หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การวิเคราะห์ผลลัพธ์

6.1 *การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของคะแปซิเตอร์แบบค่าคงที่*

สำหรับคะแปซิเตอร์แบบค่าคงที่ซึ่งได้กล่าวถึงอย่างละเอียดแล้วในบทที่ 4 นั้น และได้มีการแสดงถึงวิธีการหาค่าขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคะแปซิเตอร์มาแล้วในหัวข้อที่ 4.6 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะขอทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์สำหรับคะแปซิเตอร์แบบค่าคงที่ โดยที่จะขอแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วนย่อย ๆ ด้วยกัน กล่าวคือ

ในส่วนแรก เมื่อไม่ได้นำราคาของคะแปซิเตอร์มาคิดในการคำนวน นั่นคือ เราสมมติให้ Kc = 0 จากตารางแสดงผลที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าของ Objective Function จะมีค่าลดลงจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเราเพิ่มค่าของขนาดของคะแปซิเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของ Objective Function ในตอนที่หาคำตอบโดยวิธีการแบบทำซ้ำจะมีค่าเป็น $125,370 โดยมีขนาดของคะแปซิเตอร์เป็น 474.85 kVar, 1075.82 kvar, 3546.40 kVar และติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1, 5, และ 6 ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์จากค่าที่เหมาะสมที่สุดไปสู่ค่าที่เพิ่มขึ้น เช่นเปลี่ยนขนาดของคะแปซิเตอร์จาก 474.85 kVar ไปเป็น 480.00 kVar แล้วใช้กระบวนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบจะได้ว่าค่าของ Objective Function จะลดลงจาก $125,370 ไปเป็น $125,365 แต่วัตถุประสงค์ของเราในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั้นก็เพื่อให้ Objective Function มีค่าต่ำที่สุด แต่จากผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเช่นนี้อาจจะอธิบายได้ว่า ถ้าเราพิจารณาจาก Objective Function แล้วจะเห็นว่าประกอบกันขึ้นด้วยสองเทอมด้วยกัน คือ เทอมของราคาเนื่องจากกำลังสูญ และ เทอมของราคาของคะแปซิเตอร์ ดังนั้นเมื่อเรากำหนดให้ Kc=0 หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าเราไม่ได้คิดถึงราคาของคะแปซิเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเรามีการเพิ่มขึ้นของขนาดของคะแปซิเตอร์ นั่นคือจะเป็นการทำให้ระบบมีค่าของกำลังสูญลดลง แน่นอนที่สุดดังนั้นค่าของ Objective Function จึงมีค่าลดลงด้วย ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าถ้าไม่ได้นำ

ราคาของคะแปซิเตอร์มาพิจารณาแล้วจะเป็นการว่ายิ่งเราเพิ่มค่าของคะแปซิเตอร์มากเท่าไหร่ก็จะเป็นการลดลงของค่าใช้จ่ายที่เราจะต้องเสียไปเนื่องจากกำลังสูญเท่านั้น

