

## บทที่ 5

### การพัฒนาซอฟต์แวร์และผลการทดสอบ

บทนี้จะได้กล่าวถึงส่วนประกอบหลักของโปรแกรม YIPPF ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อให้สามารถคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าขึ้นกับค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ที่มีผลให้การประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ในโรงงานเปลี่ยนแปลงไปจากการใช้แบบจำลองโหลดแบบที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่ โดยในรายละเอียดสามารถดูได้จากคู่มือการใช้โปรแกรมในภาคผนวก ก และในตอนท้ายจะได้จำลองวิธีการที่นำเสนอโดยใช้โปรแกรม YIPPF ที่พัฒนาขึ้นรายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังนี้

#### 5.1 การพัฒนาโปรแกรม YIPPF

โปรแกรม YIPPF ที่พัฒนาขึ้นเป็นการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับแบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าขึ้นกับค่าของแรงดันไฟฟ้า ผู้ใช้งานจะต้องเป็นวิศวกรไฟฟ้าที่มีความเข้าใจการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นอย่างดี รายละเอียดการใช้งานโปรแกรมสามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้โปรแกรมในภาคผนวก ก เพื่อความสะดวกในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมพอสังเขป ซึ่งประกอบด้วยส่วนข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ ส่วนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า และส่วนของการรายงานผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 5.1.1 ส่วนข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการคำนวณในโปรแกรม YIPPF จะบันทึกในรูปแบบ m-file ที่สามารถใช้ฟังก์ชัน rddata.m ในการอ่านข้อมูลเพื่อแยกประเภท ตามลักษณะการใช้งาน โดยมีรูปแบบการเรียกใช้งานดังนี้

```
[baseMVA, accuracy, YIP_accuracy, maxiter, busdata, linedata] = rddata(datafile);
```

ข้อมูลนำเข้าของฟังก์ชันประกอบด้วย

- datafile คือ ชื่อไฟล์อินพุตที่ใช้เตรียมข้อมูล
- baseMVA คือ ค่าฐานของกำลังไฟฟ้า
- accuracy คือ ความละเอียดของการคำนวณที่สภาวะฐาน
- YIP\_accuracy คือ ความละเอียดของการคำนวณแบบ YIP Model
- Maxiter คือ จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ
- busdata คือ ข้อมูลของบัส
- linedata คือ ข้อมูลของสายป้อน

ข้อมูลที่อ่านได้จากการใช้ฟังก์ชัน `rddata.m` จะนำมาแยกเป็นข้อมูลของบัส และข้อมูลของสายป้อน โดยข้อมูลของบัส ประกอบด้วย

- Bus Number คือ หมายเลขบัส
- Bus Type คือ ชนิดของบัส
- Percent of real Constant Admittance ( $Y_p$ )
- Percent of reactive Constant Admittance ( $Y_q$ )
- Percent of real Constant Current ( $I_p$ )
- Percent of reactive Constant Current ( $I_q$ )
- Percent of Constant Real Power ( $S_p$ )
- Percent of Constant Reactive Power ( $S_q$ )
- Pload; real power demand (kW)
- Qload; reactive power demand (kVar)
- Pgen; real power output (kW)
- Qgen; reactive power output (kVar)
- Gs; shunt conductance (kW demanded at  $V = 1.0$  p.u.)
- Bs; shunt susceptance (kVar injected at  $V = 1.0$  p.u.)
- area number, 1-100
- Vm, voltage magnitude (p.u.)
- Va, voltage angle (degrees)
- baseKV, base voltage (kV)
- zone, loss zone (1-999)

ข้อมูลของสายป้อน ประกอบด้วย

- fbus; from bus number
- tbus; to bus number
- r; resistance (p.u.)
- x; reactance (p.u.)
- b; total line charging susceptance (p.u.)
- ratio; transformer off nominal turns ratio

- angle; transformer phase shift angle
- initial branch status

### 5.1.2 ส่วนการคำนวณ

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในโปรแกรม YIPPF ประกอบด้วย การคำนวณแบบที่ใช้แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าไม่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า และการคำนวณโดยใช้แบบจำลองโหลดจริงที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### 5.1.2.1 แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าไม่ขึ้นกับค่าแรงดัน

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนี้เป็นการคำนวณคล้ายโปรแกรมทั่วไป ที่แบบจำลองโหลดมีค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพคงที่ จะใช้ฟังก์ชัน NRPF โดยมีรูปแบบการใช้งาน ดังนี้

$[V, \text{converged}, i] = \text{NRPF}(\text{Ybus}, \text{Sbus}, V0, \text{sw\_bus}, v\_bus, l\_bus, \text{accuracy}, \text{maxiter})$

ข้อมูลนำเข้าของฟังก์ชันประกอบด้วย

- Ybus คือ เมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ของโครงข่ายระบบ
- Sbus คือ เมตริกซ์ของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดและโหลด
- V0 คือ ค่าแรงดันเริ่มต้น
- sw\_bus คือ บัสอ้างอิง
- v\_bus คือ บัสแรงดัน
- l\_bus คือ โหลดบัส
- accuracy คือ ความละเอียดของการคำนวณที่สภาวะฐาน
- maxiter คือ จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน 8nv

