

การปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังโดยตัวเก็บประจุอนุกรม

Voltage Stability Improvement of Power Systems with Series Capacitor

ก่อเกียรติ อัครทรัพย์ ฤกษ์ณัณณ์ ภูมิภิตติพิชญ์ และ สมชัย หิรัญโรดม²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

41 หมู่ 7 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 โทรศัพท์ : 0-5551-5900-5 ต่อ 291 E-mail: kokiat_a@hotmail.co.th

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: +66(0)-2549-3571 โทรสาร: +66(0)-2549-3568

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการศึกษาหาค่าประกอบค่าโหลดสูงสุดของระบบไฟฟ้าก่อนถึงสถานะแรงดันพังทลาย และ ข้อจำกัดทางด้านแรงดันตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค บทความนี้ใช้ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรม จากการศึกษาพบว่าก่อนติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรม โหลดสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ (Maximum Loading Margin) คือ 0.70403 p.u และ ค่าโหลดที่ทำให้ระบบมีขนาดของแรงดันเป็นที่ยอมรับได้ (Voltage Limit) คือ 0.25058 p.u หลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรม ในสายส่งแต่ละเส้นตำแหน่งที่เหมาะสมคือสายส่งระหว่างบัสที่ 1 กับ บัสที่ 5 โดยโหลดสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ คือ 0.9309 p.u และ ค่าโหลดที่ทำให้ระบบมีขนาดของแรงดันเป็นที่ยอมรับได้ คือ 0.2819 p.u เพิ่มขึ้นจากเดิม 32.22 % และ 12.5% ตามลำดับ บัสที่อ่อนแอที่สุดคือ บัสที่ 14

คำสำคัญ: เสถียรภาพแรงดัน, ตัวเก็บประจุอนุกรม, กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ กำลังไฟฟ้าจริง

Abstract

This paper presents the improvement of voltage stability in power systems for finding maximum loading factor in the system before voltage collapse and voltage limit of PEA standard. The IEEE 14 bus systems are selected to analysis and find location of installing Series Capacitor. Before installing series capacitor maximum loading margin is 0.70403 p.u and voltage limit is 0.25058 p.u. The after installing series capacitor maximum loading margin is 0.9309 p.u and voltage limit is 0.2819 p.u. increase 32.22 % and 12.5% respectively. Weakest bus is no.14

Keywords: Voltage Stability, Series Capacitor, P-V Curve

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นความต้องการของผู้บริโภคทุกคน และความต้องการเหล่านั้นก็เพิ่มขึ้นทุกขณะ การทำให้พลังงานเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งกระบวนการสร้างพลังงานให้เพียงพอ นั้น นอกจากจะต้องพิจารณาเรื่องของการผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการแล้ว เรื่องของการส่งจ่ายพลังงานเหล่านั้นให้ไปถึงผู้บริโภคก็เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจด้วย เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการส่งจ่ายไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นเรื่องที่ยากด้วยเหตุผลหลายประการ โดยเฉพาะเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมเป็นหลัก ดังนั้นการใช้สิ่งที่มีอยู่ให้คุ้มค่าจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญด้วยเช่นกัน

ในโครงการวิจัยเล่มนี้จะกล่าวถึงขีดความสามารถ ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบไฟฟ้ากำลัง (Total Transfer Capability, TTC) โดยพิจารณาการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งผ่านทางระบบสายส่งใด ๆ ว่าสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้มากที่สุดเท่าใดจากจุดทำงานแบบสมดุลของระบบที่พิจารณา โดยไม่ฝ่าฝืนข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า ได้แก่ ข้อจำกัดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของบัส (Voltage Limits) เป็นหลัก จากนั้นจะทำการวิเคราะห์การเพิ่มสมรรถนะของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยการต่อตัวเก็บประจุอนุกรม (Series Capacitor) เข้าไปในสายส่งแต่ละเส้น เพื่อศึกษาผลของ TTC ที่เพิ่มขึ้น

บทความนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดัน (Voltage Stability Analysis) ของระบบ IEEE 14 บัส

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสามารถในการส่งจ่ายกำลังสูงสุด

