

การศึกษาผลของการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในระบบจำหน่ายแบบลูป วงจรคู่ที่มีผลต่อขนาดแรงดันที่บัสโหลด

A study the influence of phase conductor arrangement in double-circuit loop distribution system affecting to voltage magnitude in load bus

สมศักดิ์ วัชรกุลต์¹ และ อานนท์ อิศรมงคลรักษ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร anone_91@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลของการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในระบบจำหน่ายแบบลูป วงจรคู่โดยศึกษาที่ระบบตัวอย่าง 9 บัสที่มีประเภทของบัสครบทั้ง 3 ชนิด โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองระบบในโปรแกรม ETAP ที่มีผลการผลเฉลยด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยแบ่งกรณีศึกษารูปแบบการจัดวางตำแหน่งตัวนำออกเป็น 4 รูปแบบเพื่อหาแบบที่มีความเหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ load bus ให้ดีขึ้น จากผลการจำลองพบว่า ลักษณะการจัดวางสายตัวนำรูปแบบที่ 4 (ABC-CBA) เป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสม เนื่องจากช่วยทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ load bus ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการจัดวางสายตัวนำรูปแบบอื่นที่เหลือภายใต้เงื่อนไขของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเดียวกัน

คำสำคัญ: การจัดวางสายตัวนำ นิวตัน-ราฟสัน ระบบจำหน่ายแบบลูป

Abstract

This paper deals with the influence of phase conductor arrangement affecting to voltage magnitude of load bus in double-circuit loop distribution system. The 9-bus distribution network with different bus types was used as a test system. The ETAP simulation program was used for analyzing based on Newton-Raphson's power flow method. A phase conductor arrangement of double-circuit distribution system was classified into four cases to find the appropriate solution for improving load bus voltage. The simulation results show that the phase arrangement in the case no. 4 (ABC-CBA) can improve the magnitude of load bus voltage when compared to other cases under the same conditions

Keywords: Line arrangement, Newton-Raphson Method, Loop distribution system

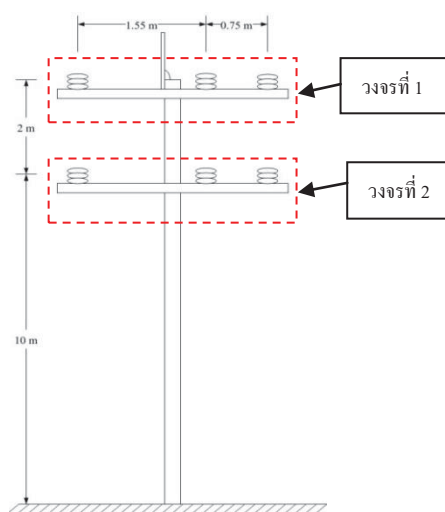
1. บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยระบบผลิต ระบบส่งกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยมีการเชื่อมต่อกันด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อการส่งกำลังไฟฟ้าไหลจากต้นทางไปยังผู้ใช้งานได้

อย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ที่ระยะทางของระบบผลิตที่จะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้งานมีระยะทางที่ไกลมาก[1] ส่งผลให้เกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าขึ้นในสายส่ง และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางจะมีค่าต่ำเป็นผลให้ไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งเนื่องจากการจัดเรียงตำแหน่งตัวนำของสายตัวนำที่ไม่สมมาตรกันของแต่ละเฟส ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลในแต่ละเส้นตัวนำไม่สมมาตรกันไปด้วย บทความนี้ได้สังเกตเห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมุ่งเน้นศึกษารูปแบบของการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีผลต่อค่าของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ โดยการศึกษานี้ได้อาศัยการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายส่งด้วยทฤษฎีพื้นฐานการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า[2] เพื่อนำมาจำลองผลกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบวงจรคู่ ชนิดวางตัวนำแบบแนวนอนเป็นกรณีศึกษา โดยเลือกระบบลูปที่มีประเภทของบัสครบทั้ง 3 ชนิด การจำลองผลอาศัยการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันในโปรแกรม ETAP