- V คือ แรงดันที่ได้จากการคำนวณ
- Converged คือ ผลของการลู่เข้าของคำตอบ
- I คือ จำนวนที่ใช้ในการคำนวณ

#### 5.1.2.2 แบบจำลองโหลดจริงที่กำลังไฟฟ้าขึ้นกับแรงดัน

การคำนวณในแบบนี้จะนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากผลการคำนวณกรณีใช้แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าคงที่มาปรับค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลด แล้วจึงเริ่มคำนวณใหม่จนกระทั่งผลการคำนวณลู่เข้าสู่คำตอบ โดยใช้ฟังก์ชัน YIPPF ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานดังนี้

$[\text{baseMVA}, \text{accuracy}, \text{YIP\_accuracy}, \text{maxiter}, \text{busdata}, \text{linedata}] = \text{YIPPF}(\text{datafile}, \text{Mode})$

ข้อมูลนำเข้าของฟังก์ชันประกอบด้วย

- datafile คือชื่อไฟล์ของระบบที่ใช้ในการคำนวณ
- Mode คือรูปแบบในการคำนวณ มี 2 โหมด คือ
  1. โหลดคงที่ (Constant PQ Model) โดยใส่ค่าอินพุตเป็น 'PQ'
  2. โหลดที่ขึ้นกับแรงดัน (YIP Load Model) โดยใส่ค่าอินพุตเป็น 'YIP'

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน จะถูกเก็บอยู่ในตัวแปรดังนี้

- baseMVA คือ ค่าฐานของกำลังไฟฟ้า
- accuracy คือ ความละเอียดของของการคำนวณที่สภาวะฐาน
- YIP\_accuracy คือ ความละเอียดของของการคำนวณแบบ YIP model
- maxiter คือ จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ
- busdata คือ ข้อมูลของบัสที่ใช้ในการคำนวณ
- linedata คือ ข้อมูลของสายป้อนกำลังที่ใช้ในการคำนวณ

### 5.1.3 ส่วนการแสดงผล

จะใช้ไฟล์ lineflow.m พิมพ์ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบออกมา

### 5.1.4 ไฟล์ทั้งหมดในโปรแกรม

ไฟล์ทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม YIPPF สามารถแยกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ไฟล์ที่ใช้ในส่วนโปรแกรมหลัก ประกอบด้วยไฟล์ดังต่อไปนี้
 

|            |                                                  |
|------------|--------------------------------------------------|
| rddata.m   | ใช้อ่านข้อมูลของระบบ                             |
| NRPF.m     | ใช้คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะฐาน           |
| YIPPF.m    | ใช้คำนวณการแบบจำลองโหลดจริงที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า |
| lineflow.m | พิมพ์ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า               |
- ไฟล์นำเข้าข้อมูลประกอบด้วยไฟล์ดังต่อไปนี้
 

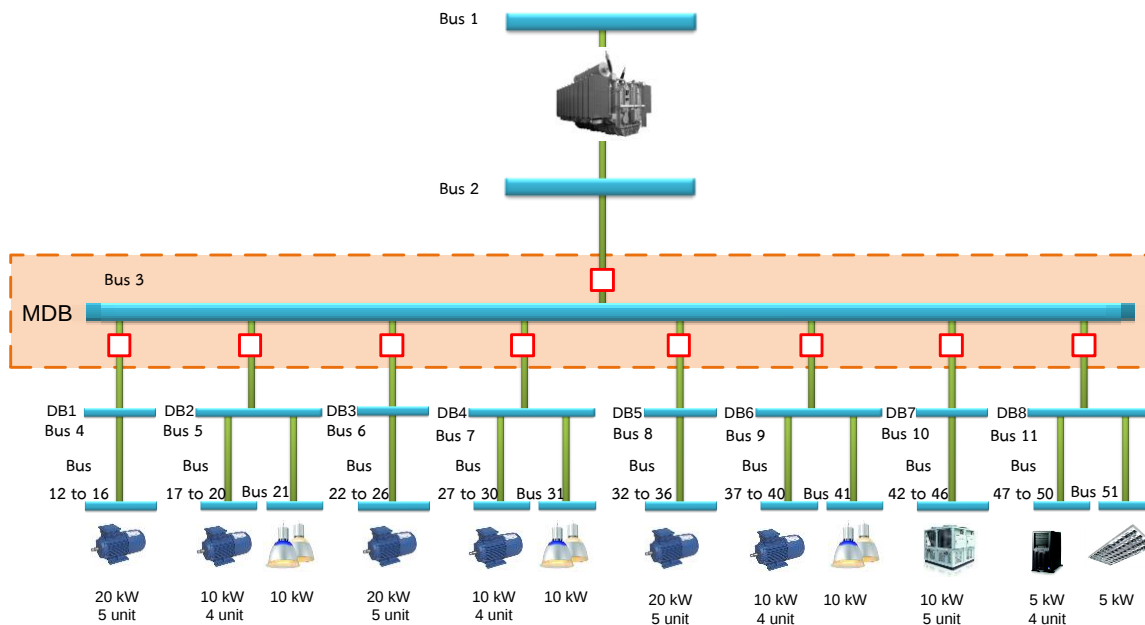
|            |                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| Case_fac.m | เป็นไฟล์รูปแบบข้อมูลอินพุตที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า |
|------------|---------------------------------------------------------------|
- ไฟล์ที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ประกอบด้วยไฟล์ดังต่อไปนี้
 