ความสามารถในการส่งจ่ายกำลังสูงสุด (Total Transfer Capability : TTC) คือ ความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสต้นทางไปยังบัสปลายทาง ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆดังต่อไปนี้

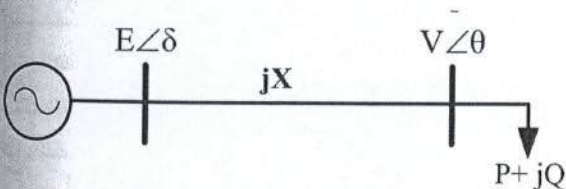
- ข้อจำกัดทางด้านแรงดัน (Voltage Limit)
- พิกัดสูงสุดของสายส่ง (Thermal Limit)
- พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generation Limit)
- เสถียรภาพของระบบ (Stability Limit)

ในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะเสถียรภาพแรงดันของระบบ โดยจะคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านแรงดันตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 เสถียรภาพแรงดัน

เสถียรภาพแรงดัน (Voltage Stability) หมายถึง ความสามารถของระบบที่จะรักษาระดับแรงดันให้คงอยู่ได้ในขอบเขต หรือ มาตรฐานกำหนด ระบบที่มีเสถียรภาพของแรงดันที่ดีจะต้องมีความยืดหยุ่นต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้

ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะต้องไม่เกิน 5% ของระดับแรงดันใช้งาน (rms) รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบ 2 บัส ใช้ศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจคุณลักษณะของเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า โดยที่ $E \angle \delta$ คือ แรงดันที่จุดต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Sending End Bus), $V \angle \theta$ คือแรงดันที่จุดต่อของโหลด (Receiving End Bus), jX คือ ค่ารีแอคแตนซ์ของสาย และ $P + jQ$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดคงที่เขียนอยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อน

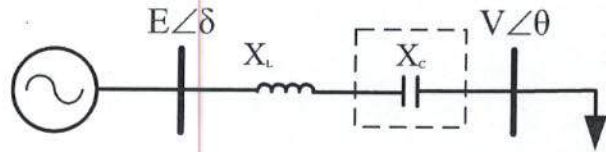


รูปที่ 1 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบ 2 บัส

จากไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบ 2 บัส สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

$$P = \frac{EV}{X} \sin(\delta - \theta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

จากสมการที่ 1 หากควบคุมระดับแรงดันในแต่ละจุดให้คงที่ การเพิ่มการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากต้นทางไปยังปลายทาง สามารถทำได้โดยลดค่ารีแอคแตนซ์ของสายส่งลง โดยสายส่งจะมีองค์ประกอบของตัวเหนี่ยวนำเป็นหลัก ดังนั้นการลดค่ารีแอคแตนซ์ของสายส่ง สามารถทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุอนุกรม ดังรูปที่ 2



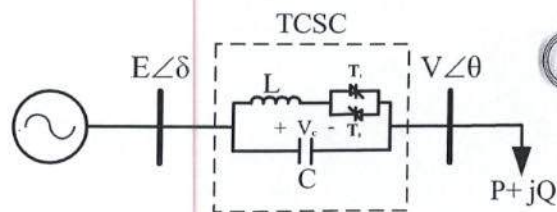
รูปที่ 2 วงจรพื้นฐานตัวเก็บประจุอนุกรม

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องมีการควบคุมการทำงานของตัวเก็บประจุในการชดเชยค่ารีแอคแตนซ์ในสายส่ง โดยสามารถแปรค่าได้ทั้งบวก (inductance) และค่าลบ (capacitance) อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า ตัวชดเชยอนุกรมควบคุมด้วยไทรสเตอร์ (Thyristor Controlled Series Compensator; TCSC)

2.3 Thyristor Controlled Series Compensator: TCSC

ตัวควบคุมแบบอนุกรมคือ ตัวชดเชยอนุกรมควบคุมด้วยไทรสเตอร์ (Thyristor Controlled Series Compensator; TCSC) วงจรพื้นฐาน TCSC ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์อนุกรม และรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทรสเตอร์ต่อขนานกันดังแสดงในรูปที่ 2 ตัวชดเชยอนุกรมควบคุมด้วยไทรสเตอร์จะต่ออนุกรมกับสายส่ง เพื่อควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนแปลงค่ารีแอคแตนซ์อนุกรมนี้