สำหรับในส่วนหลังจะเป็นการนำเอาราคาของคะแปซิเตอร์มาร่วมในการพิจารณาด้วย ซึ่งจะเป็นวัตถุประสงค์หลักของบทที่ 4 ถ้าพิจารณาถึง Objective Function ในที่นี้จะประกอบด้วยสองเทอม เทอมแรกจะเป็นเทอมของค่าใช้จ่ายที่เราจะต้องเสียไปเนื่องจากเกิดการสูญเสียของกำลังงานนั้นในสายป้อน ($K_p P_{Lq}$) ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มของค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์ สำหรับเทอมหลังจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์ ($K_c \Sigma Q_c$) จะเห็นได้ว่าค่านี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของทั้งสองเทอมนี้จะเป็นการแลกเปลี่ยนกัน (Trade-Off) ของทั้งสองเทอมนี้นั่นเอง ซึ่งทำให้เราสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้โดยการใช้กระบวนการทำซ้ำที่ได้แสดงให้เห็นในบทที่ 4 แล้ว จากผลการทดลองเราได้กำหนดให้ Kc=4.9 นั้น เราจะได้ค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์ออกมาเป็น 462.32 kVar, 1068.04 kVar, 2909.24 kVar โดยที่มีตำแหน่งติดตั้งเป็นบัสที่ 1, 5, และ 6 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ค่า Objective Function ออกมาเป็น 147,572.7 แต่เมื่อเรามีการเพิ่มค่าของคะแปซิเตอร์นั้นจากค่าที่เหมาะสมที่สุด เช่นเพิ่มจาก 462.32 kVar ไปเป็น 470.0 kVar แล้วเราทำการหาค่าคำตอบจากกระบวนการทำซ้ำ ซึ่งเราจะได้ค่า Objective Function ในกรณีหลังออกมาเป็น 147,597.9 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่หามาได้จากกรณีแรกแล้วจะเห็นได้ว่าค่าครั้งหลังนี้จะมีค่ามากกว่า นั้นเป็นข้อพิสูจน์ให้เห็นได้ว่าค่าที่หามาได้ในครั้งแรกนั้นเป็นค่าที่น้อยที่สุดแล้ว

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 6-1 กับตารางที่ 6-2 หรือดูจากรูปที่ 6-1 จะเห็นได้ว่าขนาดของแรงดันบนสายป้อนในขณะที่มีการนำคะแปซิเตอร์ไปติดตั้งนั้นจะมีค่ามากกว่าขนาดของแรงดันเมื่อก่อนมีการติดตั้งคะแปซิเตอร์ ซึ่งจะเป็นการกล่าวได้ว่าการติดตั้งคะแปซิเตอร์นี้จะเป็นการปรับปรุงค่า Voltage Profile ของระบบ

ในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างตารางที่ 6-3 กับตารางที่ 6-4 จะเห็นได้ว่า ค่าขนาดของกระแสที่จ่ายให้แก่จุดโหลดแต่ละแห่งจะมีค่าลดลง นั้นคือการติดตั้งคะแปซิเตอร์จะทำให้สายป้อนสามารถรับโหลดได้มากเพิ่มขึ้น และถ้าดูจากค่าของกระแสที่จะต้องจ่ายออกไปจากสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเมื่อตอนหลังจากติดตั้งคะแปซิเตอร์แล้ว (3.1440 pu) จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้ก่อนการติดตั้งคะแปซิเตอร์ (3.3985 pu) เมื่อเราทำการเปรียบ

เทียบค่าของตัวประกอบกำลังที่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยจะเห็นว่า ค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่ามากขึ้นกว่าเดิม นั้นคือ 0.9966 (ซึ่งเดิมก่อนติดคะแปซิเตอร์มีค่า 0.9298)

สำหรับการวิเคราะห์ในเรื่องนี้จะสามารถอธิบายอย่างละเอียดได้โดยที่ เมื่อทำการติดตั้งคะแปซิเตอร์เข้ากับระบบ คะแปซิเตอร์นี้เองจะเป็นตัวจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟให้กับระบบ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ระบบจะต้องเป็นตัวจ่ายให้กับโหลดแต่ละแห่งมีค่าน้อยลง ซึ่งจะทำให้ค่าของแรงดันตกในแต่ละส่วนของสายมีขนาดลดลงมา ทำให้ขนาดของระดับแรงดันในระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจากการที่คะแปซิเตอร์เป็นตัวจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟนี้เองจะทำให้กระแสของสายป้อนในแนวแกนควอดเดรเจอร์มีขนาดลดลงมากกว่าในแนวแกนตรง ซึ่งจะมีผลทำให้มุมของกระแสเสมือนที่ทำกับแรงดันมีค่าลดลง หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าค่าตัวประกอบกำลัง ($\cos\theta$) จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6-1

```
**************************
* RESULT OF LOAD FLOW *
**************************
```

BUS	PU VOLT	PU ANG
1	0.88156563	-0.10360[illegible]
2	0.85284194	-0.09326210
3	0.88227567	-0.07939766
4	0.90158545	-0.07089663
5	0.91164010	-0.06356155
6	0.94268258	-0.04465154
7	0.95816861	-0.03901141
8	0.98229052	-0.02025827
9	0.99287472	-0.00916551