|             |                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| B_bustype.m | สร้างเวกเตอร์เพื่อเก็บชนิดของบัสซึ่งประกอบด้วย บัสอ้างอิง บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และบัสของโหลด |
| dSbus_dV.m  | คำนวณเมตริกจากโคเปียน                                                                         |
| RunnigNo.m  | เปลี่ยนหมายเลขบัสในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า                                                |
| convNo.m    | เปลี่ยนหมายเลขบัสกลับไปเป็นหมายเลขบัสเดิม                                                     |

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| BSbus.m | เมตริกซ์ที่กำหนดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด |
| YIPsbus | ปรับปรุงค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าจินตภาพของโหลด   |
| BYbus.m | สร้างเมตริกซ์ที่ใช้เก็บค่า admittance                  |

## 5.2 ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบไฟฟ้าของโรงงานที่พบได้ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงข่ายของระบบทดสอบแบบ 51 บัส

ระบบดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วย 51 บัส บัสหมายเลข 1 เป็นบัสด้านแรงสูงของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแรงดัน 22 kV รับไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย บัสหมายเลข 2 และ 3 เป็นด้านแรงดันต่ำที่ขั้วของหม้อแปลงและตู้ MDB (Main Distribution Board) ตามลำดับ บัสหมายเลข 4 – 11 เป็น DB (Distribution Board) ซึ่งบางตู้มีลักษณะเป็นตู้ควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) บัสหมายเลข 12 – 51 เป็นบัส ณ ขั้วโหลดต่างๆ โหลดรวมในระบบมีขนาด 525 kW โดยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าพื้นฐานมีค่าประมาณ 0.6 – 0.7

ข้อมูลโหลดบัสและสายป้อนปรากฏอยู่ในรูปของ m-file ชื่อ case\_fac.m โดยเป็นข้อมูลในระบบเพอร์ยูนิตโดยใช้ค่าฐานของกำลังไฟฟ้า (BaseMVA) ที่ 1 MVA เพื่อความสะดวกข้อมูลบัสและสายป้อนบางส่วนจะนำมาแสดงในหัวข้อนี้ดังในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของบัส

| Bus No. | Bus Type | YIP Load Model Factor |         |        |                 |          |        | Load    |         |
|---------|----------|-----------------------|---------|--------|-----------------|----------|--------|---------|---------|
|         |          | Real Factor           |         |        | Reactive Factor |          |        |         |         |
|         |          | Ap                    | Bp      | Cp     | Aq              | Bq       | Cq     | Pd      | Qd      |
| 1       | 3        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 2       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 3       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 4       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 5       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 6       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 7       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 8       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 9       | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 10      | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 11      | 1        | 0                     | 0       | 0      | 0               | 0        | 0      | 0       | 0       |
| 12      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 13      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 14      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 15      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 16      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 17      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9668  | 12.81   |
| 18      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9668  | 12.81   |
| 19      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9668  | 12.81   |
| 20      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9668  | 12.81   |
| 21      | 1        | 0.504                 | -0.8771 | 1.3731 | 7.811           | -13.2891 | 5.2257 | 9.9753  | -2.9699 |
| 22      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 23      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 24      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 25      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 26      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.9356 | 25.6496 |
| 27      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9688  | 12.8391 |
| 28      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9688  | 12.8391 |
| 29      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9688  | 12.8391 |
| 30      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9688  | 12.8391 |
| 31      | 1        | 0.504                 | -0.8771 | 1.3731 | 7.811           | -13.2891 | 5.2257 | 9.9767  | -2.9442 |
| 32      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362 | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.93   | 25.5715 |