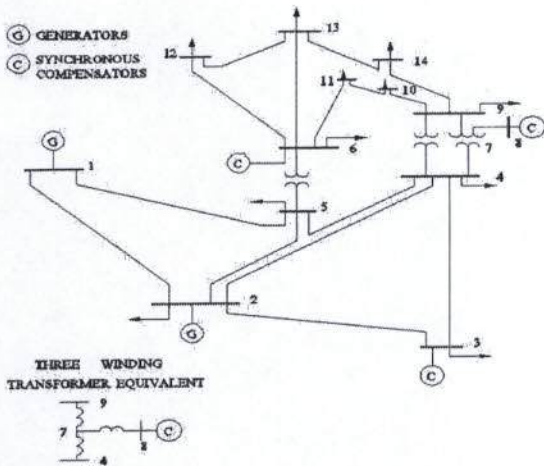
การทำงานของอุปกรณ์ตัวควบคุมแบบอนุกรมจึงเหมือนกับเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ารีแอคแตนซ์ของสายส่งได้ จุดประสงค์หลักของอุปกรณ์นี้คือการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในสายส่ง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งโดยการเปลี่ยนแปลงรีแอคแตนซ์ของสายส่งนั่นเอง



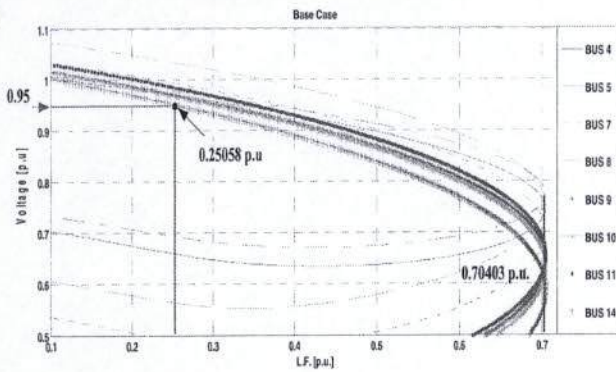
รูปที่ 3 วงจรพื้นฐาน TCSC

3. ผลการทดลอง

ผลจากการหาเสถียรภาพแรงดันของระบบ IEEE 14 Bus ก่อนติดตั้ง TCSC ที่สายส่งแต่ละเส้น โดยโหลดสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ (Maximum Loading Margin) คือ 0.70403 p.u และ ค่าโหลดที่ทำให้ระบบมีขนาดของแรงดันเป็นที่ยอมรับได้ (Voltage Limit) คือ 0.25058 p.u และบัสที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมากที่สุด คือบัสที่ 14 ดังรูปที่ 5

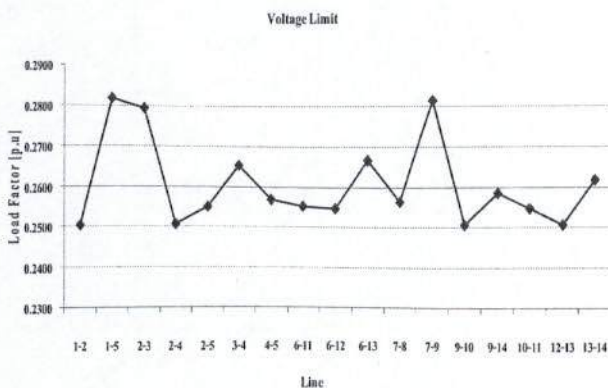


รูปที่ 4 ระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 14 บัส

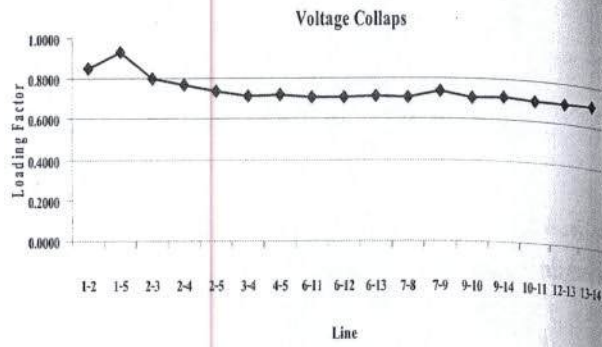


รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับ กำลังไฟฟ้าจริงของ IEEE 14 บัส