This is Load Flow Before Install Capacitors

ตารางที่ 6-2

```
**************************
* RESULT OF LOAD FLOW *
**************************
```

BUS	PU VOLT	PU ANG
1	0.8856[illegible]	-.12903801
2	0.8871[illegible]	-.11494750
3	0.9141[illegible]	-.09617103
4	0.9312[illegible]	-.08862685
5	0.94[illegible]	-.08107020
6	0.9855[illegible]	-.05788599
7	0.9[illegible]	-.04684935
8	0.99[illegible]	-.02281584
9	0.99[illegible]	-.01002096

LoadFlow After Install Capacitor

ตารางที่ 6-3

```
**************
* LINE FLOW *
**************
```

BUS	PU Ir	PU Ix
1 - 2	0.46262289	-0.10533388
2 - 3	0.73253095	-0.16764023
3 - 4	1.04122075	-0.20647736
4 - 5	1.24536690	-0.25215694
5 - 6	1.65641600	-0.43568868
6 - 7	2.04014286	-0.91973241
7 - 8	2.48174919	-1.04650904
8 - 9	2.71835933	-1.13590713
9 - 10	3.16004102	-1.25053865

This is Line Flow Before Install Capacitors

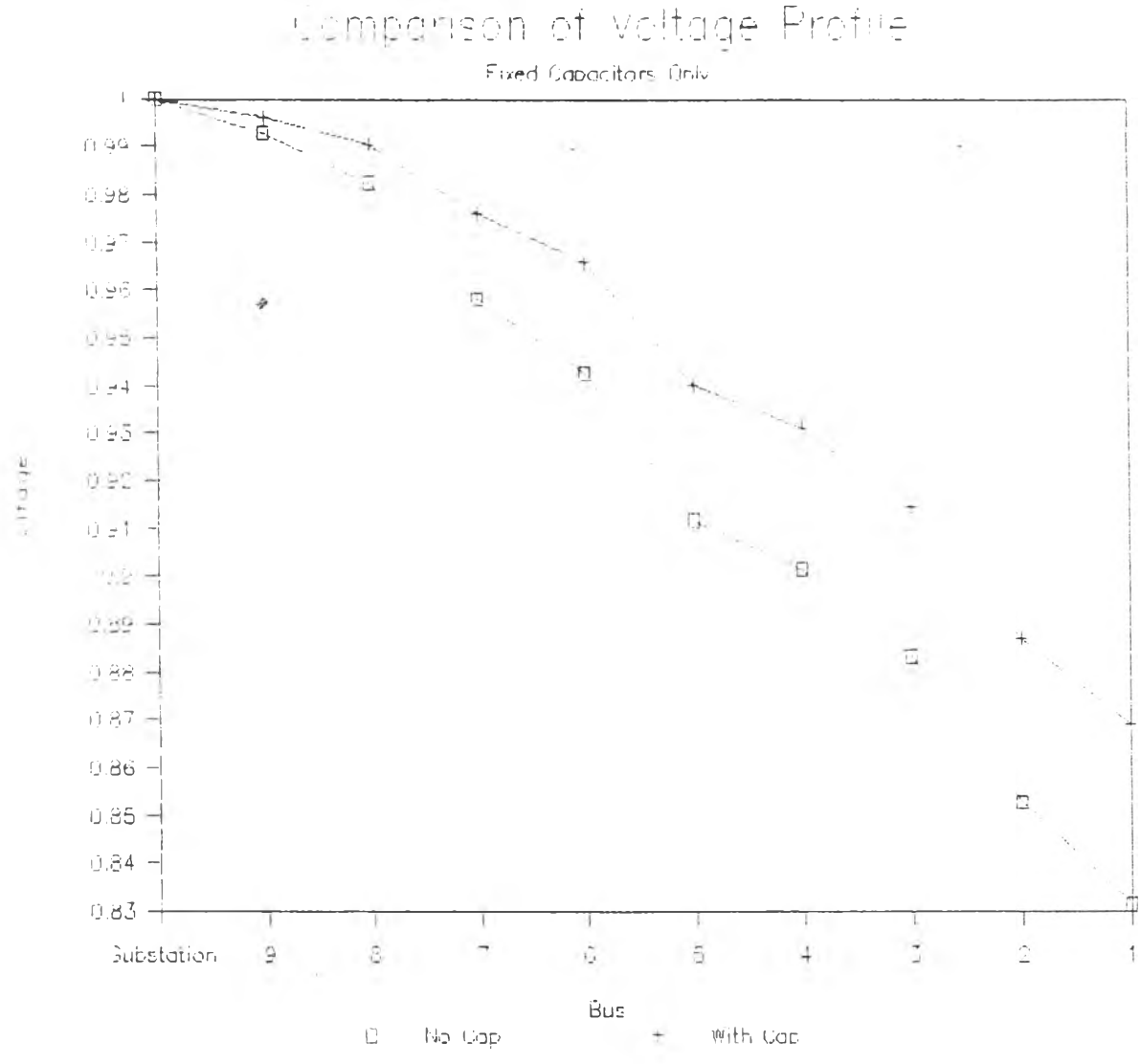
ตารางที่ 6-4

```
**************
* LINE FLOW *
**************
```