| Bus No. | Bus Type | YIP Load Model Factor |         |         |                 |          |        | Load   |         |
|---------|----------|-----------------------|---------|---------|-----------------|----------|--------|--------|---------|
|         |          | Real Factor           |         |         | Reactive Factor |          |        |        |         |
|         |          | Ap                    | Bp      | Cp      | Aq              | Bq       | Cq     | Pd     | Qd      |
| 33      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.93  | 25.5715 |
| 34      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.93  | 25.5715 |
| 35      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.93  | 25.5715 |
| 36      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 19.93  | 25.5715 |
| 37      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9671 | 12.8149 |
| 38      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9671 | 12.8149 |
| 39      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9671 | 12.8149 |
| 40      | 1        | 0.099                 | -0.0352 | 0.9362  | 5.6097          | -9.3215  | 4.7118 | 9.9671 | 12.8149 |
| 41      | 1        | 0.504                 | -0.8771 | 1.3731  | 7.811           | -13.2891 | 5.2257 | 9.9755 | -2.9662 |
| 42      | 1        | 1.005                 | -1.7417 | 1.7367  | 8.3513          | -13.2935 | 5.9422 | 9.9564 | 12.5453 |
| 43      | 1        | 1.005                 | -1.7417 | 1.7367  | 8.3513          | -13.2935 | 5.9422 | 9.9564 | 12.5453 |
| 44      | 1        | 1.005                 | -1.7417 | 1.7367  | 8.3513          | -13.2935 | 5.9422 | 9.9564 | 12.5453 |
| 45      | 1        | 1.005                 | -1.7417 | 1.7367  | 8.3513          | -13.2935 | 5.9422 | 9.9564 | 12.5453 |
| 46      | 1        | 1.005                 | -1.7417 | 1.7367  | 8.3513          | -13.2935 | 5.9422 | 9.9564 | 12.5453 |
| 47      | 1        | -1.65                 | 3.9534  | -1.3034 | 2.734           | -5.5083  | 2.759  | 4.9484 | -0.0938 |
| 48      | 1        | -1.65                 | 3.9534  | -1.3034 | 2.734           | -5.5083  | 2.759  | 4.9484 | -0.0938 |
| 49      | 1        | -1.65                 | 3.9534  | -1.3034 | 2.734           | -5.5083  | 2.759  | 4.9484 | -0.0938 |
| 50      | 1        | -1.65                 | 3.9534  | -1.3034 | 2.734           | -5.5083  | 2.759  | 4.9484 | -0.0938 |
| 51      | 1        | -1.65                 | 3.9534  | -1.3034 | 2.734           | -5.5083  | 2.759  | 4.9484 | -0.0705 |

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลของสายป้อน

| ลำดับที่ | Form bus | to bus | R      | X       |
|----------|----------|--------|--------|---------|
| 1        | 1        | 51     | 0.0024 | 0.0006  |
| 2        | 2        | 8      | 0.025  | 0.00001 |
| 3        | 2        | 6      | 0.025  | 0.00001 |
| 4        | 2        | 9      | 0.025  | 0.00001 |
| 5        | 2        | 7      | 0.0125 | 0.00001 |
| 6        | 2        | 4      | 0.025  | 0.00001 |
| 7        | 2        | 5      | 0.0125 | 0.00001 |
| 8        | 2        | 10     | 0.05   | 0.00001 |
| 9        | 2        | 3      | 0.0125 | 0.00001 |
| 10       | 3        | 11     | 0.0625 | 0.00001 |
| 11       | 3        | 15     | 0.0625 | 0.00001 |
| 12       | 3        | 13     | 0.0625 | 0.00001 |

| ลำดับที่ | Form bus | to bus | R       | X       |
|----------|----------|--------|---------|---------|
| 13       | 3        | 14     | 0.0625  | 0.00001 |
| 14       | 3        | 12     | 0.0625  | 0.00001 |
| 15       | 4        | 20     | 0.125   | 0.00001 |
| 16       | 4        | 19     | 0.125   | 0.00001 |
| 17       | 4        | 18     | 0.125   | 0.00001 |
| 18       | 4        | 17     | 0.125   | 0.00001 |
| 19       | 4        | 16     | 0.125   | 0.00001 |
| 20       | 5        | 25     | 0.0625  | 0.00001 |
| 21       | 5        | 24     | 0.0625  | 0.00001 |
| 22       | 5        | 23     | 0.0625  | 0.00001 |
| 23       | 5        | 22     | 0.0625  | 0.00001 |
| 24       | 5        | 21     | 0.0625  | 0.00001 |
| 25       | 6        | 30     | 0.125   | 0.00001 |
| 26       | 6        | 29     | 0.125   | 0.00001 |
| 27       | 6        | 28     | 0.125   | 0.00001 |
| 28       | 6        | 27     | 0.125   | 0.00001 |
| 29       | 6        | 26     | 0.125   | 0.00001 |
| 30       | 7        | 31     | 0.0625  | 0.00001 |
| 31       | 7        | 35     | 0.0625  | 0.00001 |
| 32       | 7        | 34     | 0.0625  | 0.00001 |
| 33       | 7        | 33     | 0.0625  | 0.00001 |
| 34       | 7        | 32     | 0.0625  | 0.00001 |
| 35       | 8        | 40     | 0.125   | 0.00001 |
| 36       | 8        | 39     | 0.125   | 0.00001 |
| 37       | 8        | 38     | 0.125   | 0.00001 |
| 38       | 8        | 37     | 0.125   | 0.00001 |
| 39       | 8        | 36     | 0.125   | 0.00001 |
| 40       | 9        | 45     | 0.125   | 0.00001 |
| 41       | 9        | 44     | 0.125   | 0.00001 |
| 42       | 9        | 43     | 0.125   | 0.00001 |
| 43       | 9        | 42     | 0.125   | 0.00001 |
| 44       | 9        | 41     | 0.125   | 0.00001 |
| 45       | 10       | 50     | 0.25    | 0.00001 |
| 46       | 10       | 49     | 0.25    | 0.00001 |
| 47       | 10       | 48     | 0.25    | 0.00001 |
| 48       | 10       | 47     | 0.25    | 0.00001 |
| 49       | 10       | 46     | 0.25    | 0.00001 |
| 50       | 51       | 2      | 0.00238 | 0.00001 |