ผลของการติดตั้ง TCSC ในสายส่งแต่ละเส้น โดย TCSC มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ X_c เท่ากับ 0.0052 p.u. X_L เท่ากับ 0.0052 p.u. มุมจุดชนวน 90 องศา ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 6 Loading Factor ของระบบ ตามข้อจำกัดทางด้านแรงดันเมื่อติดตั้ง TCSC ในสายส่งแต่ละเส้น



รูปที่ 7 Loading Factor ของระบบ ก่อนถึงสภาวะแรงดันพังทลายเมื่อติดตั้ง TCSC ในสายส่งแต่ละเส้น

ตารางที่ 1 ผลของการติดตั้ง TCSC ที่สายส่งแต่ละเส้น

Line		Loading Factor [p.u.]	
Bus No.	Bus No.	Voltage Limit	Voltage Collaps
1	2	0.2504	0.8526
1	5	0.2819	0.9309
2	3	0.2794	0.8031
2	4	0.2505	0.7673
2	5	0.2550	0.7412
3	4	0.2654	0.7121
4	5	0.2570	0.7200
6	11	0.2553	0.7067
6	12	0.2546	0.7073
6	13	0.2666	0.7157
7	8	0.2562	0.7084
7	9	0.2814	0.7389
9	10	0.2506	0.7051
9	14	0.2584	0.7132
10	11	0.2547	0.7045
12	13	0.2506	0.7041
13	14	0.2617	0.7064

ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรมหรือ TCSC คือสายส่งระหว่างบัสที่ 1 กับ บัสที่ 5

4. สรุป

ผลการศึกษาพบว่าก่อนติดตั้งตัวเก็บประจุอนุกรม โหลดสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ (Maximum Loading Margin) คือ 0.70403

p.u. และ
(Voltage I
เส้นด้านท
สูงสุดที่ระ
มีขนาดของ
% และ 12.2
เสถียรภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE/ "Defin Trans: pp.138
- [2] G.Coa genera limit," (AUPE
- [3] N.Mith "Applic System 2003, J
- [4] A.Sode Loading System, May 20(
- [5] American Utility Sc NW, Was
- [6] B.Kosolpi capability University

p.u และ ค่าโหลดที่ทำให้ระบบมีขนาดของแรงดันเป็นที่ยอมรับได้ (Voltage Limit) คือ 0.25058 p.u หลังจากติดตั้ง TCSC ในสายส่งแต่ละเส้นตำแหน่งที่เหมาะสมคือสายส่งระหว่างบัสที่ 1 กับ บัสที่ 5 โดยโหลดสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้ คือ 0.9309 p.u และ ค่าโหลดที่ทำให้ระบบมีขนาดของแรงดันเป็นที่ยอมรับได้ คือ 0.2819 p.u เพิ่มขึ้นจากเดิม 32.22 % และ 12.5% ตามลำดับ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า TCSC สามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพแรงดันของระบบ ด้วยการเพิ่มสมรรถนะของสายส่งได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability and Definition, "Definition and Classification of Power Stability," IEEE Transactions on power system, Vol.19, No.2, May 2004, pp.1387-1401.
- [2] G.Coath, M.Al-Dabbagh, "Effect of steady-state wind turbine generator model on power flow convergence and voltage stability limit," Australasian universities power engineering conference (AUPEC 2005), Australia , 2005.
- [3] N.Mithulananthan, A.Sode-Yome, N.Acharya, S.Phichaisawat, "Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems," RTG Budget-Joint Research Project, Fiscal-Year 2003, January 2005.
- [4] A.Sode-Yome, N. Mithulananthan, K.Y.Lee, "A Maximum Loading Margin Method for Static Voltage Stability in Power System," IEEE Transaction on Power Systems, Vol.21 No.2, May 2006.
- [5] American wind energy association, "AWEA Electrical Guide to Utility Scale Wind Turbines," Policy Department 1101 14th Street NW, Washington DC, 2005
- [6] B.Kosolpisit "A study of series capacitor effects on total transfer capability and subsynchronous resonance", Chulalongkorn University, 2003