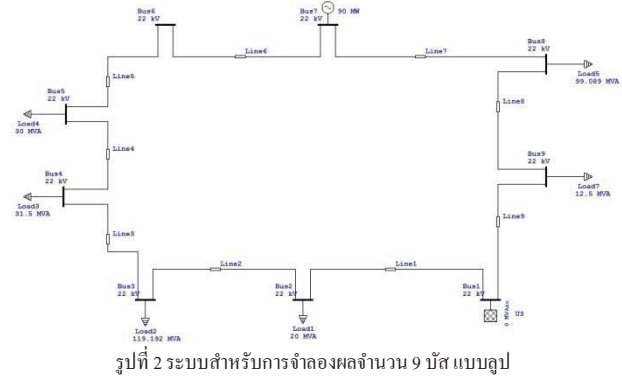
2. ระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการจำลองผล

บทความนี้เป็นการศึกษานาขนาดของแรงดันที่บัสโหลดโดยพิจารณาถึงสายส่งกำลังไฟฟ้าที่มีรูปแบบการเรียงเฟสที่แตกต่างกันของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 22 kV แบบวงจรคู่ สายตัวนำแบบอะลูมิเนียมดีเกลียวเปลือย แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าชนิดวงจรคู่ที่มีการวางตัวนำแบบแนวนอน

บทความนี้เลือกใช้ระบบ 9 บัสเพื่อเป็นระบบรูป โดยอ้างอิงจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 จังหวัดชลบุรี โดยจะพิจารณาเพียงตำแหน่งของบัส ปริมาณ โหลด และชนิดของบัส ซึ่งลักษณะของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 2



3. พารามิเตอร์และเงื่อนไขสำหรับการจำลองผล

ระบบทดสอบสำหรับการจำลองผลเป็นระบบที่มีระยะทางสั้น ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งจะพิจารณาเพียงค่าความต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำ[3] โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาพารามิเตอร์ดังนี้คือ ลักษณะโครงสร้างของเสาสูงกำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกันตลอดทั้ง 9 บัส จะใช้รูปแบบโครงสร้างเป็นเสาปูนโดยมีความสูงตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยใช้กับระบบแรงดันไฟฟ้าขนาด 22kV แบบวงจรคู่[4] ที่มีการวางตัวนำแบบแนวอน โดยอาศัยระยะห่างระหว่างเฟสตัวนำ ระยะห่างระหว่างวงจรถามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[5] โดยที่สายตัวนำสำหรับการจำลองผลทั้งระบบกำหนดให้ใช้เป็นสายประเภทสายเปลือยชนิดอะลูมิเนียมล้วน (AAC) ที่มีโครงสร้างภายในเป็นตัวนำย่อยดีเกลียว 37 เส้น (37 Strands) ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงทั้งเส้น 4 รูปแบบที่มีความแตกต่างกันของค่าพารามิเตอร์ โดยค่าพารามิเตอร์ของสายส่งแสดงได้ดังตารางที่ 1 และข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 9 บัสแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งโดยการคำนวณด้วยทฤษฎีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

| รูปแบบ | วงจรที่ 1 | | | วงจรที่ 2 | | | R(Ω/km.) | X _L (Ω/km.) |
|--------|-----------|---|---|-----------|---|---|----------|------------------------|
| | A | B | C | A | B | C | | |
| NO* | A | B | C | A | B | C | 0.0210 | 0.1706 |
| 1 | A | B | C | A | C | B | 0.0210 | 0.1685 |
| 2 | A | B | C | B | A | C | 0.0210 | 0.1632 |
| 3 | A | B | C | B | C | A | 0.0210 | 0.1592 |
| 4 | A | B | C | C | B | A | 0.0210 | 0.1573 |

NO* คือ ไม่มีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำ

ตารางที่ 2 ข้อมูลบัสของระบบขนาด 9 บัส

| bus | Vm | Deg | Pg | Qg | Pl | Ql | Qmin | Qmax |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------|------|
| 1 | 1.0 | 0.0 | - | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.656 | 0.574 | 0.0 | 0.0 |