### 5.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็นหลายกรณี ดังนี้

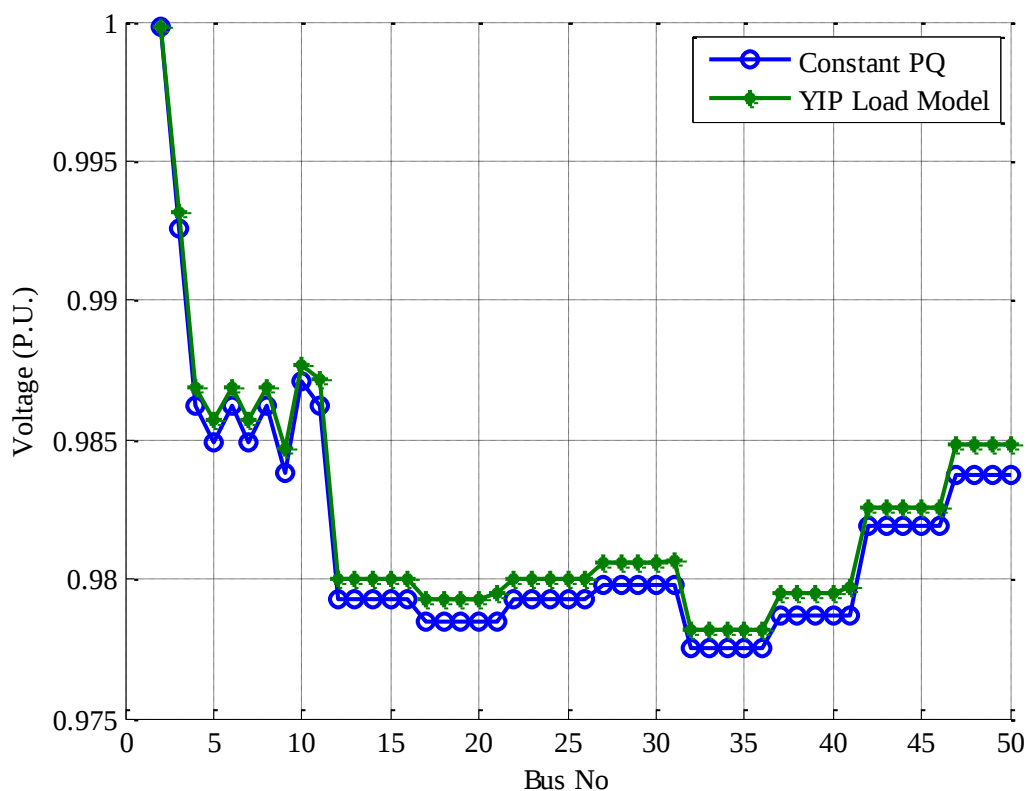
#### 5.3.1 ผลการคำนวณก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

เมื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกันโดยใช้แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าคงที่ และแบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าขึ้นกับแรงดัน พบว่ากำลังไฟฟ้าที่รับจากการไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าของโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ และ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของทั้ง 2 กรณี แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบฐาน

| แบบจำลอง | Pin     | Qin     | Load    | Loss   | % ประสิทธิภาพ | P.F.  |
|----------|---------|---------|---------|--------|---------------|-------|
| PQ       | 548.013 | 692.057 | 525.000 | 22.384 | 95.915        | 0.621 |
| YIP      | 543.301 | 596.097 | 523.069 | 19.603 | 96.392        | 0.674 |

จากทั้งสองกรณีพบว่ากำลังไฟฟ้าจริงทั้งในส่วนของโหลดและกำลังไฟฟ้าสูญเสียมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าภายในโรงงานโดยใช้แบบจำลองโหลดทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แรงดันไฟฟ้าภายในโรงงานทั้งสองกรณี

แรงดันไฟฟ้าเมื่อใช้แบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าคงที่จะต่ำกว่าแบบจำลองโหลด YIP เนื่องจากแรงดันภายในโรงงานมีค่าต่ำกว่า 1 p.u. ทำให้ค่าโหลดลดลงเมื่อใช้แบบจำลอง YIP และด้วยเหตุผลดังกล่าวประสิทธิภาพของระบบเมื่อใช้แบบจำลอง YIP จะได้ผลที่ดีกว่า

### 5.3.2 ผลการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ณ ขั้วโหลด

ระบบทดสอบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุที่สามารถทำงานได้ 8 ขั้นตอน ณ ขั้วโหลดต่างๆ ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ลำดับขั้นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

| Load                   | Capacitor Bank (kVar) |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | step1                 | step2 | step3 | Step4 | step5 | step6 | step7 | step8 |
| มอเตอร์ 3 เฟส          | 14                    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| เครื่องปรับอากาศ 3 เฟส | 7                     | 7     | 8     | 8     | 9     | 9     | 10    | 10    |
| หลอดไอปรอท             | 3                     | 3.5   | 4     | 4.5   | 5     | 5.5   | 6     | 6.5   |
| หลอดฟลูออเรสเซนต์      | 2                     | 2     | 2     | 2     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| สำนักงาน               | 2                     | 2     | 2     | 2     | 3     | 3     | 3     | 3     |

เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ ตามตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่รับจากการไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าของโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ และ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้แบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่และแบบจำลองโหลดที่กำลังไฟฟ้าขึ้นกับแรงดัน แสดงได้ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