BUS	PU Ir	PU Ix
1 - 2	0.45[illegible]	-0.01729238
2 - 3	0.71[illegible]	-0.08231941
3 - 4	1.00[illegible]	-0.12735738
4 - 5	1.20[illegible]	-0.17517411
5 - 6	1.61[illegible]	-0.11887469
6 - 7	2.02[illegible]	0.07408861
7 - 8	2.45[illegible]	-0.05544934
8 - 9	2.69[illegible]	-0.14283062
9 - 10	3.13[illegible]	-0.25756127

LineFlow After Install Capacitor

รูปที่ 6-1



กระแสวัดที่ Substation ก่อนติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 3.3985 pu

กระแสวัดที่ Substation หลังติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 3.1440 pu

Power Factor ก่อนติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 0.9298

Power Factor หลังติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 0.9966

6.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของคะแปซิเตอร์แบบผสม

สำหรับคะแปซิเตอร์แบบผสม (มีทั้งแบบค่าคงที่ และ แบบสวิตชิง รวมอยู่ด้วยกัน) นั้น ซึ่งได้มีการแสดงวิธีการในการคำนวนหาขนาด ตำแหน่งติดตั้ง และช่วงเวลาในการบริการที่เหมาะสมที่สุดอย่างละเอียดแล้วในบทที่ 5 และเมื่อพิจารณาถึง Objective Function แล้วมันจะประกอบด้วยสามเทอมด้วยกัน เมื่อดูจากสมการ 5.6 จะเห็นได้ว่าเทอมแรกจะเป็นเทอมของค่าความประหยัดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดลงของกำลังค่ายอด ซึ่งค่าความประหยัดค่านี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของคะแปซิเตอร์เพิ่มขึ้น สำหรับเทอมที่สองจะเป็นเทอมของค่าความประหยัดที่เกิดขึ้นจากการลดลงของการสูญเสียพลังงาน ซึ่งค่านี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของคะแปซิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับเทอมสุดท้ายจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพิกัดของคะแปซิเตอร์เอง ซึ่งค่านี้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพิกัดของคะแปซิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นใน Objective Function จะมีการแลกเปลี่ยน (Trade Off) กันระหว่างสามเทอมนี้นั่นเอง และเราต้องการที่จะหาค่าของ Objective Function ที่มีค่าความประหยัดมากที่สุด หรืออาจจะกล่าวอีกอย่างได้ก็คือเราต้องการให้ได้ค่าที่มากที่สุดของ Objective Function