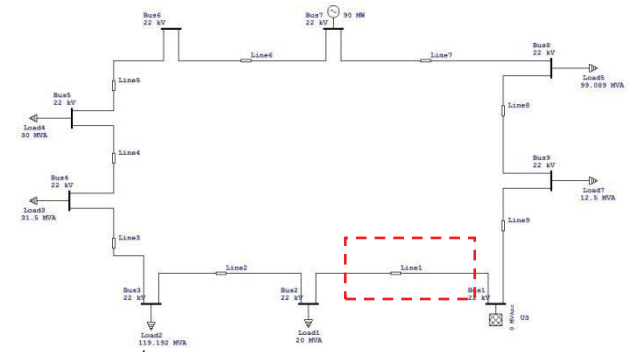
| | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|-----|-------|-------|-------|------|
| 4 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.815 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.300 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 1.0 | 0.0 | 0.90 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.90 | 0.90 |
| 8 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.396 | 0.764 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.125 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

4. ผลการจำลอง

การจำลองผลอาศัยโปรแกรม ETAP โดยกำหนดสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2 เป็นสายส่งที่มีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำทั้ง 4 รูปแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยกำหนดให้ค่า Power Mismatch เป็น 0.00000001 ได้ผลการจำลองแสดงดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อยังไม่มีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำ

| บัสที่ | ชนิดบัส | $ V_{bus} \angle \theta^\circ$ | P_{bus} | Q_{bus} |
|--------|---------|---------------------------------|-----------|-----------|
| 1 | Slack | 1.0000 \angle 0.0000° | 1.9248 | 0.5667 |
| 2 | PQ | 0.9952 \angle -0.6000° | -0.1981 | 0.0000 |
| 3 | PQ | 0.9889 \angle -1.4000° | -1.0220 | -0.5605 |
| 4 | PQ | 0.9890 \angle -1.4000° | -0.3081 | -0.0001 |
| 5 | PQ | 0.9890 \angle -1.4000° | -0.2934 | 0.0000 |
| 6 | PQ | 0.9974 \angle -0.6000° | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | PV | 1.0000 \angle -0.4000° | 0.9000 | 0.5019 |
| 8 | PQ | 0.9955 \angle -0.7000° | -0.8719 | -0.4520 |
| 9 | PQ | 0.9980 \angle -0.4000° | -0.1245 | 0.0000 |



ตารางที่ 4 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำรูปแบบที่ 1

| บัสที่ | $ V_{bus} \angle \theta^\circ$ | P_{bus} | Q_{bus} | หมายเหตุ |
|--------|---------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| 1 | 1.0000 \angle 0.0000° | 1.9249 | 0.5669 | SLACK BUS |
| 2 | 0.9952 \angle -0.6000° | -0.1981 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 3 | 0.9889 \angle -1.4000° | -1.0220 | -0.5605 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 4 | 0.9890 \angle -1.4000° | -0.3081 | -0.0002 | ไม่เปลี่ยนแปลง |

| | | | | |
|---|-------------------------------|---------|---------|----------------|
| 5 | $0.9890 \angle -1.4000^\circ$ | -0.2935 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 6 | $0.9974 \angle -0.6000^\circ$ | 0.0000 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 7 | $1.0000 \angle -0.4000^\circ$ | 0.9000 | 0.5015 | PV BUS |
| 8 | $0.9955 \angle -0.7000^\circ$ | -0.8718 | -0.4520 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 9 | $0.9980 \angle -0.4000^\circ$ | -0.1245 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |

ตารางที่ 5 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำรูปแบบที่ 2

| บัสที่ | $ V_{bus} \angle \theta^\circ$ (p.u.) | P_{bus} (p.u.) | Q_{bus} (p.u.) | หมายเหตุ |
|--------|--|------------------|------------------|----------------|
| 1 | $1.0000 \angle 0.0000^\circ$ | 1.9253 | 0.5673 | SLACK BUS |
| 2 | $0.9954 \angle -0.6000^\circ$ | -0.1981 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 3 | $0.9890 \angle -1.3000^\circ$ | -1.0222 | -0.5606 | เพิ่มขึ้น |
| 4 | $0.9891 \angle -1.4000^\circ$ | -0.3081 | -0.0001 | เพิ่มขึ้น |
| 5 | $0.9891 \angle -1.4000^\circ$ | -0.2936 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 6 | $0.9974 \angle -0.6000^\circ$ | 0.0000 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 7 | $1.0000 \angle -0.4000^\circ$ | 0.9000 | 0.5004 | PV BUS |
| 8 | $0.9955 \angle -0.7000^\circ$ | -0.8719 | -0.4519 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 9 | $0.9980 \angle -0.4000^\circ$ | -0.1245 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |