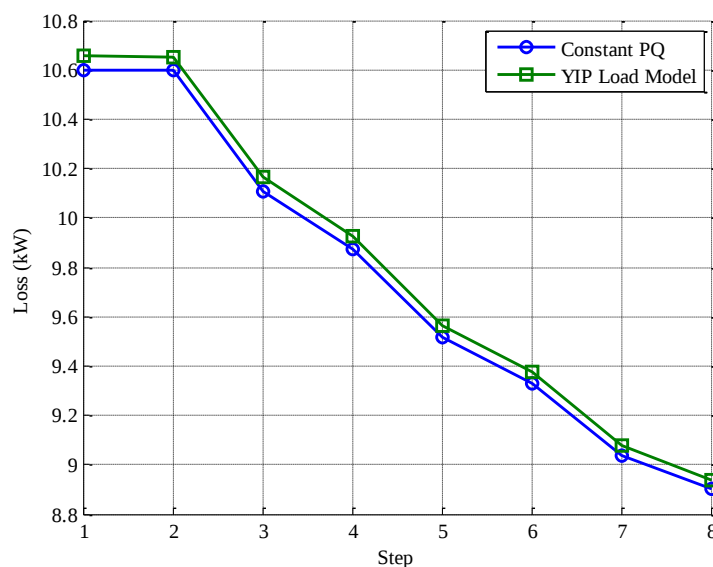
ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบกรณีแบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่

| Step | Pin      | Qin      | Load     | Loss    | % Efficiency | P.F.   |
|------|----------|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 1    | 534.3015 | 256.9785 | 523.0683 | 10.5999 | 98.0161      | 0.9012 |
| 2    | 534.2988 | 255.5188 | 523.0683 | 10.5973 | 98.0166      | 0.9021 |
| 3    | 533.8109 | 222.8592 | 523.0683 | 10.109  | 98.1063      | 0.9228 |
| 4    | 533.5744 | 206.7734 | 523.0683 | 9.8723  | 98.1498      | 0.9324 |
| 5    | 533.217  | 169.18   | 523.0683 | 9.5145  | 98.2156      | 0.9532 |
| 6    | 533.0309 | 153.0809 | 523.0683 | 9.3283  | 98.2500      | 0.9611 |
| 7    | 532.7415 | 120.3714 | 523.0683 | 9.0385  | 98.3034      | 0.9754 |
| 8    | 532.6049 | 104.2601 | 523.0683 | 8.9018  | 98.3286      | 0.9814 |

ตารางที่ 5.6 ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าของระบบกรณีแบบจำลองโหลด YIP

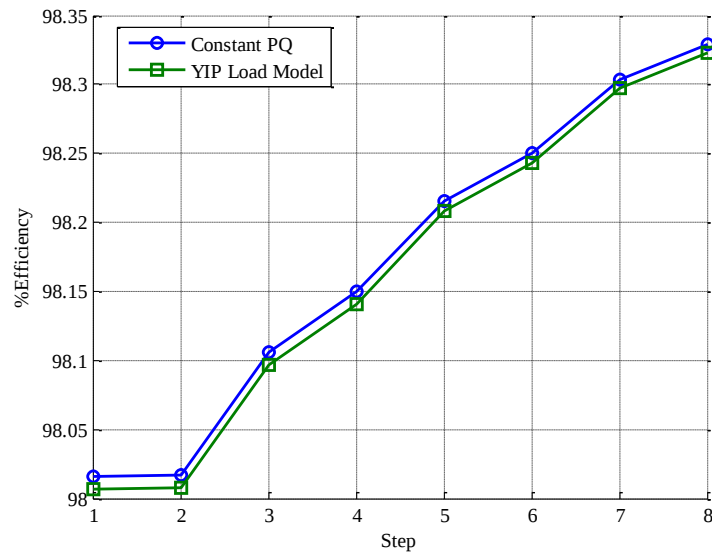
| Step | Pin      | Qin      | Load     | Loss    | % Efficiency | P.F.   |
|------|----------|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 1    | 534.6108 | 261.0339 | 523.3224 | 10.6555 | 98.0069      | 0.8986 |
| 2    | 534.6093 | 259.5868 | 523.3234 | 10.653  | 98.0073      | 0.8996 |
| 3    | 534.144  | 227.2334 | 523.3471 | 10.1637 | 98.0972      | 0.9202 |
| 4    | 533.9187 | 211.302  | 523.3591 | 9.9262  | 98.1409      | 0.9298 |
| 5    | 533.5815 | 174.0493 | 523.3863 | 9.5615  | 98.2081      | 0.9507 |
| 6    | 533.4056 | 158.1044 | 523.3982 | 9.3734  | 98.2427      | 0.9588 |
| 7    | 533.1348 | 125.6996 | 523.4218 | 9.0788  | 98.2971      | 0.9733 |
| 8    | 533.0074 | 109.7422 | 523.4337 | 8.9393  | 98.3229      | 0.9795 |

เมื่อเปรียบเทียบค่าของ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ และ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้แบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่และแบบจำลองโหลด YIP แสดงได้ในรูปที่ 5.3 – 5.5 ตามลำดับ