ก่อนอื่นเราจะกล่าวถึงกรณีที่ราคาของคะแปซิเตอร์ไม่ได้ถูกนำมาคิด นั่นคือกรณี Kcs = Kcf = 0 ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อเราใช้กระบวนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบจะได้คะแปซิเตอร์ที่มีขนาด 267.56 kVar, 1083.39 kVar และ 1613.17 kVar ซึ่งติดตั้งอยู่ที่บัสเลขที่ 1, 5 และ 6 อีกทั้งมีเวลาในการบริการในหน่วย per unit เท่ากับ 0.54, 0.13 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าของ Objective Function ออกมามีค่าเป็น 8655 เมื่อเรามีการเปลี่ยนค่าขนาดของคะแปซิเตอร์ที่จะนำมาติดตั้งให้มีขนาดเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าของ Objective Function จะมีค่าเพิ่มขึ้น (ดูตารางที่ 5.1) นั่นคือมีความประหยัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์ออกมาได้ว่าเป็นเพราะราคาของคะแปซิเตอร์ไม่ได้ถูกนำมาเกี่ยวข้องกับ Objective Function นั่นคือการเพิ่มขึ้นของขนาดของคะแปซิเตอร์จะไม่มีผลต่อ Objective Function เลย และการเพิ่มขึ้นของขนาดของคะแปซิเตอร์นี้จะทำให้เกิดการชดเชยในด้านกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟในสายป้อน ทำให้การลดลงของความสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าของความประหยัดที่เกิดขึ้นในระบบเพิ่มมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อขนาดของคะแปซิเตอร์มีค่าเป็น 300 kVar, 1100 kVar และ 1700 kVar จะทำให้ค่าของ Objective Function มีค่าเป็น 9017 เป็นต้น

เมื่อการคำนึงถึงราคาของคะแปซิเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องในการหาคำตอบ นั้นคือ ในที่นี้ Kcf = 3.5, Kcf = 6 จะเห็นได้ว่าจากกระบวนการทำซ้ำจะทำให้เราสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคะแปซิเตอร์ที่มีชนิดแตกต่างกันได้ ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้คะแปซิเตอร์ตัวที่ 1, 2 และ 3 เป็นคะแปซิเตอร์ที่มีชนิด 0, 1 และ 2 ตามลำดับ จะทำให้เราสามารถหาคำตอบต่าง ๆ ได้ดังนี้คือ คะแปซิเตอร์ตัวที่ 1, 2 และ 3 จะมีค่าพิกัดเป็น 253 kVar, 656 kVar และ 1263 kVar และมีช่วงเวลาในการบริการคิดเป็นค่า per unit เท่ากับ 1, 0.834 และ 0.473 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาค่า Objective Function ออกมาได้เป็น 4853

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกัดของคะแปซิเตอร์ ไปจากค่าพิกัดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งหาได้จากกระบวนการทำซ้ำจะทำให้ค่า Objective Function มีค่าต่ำลงไป ซึ่งมีเหตุผลทำนองเดียวกับหัวข้อ 6.1 และมีข้อที่น่าจะสังเกตุอีกประการหนึ่งก็คือ เมื่อทำการเปลี่ยนลำดับในการ ต่อเข้า/ปลดออก ของคะแปซิเตอร์ จะทำให้ค่าของขนาด ตำแหน่งติดตั้ง และช่วงเวลาในการบริการมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นถ้าต้องการจะหาค่าที่มีความประหยัดมากที่สุด เราก็ควรจะต้องเลือกลำดับในการ สับเข้า/ปลดออก ของคะแปซิเตอร์ที่มีค่า Objective Function น้อยที่สุดด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งในกรณีนี้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ควรจะทำการเลือกควรจะเป็นค่าที่ให้ Objective Function มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ในที่นี้ก็คือ เมื่อคะแปซิเตอร์ตัวที่ 1, 2 และ 3 เป็นคะแปซิเตอร์ชนิด 2, 1 และ 0 โดยติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1, 5 และ 6 และมีช่วงเวลาในการบริการคิดเป็นค่าต่อหน่วย 0.190, 0.468 และ 1 หน่วยตามลำดับ โดยที่ค่าของ Objective Function ที่มีค่ามากที่สุดคือ 7092