ตารางที่ 6 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำระหว่างบัส 1 และบัส 2 ในรูปแบบที่ 3

| บัสที่ | $ V_{bus} \angle \theta^\circ$ | P_{bus} | Q_{bus} | หมายเหตุ |
|--------|---------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| 1 | $1.0000 \angle 0.0000^\circ$ | 1.9255 | 0.5676 | SLACK BUS |
| 2 | $0.9954 \angle -0.6000^\circ$ | -0.1982 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 3 | $0.9891 \angle -1.3000^\circ$ | -1.0224 | -0.5607 | เพิ่มขึ้น |
| 4 | $0.9891 \angle -1.4000^\circ$ | -0.3082 | -0.0001 | เพิ่มขึ้น |
| 5 | $0.9892 \angle -1.4000^\circ$ | -0.2936 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 6 | $0.9974 \angle -0.6000^\circ$ | 0.0000 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 7 | $1.0000 \angle -0.4000^\circ$ | 0.9000 | 0.4998 | PV BUS |
| 8 | $0.9955 \angle -0.7000^\circ$ | -0.8719 | -0.4519 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 9 | $0.9980 \angle -0.4000^\circ$ | -0.1245 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |

ตารางที่ 7 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในรูปแบบที่ 4

| บัสที่ | $ V_{bus} \angle \theta^\circ$ | P_{bus} | Q_{bus} | หมายเหตุ |
|--------|---------------------------------|-----------|-----------|----------------|
| 1 | $1.0000 \angle 0.0000^\circ$ | 1.9256 | 0.5678 | SLACK BUS |
| 2 | $0.9955 \angle -0.6000^\circ$ | -0.1982 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 3 | $0.9891 \angle -1.3000^\circ$ | -1.0224 | -0.5607 | เพิ่มขึ้น |
| 4 | $0.9892 \angle -1.4000^\circ$ | -0.3082 | -0.0001 | เพิ่มขึ้น |
| 5 | $0.9892 \angle -1.4000^\circ$ | -0.2936 | 0.0000 | เพิ่มขึ้น |
| 6 | $0.9974 \angle -0.6000^\circ$ | 0.0000 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 7 | $1.0000 \angle -0.4000^\circ$ | 0.9000 | 0.4994 | PV BUS |
| 8 | $0.9955 \angle -0.7000^\circ$ | -0.8719 | -0.4519 | ไม่เปลี่ยนแปลง |
| 9 | $0.9980 \angle -0.4000^\circ$ | -0.1245 | 0.0000 | ไม่เปลี่ยนแปลง |

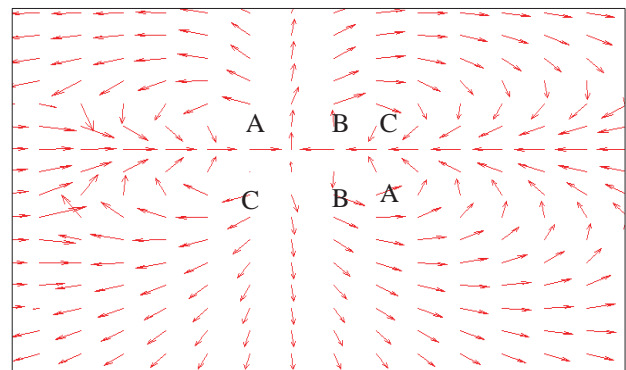
จากผลการจำลองการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำของระบบไฟฟ้ากำลังวงจรคู่ทั้ง 4 รูปแบบเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในรูปแบบต้นแบบที่ยังไม่มีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำ ซึ่งผลการจำลองจะพิจารณาทั้งค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด จะเห็นว่าเมื่อมีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำของวงจรที่ 1 และวงจรที่ 2 ที่มีระยะห่างระหว่างคู่เฟสเดียวกันมากที่สุด