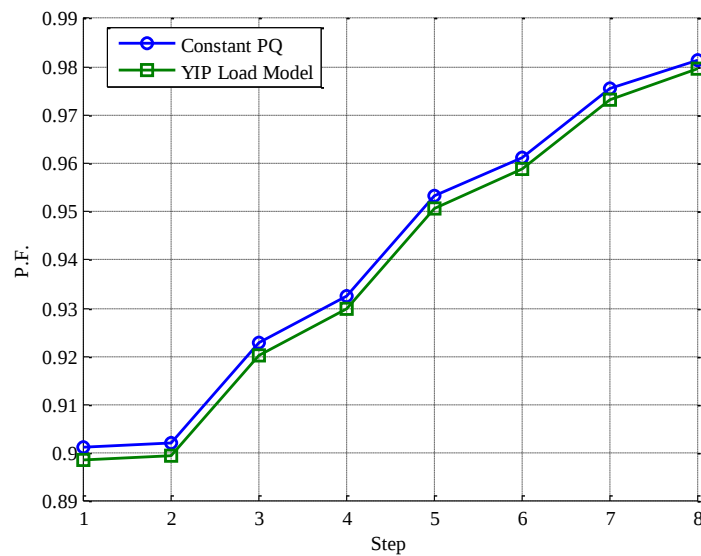
รูปที่ 5.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ ณ สถานภาพการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 5.3 เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองกรณี ณ ค่าโหลดฐาน 523.32 MW พบว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบเมื่อใช้แบบจำลอง YIP มีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่กำลังไฟฟ้าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากผลการติดตั้งตัวเก็บประจุทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กำลังไฟฟ้าของโหลดในแบบจำลอง YIP จึงเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงเพิ่มขึ้น แต่มาตรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ชั่วโหลดส่งผลให้กำลังสูญเสียในระบบลดลงโดยผลของแบบจำลองโหลดมีผลแตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพของระบบ ณ สถานภาพการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 5.4 ผลการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การคำนวณโดยใช้แบบจำลอง YIP ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบจำลองที่กำลังไฟฟ้าคงที่ แต่มาตรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงมากกว่าค่าโหลดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.5 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ ณ สถานภาพการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 5.5 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเมื่อคำนวณจากแบบจำลองโหลดทั้งสองกรณียังคงมีค่าใกล้เคียงกัน และมาตรการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ขั้วโหลดทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบดีขึ้น

### 5.3.3 ผลของตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ผลของตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุที่มีต่อ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ประสิทธิภาพ และ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยย้ายชุดตัวเก็บประจุจากเดิมที่ติดตั้งที่ขั้วโหลดมาติดตั้งที่บัสของตู้ DB และ MDB สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

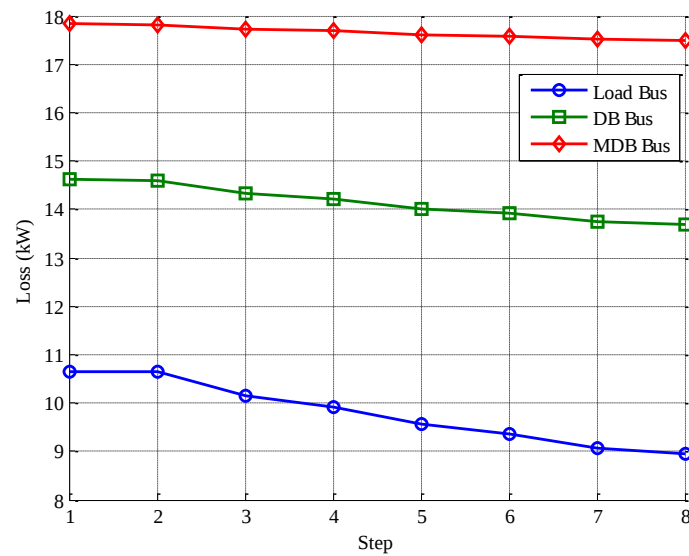
ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณกรณีติดตั้งตัวเก็บประจุที่ DB บัส

| Step | Pin      | Qin      | Load     | Loss    | % Efficiency | P.F.   |
|------|----------|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 1    | 538.5626 | 256.5548 | 523.3105 | 14.6195 | 97.2855      | 0.9028 |
| 2    | 538.5513 | 255.0917 | 523.3115 | 14.6072 | 97.2877      | 0.9037 |
| 3    | 538.3044 | 222.3309 | 523.3344 | 14.337  | 97.3366      | 0.9243 |
| 4    | 538.1859 | 206.1704 | 523.346  | 14.2068 | 97.3602      | 0.9338 |
| 5    | 538.0184 | 168.4883 | 523.3724 | 14.0125 | 97.3955      | 0.9543 |
| 6    | 537.9278 | 152.315  | 523.384  | 13.9102 | 97.4141      | 0.9622 |
| 7    | 537.7992 | 119.506  | 523.4069 | 13.7583 | 97.4417      | 0.9762 |
| 8    | 537.7355 | 103.3209 | 523.4185 | 13.6829 | 97.4555      | 0.9820 |