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 6-5 กับตารางที่ 6-6 หรือดูจากรูปที่ 6-2 จะเห็นได้ว่าขนาดของแรงดันบนสายป้อนในขณะที่มีการนำคะแปซิเตอร์ไปติดตั้งนั้นจะมีค่ามากกว่าขนาดของแรงดันเมื่อก่อนมีการติดตั้งคะแปซิเตอร์ ซึ่งจะเป็นการกล่าวได้ว่าการติดตั้งคะแปซิเตอร์นี้จะเป็นการปรับปรุงค่า Voltage Profile ของระบบ

ในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างตารางที่ 6-7 กับตารางที่ 6-8 จะเห็นได้ว่า ค่าขนาดของกระแสที่จ่ายให้แก่จุดโหลดแต่ละแห่งจะมีค่าลดลง นั้นคือการติดตั้งคะ

แปซิเตอร์จะทำให้สายป้อนสามารถรับโหลดได้มากเพิ่มขึ้น และถ้าดูจากค่าของกระแสที่จะต้องจ่ายออกไปจากสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเมื่อตอนหลังจากติดตั้งคะแปซิเตอร์แล้ว (3.2217 pu) จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้ก่อนการติดตั้งคะแปซิเตอร์ (3.3985 pu) เมื่อเราทำการเปรียบเทียบค่าของตัวประกอบกำลังที่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยจะเห็นว่า ค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่ามากขึ้นกว่าเดิม นั่นคือ 0.9790 (ซึ่งเดิมก่อนติดคะแปซิเตอร์มีค่า 0.9298) สำหรับการวิเคราะห์เหตุผลนั้นจะเหมือนกับหัวข้อที่ 6.1 ทุกประการ

ตารางที่ 6-5

```
*************************
* RESULT OF LOAD FLOW *
*************************
```

BUS	PU VOLT	PU ANG
1	0.83156563	-0.10360704
2	0.85284194	-0.03326216
3	0.88327567	-0.07939768
4	0.90158545	-0.07089633
5	0.91164010	-0.06356155
6	0.94268258	-0.04468154
7	0.95816861	-0.03901141
8	0.98229092	-0.02025867
9	0.99287472	-0.00916551

This is Load Flow Before Install Capacitors

ตารางที่ 6-6

```
*************************
* RESULT OF LOAD FLOW *
*************************
```

BUS	PU VOLT	PU ANG
1	[illegible]	-0.11770823
2	[illegible]	-0.10525424
3	[illegible]	-0.08975701
4	[illegible]	-0.08067281
5	[illegible]	-0.07321534
6	[illegible]	-0.05173607
7	[illegible]	-0.04316732
8	[illegible]	-0.02159958
9	[illegible]	-0.00960966

LoadFlow After Install Capacitor

ตารางที่ 6-7

```
**************
* LINE FLOW *
**************
```

BUS	PU Ir	PU Ix
1 - 2	0.46262289	-0.10583388
2 - 3	0.73253095	-0.16764023
3 - 4	1.04128075	-0.20947730
4 - 5	1.24536690	-0.25218694
5 - 6	1.65641600	-0.43588869
6 - 7	2.04014286	-0.91379241
7 - 8	2.48174919	-1.04830904
8 - 9	2.71835933	-1.13580713
9 - 10	3.16004102	-1.25053865