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ C & B & A \end{bmatrix}$$

โดยการวางตำแหน่งของสายตัวนำในลักษณะเช่นนี้จะทำให้ค่าของฟลักซ์แม่เหล็กที่เชื่อมโยงอยู่ในคู่เฟสเดียวกันมีค่าลดน้อยลง เนื่องจากระยะห่างระหว่างคู่เฟสมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าของกระแสที่ไหลในสายส่งมีค่าคงที่ ดังสมการที่ 3

$$\lambda_{int} = \int_0^r \frac{\mu I}{2\pi r^4} x^3 dx \quad (3)$$

จากผลของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นส่งผลต่อค่าของสนามแม่เหล็กที่กระจายรอบสายตัวนำแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเหนี่ยวนำฟลักซ์แม่เหล็กในรูปแบบที่ 4

จากการกระจายตัวของฟลักซ์แม่เหล็กทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลดเปลี่ยนแปลงด้วยเนื่องจากผลของการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำ

ในการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำของรูปแบบที่ 1 โดยส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลต่อค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด ส่วนในรูปแบบที่ 4 จะส่งผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด โดยจะทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยรวมดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในรูปแบบที่ 4 ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อยลง ดังนั้นผลการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำจะพิจารณาระบบโดยรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำรูปแบบที่ 4 จะทำให้ค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลดของระบบโดยรวมมีค่าสูงขึ้น และมีความเหมาะสมเหมาะสมสำหรับเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงระบบในเบื้องต้นเพื่อให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น

5. สรุป

เมื่อทำการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำในรูปแบบที่ 4(ABC-CBA) เป็นการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าขนาดของแรงดันที่บัสโวลต์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการจัดวางสายตัวนำรูปแบบอื่นๆ ที่เหลือ ภายใต้งานไขว้ของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแบบเดียวกันทั้งนี้เนื่องจากการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำจะทำให้ระยะห่างระหว่างคู่เฟสมีการเปลี่ยนแปลง และส่งผลโดยตรงต่อค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งโดยที่ค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งที่มีค่ามากจะทำให้ขนาดแรงดันที่บัสโวลต์มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามเทคนิคการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำนี้เป็นเพียงการนำเสนอแนวทางสำหรับเพิ่มสมรรถนะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบให้มีค่าขนาดแรงดันที่สูงขึ้น โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานของเสาส่งที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำให้เหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้ายืดหยุ่นได้ (Flexible AC Transmission : FACTS) เพื่อชดเชยแรงดันในระบบซึ่งมีต้นทุนการติดตั้งสูง ทั้งนี้เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดวางตำแหน่งสายตัวนำนี้จะต้องพิจารณาถึงระยะทางในการส่งกำลังไฟฟ้าของระบบที่มีการส่งในระยะทางไกล และจำลองผลเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการใช้เทคนิคนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hadi Saadat, "Power System Analysis," 4th ed.: Mc Graw-Hill, 1999, ch. 4, pp.102 – 135.
- [2] Turan Gonan, "Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design", 2nd ed, John Wiley and Son, 1987.
- [3] ชวลิต คำรัตน์, "การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เล่ม 1 ," ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2544.
- [4] ลือชัย ทองนิล, "ไฟฟ้าสาร" ปีที่ 19 ฉบับที่ 5 หน้า 17-24.
- [5] หลักการการออกแบบ การติดตั้ง และการเลือกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมหรือพื้นที่อุตสาหกรรม, การมาตรฐานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2549.



เกี่ยวกับการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์ สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร งานวิจัยที่สนใจ



เกี่ยวกับผู้เขียน

สมศักดิ์ วัชรกุลป์ดี สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง