งตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ดัชนี EPNS, SAIFI และ SAIDI มีค่าลดลง เนื่องจากการติดตั้งตัวเก็บประจุนั้นจะทำให้ปริมาณโหลดที่ต้องถูกตัดออกจากระบบเมื่อเกิดเหตุไม่คาดหมายมีค่าลดลง แต่การติดตั้งตัวเก็บประจุจะไม่ส่งผลให้ดัชนี LOLP, LOLF และ LOD มีค่าลดลง เนื่องจากการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบนี้ไม่ได้ทำให้จำนวนครั้งที่ระบบอยู่ในสถานะ “เสีย” มีค่าน้อยลงและไม่ได้ทำให้ช่วงเวลาที่ระบบอยู่ในสถานะ “เสีย” มีค่าน้อยลงด้วย จึงทำให้ดัชนีเหล่านี้มีค่าคงที่