This is Line Flow Before Install Capacitors

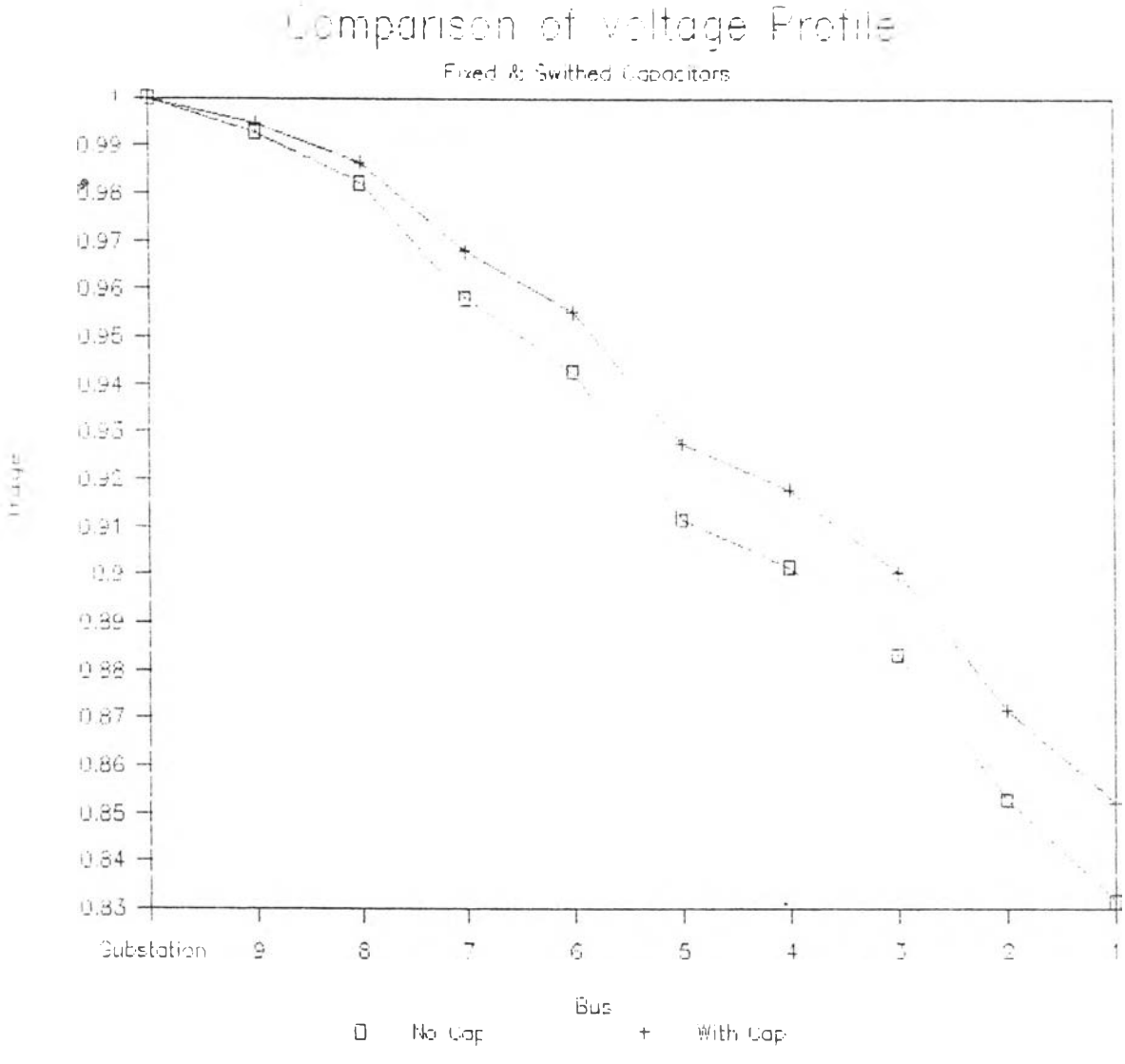
ตารางที่ 6-8

```
**************
* LINE FLOW *
**************
```

BUS	PU Ir	PU Ix
1 - 2	[illegible]	-0.05684153
2 - 3	[illegible]	-0.12047346
3 - 4	[illegible]	-0.16367194
4 - 5	[illegible]	-0.20856683
5 - 6	[illegible]	-0.24892351
6 - 7	[illegible]	-0.38597273
7 - 8	[illegible]	-0.51501605
8 - 9	[illegible]	-0.60244161
9 - 10	[illegible]	-0.71716538

LineFlow After Install Capacitor

รูปที่ 6-2



กระแสวัดที่ Substation ก่อนติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 3.3985 pu

กระแสวัดที่ Substation หลังติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 3.2217 pu

Power Factor ก่อนติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 0.9298

Power Factor หลังติดตั้งคะแปซิเตอร์ = 0.9790