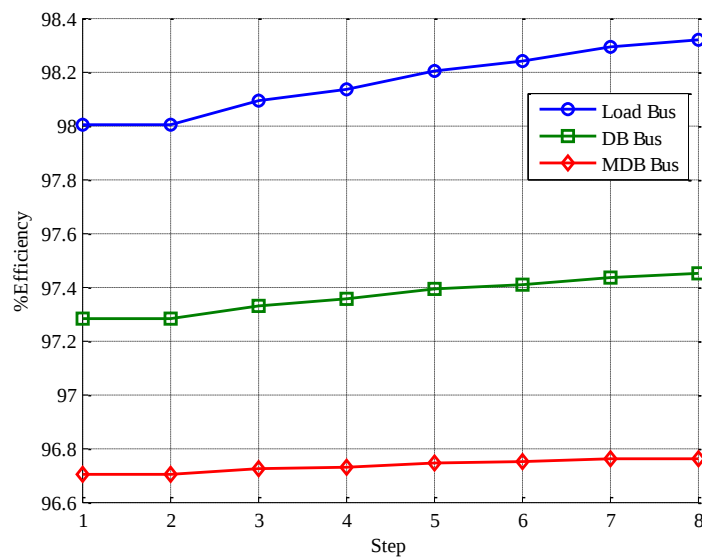
ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณกรณีติดตั้งตัวเก็บประจุที่ MDB บัส

| Step | Pin      | Qin      | Load     | Loss    | % Efficiency | P.F.   |
|------|----------|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 1    | 541.73   | 252.139  | 523.2703 | 17.8278 | 96.7091      | 0.9066 |
| 2    | 541.7263 | 250.6534 | 523.2712 | 17.8233 | 96.7099      | 0.9076 |
| 3    | 541.6521 | 217.4697 | 523.2906 | 17.7294 | 96.7268      | 0.9280 |
| 4    | 541.6205 | 201.1209 | 523.3002 | 17.6881 | 96.7342      | 0.9375 |
| 5    | 541.5595 | 162.9615 | 523.3225 | 17.6045 | 96.7493      | 0.9576 |
| 6    | 541.5388 | 146.6024 | 523.3321 | 17.5741 | 96.7548      | 0.9653 |
| 7    | 541.5069 | 113.379  | 523.3515 | 17.5225 | 96.7641      | 0.9788 |
| 8    | 541.4962 | 97.0105  | 523.3611 | 17.5021 | 96.7678      | 0.9843 |

เมื่อเปรียบเทียบค่าของ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ และ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีย้ายตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุทั้ง 3 กรณี สามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.6 – 5.8 ตามลำดับ

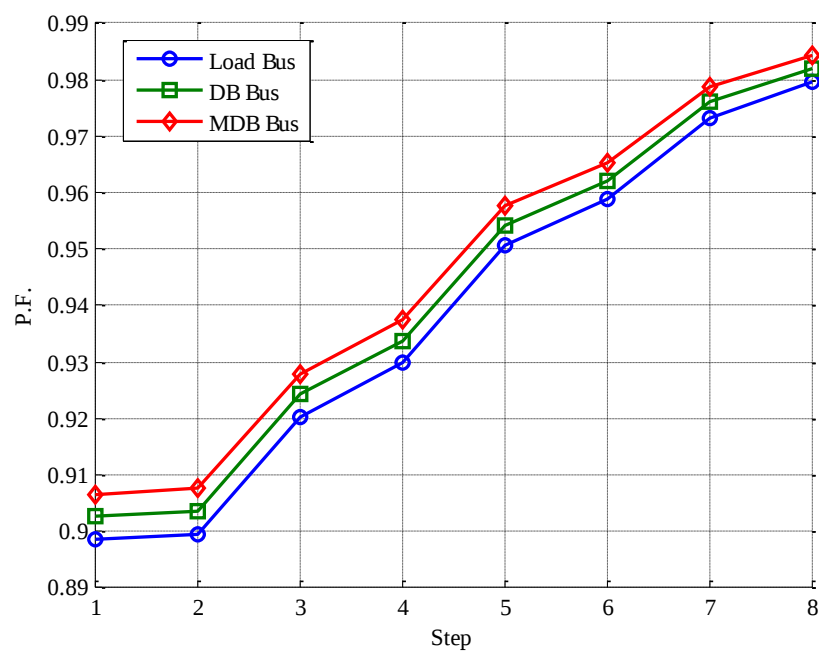


รูปที่ 5.6 กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ ณ ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุต่างๆ



รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพของระบบ ณ ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุต่างๆ

จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 ผลการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ตำแหน่งขั้วโหลดสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่าน้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไปที่ตู้ DB และ MDB ตามลำดับ ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีและเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป ทำให้ในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันโดย การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งขั้วโหลดจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และจะมีค่าลดลงเมื่อย้ายตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุไปที่ตู้ DB และ MDB ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการดำเนินการจริงอาจต้องพิจารณาความเหมาะสมในทางปฏิบัติและต้นทุนการติดตั้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ประกอบการพิจารณาด้วย



รูปที่ 5.8 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ ณ ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุต่างๆ

ในส่วนของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าพบว่าตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุต่างๆ  
ประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

มีผลต่อค่าตัว